

**Wirkungen akustischer Umweltbedingungen auf
Arbeitsgedächtnisleistungen bei Kindern und Erwachsenen:
Experimentelle Untersuchungen zum „Irrelevant Sound Effect“**

Vom Fachbereich Sozialwissenschaften
der Technischen Universität Kaiserslautern
zur Verleihung des akademischen Grades
Doktor der Philosophie (Dr. phil.)
genehmigte

D i s s e r t a t i o n

vorgelegt von

Andrea Christina Pröllß
aus Straubing

Tag der mündlichen Prüfung:	04. Juli 2014
Dekan:	Prof. Dr. Shanley Allen
Vorsitzender:	Prof. Dr. Marcus Höreth
Gutachter:	1. Prof. Dr. Thomas Lachmann 2. apl. Prof. Dr. Maria Klatte

D 386
(2014)

Meiner Familie – in Liebe.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen herzlich danken, die mich bei meiner Dissertation unterstützt haben. Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Thomas Lachmann, der vom ersten Tag an großes Vertrauen in mich setzte, mir stets Raum ließ, mich zu entwickeln und es verstand, mich in meinem Weg zu bestärken und zu motivieren. Danke auch für so manch freundschaftlichen Rat und kurzweiliges Gespräch.

Maria Klatte möchte ich danken, dass sie sich bei wissenschaftlichen Fragestellungen Zeit für mich nahm und mich durch ihr stets konstruktives Feedback an ihrer großen Expertise teilhaben ließ. Sie hat die vorliegende Arbeit inhaltlich maßgeblich geprägt und mich durch die ein oder andere Sinnkrise sicher begleitet.

Danken möchte ich auch allen Studierenden und allen Kindern, die an dieser Studie teilgenommen haben, den beteiligten Erzieherinnen und Lehrerinnen, sowie den Einrichtungsleitungen und Sachaufwandsträgern, die die umfangreichen Datenerhebungen erst ermöglicht haben. In diesem Zusammenhang sind auch Mecide Altekin, Lena Barth, Matthias Delarber und Raul-Paul Epure zu nennen, die mich bei selbigen unterstützt haben.

Thomas Schmidt und Corinna Christmann rechne ich ihre Statistik-Tipps hoch an.

Ein besonders herzliches Danke geht an meine Kolleginnen Corinna Christmann, Barbara Estner, Claudia Steinbrink und Kirstin Bergström – einerseits für kleinere Hilfestellungen und Anregungen und andererseits für ihre Unterstützung in sämtlichen Lebens- und Leidenslagen. Kaiserslautern ist nicht zuletzt wegen ihnen zu einem Stück Heimat für mich geworden.

Dank auch an Jürgen Hellbrück, Sabine Schittmeier und Ralf Graf, ohne die ich vermutlich gar nicht auf die Idee gekommen wäre, zu promovieren.

Der Studienstiftung des Deutschen Volkes und der Technischen Universität Kaiserslautern sei für die finanzielle Unterstützung gedankt.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Familie für ihre Liebe und Unterstützung danken. Besonderer Dank geht an meine Eltern, die immer an mich geglaubt haben. Danke an Lea-Marie, dich mich meine Zeit effektiver hat nutzen lassen. ...und Danke an Alexander, der meine Entscheidung zu promovieren stets mitgetragen hat und insbesondere in den Endzügen der Arbeit Nachsicht mit mir hat walten lassen.

Zusammenfassung

Der „Irrelevant Sound Effect“ besteht in einer Beeinträchtigung der seriellen Wiedergabeleistung für visuell präsentierte Folgen sprachlicher Items durch aufgabenirrelevante Hintergrundgeräusche. Unklar ist jedoch, ob der Irrelevant Sound Effect bei Kindern entwicklungsbedingten Veränderungen unterliegt und welches Arbeitsgedächtnismodell das kindliche Befundmuster am besten abzubilden vermag. Um einen Beitrag zur Klärung dieser Fragestellungen zu leisten, wurden zwei altersvergleichende Experimente zur quantitativen und qualitativen Beschaffenheit des Irrelevant Sound Effect durchgeführt. Experiment 1 prüfte, ob beim Irrelevant Sound Effect Alterseffekte zu verzeichnen sind und ob diese gegebenenfalls durch die Art des Hintergrundschalls (Changing-State- vs. Steady-State-Schall), die Modalität der Aufgabenstellung (auditiv vs. visuell) und/oder die Anforderungen der zu bearbeitenden Aufgabe (serielle Behaltensaufgabe vs. lautanalytische Odd-One-Out-Aufgabe) moderiert werden. Experiment 2 untersuchte etwaige Alterseffekte hinsichtlich des Einflusses der Lautstärke und/oder der Verständlichkeit des Hintergrundschalls. Hervorzuheben ist, dass erstmals Vorschüler berücksichtigt wurden, womit in beiden Studien ein breiter Altersbereich vom Vorschul- bis zum Erwachsenenalter abgedeckt wird.

Wesentliche Erkenntnis ist, dass der Irrelevant Sound Effect entwicklungsbedingten Veränderungen unterliegt, welche zeitlich im Vorschulalter anzusiedeln sind. Vorschüler werden deutlich stärker und umfassender durch Hintergrundschall beeinträchtigt als die übrigen Altersgruppen, die diesbezüglich nicht differieren. Die Effekte irrelevanten Hintergrundschalls scheinen bei Kindern demnach auf zwei qualitativ unterschiedlichen Wirkmechanismen zu fußen: Zunächst erhält irrelevanter Hintergrundschall – entwicklungsunabhängig – obligatorischen, automatischen Zugang zum Arbeitsgedächtnis, wodurch eine Interferenz mit den zu memorierenden Items auftritt. Darüber hinaus ist bei Vorschülern ein zusätzlicher, globalerer, dem Arbeitsgedächtnis vorgelagerter Mechanismus anzunehmen (z.B. gestörte Encodierung der Zielitems) – der Ansatz einer vermehrten Aufmerksamkeitsdistraktion kann stattdessen nicht gestützt werden.

Diese Experimente haben zudem ein Resultat erbracht, dessen nähere Analyse unabhängig vom Entwicklungsaspekt einen wertvollen Beitrag zum modelltheoretischen Diskurs verspricht: Ein irrelevantes Hintergrundsprechen bewirkte nicht nur bei der seriellen Behaltensaufgabe, sondern auch bei einer lautanalytischen Aufgabe eine signifikante Leistungsver schlechterung. Da die gängigen Arbeitsgedächtnismodelle zur Erklärung des Irrelevant Sound Effect hinsichtlich ihrer Annahmen potentiell lärmsensitiver Aufgaben differieren, wurde eine zweite, auf Erwachsene beschränkte Experimentalserie angeschlossen, deren Ergebnisse wie folgt zusammengefasst werden können: Die Leistungsminderung in der lautanalytischen Aufgabe ist vermutlich auf die phonologische Anforderung per se zurückzuführen, da der Effekt aufgehoben wird, wenn anstelle der phonologischen Analyse eine semantische gefordert wird (Experiment 3). Der phonologische Charakter ist jedoch nicht nur bei der Aufgabenstellung eine kritische Größe, sondern auch beim Hintergrundschall: Während Hintergrundsprechen einen Irrelevant Sound Effect provoziert, vermag Nichtsprache vergleichbarer Komplexität (spektral rotierte Sprache) dies nicht zu leisten (Experiment 5). Dies ist als Indiz dafür zu

werten, dass über den temporal-spektralen Verlauf hinausgehende Parameter existieren müssen, die den Irrelevant Sound Effect modellieren. Die phonologische Ähnlichkeit zwischen den Stimuli der Primäraufgabe und der Distraktoren (Between-Stream Phonological Similarity Effect) scheint hingegen keinen Einfluss zu nehmen (Experiment 4). Zusammenfassend bevorzugt das Befundmuster Modelle, die zur Erklärung des Phänomens auf modalitätsspezifische Interferenzen mit phonologischen Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis rekurren.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VII
TABELLENVERZEICHNIS	IX
1. KOGNITIVE AUSWIRKUNGEN VON IRRELEVANTEM HINTERGRUNDSCHALL	1
1.1 Allgemeine Definition des Irrelevant Sound Effect	1
1.2 Befundübersicht zum Irrelevant Sound Effect	2
1.2.1 Schallspezifische Einflussfaktoren zum Irrelevant Sound Effect.....	2
1.2.2 Aufgabenspezifische Einflussfaktoren zum Irrelevant Sound Effect	7
1.2.3 Personbezogene Einflussfaktoren zum Irrelevant Sound Effect & Entwicklungsaspekte	11
1.2.4 Zusammenfassung der Befunde zum Irrelevant Sound Effect.....	14
2. ERKLÄRUNG DES IRRELEVANT SOUND EFFECT ANHAND VON ARBEITSGEDÄCHTNISMODELLEN	16
2.1 Einordnung des Irrelevant Sound Effect als Gedächtnisphänomen.....	16
2.2 Working Memory Model.....	20
2.2.1 Beschreibung des Modells	20
2.2.2 Das Working Memory Model bei Kindern	24
2.2.2.1 Übertragbarkeit des Modells auf Kinder	24
2.2.2.2 Erklärung entwicklungsbedingter Veränderungen.....	25
2.2.3 Erklärung des Irrelevant Sound Effect mithilfe des Working Memory Model	32
2.3 Das Embedded Processes Model	33
2.3.1 Beschreibung des Modells	34
2.3.2 Das Embedded Processes Model bei Kindern	36
2.3.3 Erklärung des Irrelevant Sound Effect mit Hilfe des Embedded Processes Model	40
2.4 Das Object-Oriented Episodic Record Model.....	41
2.4.1 Beschreibung des Modells	42
2.4.2 Erklärung des Irrelevant Sound Effect mithilfe des Object-Oriented Episodic Record Model	43
2.4.2.1 Erklärung des Irrelevant Sound Effect mithilfe der Changing-State-Hypothese	43
2.4.2.2 Erklärung des Irrelevant Sound Effect mithilfe der Interferenz ähnlicher Verarbeitungsprozesse.....	48
2.4.2.3 Störung durch Hintergrundschall: Verursacht durch einen Duplex-Mechanismus?..	49
2.4.2.4 Erklärung des Irrelevant Sound Effect bei Kindern	50
2.5 Das Feature Model	51
2.5.1 Beschreibung des Modells	51
2.5.2 Erklärung des Irrelevant Sound Effect mithilfe des Feature Model	54
2.6 Zusammenfassende Betrachtung der arbeitsgedächtnisbasierten Erklärungsansätze des Irrelevant Sound Effect	57
3. FRAGESTELLUNG	59
4. EMPIRISCHE UNTERSUCHUNGEN – TEIL 1: ALTERSVERGLEICHENDE STUDIEN	60
4.1 Experiment 1: Der „Irrelevant Sound Effect“ bei Kindern und Erwachsenen: Gibt es Alterseffekte?.....	60

4.1.1	Methode	62
4.1.1.1	Teilnehmer	62
4.1.1.2	Aufgaben, Stimulusmaterial und Hintergrundschalle	63
4.1.1.3	Apparatur	66
4.1.1.4	Versuchsablauf	67
4.1.2	Überblick zum statistischen Verfahren	70
4.1.3	Ergebnisse	72
4.1.3.1	Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe	72
4.1.3.2	Serielle Behaltensaufgabe.....	72
4.1.3.2.1	<i>Daten aus visueller Itempräsentation</i>	73
4.1.3.2.2	<i>Daten aus auditiver Itempräsentation</i>	78
4.1.3.2.3	<i>Analyse von Modalitätseffekten</i>	83
4.1.3.3	Odd-One-Out-Aufgabe	84
4.1.3.3.1	<i>Daten aus visueller Itempräsentation</i>	84
4.1.3.3.2	<i>Daten aus auditiver Itempräsentation</i>	86
4.1.3.3.3	<i>Analyse von Modalitätseffekten</i>	88
4.1.3.4	Aufgabenvergleich	89
4.1.3.4.1	<i>Aufgaben bei visueller Itempräsentation</i>	89
4.1.3.4.2	<i>Aufgaben bei auditiver Itempräsentation</i>	89
4.1.4	Diskussion	90
4.2	Experiment 2: Der „Irrelevant Sound Effect“ bei Kindern und Erwachsenen – Automatische Interferenz oder Aufmerksamkeitsdistraktion?	99
4.2.1	Methode.....	100
4.2.1.1	Teilnehmer	100
4.2.1.2	Aufgaben, Simulusmaterial, Hintergrundschalle und Apparatur	100
4.2.1.3	Versuchsablauf	101
4.2.2	Ergebnisse	101
4.2.3	Diskussion	106
5.	ZUSAMMENFASSUNG DER ALTERSVERGLEICHENDEN EXPERIMENTE & AUSBLICK	112
5.1	Theoretische und methodische Aspekte	112
5.2	Praktische Implikationen.....	114
6.	EMPIRISCHE UNTERSUCHUNGEN – TEIL 2: ERWACHSENENSTUDIEN	117
6.1	Experiment 3: Der „Irrelevant Sound Effect“ bei der Odd-One-Out-Aufgabe – phonologische Anforderung oder Strategieinsatz?	117
6.1.1	Methode.....	118
6.1.1.1	Teilnehmer	118
6.1.1.2	Aufgaben, Stimulusmaterial, Hintergrundschalle und Apparatur	118
6.1.1.3	Versuchsablauf	119
6.1.2	Ergebnisse	119
6.1.3	Diskussion	121
6.2	Experiment 4: Der „Irrelevant Sound Effect“ – ähnlichkeitsbasierte Interferenz oder Konflikt ähnlicher Verarbeitungsprozesse?	125
6.2.1	Methode.....	126
6.2.1.1	Teilnehmer	126

6.2.1.2	Aufgaben, Stimulusmaterialien, Hintergrundschalle und Apparatur.....	126
6.2.1.3	Versuchsablauf	128
6.2.2	Ergebnisse	128
6.2.2.1	Serielle Behaltensaufgabe.....	128
6.2.2.2	Odd-One-Out-Aufgabe (phonologisch).....	129
6.2.2.3	Aufgabenvergleich	130
6.2.3	Diskussion	131
6.3	Experiment 5: Der „Irrelevant Sound Effect“ bei der Odd-One-Out-Aufgabe – nur bei Sprache oder auch bei Nichtsprache?	136
6.3.1	Methode.....	137
6.3.1.1	Teilnehmer.....	137
6.3.1.2	Aufgabe, Stimulusmaterial, Hintergrundschalle und Apparatur	137
6.3.1.3	Versuchsablauf	139
6.3.2	Ergebnisse	139
6.3.3	Diskussion	140
7.	ZUSAMMENFASSUNG DER ERWACHSENENEXPERIMENTE & AUSBLICK.....	144
8.	LITERATURVERZEICHNIS.....	147

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Darstellung des Arbeitsgedächtnisses als Mehrkomponentensystem gemäß dem Working Memory Model.....	21
Abb. 2 Erklärung des Irrelevant Sound Effect im Rahmen des Working Memory Model.....	33
Abb. 3 Das aufmerksamkeitsbasierte Embedded Processes Model des Arbeitsgedächtnisses.	36
Abb. 4 Veranschaulichung des Object-Oriented Episodic Record Model.	44
Abb. 5 Darstellung verschiedener Merkmalsvektoren und des Ähnlichkeitsabgleichs im Feature Model.....	53
Abb. 6 Darstellung der Wirkung irrelevanten Hintergrundschalls im Feature Model.	56
Abb. 7 Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe.....	72
Abb. 8 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Erwachsenen.....	74
Abb. 9 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Fünftklässlern..	74
Abb. 10 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Drittklässlern.....	75
Abb. 11 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Erstklässlern.....	75
Abb. 12 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Vorschülern..	75
Abb. 13 Serielle Behaltensaufgabe (visuell): Mittlere Leistungsver schlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung in Abhängigkeit des Hintergrundschalls und der Altersgruppe.	76
Abb. 14 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten auditiver Items bei Erwachsenen.. ..	79
Abb. 15 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten auditiver Items bei Fünftklässlern....	79
Abb. 16 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten auditiver Items bei Drittklässlern.. ...	80
Abb. 17 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten auditiver Items bei Erstklässlern.....	80
Abb. 18 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten auditiver Items bei Vorschülern.....	80
Abb. 19 Serielle Behaltensaufgabe (auditiv): Mittlere Leistungsver schlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung in Abhängigkeit des Hintergrundschalls und der Altersgruppe.	81
Abb. 20 Serielle Behaltensaufgabe: Mittlere Leistungsver schlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung in Abhängigkeit des Hintergrundschalls, der Altersgruppe und der Präsentationsmodalität.	83
Abb. 21 Odd-One-Out-Aufgabe (visuell): Mittlere Leistungsver schlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung in Abhängigkeit des Hintergrundschalls und der Altersgruppe.	85
Abb. 22 Odd-One-Out-Aufgabe (auditiv): Mittlere Leistungsver schlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung in Abhängigkeit des Hintergrundschalls und der Altersgruppe.	87
Abb. 23 Odd-One-Out-Aufgabe: Mittlere Leistungsver schlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung in Abhängigkeit des Hintergrundschalls, der Altersgruppe und der Präsentationsmodalität.	88
Abb. 24 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Erwachsenen..	103
Abb. 25 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Drittklässlern..	103

Abb. 26 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Erstklässlern. ...	104
Abb. 27 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Vorschülern.	104
Abb. 28 Mittlere Leistungsver schlechterung bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung in Abhängigkeit der Verständlichkeit des Hintergrundschalls und der Altersgruppe.	105
Abb. 29 Mittlere Identifikationsleistung und Standardfehler in den beiden Aufgabenvarianten der Odd- One-Out-Aufgabe in Abhängigkeit der Schallbedingungen	120
Abb. 30 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Erwachsenen..	129
Abb. 31 Wirkung irrelevanter Sprache auf die Odd-One-Out-Aufgabe bei Erwachsenen.	130
Abb. 32 Mittlere Leistungsver schlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung in Abhängigkeit des Aufgabentyps und des Hintergrundschalls.	131
Abb. 33 Spektrogramme der verwendeten Hintergrundschalle (Ausschnitte).	138
Abb. 34 Mittlere Identifikationsleistung und Standardfehler in der Odd-One-Out-Aufgabe (phonologisch) in Abhängigkeit der Schallbedingungen	139

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Übersicht der Stimuli der seriellen Behaltensaufgabe für die verschiedenen Altersstufen.	64
Tab. 2 Übersicht der Stimuli der Odd-One-Out-Aufgabe für die verschiedenen Altersstufen.	65
Tab. 3 Überblick zur Seriellen Behaltensaufgabe	68
Tab. 4 Überblick zur Odd-One-Out-Aufgabe.....	69
Tab. 5 Serielle Behaltensaufgabe (visuell): Mittlere Wiedergabeleistungen der verschiedenen Altersgruppen in Abhängigkeit der Schallbedingungen. Dargestellt sind Mittelwerte [in Rohwertpunkten] und Standardabweichungen.	73
Tab. 6 Serielle Behaltensaufgabe (visuell): Ergebnisse der t -Tests für unabhängige Stichproben. Verglichen werden die mittleren Leistungsver schlechterungen unter „einzelner Sprecher“ der verschiedenen Altersgruppen.....	77
Tab. 7 Serielle Behaltensaufgabe (visuell): Ergebnisse der t -Tests für unabhängige Stichproben.....	77
Tab. 8 Serielle Behaltensaufgabe (auditiv): Mittlere Wiedergabeleistungen der verschiedenen Altersgruppen in Abhängigkeit der Schallbedingungen.	78
Tab. 9 Serielle Behaltensaufgabe (auditiv): Ergebnisse der t -Tests für unabhängige Stichproben.. ...	82
Tab. 10 Serielle Behaltensaufgabe (auditiv): Ergebnisse der t -Tests für unabhängige Stichproben.. .	82
Tab. 11 Odd-One-Out-Aufgabe (visuell): Mittlere Wiedergabeleistungen der verschiedenen Altersgruppen in Abhängigkeit der Schallbedingungen.	84
Tab. 12 Odd-One-Out-Aufgabe (auditiv): Mittlere Wiedergabeleistungen der verschiedenen Altersgruppen in Abhängigkeit der Schallbedingungen.	86
Tab. 13 Serielle Behaltensaufgabe: Mittlere Wiedergabeleistung [in Rohwertpunkten] und Standardabweichung in Abhängigkeit der Altersstufe und der Schallbedingung.	102
Tab. 14 Ergebnisse der t -Tests für unabhängige Stichproben.....	106
Tab. 15 Übersicht der Stimuli der Odd-One-Out-Aufgabe für die beiden Aufgabenvarianten.	119
Tab. 16 Beispiel zur Veranschaulichung des Vorgehens zur Bildung phonologisch ähnlichen bzw. unähnlichen Hintergrundschalls	127

1. Kognitive Auswirkungen von irrelevantem Hintergrundscharl

1.1 Allgemeine Definition des Irrelevant Sound Effect

Der *Irrelevant Sound Effect* beschreibt das robuste und reliable Phänomen, dass die unmittelbare serielle Wiedergabeleistung für Folgen sprachlicher Items durch irrelevante Hintergrundscharle beeinträchtigt wird. Experimentell belegt wird der Irrelevant Sound Effect üblicherweise durch eine serielle Behaltensaufgabe. Dabei sollen die Versuchsteilnehmer während der Darbietung von irrelevantem Hintergrundscharl Sequenzen von sechs bis neun unverbundenen Buchstaben, Zahlen oder Wörtern memorieren, die visuell oder auditiv dargeboten werden. Bei auditiver Präsentation ist eine mühelose und fehlerfreie Identifikation der Items zu gewährleisten, um Konfundierungen mit durch Maskierung oder erhöhter Höranstrengung vermittelten Effekten zu vermeiden (Schlittmeier, Hellbrück, & Klatt, 2008a). Die Sequenz ist anschließend in der entsprechenden Darbietungsreihenfolge wiederzugeben. Die Aufforderung zur Wiedergabe der korrekten Reihenfolge kann entweder unmittelbar nach der Präsentation des letzten Items oder nach einer gewissen Verzögerung, dem Retentionsintervall, erfolgen. Obwohl die Versuchsteilnehmer laut Instruktion dazu angehalten sind, den für die Erinnerungsaufgabe irrelevanten Hintergrundscharl zu ignorieren, wird die Reproduktionsleistung durch die auditiven Distraktoren gestört und ist unter ruhigen Bedingungen signifikant besser (Jones, Madden, & Miles, 1992; Jones, Miles, & Page, 1990; Miles, Jones, & Madden, 1991; Schlittmeier, Hellbrück, Thaden, & Vorländer, 2008c). Das Ausmaß der Leistungsverschlechterung unter Lärm variiert zwischen ca. 5% und 50% (Neath, 2000).

Von einer Minderung der seriellen Wiedergabeleistung durch Hintergrundscharl wurde erstmals von Colle und Welsh (1976) berichtet. Den Probanden wurden nacheinander acht Konsonanten visuell präsentiert, welche in ihrer exakten Reihenfolge wiederzugeben waren. Die Aufgabenbearbeitung erfolgte entweder in einer ruhigen Umgebung oder während der Darbietung eines fremdsprachlichen Hintergrundscharles. Die Untersuchung zeigte, dass bei Hintergrundscharl signifikant mehr Fehler auftraten als in der Ruhebedingung. Anfänglich gab es für das Phänomen keinen Namen – erst nachdem sich die Störwirkung irrelevanter Sprache auf die Arbeitsgedächtniskapazität als robust erwiesen hat, wurde es als „*Unattended Speech Effect*“ bezeichnet (Baddeley & Salamé, 1986; Salamé & Baddeley, 1982, 1986). Namengebend war, dass die Probanden nicht auf die Sprachkulisse achteten bzw. achten sollten. Da der Nachweis dieser Prämisse jedoch kaum objektiv zu erbringen ist und Distraktoren stets eine gewisse Aufmerksamkeit auf sich ziehen (Cowan, 1995, 1999), setzte sich zunehmend die neutraler formulierte Bezeichnung „*Irrelevant Speech Effect*“ durch (Jones et al., 1990, 1992; Miles et al., 1991), welche die Irrelevanz des Hintergrundscharls für die Aufgabenbearbeitung betont.

Folgeexperimente belegten, dass das Phänomen jedoch nicht nur von sprachlichem Hintergrundscharl hervorgerufen werden kann. Auch nicht-sprachliche Hintergrundscharle, wie etwa Stakkato-Musik oder Tonsequenzen, können die serielle Wiedergabeleistung signifikant beeinträchtigen (Jones & Macken, 1993; Klatt, Kilcher, & Hellbrück, 1995). Daher wurde „*Irrelevant Sound Effect*“ als allgemeinere

Bezeichnung für den Einfluss sowohl sprachlicher als auch nicht-sprachlicher Hintergrundschnalle vorgeschlagen (Beaman & Jones, 1997). Diese Namengebung liegt auch der vorliegenden Arbeit zugrunde. In diesem Zusammenhang ist allerdings hervorzuheben, dass mit der Bezeichnung „*Irrelevant Sound Effect*“ nicht die Auffassung vertreten wird, dass jeder irrelevante Schall den Effekt hervorrufen kann. Die Störwirkung eines Geräuschs ist von Schall- wie auch von weiteren Charakteristika abhängig, auf welche im Folgenden eingegangen wird.

1.2 *Befundübersicht zum Irrelevant Sound Effect*

Zahlreiche Untersuchungen sprechen dafür, dass Zustandekommen und Ausmaß des Irrelevant Sound Effect durch schall- und aufgabenspezifische Charakteristika moderiert werden. Ferner beeinflussen personbezogene Unterschiede das Phänomen, möglicherweise auch das Alter betreffend. Im Folgenden wird ein Überblick zum aktuellen Kenntnisstand gegeben. Insbesondere wird auf die wenigen Befunde zu Entwicklungsaspekten des Irrelevant Sound Effect eingegangen.

1.2.1 *Schallspezifische Einflussfaktoren zum Irrelevant Sound Effect*

Im Folgenden sollen verschiedene Variationen von Hintergrundschnallen vorgestellt und die Befunde zu Leistungsbeeinträchtigungen durch verschiedene Schallarten dargelegt werden. Aufgezeigt werden Befunde zur Auswirkung der Lautstärke, der Sprachhaltigkeit, zum semantischen Gehalt und zur akustischen Veränderlichkeit.

(i) Lautstärke. Die in der Lärmwirkungsforschung bekannte Abhängigkeit der zu erwartenden Lärmwirkung vom Pegel des Hintergrundschnalls lässt sich beim Irrelevant Sound Effect nicht nachweisen. Unabhängig von der Intensität der dargebotenen Hintergrundschnalle zeigt sich das Phänomen gleichermaßen über einen Pegelbereich von 40 bis 85 dB(A) (Colle, 1980; Ellermeier & Hellbrück, 1998; Salamé & Baddeley, 1987). Auch Pegelveränderungen innerhalb eines Trials nehmen keinen Einfluss auf die Behaltensleistung (Tremblay & Jones, 1999).

(ii) Sprachhaltigkeit. Bei der Prüfung des Zusammenhangs zwischen dem Irrelevant Sound Effect und der Sprachhaltigkeit des irrelevanten Hintergrundschnalls waren drei Fragen von besonderem Interesse: Zunächst wurde untersucht, ob die Sprachhaltigkeit, also der phonologische Charakter eines Hintergrundschnalls, ausschlaggebendes Kriterium für Zustandekommen und Ausmaß des Irrelevant Sound Effect ist. Darüber hinaus prüfte man, ob die phonologische Ähnlichkeit innerhalb der zu memorierenden Items bzw. zwischen jenen und dem irrelevanten Schall die Störwirkung beeinflusst. Im Folgenden wird ein Überblick zur Befundlage bezüglich dieser Fragestellungen gegeben – die bis dato noch nicht abschließend geklärt sind.

Salamé und Baddeley (1987) hielten den Irrelevant Sound Effect zunächst für ein rein sprachspezifisches Phänomen. Zahlreiche Folgeuntersuchungen belegen jedoch die Generalisierbarkeit des Phänomens auf andere Schalle, wie beispielsweise Folgen verschiedener Töne (Divin, Coyle, & James, 2001; Hadlington, Brides, & Darby, 2004; Jones, Alford, Bridges,

Tremblay, & Macken, 1999; Jones & Macken, 1993; Klatte et al., 1995; LeCompte, Neely, & Wilson, 1997; Tremblay & Jones, 1998), unterbrochene Glissandi¹ (Jones, Macken, & Murray, 1993), Musik (Ellermeier & Hellbrück, 1998; Klatte et al., 1995; Morris, Jones, & Quayle, 1989; Nittono, 1997; Schlittmeier, Hellbrück, & Klatte, 2008b) und auf bestimmte Rauschsignale mit hinreichend veränderlicher Klangcharakteristik (Klatte et al., 1995; Tremblay, Macken, & Jones, 2001). Die Sprachhaltigkeit allein stellt somit kein notwendiges Kriterium für das Zustandekommen des Effekts dar. In der Folge wurde diskutiert, ob sprachliche und nicht-sprachliche Hintergrundschnalle dasselbe Störpotential besitzen. Die Befundlage hierzu ist jedoch nicht eindeutig. In manchen Studien provozieren beide Schallarten Leistungsbeeinträchtigungen vergleichbaren Ausmaßes (Jones & Macken, 1993; Neath, Surprenant, & LeCompte, 1998), oder die Befundmuster sprechen dafür, dass sich beide in ihrer Wirkweise funktional ähneln (Chein & Fiez, 2010; Ellermeier & Hellbrück, 1998; Jones, Alford, Macken, Banbury, & Tremblay, 2000; Tremblay & Jones, 1998). Jones und Macken (1993) propagieren daher die Äquipotenz sprachlicher und nichtsprachlicher Schalle. Eine Vielzahl an Studien zeigt jedoch, dass das Ausmaß des Irrelevant Sound Effect bei sprachlichen Schallen unübertroffen bleibt (Buchner, Bell, Rothermund, & Wentura, 2008; Hall & Gathercole, 2011; Klatte et al., 1995; LeCompte et al., 1997; Salamé & Baddeley, 1989; Schlittmeier, Weißgerber, Kerber, Fastl, & Hellbrück, 2012; Tremblay, Nicholls, Alford, & Jones, 2000), womit jenen eine gewisse Sonderstellung zukäme. In der Vergangenheit wurde dies häufig schlichtweg darauf zurückgeführt, dass sprachlicher Schall in seiner Struktur um ein Vielfaches komplexer ist als einfache Sinustöne (vgl. Little, Martin, & Thomson, 2010), welche die gängige Operationalisierung der nicht-sprachlichen Bedingung darstellen.

Besonderes Augenmerk ist daher auf solche Studien zu richten, die die akustische Variation der Schalle möglichst kontrolliert und somit die Konfundierung zur Sprachhaltigkeit vermieden haben: Little und Kollegen (2010) spielten zu diesem Zweck sogenanntes *signal correlated noise* (SCN) während der Bearbeitung serieller Behaltensaufgaben ein – ein Hintergrundgeräusch, das die gleiche Amplitudenhüllkurve und dasselbe temporale Profil wie Sprache aufweist, aber nur aus Rauschen besteht (Mummary, Ashburner, Scott, & Wise, 1999; Schroeder, 1968). Hierbei konnte das höhere Störpotential von Sprache bestätigt werden – allerdings weist SCN ein anderes spektrales Profil als Sprache auf. Eine weitere erwähnenswerte Studie stammt von Viswanathan, Dorsi und George (2013). Sie verglichen klassische *Sinuswellen-Sprache* (sinewave speech) – das ist synthetischer Schall, dessen Formantenstruktur Sprache nachahmt (Remez, Rubin, Pisoni, & Carrell, 1981) – mit modifizierter Sinuswellen-Sprache, bei welcher die Formantenstruktur durch Rückwärtsabspielen der ersten beiden Formanten zerstört wurde. Die beiden Schalle weisen demnach ein identisches Changing-State-Profil auf (d.h. temporale *und* spektrale Vergleichbarkeit), unterscheiden sich aber hinsichtlich ihres phonologischen, sprachlichen Charakters. Die Autoren konnten zeigen, dass der Irrelevant Sound Effect bei Sinuswellensprache mit inakter Formantenstruktur signifikant ausgeprägter ist als in der modifizierten Variante und interpretieren dies als Indiz für die Bedeutung der Sprachhaltigkeit bzw. die Bedeutung sprachspezifischer akustischer Merkmale.

Natürliche Sprache kommt hingegen bei Bergström, Lachmann und Klatte (2012) zum Einsatz: Die Methode der *spektralen Rotation* (Blessner, 1972) ermöglicht es, aus einem sprachlichen Geräusch ein

¹ Ein Glissando beschreibt ein Schallereignis mit kontinuierlich an- oder absteigender Tonhöhe.

nicht-sprachliches Geräusch gleicher Komplexität und mit gleichen temporal-spektralen Eigenschaften zu generieren. Dazu werden alle Frequenzen an einer mittleren Frequenz gespiegelt, wodurch die Klangcharakteristik so verändert wird, dass sie von naiven Versuchspersonen nicht mehr als Sprache wahrgenommen wird (Azadpour, Balaban, & Sporns, 2008; Davids et al. 2010; Scott, Blank, Rosen, & Wise, 2000; Scott & Wise, 2004). Interessanterweise wird das serielle Behalten durch diese Art von Nichtsprache zwar signifikant beeinträchtigt – jedoch deutlich geringer als durch Sprache, was für eine Sonderstellung sprachlicher Reize spricht.

Zudem gibt es Evidenz dafür, dass die Störwirkung sprachlicher Schalle nicht nur quantitativ, sondern möglicherweise auch qualitativ anders geartet ist als die nicht-sprachlicher Schalle. So konnten beispielsweise Neath und Kollegen (1998) zeigen, dass irrelevantes Hintergrundsprechen funktional anders wirkt als irrelevante Hintergrundtöne: Obwohl beide Schallarten die serielle Wiedergabeleistung signifikant zu mindern vermochten, führte nur das Hintergrundsprechen zugleich auch zu einer Aufhebung des Wortlängeneffekts (Baddeley, Thomson, & Buchanan, 1975) – ein Arbeitsgedächtnisphänomen, das eine umfänglichere Behaltensleistung kurzer Wörter im Vergleich zu langen Wörtern beschreibt – irrelevante Töne leisteten dies hingegen nicht. Dies spricht für die Notwendigkeit der Unterscheidung sprachlicher und nichtsprachlicher Distraktoren.

Festzuhalten bleibt somit, dass Sprachhaltigkeit zwar kein notwendiges Kriterium für das Zustandekommen des Irrelevant Sound Effect darstellt, das Ausmaß der Störung bei sprachhaltigen Hintergrundgeräuschen aber in der Regel ausgeprägter ist. Dennoch gibt es viele Studien, die zeigen, dass sprachlicher Hintergrundschaall nicht in jedem Fall einen Irrelevant Speech Effect zu provozieren vermag: So bleibt der Effekt bei repetitiven Sprachlauten oder einem Stimmengewirr zum Teil ganz aus (Jones & Macken, 1993; Jones et al., 1992; Klatt et al., 1995; Larsen & Baddeley, 2003; Tremblay & Jones, 1998) oder ist zumindest deutlich geringer (Jones & Macken, 1995b; Tremblay & Jones, 1999). Die Sprachhaltigkeit des Hintergrundschaalls allein ist somit auch kein hinreichendes Kriterium für das Zustandekommen des Irrelevant Sound Effect. Die Bedeutung der Sprachhaltigkeit ist jedoch noch nicht abschließend geklärt.

Nun zur zweiten zentralen Frage, ob die phonologische Ähnlichkeit *innerhalb* der zu memorierenden Items die Störwirkung irrelevanten Hintergrundschaalls beeinflusst. Dabei ist zunächst auf das Phänomen des *Phonologischen Ähnlichkeitseffekts* (*phonological similarity effect*) einzugehen: Je mehr sich die Items phonologisch ähneln, desto fehleranfälliger ist die anschließende serielle Wiedergabe (Baddeley, 1966a; Conrad, 1964; Conrad & Hull, 1964). So ist die serielle Behaltensleistung bei phonologisch unähnlichen Items besser als bei sich reimenden Items (Drewnowski, 1980; Fallon, Groves, & Tehan, 1999; Gathercole, Gardiner, & Gregg, 1982; Gupta, Lipinski, & Aktunc, 2005; Henson, Norris, Page, & Baddeley, 1996; Lian, Karlse, & Eriksen, 2004; Nimmo & Roodenrys, 2004; Poirier & Saint-Aubin, 1996; Wickelgren, 1965), alliterierenden Items (Gupta et al., 2005; Nimmo & Roodenrys, 2004) oder bei Items, die zwar weder reimend noch alliterierend sind, aber dennoch eine hohe Überlappung aufweisen (wie z.B. „cab – gab – fad – gag – nan“; Gupta et al., 2005; aber auch: Coltheart, 1993; Fallon et al., 1999; Nimmo & Roodenrys, 2004; Watkins, Watkins, & Crowder, 1974). Studien, die sich mit der kombinierten Wirkung von irrelevantem Schall und phonologischer Ähnlichkeit beschäftigten, konnten zumeist keine Interaktion feststellen

(z.B. mit alliterierenden Items: Boyle & Coltheart, 1996; mit reimenden Items: Graf, Braun, Jacobs, & Hellbrück, 2002). Die phonologische Ähnlichkeit innerhalb der Items moderiert demnach nicht das Ausmaß des Irrelevant Sound Effect. In manchen Studien blieben Effekte der phonologischen Ähnlichkeit bei der gleichzeitigen Darbietung irrelevanter Hintergrundsprache auch ganz aus (Colle & Welsh, 1976; Neath & Surprenant, 2001; Surprenant, Neath, & LeCompte, 1999), was aber möglicherweise auf unterschiedliche Behaltensstrategien infolge unterschiedlich langer Behaltenslisten zurückgeführt werden kann (Schlittmeier, 2005): So konnten Salamé und Baddeley (1986) durch Variation der Listenlänge zeigen, dass der phonologische Ähnlichkeitseffekt unter Hintergrundschall bei einer Listenlänge von 6 im Vergleich zu 5 Items nur in verminderter Form auftritt und bei 8 Items schließlich ganz ausbleibt. Zu erklären ist dies nach Baddeley (2000b) mit einem Wechsel der Behaltensstrategie: Unter schwierigeren Lernbedingungen, wie etwa dem Lernen längerer Listen, wenden Versuchspersonen keine phonologische Behaltensstrategie mehr an oder reduzieren deren Einsatz (vgl. Baddeley, 2000b; Neath, Farley, & Surprenant, 2003; Page & Norris, 2003, zitiert nach Schlittmeier, 2005), womit kein phonologischer Ähnlichkeitseffekt mehr zu erwarten ist. Dieser Wechsel der Behaltensstrategie in Abhängigkeit der Arbeitsgedächtnisbelastung konnte auch in einer neurophysiologischen Studie nachgewiesen werden: Bei geringer Belastung sind vor allem die Hirnregionen aktiv, die mit dem verbalen Arbeitsgedächtnis in Beziehung stehen, während sich bei hoher Belastung das Aktivierungsmuster hin zum präfrontalen Cortex verschiebt – ein Indiz für den Strategiewechsel vom Rehearsal hin zu alternativen, mnemotechnischen Strategien (Gisselgard, Petersson, & Ingvar, 2004). Weitere Evidenz für diese These wurde von Hanley und Bakopoulou (2003) erbracht, die einen phonologischen Ähnlichkeitseffekt unter irrelevanter Hintergrundsprache nur dann nachweisen konnten, wenn die Versuchspersonen ausdrücklich zur Verwendung phonologischer Behaltensstrategien instruiert worden waren.

Nun zur dritten Fragestellung, ob die phonologische Ähnlichkeit *zwischen* dem Schall und den zu memorierenden Items (*Between-Stream Phonological Similarity*) den Irrelevant Sound Effect beeinflusst. Obwohl es entsprechende Evidenz bei gestützter Wiedergabe (*cued recall*) (Tolan & Tehan, 2002) und freier Wiedergabe (*free recall*) (Marsh, Vachon, & Jones, 2008) gibt, ist dies beim seriellen Erinnern Gegenstand eines intensiven wissenschaftlichen Diskurses: In zahlreichen Studien ging die systematische Erhöhung der phonologischen Ähnlichkeit zwischen irrelevantem und relevantem Material *nicht* mit einem höheren Fehleranteil einher – was gegen den sogenannten *Between-Stream Phonological Similarity Effect* spricht (Bell, Mund, & Buchner, 2010b; Bridges & Jones, 1996; Buchner, Irmen, & Erdfelder, 1996; Graf et al., 2002; Hughes & Jones, 2005; Jones & Macken, 1995a; Larsen, Baddeley, & Andrade, 2000; LeCompte & Shaibe, 1997; Marsh et al., 2008). In den wenigen Arbeiten, die ein zum *Between-Stream Phonological Similarity Effect* passendes Befundmuster aufweisen, wurde selbiger jedoch als Nebenprodukt kategorialer Abrufstrategien interpretiert (Bell et al., 2010b; Marsh, Hughes, & Jones, 2009; Marsh et al., 2008), da zwischen irrelevantem und relevantem Material neben der phonologischen in vielen Experimenten auch eine kategoriale Ähnlichkeit zu verzeichnen ist (z.B. da zu memorierende Items und Hintergrunditems identisch waren, aus derselben inhaltlichen Kategorie stammten oder gegenseitig Reimwörter waren). In anderen Arbeiten wird auf alternative Faktoren wie der Kongruenz von Ordnungsinformationen

zwischen den zu memorierenden und den zu ignorierenden Items (Bell et al., 2010b; Hughes & Jones, 2005) oder der lexikalischen Häufigkeit der Hintergrunditems hingewiesen (Buchner & Erdfelder, 2005). Für lange Zeit galt die Untersuchung von Salamé und Baddeley (1982) als einziger, klarer Nachweis eines *Between-Stream Phonological Similarity Effect*, der aber von Jones und Macken (1995a) trotz Verwendung desselben Materials nicht repliziert werden konnte. Besondere Bedeutung darf daher der aktuellen Studie von Eagan und Chein (2012) zugemessen werden, deren Befunde eindeutig auf einen *Between-Stream Phonological Similarity Effect* hinweisen und alternative Erklärungsmöglichkeiten aufgrund der sorgfältigen Auswahl des Stimulusmaterials aber ausgeschlossen werden können. Festzuhalten bleibt aber, dass die Frage nach der Existenz und Bedeutung des *Between-Stream Phonological Similarity Effect* noch nicht abschließend geklärt ist.

(iii) Semantischer Gehalt. Bei der Abklärung des Zusammenhangs zwischen dem *Irrelevant Speech Effect* und dem semantischen Gehalt des irrelevanten Hintergrundschalls waren analog zur Frage der Sprachhaltigkeit wieder mehrere Fragen von besonderem Interesse. So untersuchte man einerseits, ob die Bedeutungshaltigkeit ausschlaggebend für Zustandekommen und Ausmaß des *Irrelevant Sound Effect* ist. Andererseits prüfte man, ob die inhaltliche Ähnlichkeit zwischen Schall und zu memorierenden Items die Störwirkung beeinflusst. Die Befundlage zu beiden Aspekten ist jedoch nicht eindeutig.

Bei zahlreichen Experimenten stellte sich heraus, dass für die Teilnehmer unverständlicher, fremdsprachlicher Schall (Colle & Welsh, 1976; Klatt et al., 1995; LeCompte & Shaibe, 1997), rückwärts gesprochene Sprache (Buchner et al., 1996; Jones et al., 1990; Salamé & Baddeley, 1982; Surprenant, 2007) oder Pseudowörter (Salamé & Baddeley, 1982) gleichermaßen zu Beeinträchtigungen führen wie verständlicher, semantisch bedeutsamer Hintergrundschall. Interessant ist in diesem Zusammenhang vor allem ein Experiment von Tremblay und Kollegen (2000): Die Autoren verwendeten Sinuswellen-Sprache, die von ungeübten Probanden für bedeutungslos gehalten wird, für entsprechend instruierte Versuchsteilnehmer aber Informationscharakter aufweist (Remez et al., 1981): Physikalisch identischer Hintergrundschall differiert also zwischen den Teilnehmergruppen aufgrund der unterschiedlichen Instruktion hinsichtlich seines semantischen Gehalts. Dennoch ist das Ausmaß der Beeinträchtigung bei beiden Gruppen gleich, was gegen eine besondere Bedeutung der Semantik des Hintergrundschalls beim Zustandekommen des *Irrelevant Sound Effect* spricht. Ein dazu gegensätzliches Befundmuster berichten jedoch LeCompte, Neely und Wilson (1997): Deren Befundmuster zeigt stärkere Effekte bei bedeutungshaltigem Schall (wenngleich der signifikante Leistungsunterschied gegenüber bedeutungsloser Sprache nur bei ca. 2% liegt). Deutlichere Effekte der Semantik zeigen sich hingegen in Studien, bei denen die Items in beliebiger Reihenfolge genannt werden dürfen oder wenn Aufgaben verwendet werden, die eine stärkere inhaltliche Verarbeitung des Materials erfordern (siehe hierzu Abschnitt 1.2.2).

Weitere Indizien, die für eine Rolle der Semantik sprechen, ergeben sich aus Studien zum Einfluss von Valenz und Frequenz irrelevanter Hintergrunditems: So führen positiv- als auch negativ-valente Distraktorwörter zu einer signifikant stärkeren Reduktion der seriellen Wiedergabeleistung als neutrale Wörter; negativ-valente Distraktoren beeinträchtigen dabei aber mehr als positiv-valente (Buchner, Rothermund, & Wentura, 2006; Buchner, Rothermund, Wentura, & Mehl, 2004). Außerdem

stören niederfrequente Distraktoren mehr als hochfrequente (Buchner & Erdfelder, 2005; Gegenevidenz: Elliott & Briganti, 2012).

Uneinheitlich sind auch die Befunde zum Einfluss der semantischen Ähnlichkeit zwischen dem zu behaltenden und dem irrelevanten Material: Während in manchen Studien ein ausgeprägter Effekt der semantischen Ähnlichkeit zu beobachten war (zur Itemliste eng assoziierte Wörter stören mehr als nicht in Bezug stehende Wörter; Bell et al., 2010b; Neely & LeCompte, 1999), bleibt dieses Befundmuster in anderen Studien aus. So berichten beispielsweise Buchner und Kollegen (1996) ähnlich hohe Fehlerraten bei der Wiedergabe von Zahlenfolgen – unabhängig davon, ob als Hintergrundschaall irrelevante Zahlen (z.B. „drei-und-fünfzig“), phonologisch ähnliche Wörter (z.B. „frei-und-künftig“) oder Nichtwörter (z.B. „nei-und-drünfzig“) präsentiert werden (Buchner et al., 1996; siehe auch Marsh, Hughes, & Jones, 2008).

Es bleibt festzuhalten, dass die Rolle der Semantik noch nicht abschließend geklärt ist. Es kann aber angenommen werden, dass die Semantik nicht als primäre Ursache des Irrelevant Sound Effect herangezogen werden kann: Die Befunde sind zu uneinheitlich bzw. die Effekte zu klein, als dass die robuste Störwirkung irrelevanter Sprache auf bloßer Aufmerksamkeitsablenkung aufgrund des Textinhalts beruhen könnte – vielmehr scheint sie auf einer, der bewussten Sprachverarbeitung vorgelagerten Ebene lokalisiert zu sein (Schlittmeier, 2005).

(iv) Akustische Variabilität. Die wesentliche Bestimmungsgröße für das Ausmaß der Störwirkung des Hintergrundschaalls scheint nicht dessen Sprachhaltigkeit oder dessen semantischer Gehalt zu sein, sondern die *akustische Variabilität*. Schalle, die markante Zustandsänderungen, also große temporal-spektrale Schwankungen aufweisen, wie etwa Sprache oder Musik mit ausgeprägten Stakkato-Passagen, besitzen das größte Störpotential (Klatte et al., 1995). Doch auch Tonfolgen können eine Leistungsverschlechterung hervorrufen (Jones et al., 1999; Jones & Macken, 1993). Gleichförmige, kontinuierliche Schalle hingegen, wie beispielsweise Mediationsmusik, summend vorgetragene Melodien, Verkehrslärm, Stimmengewirr oder breitbandiges Rauschen, führen zu keiner oder nur zu einer vergleichbar geringeren Leistungsminderung (Ellermeier & Hellbrück, 1998; Jones & Macken, 1995b; Klatte et al., 1995; Morris et al., 1989). Jones und Kollegen (1992) führten daher die Begrifflichkeiten „*Changing-State-Schalle*“ für Schalle mit starken temporal-spektralen Schwankungen und „*Steady-State-Schalle*“ für Schalle mit geringen temporal-spektralen Schwankungen ein. Den Autoren zufolge ist diese Variation der Schallstruktur über eine bestimmte Zeit hinweg der entscheidende Parameter beim Zustandekommen des Irrelevant Sound Effect.

Kritisch ist jedoch anzumerken, dass die Beurteilung der temporal-spektralen Struktur keinen kategorialen Prozess darstellt, wie Jones' Begrifflichkeiten es vielleicht suggerieren und es kein klares Außenkriterium zur Definition des Changing-State-Kriteriums gibt (vgl. hierzu Abschnitt 2.4.2.1).

1.2.2 Aufgabenspezifische Einflussfaktoren zum Irrelevant Sound Effect

Neben schallspezifischen Faktoren wurde auch untersucht, in wie weit Charakteristika der Primäraufgabe Einfluss auf das Ausmaß des Irrelevant Sound Effect nehmen. Im Folgenden wird ein Überblick zu den Befunden bezüglich der Darbietungsmodalität, der Beschaffenheit der Stimuli, der Bedeutung des seriellen Charakters der Aufgabe sowie der Aufgabenkomplexität gegeben.

(i) Darbietungsmodalität. Die gängige Operationalisierung des Irrelevant Sound Effect erfolgt anhand von Aufgaben zur unmittelbaren seriellen Wiedergabe von Folgen visuell präsentierter sprachlicher Items (Ziffern, Konsonanten, Wörter). Doch auch bei auditiven Items führen irrelevante Sprache (Campbell, Beaman, & Berry, 2002; Hanley & Broadbent, 1987; Jones, Macken, & Nicholls, 2004; Klatte, Lee, & Hellbrück, 2002; LeCompte, 1996; Lee, 1999; Nicholls & Jones, 2002; Schlittmeier, 2005; Schlittmeier et al., 2008b; Schlittmeier, Weisz, & Bertrand, 2011; Surprenant, LeCompte, & Neath, 2000; Surprenant et al., 1999), Stakkato-Musik (Schlittmeier, 2005; Schlittmeier et al., 2008b) sowie Sinustöne (Schlittmeier, 2005) zu einer signifikanten Minderung der Behaltensleistung gegenüber Ruhe oder Rosa Rauschen.

Zwar werden auditive Items (insbesondere gegen Ende der Liste) häufig besser memoriert als visuelle (*modality effect*; Conrad & Hull, 1968; Madigna, 1971; Murdock, 1968; Penney, 1989; Watkins & Watkins, 1977) das Ausmaß der Beeinträchtigung durch irrelevante Hintergrundschnalle differiert aber in der Regel nicht zwischen den Modalitäten (Campbell et al., 2002; Jones et al., 2004; Klatte et al., 2002; LeCompte, 1996; Nicholls & Jones, 2002; Schlittmeier, 2005; Schlittmeier et al., 2008b). Einzig Surprenant, Neath und LeCompte (1999) berichten von stärkeren Effekten durch Hintergrundlärm bei auditiven Items.

(ii) Beschaffenheit der Stimuli. Bei seriellen Behaltensaufgaben zeigt sich der Irrelevant Sound Effect unabhängig davon, ob Buchstaben, Wörter, Ziffern oder bildlich dargestellte Nomen (Klatte, Lachmann, Schlittmeier, & Hellbrück, 2010b) zu memorieren sind. Studien konnten das Phänomen sogar beim seriellen Erinnern von Tonfolgen (Williamson, Mitchell, Hitch, & Baddeley, 2010) oder Rhythmen (Hall & Gathercole, 2011) nachweisen. Umstritten ist jedoch, ob der Effekt auch bei visuell-räumlichen Aufgaben, wie beispielsweise der Corsi-Block-Aufgabe (Milner, 1971) auftritt, welche das Erinnern einer bestimmten Abfolge von Positionen auf einer Fläche fordert. Während die Arbeitsgruppe um Jones Effekte bei räumlich-visuellen Aufgaben berichtet (Banbury, Jones, & Emery, 1999; Farley, Neath, Allbritton, & Suprenant, 2007; Jones, Farrand, Stuart, & Morris, 1995; Tremblay et al., 2001), steht eine Replikation durch andere bislang aus (Klatte, 1996; Klatte & Hellbrück, 1997; Schmid, Liebl, & Hellbrück, 2003).

Klatte und Hellbrück (1993) vermuteten, dass das Auftreten des Irrelevant Sound Effect möglicherweise mit der Verbalisierbarkeit der Items einher geht: Während Stimuli, mit denen sich das Phänomen mittels der seriellen Behaltensaufgabe reliabel nachweisen lässt (z.B. Buchstaben, Wörter, Ziffern), leicht benennbar sind, ist dies bei Stimuli, bei denen der Effekt in vielen Studien ausbleibt (z.B. serielle Wiedergabe der räumlichen Position von Punkten), nicht der Fall. Eine Studie von Bergström, Klatte und Lachmann (2010) unterstreicht diesen Ansatz: Im Experiment bearbeiteten die Versuchspersonen serielle Behaltensaufgaben, wobei die zu memorierenden Items hinsichtlich ihrer phonologischen Codierbarkeit variierten (Buchstaben vs. Pseudobuchstaben vs. Linienmuster vs. räumliche Positionen). Die Ergebnisse erlauben es, die Störwirkung irrelevanter Sprache als Funktion der phonologischen Codierbarkeit zu modellieren: Mit nachlassendem phonologischen Gehalt des Materials nimmt auch der Irrelevant Sound Effect ab – und bleibt bei Punktmustern schließlich ganz aus. Phonologische Prozesse scheinen also eine kritische Rolle beim Irrelevant Sound Effect einzunehmen. Dieser Ansatz muss aber noch weiter untersucht werden.

(iii) **Serialität.** In der Literatur gibt es intensiven Diskurs darüber, ob der serielle Charakter einer Aufgabe (unabhängig von der Beschaffenheit der Stimuli) ein notwendiges bzw. hinreichendes Kriterium für das Zustandekommen des Irrelevant Sound Effect darstellt. Als Ausgangspunkt der Auseinandersetzung ist die übliche Operationalisierung des Irrelevant Sound Effect mit einer *seriellen Behaltensaufgabe* (*serial recall*) zu sehen (Colle & Welsh, 1976; Eagan & Chein, 2012; Jones & Macken, 1993; Klatte et al., 2010b; Salamé & Baddeley, 1982), bei der die Items entsprechend ihrer Darbietungsreihenfolge zu memorieren und anschließend wiederzugeben sind. Lange vertrat man den Ansatz, dass eben diese serielle Wiedergabe der memorierten Items bedeutsam für das Auftreten des Irrelevant Sound Effect sei (Salamé & Baddeley, 1990). Schließlich erwies sich der Effekt bei diesem Aufgabentyp als sehr robust (Beaman & Jones, 1997; Jones & Macken, 1993; Salamé & Baddeley, 1990), während er sich bei Behaltensaufgaben, in denen die Wiedergabereihenfolge freigestellt ist (*free recall*), nur inkonsistent zeigte: In manchen Studien ist der Irrelevant Sound Effect bei freier Wiedergabe zu beobachten (Beaman & Jones, 1998; LeCompte, 1994; Neely & LeCompte, 1999; Perham, Banbury, & Jones, 2007; Whiteley & Walker, 1991), in anderen hingegen nicht (Knez & Hygge, 2002; Richardson, 1984; Salamé & Baddeley, 1990). Anzumerken ist nach Schlittmeier (2005) jedoch, dass die Autoren unterschiedliche Listenlängen von 7 Items (Whiteley & Walker, 1991), 9 Items (Beaman & Jones, 1998), 12 Items (LeCompte, 1994; Richardson, 1984) oder 16 Items (Knez & Hygge, 2002; LeCompte, 1994; Salamé & Baddeley, 1990) verwendeten. Möglicherweise können diese Unterschiede im Stimulusmaterial – vermittelt über damit einhergehende Unterschiede im Strategieeinsatz – das inkonsistente Befundmuster aufklären: So diskutierten die Autoren vielfach selbst über die *Relevanz serieller Bearbeitungsstrategien*. Beaman und Jones (1997) äußerten beispielsweise, dass serieller Rehearsal insbesondere bei kürzeren Listen die effizienteste Lösungsstrategie darstelle. Versuchspersonen könnten demnach bei kurzen Listen serielle Behaltensstrategien nutzen, obwohl die Aufgabe per se keinerlei serielle Komponente besitze (Neath, 2000). Demzufolge wäre die beobachtete Sensitivität gegenüber Hintergrundgeräuschen nicht auf den Charakter der Aufgabe, sondern den Strategieeinsatz zurückzuführen².

Mit dieser Argumentationslinie kann möglicherweise auch der beobachtete Irrelevant Speech Effect bei LeComptes (1994) *Reizwiedererkennungsaufgabe* erklärt werden, welche die Entscheidung erfordert, ob ein Item in einer zuvor gezeigten Liste enthalten war oder nicht. Obgleich die Aufgabe per se kein serielles Erinnern erfordert und das Befundmuster über Listenlängen von 8, 12 und 16 Items stabil bleibt, sind serielle Strategien dennoch nicht gänzlich auszuschließen (LeCompte, 1994). Stokes und Arnell (2012) wählten daher eine andere Operationalisierung: Anders als LeCompte (1994) präsentierten sie die zu memorierenden Wörter nicht als bloße Listen, sondern ließen die Versuchsteilnehmer 200 lexikalische Entscheidungsaufgaben bearbeiten (d.h. die Versuchsteilnehmer hatten bei den präsentierten Items zu entscheiden, ob es sich um ein Wort oder ein Nicht-Wort handelt). Die dabei präsentierten Wörter galt es für die anschließende Reizwiedererkennungsaufgabe zu memorieren. Die Autoren argumentieren, dass die Anwendung seriellen Rehearsals beim Memorieren von insgesamt 100 Wörtern während einer zeitgleich fordernden lexikalischen Entscheidungsaufgabe sehr unwahrscheinlich sei und interpretieren ihr Ergebnis als Indiz gegen die

² Basierend auf diesen Überlegungen mahnt LeCompte (1994) zur besonderen Vorsicht im Umgang mit den Begrifflichkeiten – „serial recall“ und „serial rehearsal“ seien nicht synonym zu verwenden.

Notwendigkeit der Serialität. Unterstrichen wird dies im Telexperiment 2, in welchem die Versuchsteilnehmer über die anschließende Reizwiedererkennungsaufgabe im Dunkeln gelassen wurden und demzufolge keine Bemühungen unternahmen, sich die Wörter einzuprägen (Stokes & Arnell, 2012).

Um die Notwendigkeit der Serialität genauer zu prüfen, wurde die Wirkung von Hintergrundschall aber auch für Aufgabentypen untersucht, bei denen die Anwendung serieller Strategien ausgeschlossen werden kann. Bei der *Missing-Item-Aufgabe* (Beaman & Jones, 1997; Jones & Macken, 1993; LeCompte, 1996) wird üblicherweise eine überlernte Itemliste verwendet, von welcher alle Elemente bis auf eines präsentiert werden (z. B. 6 von 7 Wochentagen, 8 von 9 Ziffern, 11 von 12 Monaten). Die Versuchspersonen haben anschließend das fehlende Element zu nennen. Entscheidend dabei ist, dass die Lösung weder explizit noch implizit eines seriellen Vorgehens bedarf, da serielles Rehearsal nicht gefordert wird und dessen Einsatz auch nicht naheliegend scheint (LeCompte, 1996). Die effizienteste Lösungsstrategie besteht vielmehr in der sogenannten „checking-off“-Strategie (Buschke, 1963). Diese beschreibt eine Art „gedankliches Abhaken“ bereits präsentierter Items auf der im Langzeitgedächtnis gespeicherten Liste, gefolgt von der Suche nach einem „unmarkierten“ Eintrag. Da auch die Mehrzahl der Versuchsteilnehmer bei anschließenden Befragungen angab, diese Strategie und keine serielle verwendet zu haben, erscheint die Missing-Item-Aufgabe als geeignete Methode, die Bedeutung der Serialität beim Irrelevant Sound Effect zu prüfen (Jones, 1993, 1995). Doch auch hier zeigt sich ein uneinheitliches Befundmuster: Während sich die Aufgabe bei Jones und Macken (1993) sowie bei Beaman und Jones (1997) als robust gegenüber Hintergrundschall erwiesen hat, konnten LeCompte (1996) sowie Henson, Burgess und Hitch (zitiert nach Beaman & Jones, 1998) einen Irrelevant Sound Effect nachweisen.

Eine weitere Aufgabenvariante ohne serielle Komponente stellt das *Paarassoziationslernen* (LeCompte, 1994) dar, welches das Memorieren von Wortpaaren erfordert und somit paarweises Vorgehen anstelle seriellen Rehearsals induziert. Nach der Einprägphase wird ein Item präsentiert, dessen zugehöriges Wort dann zu nennen ist. LeCompte (1994) konnte auch bei diesem Aufgabentyp einen ausgeprägten Irrelevant Sound Effect feststellen, was gegen die Erfordernis der Serialität spricht. Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die Frage nach der Notwendigkeit des seriellen Charakters einer Aufgabe für das Zustandekommen des Effekts zwar als kontrovers diskutiert, nach wie vor aber nicht als empirisch entschieden eingestuft werden kann.

Weniger im Fokus stand bislang, ob Serialität als *hinreichendes* Kriterium für das Zustandekommen des Irrelevant Sound Effect anzusehen ist. Man ging fest davon aus, dass mit einem hohen seriellen Charakter der Aufgabe eine hohe Sensitivität gegenüber irrelevantem Hintergrundschall einher geht (Jones & Tremblay, 2000). Das uneinheitliche Befundmuster bei räumlich-visuellen Aufgaben, wie auch neuere Erkenntnisse, lassen an dieser Überzeugung aber zweifeln: So konnten Bireta und Kollegen (2010) den Irrelevant Sound Effect zwar bei der klassischen seriellen Behaltensaufgabe nachweisen, nicht aber wenn die Versuchspersonen aufgefordert wurden, die Items in umgekehrter Reihenfolge wiederzugeben (*backward recall*). Bergström, Klatt und Lachmann (2010) konnten darüber hinaus zeigen, dass sich bei gewissen Stimulusmaterialien selbst die klassische serielle Behaltensaufgabe als immun gegenüber Hintergrundschall erweist (vgl. Abschnitt (ii)). Trotz klarer serieller Komponente kann der Irrelevant Sound Effect also auch ausbleiben.

(iv) Alternative & komplexere Aufgabentypen. Die seriellen Behaltensaufgaben gelten als relativ einfache Aufgabenstellung, daher beschäftigen sich viele Untersuchungen auch mit komplexeren Aufgabenstellungen. Der Irrelevant Sound Effect konnte beispielsweise auch bei Aufgaben mit *mathematischen Anforderungen* nachgewiesen werden. So zeigt sich das Phänomen beispielsweise bei Kopfrechenaufgaben (Banbury & Berry, 1998; Schlittmeier et al., 2008c; Woodhead, 1964), bei Zählaufgaben (Buchner, Steffens, Irmen, & Wender, 1998; Logie & Baddeley, 1987) oder bei Optimierungsaufgaben (Perham & Banbury, 2012), bei welchen anhand eines Zugfahrplans und mehrerer gegebener Kriterien die optimale Fahrtstrecke geplant werden muss.

Zudem gibt es zahlreiche Studien mit Aufgabenstellungen aus dem *sprachlichen Bereich*, die aber stark bezüglich der geforderten inhaltlichen Verarbeitung des Gelesenen variieren. Hinweise, dass irrelevanter Hintergrundschall möglicherweise *phonologische Anforderungen* stört, zeigen sich bei der Buchstaben-Ziffern-Folge-Aufgabe von Smith und Kollegen (1995): Sie präsentierten den Teilnehmern Buchstaben- und/oder Ziffernfolgen, die, wenn sie laut ausgesprochen werden, wie englische Wörter klingen (z.B. „NME“: enemy; „MT“: empty). Die Teilnehmer sollten diese Wörter aufschreiben. Während unter Ruhe 72% der Folgen korrekt interpretiert werden konnten, sank die Leistung während der Darbietung irrelevanten Hintergrundprechens auf 40%. Baddeley und Salamé (1986) hingegen konnten keine Leistungseinbußen bei Reimaufgaben, die ebenfalls dem Bereich der phonologischen Bewusstheit zuzuordnen sind, feststellen (siehe auch Smith et al., 1995). Klatt und Kollegen (2007) gaben diesbezüglich aber zu bedenken, dass dieser Aufgabentyp keine phonologische Verarbeitung auf der Ebene einzelner Phoneme benötigt (Klatt, Meis, Sukowski, & Schick, 2007). Es ist demnach umstritten, ob Hintergrundlärm phonologische Verarbeitungsprozesse beeinträchtigt oder nicht.

Bei anderen Anforderungen ließ sich das Phänomen deutlicher nachweisen, wie z.B. beim Erinnern und Reproduzieren von Texten (Banbury & Berry, 1998; Bell, Buchner, & Mund, 2008), bei Korrekturleseaufgaben (Jones et al., 1990; Miles, Madden, & Jones, 1988; Weinstein, 1974, Weinstein, 1977), der Beantwortung inhaltlicher Fragen (Enmarker, 2004; Hygge, Boman, & Enmarker, 2003; Knez & Hygge, 2002; Martin, Wogalter, & Forlano, 1988; Oswald, Tremblay, & Jones, 2000), der Nennung möglichst vieler Vertreter einer vorgegebenen Kategorie (*semantic fluency task*; Jones, Marsh, & Hughes, 2012; Marsh & Jones, 2010) oder beim Abruf von Kategorien (*category recall*; Marsh et al., 2008), nicht aber bei Satzverifikationsaufgaben (Baddeley, Eldridge, & Lewis, 1981; Boyle & Coltheart, 1996). Bemerkenswert ist, dass bei dieser Art von Aufgaben, welche eine tiefere sprachliche Verarbeitung erfordern, andere Parameter des Hintergrundschalls (z.B. Sprachhaltigkeit, semantischer Gehalt) ausschlaggebend für dessen Störwirkung zu sein scheinen (siehe hierzu: Prinzip der spezifischen Interferenz, Jones & Tremblay, 2000; Abschnitt 2.4.2.2). Allerdings ist umstritten, ob der leistungsmindernde Einfluss bei diesen weiteren Aufgabentypen auf dieselben Mechanismen zurückzuführen ist wie bei der klassischen, seriellen Behaltensaufgabe (Röer, 2011).

1.2.3 Personbezogene Einflussfaktoren zum Irrelevant Sound Effect & Entwicklungsaspekte

Weitere Forschungsfragen sind, ob es reliable, interindividuelle Unterschiede bezüglich des Ausmaßes des Irrelevant Sound Effect gibt und auf welche Personparameter dies gegebenenfalls

zurückzuführen wäre. Eine einschlägige Studie von Ellermeier und Zimmer (1997) berichtet von großen interindividuellen Unterschieden hinsichtlich der Störanfälligkeit gegenüber Hintergrundscharl: So variiert das Ausmaß des Irrelevant Sound Effect normalverteilt über die Stichprobe hinweg von 329% mehr Fehlern bei Hintergrundscharl gegenüber der Ruheleistung, über Nulleffekte bis hin zu 33% weniger Fehlern. Interessanterweise ist dieses Befundmuster vergleichsweise konstant: Bei der wiederholten Bearbeitung der Aufgaben nach mehreren Wochen weisen die Leistungsdaten der einzelnen Versuchspersonen eine Stabilität von $r_{tt} \approx .82$ gegenüber der ersten Erhebung auf (Berechnung entsprechend des Stabilitätskoeffizienten nach Cureton, 1971). Bezüglich des Ausmaßes des Irrelevant Sound Effect existieren somit reliable, interindividuelle Unterschiede. Da Leistungsunterschiede in einer Vielzahl kognitiver Aufgaben auf eine unterschiedliche Arbeitsgedächtniskapazität der Versuchsteilnehmer zurückgeführt werden konnte (siehe z.B. Daneman & Carpenter, 1980, 1983: Leseverständnis; King & Just, 1991; MacDonald, Just, & Carpenter, 1992: Sprachverständnis; Ormrod & Cochran, 1988: Rechtschreibung; Engle, Carullo, & Collins, 1991: Richtungen folgen; Kyllonen & Christal, 1990: logisches Schlussfolgern, zit. nach Engle, Kane, & Tuholski, 1999), wurde in Folge der Zusammenhang zwischen der Beeinträchtigung durch Hintergrundscharl und der Arbeitsgedächtniskapazität untersucht. In mehreren Studien konnten aber keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt werden (Beaman, 2004; Ellermeier & Zimmer, 1997; Neath et al., 2003; Sörqvist, 2010). Da die Arbeitsgedächtniskapazität auch als Maß der Aufmerksamkeitskontrolle betrachtet wird, ist somit auch fraglich, ob die interindividuellen Unterschiede beim Irrelevant Sound Effect grundlegende Differenzen bezüglich der Aufmerksamkeitskontrolle reflektieren (Beaman, 2005b). In den späteren Abschnitten (z.B. bei der Einordnung des Irrelevant Sound Effect als Arbeitsgedächtnisphänomen, wie auch bei den verschiedenen Arbeitsgedächtnismodellen) soll daher auch immer wieder auf die Rolle der Aufmerksamkeit eingegangen werden.

Nun zum Irrelevant Sound Effect bei Kindern. Während der Irrelevant Sound Effect bei Erwachsenen, wie in den vorangegangenen Abschnitten erläutert, trotz nach wie vor offener Fragen bereits recht gut erforscht ist, sind Entwicklungsaspekte bislang kaum untersucht worden – und wenn, dann beschränkte man sich meist auf den Vergleich Jugendlicher mit Erwachsenen bzw. den Vergleich Erwachsener unterschiedlichen Alters. Dabei konnten aber weder bei sprachlichen, noch bei nicht-sprachlichen Hintergrundscharllen Alterseffekte nachgewiesen werden (Beaman, 2005b; Bell & Buchner, 2007; Belleville, Rouleau, van der Linden, & Collette, 2003; Boman, Enmarker, & Hygge, 2005; Enmarker, 2004; Rouleau & Belleville, 1996; van Gerven, Meijer, Vermeeren, Vuurman, & Jolles, 2007; Gegenevidenz: Bell et al., 2008).

Große Erkenntnislücken sind aber im Bereich des Irrelevant Sound Effect bei Kindern zu konstatieren: Zunächst ist der Irrelevant Sound Effect bei Kindern kaum erforscht – es gibt nur wenige Studien in diesem Bereich (Elliott, 2002; Elliott, Bhagat, & Lynn, 2007; Elliott & Briganti, 2012; Elliott & Cowan, 2005; Klatter et al., 2007, 2010b) und meines Wissens lediglich drei mit einem Vergleich zwischen Kindern und Erwachsenen (Elliott, 2002; Elliott & Briganti, 2012; Klatter et al., 2010b). Als gesichert gilt bislang nur, dass auch Kinder dem Irrelevant Sound Effect unterliegen. Darüber hinaus sind die Befunde widersprüchlich: So konnte Elliott (2002) einen ausgeprägten Alterseffekt beim Ausmaß der

Leistungsbeeinträchtigung durch Hintergrundsprechen und Tonfolgen auf das serielle Behalten visuell präsentierter Items nachweisen: Jüngere Kinder (Zweitklässler) wurden dabei durch die Geräusche stärker beeinträchtigt als ältere Kinder (Dritt- bis Sechstklässler), diese wiederum stärker als Erwachsene. Die absolute Leistungsver schlechterung durch das Hintergrundsprechen betrug 39% bei den Zweitklässlern und nur 11% bei den Erwachsenen. Ein ähnliches Befundmuster wird auch bei Elliott und Briganti (2012) berichtet: Zweit- und Drittklässler verschlechterten sich absolut um ca. 30%, Erwachsene hingegen nur um ca. 18%. An dieser Studie ist jedoch kritisch anzumerken, dass zwischen den Altersgruppen keine vergleichbare Aufgabenschwierigkeit vorlag – berechnet man die prozentuale Verschlechterung anteilig, normiert an der jeweiligen Ruheleistung, verschlechtern sich beide Altersgruppen unter Lärm gleichermaßen um jeweils ca. ein Drittel. Das Vorliegen eines Alterseffekts in der genannten Studie erscheint somit fragwürdig. Eindeutiger sind hingegen die Befunde von Klatté und Kollegen (2010b), die bei Erstklässlern zwar einen Irrelevant Sound Effect beim seriellen Erinnern feststellen konnten, das Befundmuster jedoch klar gegen Alterseffekte im Vergleich mit Erwachsenen spricht: So lag die absolute Verschlechterung bei Erstklässlern bei 10%, die der Erwachsenen bei 6% – bei vergleichbarer Aufgabenschwierigkeit.

Doch nicht nur bezüglich des Ausmaßes des Irrelevant Sound Effect bei Kindern, sondern auch hinsichtlich der qualitativen Beschaffenheit des Phänomens herrscht Unklarheit. So steht bei Kindern eine umfängliche Prüfung schall- und aufgabenspezifischer Einflussfaktoren noch aus. Es ist daher fraglich, ob bei Kindern die akustische Variabilität des Hintergrundschalls die wesentliche Bestimmungsgröße für das Ausmaß des Irrelevant Sound Effect darstellt oder ob andere Schallparameter entscheidend sind. Studien mit Kindern konnten zwar bereits zeigen, dass die Leistungsminderung bei repetitiv präsentierten Wörtern oder Tönen signifikant geringer ist als bei wechselnden (Elliott, 2002) – ein klarer Nachweis des Changing-State Effect wurde bislang aber noch nicht erbracht. Interessant ist in diesem Zusammenhang aber, dass jüngere Kinder ersten Untersuchungen zufolge umfänglicher durch Hintergrundschall beeinträchtigt zu werden scheinen: So vermögen Klassenzimmergeräusche (ohne Sprachanteile) bei Erstklässlern einen Irrelevant Sound Effect hervorzurufen, bei älteren Kindern und Erwachsenen hingegen nicht (Klatté et al., 2010b). Darüber hinaus ist denkbar, dass Parameter wie Lautstärke oder semantischer Gehalt die Störwirkung moderieren, da die Aufmerksamkeitsfokussierung auf die Aufgabe schwerer fällt, wenn im Hintergrund in lauter oder semantisch bedeutsamer Sprache gesprochen wird.

Eine weitere Besonderheit des Irrelevant Sound Effect bei Kindern zeigt sich bei Variation der Aufgabenstellung. Während sich der Effekt bei Erwachsenen bislang nur bei der seriellen Wiedergabeleistung reliabel nachweisen ließ (siehe Abschnitt 2.1.2.2), zeigen Kinder auch bei anderen Aufgaben zum phonologischen Arbeitsgedächtnis signifikante und teilweise dramatische Leistungsbeeinträchtigungen durch Hintergrundgeräusche geringer bis mittlerer Pegel. In einer Studie von Klatté und Koautoren (2007) wurden Aufgaben eingesetzt, die wesentliche phonologische Vorläuferfertigkeiten des Laut- und Schriftspracherwerbs erfassen, nämlich das kurzzeitige Behalten von unbekanntem phonologischen Wortformen (*Pseudowörter merken*, siehe Gathercole, 2006) und das Kategorisieren von vorgesprochenen Wörtern nach An- und Endlauten (*Odd-One-Out-Aufgabe*, siehe Bradley & Bryant, 1983). Die Leistungen von Erst- und Zweitklässlern wurden durch ein für die Kinder unverständliches, bei moderatem Pegel präsentiertes Hintergrundsprechen im Mittel um 20%

(Pseudowörter merken) bzw. 25% (Odd-One-Out-Aufgabe) verschlechtert – obwohl die präsentierten Sprachsignale auch im Hintergrundgeräusch mühelos und fehlerfrei identifiziert werden konnten. Altersvergleichende Studien mit derartigen Aufgaben liegen allerdings noch nicht vor. Zur Klärung dieser Fragen sind weitere Untersuchungen notwendig.

1.2.4 Zusammenfassung der Befunde zum Irrelevant Sound Effect

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der *Irrelevant Sound Effect* das robuste und reliable Phänomen einer verminderten Wiedergabeleistung für Folgen sprachlicher Items durch irrelevante Hintergrundschalle beschreibt. Die gängige Operationalisierung dieses Gedächtnisphänomens stellt die *serielle Behaltensaufgabe* dar. Hier zeigt sich, dass die Reproduktionsleistung der Teilnehmer durch die Präsentation sowohl sprachlicher als auch nicht-sprachlicher irrelevanter Hintergrundschalle im Vergleich zu Ruhe signifikant beeinträchtigt wird – obgleich dabei große interindividuelle Unterschiede zu verzeichnen sind (Ellermeier & Zimmer, 1997). Durch zahlreiche Studien mit Erwachsenen konnten schallspezifische und aufgabenspezifische Charakteristika bestimmt werden, die für Zustandekommen und Ausmaß des Irrelevant Sound Effect entscheidend sind:

Die *Lautstärke* der irrelevanten Hintergrundgeräusche hat keinen Einfluss auf den Irrelevant Sound Effect, das Phänomen zeigt sich stabil über einen Pegelbereich von 40 bis 85 dB(A) (Colle, 1980; Ellermeier & Hellbrück, 1998; Salamé & Baddeley, 1987). Bezüglich der *Sprachhaltigkeit* des Hintergrundschalls belegen zahlreiche Untersuchungen die Generalisierbarkeit des Irrelevant Sound Effect auf nicht-sprachliche Schalle wie Tonfolgen (Divin et al., 2001; Hadlington et al., 2004; Jones et al., 1999; Jones & Macken, 1993; Klatte et al., 1995; LeCompte et al., 1997), unterbrochene Glissandi (Jones et al., 1993), Musik (Ellermeier & Hellbrück, 1998; Klatte et al., 1995; Morris et al., 1989; Nittono, 1997; Schlittmeier et al., 2008b) und auf bestimmte Rauschsignale mit hinreichend veränderlicher Klangcharakteristik (Klatte et al., 1995; Tremblay et al., 2001). Die Sprachhaltigkeit allein stellt somit kein notwendiges Kriterium für das Zustandekommen des Effekts dar, das Ausmaß der Störung bei sprachhaltigen Hintergrundgeräuschen ist aber in der Regel ausgeprägter (Buchner et al., 2008; Hall & Gathercole, 2011; Klatte et al., 1995; LeCompte et al., 1997; Little, Martin, & Thomson, 2010; Salamé & Baddeley, 1989; Tremblay et al., 2000). Unklar ist aber nach wie vor, ob die phonologische Ähnlichkeit zwischen den zu memorierenden Items und dem irrelevanten Hintergrundschall (*Between-Stream Phonological Similarity*) das Ausmaß des Irrelevant Sound Effect moderiert oder nicht. Auch hinsichtlich der Rolle der *Bedeutungshaltigkeit* des Hintergrundschalls ergibt sich kein eindeutiges Bild. Zahlreiche Studien belegen, dass zwischen der Störwirkung durch für die Teilnehmer verständliche bzw. unverständliche Hintergrundsprache kein signifikanter Unterschied besteht (Colle & Welsh, 1976; Jones et al., 1990; Klatte et al., 1995; LeCompte & Shaibe, 1997; Salamé & Baddeley, 1982; Surprenant, 2007). Jedoch konnte in mehreren Untersuchungen eine stärkere Störwirkung von bedeutungshaltigem Schall nachgewiesen werden (Buchner & Erdfelder, 2005; Buchner et al., 2004, 2006; LeCompte et al., 1997). Die wesentliche Bestimmungsgröße für das Ausmaß der Störwirkung des Hintergrundschalls scheint aber die *akustische Variabilität* eines Schalls darzustellen: Schalle, die markante Zustandsänderungen, also große temporal-spektrale Schwankungen aufweisen, wie etwa Sprache oder Musik mit ausgeprägten Stakkato-Passagen,

besitzen das größte Störpotential (Jones & Macken, 1995b; Klatte et al., 1995) – der Irrelevant Sound Effect ist somit klar abhängig von der Variation der Schallstruktur über eine bestimmte Zeit hinweg. Bezüglich der *aufgabenspezifischen Charakteristika* ergibt sich folgendes Bild: Zunächst tritt der Irrelevant Sound Effect unabhängig von der *Darbietungsmodalität* auf. Zwar werden auditive Items häufig besser memoriert als visuelle (*modality effect*), das Ausmaß der Beeinträchtigung durch irrelevante Hintergrundschalle differiert aber in der Regel nicht zwischen den Modalitäten (Campbell et al., 2002; Jones et al., 2004; Klatte et al., 2002; LeCompte, 1996; Nicholls & Jones, 2002; Schlittmeier, 2005; Schlittmeier et al., 2008b). Darüber hinaus zeigt sich der Irrelevant Sound Effect unabhängig von der Beschaffenheit der Stimuli: Das Phänomen kann mit Buchstaben, Wörtern, Ziffern oder bildlich dargestellten Nomen nachgewiesen werden (Klatte et al., 2010b). Nach wie vor intensiven Diskurs gibt es hingegen darüber, ob der *serielle Charakter einer Aufgabe* ein notwendiges bzw. hinreichendes Kriterium für das Zustandekommen des Irrelevant Sound Effect darstellt. Es gibt Studien, die klar für die Bedeutung der Serialität sprechen (Beaman & Jones, 1997; Jones & Macken, 1993; Knez & Hygge, 2002; Richardson, 1984; Salamé & Baddeley, 1990), aber auch solche, die auf die Generalisierbarkeit auf andere Aufgabentypen (Beaman & Jones, 1998; LeCompte, 1996; Neely & LeCompte, 1999), auch höherer Komplexität hindeuten (Banbury & Berry, 1998; Bell et al., 2008; Buchner et al., 1998; Enmarker, 2004; Hygge et al., 2003; Perham & Banbury, 2012; Schlittmeier et al., 2008c). Strittig ist jedoch, ob der leistungsmindernde Einfluss v.a. bei letzteren Aufgabentypen auf dieselben Mechanismen zurückzuführen ist, wie bei der klassischen, seriellen Behaltensaufgabe (Röer, 2011).

Die geschilderten Erkenntnisse beziehen sich aber allesamt auf Erwachsene – bei Kindern ist bislang nur gesichert, dass auch sie dem Irrelevant Sound Effect unterliegen (Elliott, 2002; Elliott & Briganti, 2012; Elliott & Cowan, 2005; Klatte et al., 2007, 2010b). Ob das Phänomen bei Kindern durch dieselben schall- und aufgabenspezifischen Parameter moderiert wird, oder ob andere Einflussfaktoren das Ausmaß der Störung prägen, ist bislang aufgrund mangelnder Untersuchungen in diesem Bereich unklar. Ungeklärt ist bis dato auch, ob Kinder störanfälliger gegenüber Hintergrundschall sind als Erwachsene – die Befundlage hierzu ist widersprüchlich: Es gibt Studien, die auf einen ausgeprägten Alterseffekt hindeuten (Elliott, 2002) und andere, die eben dies negieren (Klatte et al., 2010b). Darüber hinaus gibt es aber bereits eine Studie, die auf Besonderheiten beim Irrelevant Sound Effect bei Kindern hinweist (Klatte et al., 2007): Kinder scheinen nicht nur bei seriellen Behaltensaufgaben, sondern auch bei anderen Aufgabentypen zum phonologischen Arbeitsgedächtnis (Pseudowörter merken, Odd-One-Out-Aufgabe) signifikant durch Hintergrundlärm beeinträchtigt zu werden – ein Ergebnis, das bei Erwachsenen nach wie vor heftig diskutiert wird.

2. Erklärung des Irrelevant Sound Effect anhand von Arbeitsgedächtnismodellen

2.1 Einordnung des Irrelevant Sound Effect als Gedächtnisphänomen

Nachdem in den letzten Abschnitten der aktuelle Kenntnisstand zum Irrelevant Sound Effect bei Erwachsenen und Kindern beschrieben wurde, sollen nun die Ursachen für das Zustandekommen des Phänomens geklärt werden. Da es auch in diesem Bereich kaum Forschung mit Kindern gibt, wird im Folgenden der durch Erwachsenenstudien erarbeitete Kenntnisstand vorgestellt. Ob dieser auf Kinder übertragbar ist, ist bislang ungeklärt.

Die Ursache des Irrelevant Sound Effect wird heute übereinstimmend im Arbeitsgedächtnis selbst lokalisiert, welches „die Gesamtheit der Prozesse und Strukturen umfasst, die an der Kontrolle, Regulierung und aktiven Aufrechterhaltung von aufgabenrelevanten Informationen beteiligt sind“ (Miyake & Shah, 1999, zitiert nach Röer, 2011). In dieser kognitiven Funktionseinheit werden Interferenzen zwischen dem durch den Hintergrundschaall vermittelten irrelevanten Material und den im Gedächtnis zu behaltenden Informationen angenommen (Liebl, 2006). Alternative Erklärungsansätze, die Minderung der Arbeitsgedächtnisleistung trete nur als Sekundärsymptom vermittelt durch Beeinträchtigungen der Wahrnehmung, einer gestörten Encodierung, vermehrter Höranstrengung oder eines erhöhten Erregungsniveaus auf, erwiesen sich – wie im Folgenden dargestellt – als unzulänglich, obgleich das Phänomen bei auditiver Präsentation natürlich Besonderheiten aufweist, da irrelevante und relevante Informationen über dieselbe Modalität aufgenommen werden. Großen Diskurs gibt es aber bezüglich der Beteiligung von Aufmerksamkeitsprozessen beim Irrelevant Sound Effect.

(i) Wahrnehmung. Da nicht anzunehmen ist, dass die *Wahrnehmung* visuell präsentierter Items durch irrelevanten Hintergrundschaall moderaten Pegels gestört wird (Schlittmeier, 2005), ist dieser Aspekt als Ursache für den Irrelevant Sound Effect bei visuellen Items auszuschließen. Bei auditiven Items hingegen können Wahrnehmungsbeeinträchtigungen natürlich eine schlechtere Behaltensleistung verursachen, z.B. wenn die Items im Störgeräusch schlichtweg nicht mehr verstanden werden können. So weist Surprenant (1999) auf einen Beitrag *partieller Maskierung* hin. Da aber Leistungsbeeinträchtigungen selbst dann auftreten, wenn das Verstehen der einzelnen Wörter und Laute noch fehlerfrei gelingt (Heinrich, Schneider, & Craik, 2008; Kjellberg, Ljung, & Hallman, 2008; Murphy, Craik, Li, & Schmid, 2000; Surprenant, 1999), kann eine ursächliche Rolle der Wahrnehmung beim Irrelevant Sound Effect ausgeschlossen werden.

(ii) Encodierung. Weiterhin ist auszuschließen, dass der Irrelevant Sound Effect auf eine *gestörte Encodierung* der zu memorierenden Items zurückzuführen ist: Während der Retentionsphase eingespielter Hintergrundschaall entfaltet dieselbe leistungsmindernde Wirkung wie während der Darbietung der zu memorierenden Items eingespielter Hintergrundschaall – die Präsentation während der Abrufphase bewirkt hingegen keine Leistungsverschlechterung (Macken, Mosdell, & Jones, 1999; Miles et al., 1991; Norris, Baddeley, & Page, 2004; Schlittmeier, 2005; Schlittmeier et al., 2008b). Dies

belegt, dass die Beeinträchtigung in erster Linie die kurzfristige Aufrechterhaltung der Items betrifft und nicht die im Retentionsintervall bereits abgeschlossene Encodierung (Röer, 2011).

(iii) Höranstrengung. Bei einer durch Hintergrundschall verursachten verminderten Behaltensleistung auditiver Items wird häufig auf *vermehrte Höranstrengung (listening effort)*, z.B. Downs, 1982) beim Erkennen des Materials rekuriert (Heinrich et al., 2008; Kjellberg et al., 2008; McCoy et al., 2005; Rabbitt, 1991; Surprenant, 1999): Der erhöhte Aufwand der Informationsaufnahme könnte zu Lasten der Ressourcen stattfinden, die für das Behalten und Verarbeiten der gehörten Information zur Verfügung stehen (Klatte & Lachmann, 2009). Allerdings ist so nicht erklärbar, warum sich das Phänomen zwar bei Changing-State-Schallen zeigt, bei Steady-State-Schallen vergleichbarer Lautstärke jedoch ausbleibt (Schlittmeier et al., 2008b, 2011). Außerdem kann auch hier das Argument angeführt werden, dass die Schallpräsentation während der Itemdarbietung einen vergleichbaren Effekt erzielt wie die Schallpräsentation während der Retentionsphase (Schlittmeier, 2005; Schlittmeier et al., 2008b), was klar gegen eine ursächliche Rolle der Höranstrengung spricht.

(iv) Erregungsniveau. Ferner ist der Irrelevant Sound Effect nicht auf eine Erhöhung des Erregungsniveaus (Arousal) zurückzuführen, da in diesem Fall gemäß Yerkes und Dodson (1908) ein umgekehrt U-förmiger Zusammenhang zwischen dem Schalldruckpegel des irrelevanten Hintergrundschalls und der Behaltensleistung zu erwarten wäre (zit. nach Liebl, 2006; Schlittmeier, 2006). Studien zeigen aber ein anderes Bild: Einerseits hat sich der Irrelevant Sound Effect in einem Intensitätsbereich von 40 dB(A) bis 85 dB(A) als lautstärkenunabhängig erwiesen (Colle, 1980; Ellermeier & Hellbrück, 1998; Salamé & Baddeley, 1987) und andererseits konnte gezeigt werden, dass auch sehr laute Geräusche nicht zwingend eine leistungsmindernde Wirkung haben (z.B. 90 dB(A) lautes Breitbandrauschen führt zu keiner Leistungsbeeinträchtigung; Salamé & Baddeley, 1983).

Wahrnehmungsdefizite, eine gestörte Encodierung, Höranstrengung oder ein erhöhtes Erregungsniveau können somit bei Erwachsenen klar als Ursachen für den Irrelevant Sound Effect ausgeschlossen und der Effekt demzufolge als Arbeitsgedächtnisphänomen verstanden werden. Umstritten ist jedoch, ob eine (zusätzliche) Beteiligung von Aufmerksamkeitsprozessen beim Zustandekommen des Irrelevant Sound Effect angenommen werden kann oder nicht.

(v) Aufmerksamkeitsprozesse. Broadbent (1979) und Cowan (1995) schlugen vor, die leistungsmindernde Wirkung des Hintergrundschalls über eine Orientierungsreaktion und der damit verbundenen Aufmerksamkeitsdistraktion zu erklären. Seitdem wird die Rolle der Aufmerksamkeit beim Zustandekommen des Irrelevant Sound Effect kontrovers diskutiert. Im Folgenden wird ein Überblick der verschiedenen Argumentationslinien gegeben. Gegen eine ursächliche Beteiligung von Aufmerksamkeitsprozessen spricht zunächst, dass es unerheblich ist, ob der Hintergrundschallpegel block- oder trialweise variiert wird (Colle, 1980; Ellermeier & Hellbrück, 1998; Tremblay & Jones, 1999) – die stärkere Störwirkung variabler Schalle gegenüber kontinuierlichen Schallen bleibt erhalten (Jones, Macken, & Mosdell, 1997; Tremblay & Jones, 1998). Wäre der Irrelevant Sound Effect Folge einer Orientierungsreaktion, dann sollten bei trialweiser Variation alle Schalle – unabhängig von ihrer temporal-spektralen Struktur – zu einer Leistungsminderung führen (Sokolov, 1963, zitiert nach Schlittmeier, 2005). Darüber hinaus bleibt unklar, warum die Leistung in der seriellen

Behaltensaufgabe durch temporal-spektral variierende Schalle beeinträchtigt wird – andere, aufmerksamkeitsfordernde Aufgaben, wie z.B. die Stroop-Aufgabe, hingegen nicht (Miles & Jones, 1989; Miles, Madden, & Jones, 1989; Thackray & Jones, 1971; Thackray, Jones, & Touchstone, 1972; Gegenevidenz: Cowan & Barron, 1987; Elliott, Cowan, & Valle-Inclan, 1998).

Nicht mit Aufmerksamkeitsprozessen erklärbar sind zudem die mit dem Irrelevant Sound Effect einhergehenden Phänomene des *Token Dose Effect* (Bridges & Jones, 1996; Campbell et al., 2002; Macken, Tremblay, Houghton, Nicholls, & Jones, 2003; Tremblay & Jones, 1998) und des *Token Set Size Effect* (Campbell et al., 2002; Tremblay & Jones, 1998), welche die Abhängigkeit des Störpotentials eines Schalls von der absoluten Anzahl der pro Zeiteinheit artikulierten Items (Präsentationsrate) bzw. von der Menge der darin enthaltenen unterschiedlichen Items (Setgröße) beschreiben. Da Orientierungsreaktionen umso unwahrscheinlicher werden, je häufiger ein Stimulus präsentiert wird, sollte die Leistung bei hoher Präsentationsrate – entgegen des *Token Dose Effect* – besser (oder zumindest nicht schlechter) werden. Dieser Logik folgend sollte die Leistung auch mit abnehmender Setgröße des irrelevanten Hintergrundschalls zunehmen, da bei einer geringeren Anzahl irrelevanter Items diese häufiger wiederholt werden. Jedoch ist dies nicht der Fall: Gemäß dem *Token Set Size Effect* ist der Irrelevant Sound Effect bei nur 2 irrelevanten Items (z.B. ABABAB...) ähnlich stark ausgeprägt wie z.B. bei z.B. 5 irrelevanten Items (z.B. ABCDEABCDE...) (Hughes & Jones, 2001; Tremblay & Jones, 1998; konträr aber: Campbell, Winkler, Kujala, & Näätänen, 2003). Weiterhin müssten, wenn der Irrelevant Sound Effect auf Aufmerksamkeitsdistraktion zurückzuführen wäre, unvorhersehbare Distraktoren eine stärkere Leistungsminderung hervorrufen als zu erwartende Distraktoren. Einige Studien belegen jedoch die Unabhängigkeit des Irrelevant Sound Effect von der Vorhersagbarkeit der irrelevanten Stimuli (Jones et al., 1992; Jones, Saint-Aubin, & Tremblay, 1999; Tremblay & Jones, 1998; Gegenevidenz: Röer, 2011).

Das aber wohl schlagkräftigste Argument gegen aufmerksamkeitsbasierte Erklärungsansätze war das lange Zeit als Faktum geltende Resultat, dass keine *Habituation* an Hintergrundschall möglich sei. Schließlich konnte eine Verminderung des Irrelevant Sound Effect weder im Verlauf des Experiments (Hellbrück, Kuwano, & Namba, 1996; Jones et al., 1997; Röer, Bell, Dentale, & Buchner, 2011; Tremblay & Jones, 1998), noch durch eine wiederholte Darbietung der Schalle im Abstand mehrerer Wochen verzeichnet werden (Stabilitätskoeffizient nach Cureton, 1971: $r_{tt} \approx .82$; Ellermeier & Zimmer, 1997, siehe auch Hellbrück et al., 1996). Widersprüchliche Befunde sind jedoch bei einer der Aufgabenbearbeitung vorangestellten Gewöhnungsphase zu verzeichnen: Während Jones und Kollegen (1997) keine Habituation beobachten konnten, trat der Irrelevant Sound Effect bei anderen in reduzierter Form auf (Morris & Jones, 1990a) oder verschwand sogar vollständig (Banbury & Berry, 1997; Bell, Röer, Dentale, & Buchner, 2012). Für eine mögliche Habituation spricht auch das Ergebnis von Röer und Kollegen (2011), dass bei plötzlicher Veränderung des Distraktors ein kurzfristig stärkerer Irrelevant Sound Effect zu beobachten ist oder Studien, die zeigen, dass bei Aufgaben, die über bloßes serielles Erinnern hinausgehen, Habituation festzustellen ist (Banbury & Berry, 1997; Elliott & Cowan, 2001; Shelton, Elliott, Eaves, & Exner, 2009; zit. nach Röer et al., 2011).

Doch in der Literatur sind noch weitere Befunde zu verzeichnen, die auf eine Beteiligung von Aufmerksamkeitsprozessen hindeuten. In diesem Zusammenhang sind zunächst Studien zu nennen,

in welchen *Frequenzeffekte* in zweierlei Hinsicht zu beobachten sind: Einerseits werden hochfrequente Zielitems besser memoriert als niederfrequente (Buchner & Erdfelder, 2005; Diana & Reder, 2006; Hulme et al., 1997; Watkins, 1977). Dies ist nur durch eine Beteiligung der Aufmerksamkeit erklärbar, da kein anderer Mechanismus zwischen hoch- und niederfrequenten Wörtern trennen könnte (Elliott & Briganti, 2012). Andererseits berichten Buchner und Erdfelder (2005), dass niederfrequente Distraktoren einen signifikant stärkeren Irrelevant Sound Effect als hochfrequente Distraktoren provozieren (Buchner & Erdfelder, 2005). Elliott und Briganti (2012) hingegen konnten dieses Befundmuster nicht replizieren – bei ihnen ist das Ausmaß des Irrelevant Sound Effect unabhängig von der Distraktorfrequenz. Eine andere Möglichkeit zur Exploration möglicher Aufmerksamkeitsbeteiligung stellt die Manipulation der *Valenz der Distraktoren* dar: In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass positiv- wie auch negativ-valente Distraktoren zu einer signifikant stärkeren Reduktion der seriellen Wiedergabeleistung führen als neutraler Hintergrundschall; negativ-valente Distraktoren beeinträchtigen dabei aber mehr als positiv-valente (Buchner et al., 2004, 2006).

Darüber hinaus konnte mithilfe elektrophysiologischer Methoden nachgewiesen werden, dass die Präsentation von Hintergrundschall ereigniskorrelierte Potentiale evoziert, welche mit Aufmerksamkeitsprozessen in Zusammenhang gebracht werden. So provozieren Changing-State-Schalle eine größere N1 bzw. eine ausgeprägtere P3a-Amplitude als Steady-State-Schalle (Bell, Dentale, Buchner, & Mayr, 2010a; Campbell, Winkler, & Kujala, 2007; Campbell et al., 2003; Valtonen, May, Mäkinen, & Tiitinen, 2003; siehe auch Weisz & Schlittmeier, 2006) – ersteres wird als „call for attention“ (Schröger & Wolff, 1998), letzteres als Ausdruck einer unwillkürlichen Aufmerksamkeitszuwendung verstanden (Berti & Schröger, 2003; Friedman, Cycowicz, & Gaeta, 2001; Polich, 2007), welche in der Regel mit höheren Fehlerraten und längeren Reaktionszeiten in der Primäraufgabe einhergeht (Escera, Alho, Winkler, & Näätänen, 1998; Escera, Yago, & Alho, 2001; Schröger & Wolff, 1998).

Würde Aufmerksamkeitsablenkung aber die zentrale Komponente bei der Entstehung des Irrelevant Sound Effect darstellen (so wie beispielsweise von Cowan (1995) vorgeschlagen), wäre zu erwarten, dass Personen mit besseren Aufmerksamkeitsleistungen einen geringeren Irrelevant Sound Effect zeigen, da sie besser mit Interferenzen umgehen können (Elliott & Cowan, 2005) – eben dieser Nachweis konnte bislang aber nicht robust erbracht werden, ebenso wie der Nachweis signifikanter Zusammenhänge zur Arbeitsgedächtniskapazität, welche nach Daneman und Carpenter (1980) bzw. nach Kane und Engle (2003) mit inhibitorischen Fähigkeiten einhergeht (siehe Abschnitt 1.2.3). Zusammenfassend bleibt somit festzuhalten, dass der Irrelevant Sound Effect sicher kein reines Aufmerksamkeitsphänomen darstellt, aber möglicherweise durch Aufmerksamkeitsprozesse moderiert wird.

Obwohl Einigkeit herrscht, den Irrelevant Sound Effect als Arbeitsgedächtnisphänomen einzuordnen, gibt es (wie eben dargestellt) eine intensive Auseinandersetzung darüber, ob Aufmerksamkeitsprozessen eine (Mit-)Ursache bei der Entstehung des Irrelevant Sound Effect eingeräumt wird oder nicht. Dieser wissenschaftliche Diskurs ist jedoch nicht auf die Ebene des Phänomens begrenzt, sondern setzt sich auf Modellebene fort, wo er sich in den unterschiedlichen

Auffassungen über Aufbau und Funktionsweise des Arbeitsgedächtnisses widerspiegelt: Es gibt einerseits Modelle, die den Irrelevant Sound Effect auf automatische Interferenz zurückführen und somit keine Beteiligung von Aufmerksamkeitsprozessen annehmen und andererseits Modelle in welchen der Effekt eben als Folge einer Aufmerksamkeitsablenkung konzeptualisiert wird. Darüber hinaus gibt es Ansätze, die beide Ideen integrieren. Nachfolgend sollen die im Zusammenhang mit dem Irrelevant Sound Effect am häufigsten diskutierten Modelle vorgestellt werden, welche jeweils unterschiedliche Erklärungsansätze für das Zustandekommen des Phänomens liefern. Dabei handelt es sich um das *Working Memory Model* (Baddeley, 1986), das *Object-Oriented Episodic Record Model* (Jones, 1993) das *Embedded Processes Model* (Cowan, 1988, 1999) und das *Feature Model* (Nairne, 1988; Neath & Nairne, 1995).

Bei der Darstellung der Modelle wird jeweils zunächst auf die Konzeption des Arbeitsgedächtnisses und dessen modelltheoretische Architektur eingegangen. Anschließend wird der Irrelevant Sound Effect im Rahmen des Modells erklärt. Dabei gilt es zu beachten, dass alle Modelle auf Erkenntnissen aus Erwachsenenstudien fußen. Inwieweit die Modelle auf Kinder übertragbar sind und wie deren Irrelevant Sound Effect möglicherweise erklärt werden kann, wird jeweils in separaten Abschnitten behandelt.

2.2 *Working Memory Model*

2.2.1 *Beschreibung des Modells*

Eines der wohl prominentesten und insbesondere in der pädagogischen Psychologie dominierenden Arbeitsgedächtnismodelle ist das *Working Memory Model*, das in erster Fassung bereits zu Beginn der 70er Jahre vorgestellt wurde (Baddeley & Hitch, 1974). Namengebend war dabei der Begriff „*working memory*“ (Arbeitsgedächtnis), der ursprünglich von Miller, Galanter und Pribram (1960) stammt, der aber weniger eine spezifische Struktur als vielmehr den schnellen Zugriff auf relevante Informationen beschreiben sollte. Die Kognitionspsychologie übernahm die Bezeichnung dann, um das System, oder die Systeme zu beschreiben, die an der temporären Aufrechterhaltung und Verarbeitung von Informationen beteiligt sind (Baddeley, 2002). Baddeley und Hitch (1974) verwendeten den Begriff schließlich, um ein aus verschiedenen, funktionalen Komponenten bestehendes, multimodales, kapazitätsbegrenztes System darzustellen, das es dem Menschen erlaubt, seine Umwelt zu begreifen und mental abzubilden, Informationen über seine unmittelbare Vergangenheit aufrechtzuerhalten, neues Wissen zu erwerben, Probleme zu lösen sowie zielorientiert zu handeln (Baddeley & Logie, 1999). Dazu postuliert das Modell eine Steuerungs- und Kontrolleinheit, die *zentrale Exekutive* (*Central Executive*), und drei Hilffsysteme: die *phonologischen Schleife* (*Phonological Loop*), den *visuell-räumlichen Notizblock* (*Visuospatial Sketchpad*) und den *episodischen Speicher* (*Episodic Buffer*). Letzterer war in der ursprünglichen Version des Modells nicht enthalten und wurde erst später hinzugefügt (Baddeley, 2000a, 2002). Abb. 1 veranschaulicht die Komponenten und deren wechselseitige Beziehung sowie die Funktionsweise des *Working Memory Model*. Im Folgenden werden zunächst die vier Hauptkomponenten des Modells näher erläutert, anschließend wird der Irrelevant Sound Effect im Rahmen des Modells erklärt.

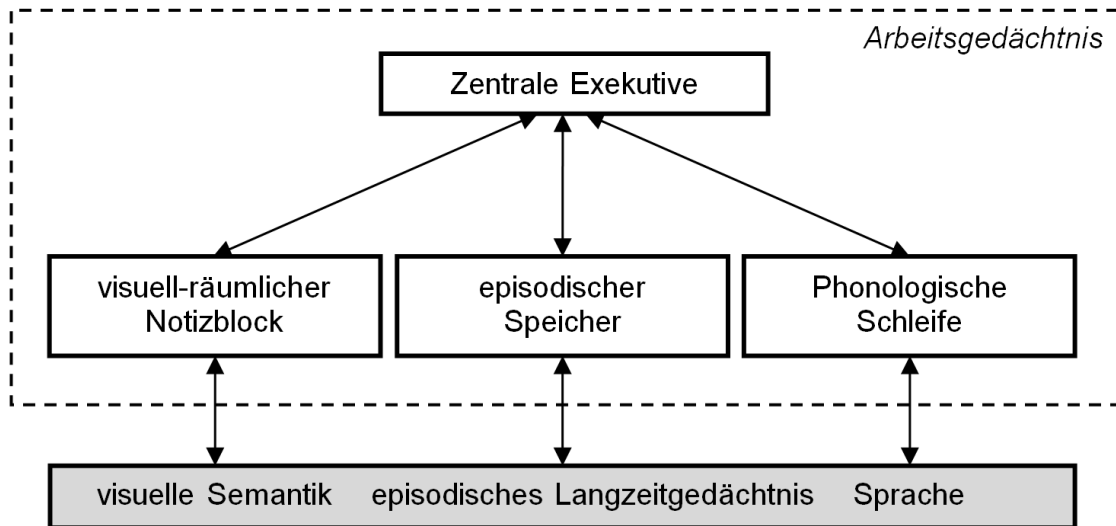


Abb. 1 Darstellung des Arbeitsgedächtnisses als Mehrkomponentensystem gemäß dem Working Memory Model (adaptiert nach Baddeley, 2000, S. 421; Schlittmeier, 2006). Transparente Flächen kennzeichnen die Komponenten des Arbeitsgedächtnisses, grau hinterlegte Flächen beschreiben Elemente des Langzeitgedächtnisses.

(i) Phonologische Schleife. Die *phonologische Schleife* stellt die wohl am besten untersuchte Komponente des Modells dar. Sie dient der Speicherung und Verarbeitung von verbal-akustischen Informationen und setzt sich aus einem passiven *phonologischen Speicher* (*Phonological Store*) und einem *aktiven Rehearsalmechanismus* (*Articulatory Rehearsal*) zusammen. Da der phonologische Speicher als strukturelle Komponente in seiner Kapazität begrenzt ist, können Informationen nur für ca. 2 Sekunden behalten werden (Baddeley, 1996, 2002). Dem Zerfall der enkodierten Informationen wirkt der Rehearsalmechanismus, eine Art „inneres Sprechen“, entgegen, welches auf den gleichen Planungsmechanismen beruht, die auch für reales Sprechen genutzt werden (Baddeley, 2003b, 2012). Gedächtnisinhalte können durch die bewusste Wiederholung (*Rehearsal*) „aufgefrischt“ und erneut in den phonologischen Speicher eingelesen werden (Henry, 2012). Falls sie vor ihrem Zerfall aber nicht erneuert werden, gehen die Informationen verloren. Die Geschwindigkeit des Rehearsalmechanismus ist dabei aber begrenzt und entspricht in etwa der Geschwindigkeit der offenen Artikulation (Baddeley, 1996; Baddeley & Logie, 1999). Die Kapazität der phonologischen Schleife wird somit einerseits durch die Vorhaltezeit von Informationen im phonologischen Speicher und andererseits durch die Geschwindigkeit des Rehearsalmechanismus beschränkt (Liebl, 2006). Das Arbeitsgedächtnis ist demnach als zeitbasiertes System konzipiert – die Gedächtnisspanne wird durch temporale Aspekte festgelegt und nicht durch eine fixe Anzahl von Items beschrieben, wie beispielsweise Miller (1956) annahm.

Darüber hinaus kommt dem Rehearsalmechanismus noch eine weitere, wichtige Aufgabe zu: Er leistet die Übersetzung visuell dargebotener, sprachlich benennbarer Informationen (z.B. gedruckte Wörter oder Buchstaben, Bilder) in einen, dem phonologischen Speicher zugänglichen, verbal-akustischen Code, was die kurzzeitige Speicherung dieser Art von Informationen ermöglicht (Baddeley, 2000a, 2002; Baddeley & Logie, 1999). Im Working Memory Model wird der Irrelevant Sound Effect in der phonologischen Schleife lokalisiert. Wie das Phänomen dabei genau zustande kommt, wird in Abschnitt 2.2.3 ausführlich erläutert.

(ii) räumlich-visueller Notizblock. Das zweite Hilfssystem, der *visuell-räumliche Notizblock*, ist für die temporäre Speicherung und Verarbeitung visuell-räumlicher Reize verantwortlich und gliedert sich – wie sein verbal-akustisches Pendant – ebenfalls in zwei Subsysteme (Baddeley, 1996; Baddeley & Logie, 1999; Logie, 1995): Der passive *visuelle Speicher (Visual Cache)* für Objektmerkmale hält Informationen über Form und Farbe von Bildhaftem aufrecht, wohingegen der aktive *Inner Scribe* Informationen bezüglich des Raumes sowie Bewegungen verarbeitet. Auch der räumlich-visuelle Notizblock ist kapazitätsbegrenzt, typischerweise können 3 bis 4 Objekte gespeichert werden (Baddeley, 2003b). Über die Beschaffenheit des Rehearsalmechanismus, der diese Informationen aufrecht erhält, herrscht jedoch Uneinigkeit (Baddeley & Logie, 1999): Für Logie (1995) stellt die räumliche Komponente des Systems, der Inner Scribe, den Basismechanismus für Rehearsal dar – Baddeley (2002) hingegen geht von einer Beteiligung der zentralen Exekutive aus. Zur Erklärung des Irrelevant Sound Effect trägt der räumlich-visuellen Notizblock jedoch nicht bei, was durch Studien, die bei räumlich-visuellen Aufgaben üblicherweise keine Leistungseinbußen unter Hintergrundlärm zeigen können (Klatte, 1996; Klatte & Hellbrück, 1997; Schmid et al., 2003), legitimiert wird.

(iii) zentrale Exekutive. Die *zentrale Exekutive* stellt die komplexeste und zugleich wohl die am wenigsten verstandene Komponente im Rahmen des Modells dar (Baddeley, 2003b). Im ursprünglichen Modell wurde sie als eine Art „generelle Verarbeitungskapazität“ angesehen, der alle komplexeren Aufgaben, die nicht unmittelbar die Hilfssysteme betrafen, zugeschrieben wurden (Baddeley, 2003b, 2012; Baddeley & Logie, 1999) – sie konnte dabei sowohl Kontroll- als auch ergänzende Speicheraufgaben übernehmen (Baddeley & Logie, 1999). Problematisch dabei war, dass die zentrale Exekutive dabei wie eine Art „Homunkulus“ (Baddeley & Logie, 1999, S. 39) agiert – ein kleines Menschlein, das all die heiklen Entscheidungen in nicht näher definierter Weise löst, was kaum aufklärerischen Wert hat (siehe dazu Baddeley, 1996; Baddeley, Della Sala, & Robbins, 1996). Mittlerweile hat sich die Vorstellung der zentralen Exekutive daher deutlich verändert und ihre Aufgaben wurden genauer spezifiziert: Anders als die Hilfssysteme verfügt sie in aktuellen Modellversionen nicht mehr über Speicherkapazitäten, stattdessen fungiert sie als modalitätsunspezifische Kontroll- und Steuerungseinheit – ihr obliegen die Koordination der Hilfssysteme sowie die Fokussierung, Teilung und Wechsel von Aufmerksamkeit (Baddeley, 1998; Baddeley, Emslie, Kolodny, & Duncan, 1998). Darüber hinaus ist sie in zielgerichtetes Verhalten, Planungs- und Problemlöseprozesse eingebunden und regelt den Zugriff auf Informationen im Langzeitgedächtnis (Baddeley, 1986, 1996, 2002, 2007, 2012; Baddeley & Logie, 1999). Beim Zustandekommen des Irrelevant Sound Effect wird der zentralen Exekutive jedoch ausdrücklich keinerlei Rolle zugeschrieben (Baddeley & Logie, 1999), was auf den zahlreichen Befunden gründet, die zeigen, dass irrelevanter Schall auf die serielle Behaltensleistung nicht im Sinne eines allgemeinen Distraktors wirkt (Schlittmeier, 2005).

(iv) episodischer Speicher. In neueren Versionen des Working Memory Model gibt es mit dem *episodischen Speicher (episodic buffer)* ein weiteres, kapazitätsbegrenzttes Hilfssystem, das imstande ist, Informationen verschiedener Quellen (z.B. der beiden anderen Hilfssysteme oder perzeptive Eindrücke) und Modalitäten in Form eines multimodalen Codes zu integrieren (Baddeley, 2000a,

2002, 2003a; Henry, 2012) und mit Wissen aus dem Langzeitgedächtnis zu verknüpfen. Da Informationen so in ihrem räumlich-zeitlichen Zusammenhang, also in kohärenten, bedeutungshaltigen Episoden, temporär gespeichert werden können, ist das System als „episodisch“ im Sinne Tulvings (1989) anzusehen (zit. nach Baddeley, 2000a). Die Kapazität des episodischen Speichers entspricht dabei in etwa der Anzahl von „Chunks“ (Informationseinheiten) oder Episoden, die gleichzeitig aufrechterhalten werden können (ca. 4 bis 5) (Baddeley, Allen, & Hitch, 2011). Einspeisung und Abruf von Informationen werden durch die zentrale Exekutive mittels bewusster Aufmerksamkeitszuwendung gesteuert (Baddeley et al., 2011) – ein Zusammenwirken, das auch für die Entwicklung neuer Gedächtnisinhalte und für Repräsentationen im episodischen Langzeitgedächtnis wichtig zu sein scheint (Baddeley, 2000a, 2002). Da Aufmerksamkeitsprozessen bei der Entstehung des Irrelevant Sound Effect im Rahmen des Working Memory Model aber keine Bedeutung beigemessen wird, trägt auch der episodische Speicher nicht zur Erklärung des Phänomens bei.

Ein Maß des episodischen Speichers stellen sogenannte Verknüpfungsaufgaben (*binding tasks*) dar, die die Integration und Speicherung von Informationen über einen längeren Zeitraum erfordern. Beispiele hierfür sind das Wiedergeben von Prosa (*story recall*; im Gegensatz zu einzelnen, unverbundenen Wörtern – *serial recall*; Baddeley, Hitch, & Allen, 2009) oder Paarassoziationslernen (*paired recall/recognition*; Shing, Werkle-Bergner, Li, & Lindenberger, 2008). Es gibt aber auch aus dem räumlich-visuellen Bereich Aufgaben. So müssen beispielsweise Bilder wiedererkannt werden, die entweder nur Einzelinformationen oder aber kombinierte Informationen enthalten (Sluzenski, Newcombe, & Kovacs, 2006), Veränderungen der Stimuli (z.B. Wechsel der Farbe) aufweisen (Cowan, Naveh-Benjamin, Kilb, & Saults, 2006) oder bei denen zwei distinkte Eigenschaften in einem Objekt integriert werden (Karlsen, Allen, Baddeley, & Hitch, 2010). Die Leistung, Informationen zu integrieren bzw. kombinierte Informationen zu speichern und Veränderungen zu erkennen, wird dabei als Indikator für den episodischen Speicher interpretiert.

(v) Verbindung zum Langzeitgedächtnis. Das Langzeitgedächtnis stellt zwar keine Komponente des Arbeitsgedächtnisses dar, da es sich aber als wichtiger Mediator erwiesen hat (Hulme, Maughan, & Brown, 1991), soll seine Bedeutung im Rahmen des Working Memory Model dennoch kurz vorgestellt werden. Aufgrund seiner bidirektionalen Verbindung zur phonologischen Schleife (Baddeley, 2000a, 2002, 2012) kann im Langzeitgedächtnis abgespeichertes Wissen die Aufrechterhaltung von Informationen unterstützen (Gathercole, Adams, & Hitch, 1994a; Gathercole, Frankish, Pickering, & Peaker, 1999; Hulme et al., 1997): Gedächtnisspuren, die in der phonologischen Schleife bereits teilweise zerfallen sind, können – falls im Langzeitgedächtnis entsprechende lexikalische, semantische oder phonologische Repräsentationen vorhanden sind – sozusagen „ersetzt“ werden (Gathercole, 1999). Dieser Unterstützungsprozess wird als *Redintegration* bezeichnet (Hulme et al., 1997; Schweickert, 1993) und erklärt, warum der Abruf vertrauter Stimuli (z.B. Wörter anstelle von Pseudowörtern (*Lexikalitätseffekt*, Hulme et al., 1991), hochfrequente statt niederfrequente Wörter (Buchner & Erdfelder, 2005; Diana & Reder, 2006; Hulme et al., 1997; Roodenrys, Hulme, Lethbridge, Hinton, & Nimmo, 2002; Watkins, 1977) oder Wörtern mit vielen vs.

wenigen phonologischen Nachbarn³ (Roodenrys et al., 2002)) leichter fällt, da deren phonologische Repräsentationen umfänglicher und leichter zugänglich im Langzeitgedächtnis gespeichert sind (Henry, 2012).

2.2.2 Das Working Memory Model bei Kindern

2.2.2.1 Übertragbarkeit des Modells auf Kinder

Das Working Memory Model wurde basierend auf Ergebnissen von Erwachsenenstudien konzipiert – die Übertragbarkeit auf Kinder ist daher zunächst in Frage zu stellen. Schließlich ist es denkbar, dass das Working Memory Model ausschließlich das vollentwickelte Arbeitsgedächtnis Erwachsener repräsentiert, welches sich möglicherweise grundlegend vom kindlichen, sich noch in der Entwicklung befindlichen System unterscheidet (Bishop, 1997; Karmiloff-Smith, 1998; Willis & Gathercole, 2001). So könnte beispielsweise das kindliche Arbeitsgedächtnis noch weniger spezialisiert sein, und dessen Ausdifferenzierung in die verschiedenen Komponenten erst im Laufe der Entwicklung erfolgen (Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004; Henry, 2012). Alternativ könnten die Einzelkomponenten des Arbeitsgedächtnisses zwar schon vorhanden, aber in ihrer Kapazität und Effizienz im Vergleich zu Erwachsenen noch eingeschränkt sein (Gathercole & Baddeley, 1993).

Studien zeigen, dass die Hauptkomponenten des *Working Memory Model* der funktionalen Organisation des Arbeitsgedächtnisses normal entwickelter Kinder größtenteils entspricht (Alloway, Gathercole, & Pickering, 2006; Alloway, Gathercole, Willis, & Adams, 2004; Gathercole et al., 2004; Swanson, 2008). Eine einschlägige Studie stammt dabei von Gathercole und Kollegen (2004), die jeweils verschiedene Maße für die phonologische Schleife, den räumlich-visuellen Notizblock und die zentrale Exekutive bei Kindern von 4 bis 15 Jahren erhoben und verglichen haben. Dabei konnte zunächst gezeigt werden, dass sich die Arbeitsgedächtnisleistung der Kinder mit zunehmendem Alter kontinuierlich verbessert (siehe dazu auch: Barrouillet, Gavens, Vergauwe, Gaillard, & Camos, 2009; Bayliss, Jarrold, Baddeley, Gunn, & Leigh, 2005; Swanson, 2008). Eine anschließende konfirmatorische Faktorenanalyse belegt, dass bei Kindern ab ca. 6 Jahren eine Dreifaktorenlösung die Datenstruktur am besten abbildet. Bereits bei Grundschulkindern stellen phonologischer Speicher, räumlich-visueller Notizblock und zentrale Exekutive getrennte Elemente dar (siehe hierzu auch: Gathercole & Pickering, 2000; Pickering, Gathercole, & Peaker, 1998). Weitere Untersuchungen zeigen, dass dies wohl auch für 4- bis 6-Jährige gilt und darüber hinaus auch der episodische Speicher als eigene Komponente des Arbeitsgedächtnisses identifiziert werden kann (Alloway et al., 2004). Struktur und Funktionsweise des kindlichen Arbeitsgedächtnisses lassen sich demnach gut durch das Working Memory Model modellieren. Für entwicklungsbedingte Veränderungen werden daher nicht strukturelle Veränderungen sondern Verbesserungen bezüglich Kapazität und Effizienz der einzelnen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses verantwortlich gemacht (Gathercole & Baddeley, 1993), was im Folgenden näher erläutert wird.

³ Eine hohe phonologische Nachbarschaft bedeutet, dass durch den Austausch eines Phonems viele andere Wörter generiert werden können, d.h. es gibt viele Wortrepräsentationen, die phonologisch ähnlich sind; Bsp: „Hose“ – phonologische Nachbarn: Dose, Rose, Lose, Hase, usw. vs. „Interpretation“ – phonologische Nachbarn: –.

2.2.2.2 Erklärung entwicklungsbedingter Veränderungen

Die Frage ist nun, welche kindlichen Besonderheiten und Entwicklungsverläufe es gibt und wie diese im Rahmen des Working Memory Model erklärt werden. Wie bereits angedeutet, nimmt die Arbeitsgedächtnisleistung im Laufe des Kindesalters zu (Barrouillet et al., 2009; Bayliss et al., 2005; Swanson, 2008) – die Gedächtnisspanne steigert sich dabei deutlich im Alter von ca. 2 bis 8 Jahren, danach zeigen sich eher langsamere Verbesserungen bis dann mit ca. 11 oder 12 Jahren ein asymptotisches Level erreicht wird (Gathercole, 1999). Diese Entwicklung wird von manchen auf einen stetigen Zuwachs der Gedächtniskapazität zurückgeführt (Halford & Wilson, 1980; Pascual-Leone, 1970) – andere attribuieren auf ausgereifere Kontrollprozesse und Strategien, die zur effizienteren Nutzung bestehender Kapazitäten führen (z.B. Rehearsal) (Baddeley, 1986; Chi, 1978), auf kontrolliertere Aufmerksamkeitsprozesse, die mit einer besseren Inhibition irrelevanter Informationen einher gehen (Engle, Conway, Tuholski, & Shisler, 1995) oder auf Verbesserungen beim Durchsuchen von Gedächtniseinträgen (Cowan et al., 1998, zit. nach Cowan, Nugent, Elliott, Ponomarev, & Sauls, 1999). Einen Überblick zu möglichen Gründen geben Dempster (1981) sowie Henry und Millar (1993). Gemäß dem Working Memory Model basieren die entwicklungsbedingten Veränderungen des Arbeitsgedächtnisses jedoch vornehmlich auf *Entwicklungen des phonologischen Rehearsals* (Gathercole & Baddeley, 1993; Henry, 2012; Tam, Jarrold, Baddeley, & Sabatos-DeVito, 2010) – Rehearsal bildet gewissermaßen das „Herzstück“ (Henry, 2012, S. 134) der Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses.

(i) Entwicklungen beim Rehearsal. In der ursprünglichen Konzeption des Working Memory Model (Baddeley, 1986) ging man davon aus, die entwicklungsbedingten Verbesserungen der Gedächtnisspanne seien rein durch die vielfach belegte *Zunahme der Artikulationsgeschwindigkeit* (Hitch, Halliday, Dodd, & Littler, 1989; Hitch, Halliday, & Littler, 1993; Hulme, Thomson, Muir, & Lawrence, 1984; Nicolson, 1981; Roodenrys, Hulme, & Brown, 1993) bedingt, wodurch Ältere mehr Items durch Rehearsal aufrecht erhalten und dementsprechend auch wiedergeben können. Dieser Ansatz, der durch Schlichtheit, Eleganz und Geradlinigkeit besticht, birgt jedoch auch problematische Aspekte, die im Folgenden vorgestellt werden:

Wenn die zunehmende Artikulations- und somit Rehearsalgeschwindigkeit den entscheidenden Faktor für entwicklungsbedingte Verbesserungen der Gedächtnisspanne darstellen würden, dann sollte sich der beschriebene lineare Zusammenhang nicht nur auf Ebene der jeweiligen Altersgruppen zeigen, sondern auch auf Ebene der einzelnen Personen (sowie nach Ausparialisierung von Alterseffekten) bestehen bleiben. Während dies bei Erwachsenen nachgewiesen werden konnte (Gathercole et al., 1994), blieb das Befundmuster bei Kindern unter 7 Jahren aus (Cowan et al., 1994: 4 und 8-Jährige; Ferguson, Bowey, & Tilley, 2002: 5-, 6-, 9-, 10/11-Jährige; Ferguson & Bowey, 2005: 5-, 7-, 9-, 11-Jährige; Gathercole et al., 1994: 4-Jährige; Gathercole & Adams, 1993: 2-3-Jährige; Henry, 1994, Exp. 2: 5-, 7-, und 10-Jährige). Weiterhin sollte sich die Gedächtnisspanne von Kindern unterschiedlichen Alters angleichen, wenn Rehearsal verhindert wird, da Ältere dann die höhere Rehearsalgeschwindigkeit nicht mehr zu ihrem Vorteil nutzen können. Doch auch dies ist nicht der Fall: Studien zeigen, dass Altersgruppenunterschiede bezüglich der Gedächtnisspanne selbst dann

bestehen bleiben, wenn Rehearsalprozesse durch artikulatorische Unterdrückung verhindert werden (Henry, 1991a; Hitch, Halliday, & Littler, 1989; Hitch et al., 1993).

Doch Baddeleys Entwicklungsansatz, der sich vornehmlich auf die steigende Artikulationsgeschwindigkeit stützt, weist noch ein ganz anderes, grundlegendes Problem auf: Es wird implizit angenommen, dass auch bereits Kinder Rehearsalstrategien nutzen (Henry, 2012). Trotz erster Untersuchungen, die bei Kindern unter 7 Jahren keine äußerlich sichtbaren Zeichen von Rehearsal (z.B. Lippenbewegungen, leises Murmeln) feststellen konnten (Flavell, Beach, & Chinsky, 1966), wurde diese sehr starke Voraussetzung dennoch lange Jahre als gegeben angesehen. Gestützt wurde dies durch Studien, die den Wortlängeneffekt, der bei Erwachsenen als Beleg für Rehearsalprozesse gilt, bereits bei sehr jungen Kindern (4-5 Jahre) nachweisen konnten (Henry & Millar, 1991; Hitch et al., 1993; Hulme et al., 1984; Hulme & Tordoff, 1989; Nicolson, 1981). Auffällig war dabei aber, dass sich der Wortlängeneffekt nur bei auditiver, nicht aber bei visueller Präsentation zeigte (Hitch, Halliday, Hulme, Voi, Routh, & Conway, 1983; Hitch et al., 1989; Johnston, Johnson, & Gray, 1987). Nicht zuletzt aufgrund dieser Ungereimtheit wurde die Argumentationslinie schließlich grundsätzlich in Frage gestellt: Ist der Wortlängeneffekt bei auditiver Präsentation tatsächlich als hinreichendes Indiz für die allgemeine Verwendung von Rehearsal bei jüngeren Kindern zu interpretieren (Gathercole et al., 1994; Henry, 1991b)? Weitere Untersuchungen deuten auf ein „nein“ hin, indem sie alternative Erklärungsansätze zum Wortlängeneffekt aufzeigen konnten: Das Phänomen könnte auch eine Konsequenz der zwangsläufigen Verzögerung beim Output sein, die mit der Aussprache langer Wörter einhergeht (Cowan et al., 1992; Henry, 1991b) oder eine Folge von „Übersetzungsprozessen“ (*sequential readout*), die nötig sind, eine gehörte Liste verbal zu wiederholen (Gathercole & Hitch, 1993). Befunde, die den Wortlängeneffekt bei Kindern zeigen, lassen demnach nicht zwangsläufig auf die Anwendung von Rehearsal schließen.

Nutzen Kinder nun Rehearsal oder nicht? Mittlerweile ist erwiesen, dass Rehearsalstrategien nicht in einer „Alles-oder-Nichts“-Manier plötzlich auftauchen, sondern sich in einem komplexen Prozess erst sukzessive entwickeln (Henry, 2012). Studien zeigen, dass 3- bis 4-Jährige noch keine bestimmten Merkstrategien nutzen (Gathercole & Adams, 1993; Gathercole, Adams, & Hitch, 1994; Palmer, 2000), und dass Kinder im Vorschulalter allenfalls zu rudimentären, sehr vereinfachten Strategien zur Aufrechterhaltung von Gedächtnisspuren übergehen, wie etwa dem offenen Benennen (*labelling*) bzw. Wiederholen des soeben präsentierten Items während des Interstimulusintervalls (*single-word rehearsal*) (Yuzawa, 2001), was zwar als Gedächtnisstrategie, aber definitiv noch nicht als Rehearsal im klassischen Sinne zu interpretieren ist. Erst ab ca. 7 Jahren entwickeln und nutzen Kinder immer komplexer werdende Rehearsalstrategien, wie das einmalige und dann auch mehrmalige Rezitieren mehrerer Items oder möglichst der gesamten Itemliste (*single rehearsal* bzw. *repeated/cumulative rehearsal*) (Barrouillet et al., 2009; Gathercole et al., 1994; Gathercole & Hitch, 1993; Henry, 1991a; Hitch, 1990; Hitch, Halliday, Schaafstal, & Heffernan, 1991; Lehmann & Hasselhorn, 2007; McGilly & Siegler, 1989; McGilly & Siegler, 1989; Ornstein, Naus, & Liberty, 1975). Interessanterweise zeigt sich Rehearsal bei Kindern dieses Alters dann auch zunehmend bei visuellem Material: Sie beginnen, visuelle Stimuli spontan in ein phonologisches Format zu übertragen (Conrad, 1971; Hitch et al., 1983; Kemps, de Rammelaere, & Desmet, 2000). Dies ist insofern bemerkenswert, als dass jüngere Kinder beim Memorieren von Bildmaterial noch visuelle Strategien präferieren – modelltheoretisch

gesprächen stützen sie sich bei der Wiedergabe auf den räumlich-visuellen Notizblock (Gathercole et al., 2004) – und nicht auf die phonologische Schleife, wie ältere Kinder oder Erwachsene. Möglicherweise ist dies auf den zusätzlichen Verarbeitungsschritt bei der Übersetzung des visuellen in einen phonologischen Code zurückzuführen (Henry, 2012), der die begrenzten Informationsverarbeitungsressourcen zu sehr belastet (Hitch et al., 1989). Mit ca. 7 Jahren aber beginnt der Wechsel hin zur Bevorzugung phonologischen Rehearsals anstelle visueller Merkstrategien. Eine einschlägige Studie hierzu stammt von Palmer (2000), die die serielle Behaltensleistung von Kindern unterschiedlichen Alters (5-Jährige vs. 6-8-Jährige vs. 9-Jährige) bei Bilderlisten verglich, deren Items entweder visuelle oder phonologische Ähnlichkeit aufwiesen. Während Probleme beim Behalten visuell ähnlicher Items auf visuelle Strategien schließen lassen, deuten Leistungseinbrüche bei den phonologisch ähnlichen Items auf phonologische Behaltensstrategien, also Rehearsal, hin. Die Ergebnisse zeigen, dass 5-Jährige ausschließlich Probleme beim Wiedergeben der visuell ähnlichen, nicht aber der phonologisch ähnlichen Listen haben – also visuelle Strategien angewandt werden. 6-8-Jährige zeigen Probleme bei beiden Stimulustypen, was auf ein Nebeneinander visueller und phonologischer Strategien hindeutet. 9-Jährige zeigen nur noch bei den phonologisch ähnlichen Listen Effekte, phonologisches Rehearsal ist also die dominante Strategie. Ähnliche Befunde berichten auch Hitch, Halliday, Schaafstal und Schraagen (1988): Vorschüler haben Schwierigkeiten sich visuell ähnliche Reize in der richtigen Reihenfolge zu merken, während bei Schulkindern die Wortlänge den kritischsten Faktor darstellt. Zusammenfassend ergibt sich also folgendes Bild: Rehearsal stellt – anders als von Baddeley (1986) angenommen – keine Strategie da, die allen Kindern automatisch eigen ist. Sie lässt sich erst ab einem Alter von ca. 7 Jahren reliabel nachweisen (siehe Gathercole & Hitch, 1993, für einen Überblick), obgleich jüngere Kinder bereits rudimentäre Formen, wie etwa Labelling oder Single-Word Rehearsal anwenden (Yuzawa, 2001). Auffallend ist zudem, dass jüngere Kinder beim Memorieren von Bildmaterial visuelle Codes anstelle phonologischer bevorzugen (Henry, 2012), also eine strengere Trennung visueller und phonologischer Informationen stattzufinden scheint. Für das Working Memory Model implizieren diese Erkenntnisse die Notwendigkeit von Modifizierungen: Zur Erklärung von Entwicklungsprozessen darf nicht rein auf Artikulations- und somit Rehearsalgeschwindigkeit rekurriert werden. Stattdessen müssen qualitative Veränderungen einbezogen werden. Strukturell scheint die phonologische Schleife bei unter 7-Jährigen nur aus einer Komponente zu bestehen – dem phonologischen Speicher (Gathercole et al., 2004). Fraglich bleibt dabei aber, wie Entwicklungsprozesse alternativ erklärt werden und wie jüngere Kinder (ohne die Nutzung von Rehearsal) dennoch beachtliche Gedächtnisspannen von bis zu 5 Items aufweisen können (Gathercole et al., 1994). In diesem Zusammenhang wird auf die Rolle des Langzeitgedächtnisses wie auf Besonderheiten des phonologischen Speichers rekurriert (Gathercole et al., 1994), wie im Folgenden erläutert wird.

(ii) Verstärkte Nutzung des Langzeitgedächtnisses. Das Langzeitgedächtnis hat sich bei Erwachsenen als wichtiger Mediator des Arbeitsgedächtnisses erwiesen (Hulme et al., 1991, 1997), da dort abgespeichertes Wissen die Erneuerung der in der phonologischen Schleife bereits teilweise zerfallenen Gedächtnisspuren unterstützen kann (*Redintegration*, Hulme et al., 1997; Schweickert,

1993). Begründet wurde dieser Ansatz mit der besseren Wiedergabeleistung vertrauter Stimuli (z.B. Wörter vs. Pseudowörter, Hulme et al., 1991; hochfrequente vs. niederfrequente Wörter, Buchner & Erdfelder, 2005; Diana & Reder, 2006; Hulme et al., 1997; Watkins, 1977). Interessanterweise zeigt sich ein entsprechendes Befundmuster auch bei Kindern (Wörter vs. Pseudowörter, Gathercole et al., 1999: 7-8-Jährige; Gathercole, Pickering, Hall, & Peaker, 2001: 7-8-Jährige; Pseudowörter, die mit hoher vs. niedriger Wahrscheinlichkeit ein Wort sein könnten, Gathercole, 1995: 4-5-Jährige; Gathercole, Willis, Emslie, & Baddeley, 1991: 4-6-Jährige, Gathercole et al., 1999: 7-8-Jährige; Wörtern mit vielen vs. wenigen phonologischen Nachbarn Thomson, Richardson, & Goswami, 2005: 7-9-Jährige), was einen interessanten, aber häufig vernachlässigten Ansatzpunkt zur Erklärung von Entwicklungsunterschieden bietet (Henry & Millar, 1991): Je umfänglicher und verfügbarer die Repräsentationen im Langzeitgedächtnis sind, umso besser sollte Redintegration genutzt werden und in dessen Folge der Abruf der Stimuli gelingen (Henry, 2012). Altersvergleichende Studien bestätigen dies: Während jüngere Kinder nicht oder nur in geringerem Maße von der Vertrautheit mit dem Stimulusmaterial profitieren, ziehen ältere Kinder oder Erwachsene daraus einen zunehmend größeren Vorteil (Gathercole, 1995: 4- vs. 5-Jährige; Turner, Henry, & Smith, 2000: 5- vs. 7- vs. 10-Jährige vs. Erwachsene; Turner, Henry, Smith, & Brown, 2004: 5- vs. 7- vs. 10-Jährige). Die entwicklungsbedingte Zunahme der Gedächtnisspanne könnte demnach mit der steigenden Verfügbarkeit von Repräsentationen im Langzeitgedächtnis (Ferguson & Bowey, 2005) und dem zunehmend strategischen Einsatz von Redintegration erklärt werden (Turner et al., 2004).

Zusammenfassend können nun also drei unabhängige Faktoren zur Erklärung der entwicklungsbedingten Erweiterung der Gedächtnisspanne identifiziert werden (Hulme et al., 1997): Die zunehmende Anwendung der Rehearsalstrategie, die steigende Artikulationsgeschwindigkeit, die mit effizienterem Rehearsal einhergeht, sowie die zunehmende Verfügbarkeit von Repräsentationen im Langzeitgedächtnis, die im Sinne der Redintegration genutzt werden können. Interessanterweise lässt sich dieser Ansatz mit einer Gleichung modellieren, die bereits 1975 von Baddeley und Kollegen – wenn auch in anderem Zusammenhang – formuliert wurde:

$$s = kr + c$$

Dabei beschreibt „s“ die Gedächtnisspanne und „r“ die Artikulationsgeschwindigkeit. „c“ und „k“ bilden nicht näher beschriebene Konstanten. Erst Jahre später griffen Andere diese Gleichung auf und interpretierten „c“ als Anzahl der Items, die mithilfe des Langzeitgedächtnisses abgerufen werden können (Hulme et al., 1991; Schweickert, 1993; Schweickert, Guentert, & Hersberger, 1990). Somit modelliert die Gleichung auch den angedachten Entwicklungsansatz: Da erwiesen ist, dass Redintegration auch von Kindern genutzt werden kann, die Rehearsal noch nicht anwenden (Turner et al., 2004), könnten sich diese vornehmlich auf diese Komponente stützen. Mit zunehmendem Alter steigt die Gedächtnisspanne, da sowohl der Einsatz von Redintegration („c“), als auch die Artikulationsgeschwindigkeit und damit auch Rehearsal („r“) zunimmt.

(iii) Entwicklung des phonologischen Speichers. Wie können jüngere Kinder, die noch keine ausgereiften Rehearsalstrategien zur Aufrechterhaltung der Gedächtnisinhalte verwenden, dennoch die beachtliche Anzahl von bis zu 5 Items memorieren (Gathercole et al., 1994)? Nach dem Working Memory Model müssten die Informationen ohne die Auffrischung durch Rehearsal rasch zerfallen. In

diesem Zusammenhang wird neben der Nutzung des Langzeitgedächtnisses auch auf Entwicklungsprozesse beim phonologischen Speicher verwiesen: So werden Veränderungen bezüglich der Zerfallsgeschwindigkeit und der Qualität der Encodierung angenommen (Gathercole & Baddeley, 1993, zit. nach Gathercole, 1999): Möglicherweise ist die Zerfallsrate im phonologischen Speicher bei Kindern sehr langsam (Gathercole et al., 1994). Die Idee, dass der phonologische Speicher selbst auch ohne unterstützendes Rehearsal eine signifikante Memorierungsleistung zu erbringen vermag, würde auch erklären, warum die Gedächtnisleistung Erwachsener unter artikulatorischer Unterdrückung zwar schlechter, keineswegs aber verheerend ist (Baddeley et al., 1975; Salamé & Baddeley, 1982).

Auch die übrigen Komponenten des Working Memory Model, der visuell räumliche Notizblock, die zentrale Exekutive und der episodische Speicher unterliegen entwicklungsbedingten Veränderungen, wie im Folgenden vorgestellt wird. Allerdings gibt es hierzu deutlich weniger Forschung – wohl auch, weil im ursprünglichen Konzept die Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses vornehmlich auf der Entwicklung des phonologischen Rehearsal basierte.

(iv) Entwicklung des räumlich-visuellen Notizblocks. Der räumlich-visuelle Notizblocks erfährt im Laufe der Kindergarten- und Grundschulzeit mehrere maßgebliche Entwicklungsveränderungen. Wie bereits erläutert wurde, übertragen Kinder unter 7 Jahren visuelle Stimuli nicht spontan in einen phonologischen Code wie ältere oder Erwachsene (Conrad, 1971; Hitch et al., 1983; Kemps et al., 2000). Bei der Wiedergabe von bildhaftem Material stützen sie sich demnach nicht auf die phonologische Schleife sondern auf den räumlich-visuellen Notizblock (Gathercole et al., 2004), womit diesem große Bedeutung zukommt. Im Alter von ca. 7 Jahren beginnt dann aber der Wechsel hin zur Bevorzugung phonologischen Rehearsals (Hitch et al., 1988; Palmer, 2000), weswegen der räumlich-visuelle Notizblock anschließend „nur“ noch spezifisch bei räumlich-visuellen Aufgaben zum Einsatz kommt, deren Material nicht phonologisch codierbar ist.

Darüber hinaus nimmt die Kapazität des räumlich-visuellen Notizblocks zwischen ca. 5 und 11 Jahren sukzessive zu (Gathercole, 1998) (siehe hierzu Befunde zu Leistungssteigerungen z.B. bei Corsi-Block-Aufgaben: Isaacs & Vargha-Khadem, 1989; Miles, Morgan, Milne, & Morris, 1996, oder bei Pattern Recall: Wilson, Scott, & Power, 1987). Auffallend ist dabei aber, dass die Entwicklungskurve bei visuellen, rein statischen Aufgaben deutlich steiler verläuft als bei räumlichen, dynamischen Anforderungen (Gathercole, 1998: 5-, 7-, 10-Jährige; Hamilton, Coates, & Heffernan, 2003: 5-7-, 8-10-, 11-13-, 18-25-Jährige; Logie & Pearson, 1997: 5-, 8-, 11-Jährige; Pickering, Gathercole, Hall, & Lloyd, 2001: 5-, 8-, 10-Jährige). Dies lässt die grundsätzliche Schlussfolgerung zu, dass sich der räumlich-visuelle Notizblock bei Kindern in zwei Komponenten aufgliedern lässt: Ein Teil für räumlich-dynamische Informationen, und ein Teil für visuelle (Gathercole, 1998), was zur Konzeption Logies (1995) passt. Insbesondere wird vermutet, dass die zentrale Exekutive möglicherweise eine unterstützende Rolle einnimmt – und dabei vor Allem bei visuellen Aufgaben, weniger aber bei der Rekonstruktion der zeitlichen Abfolge in einer räumlichen Aufgabe hilft (Gathercole, 1998).

Außerdem scheint die Informationsverarbeitung im räumlich-visuellen Notizblock bei Kindern grundlegend anders geartet zu sein als in der phonologischen Schleife: Bei der Wiedergabe von

Zahlenfolgen in umgekehrter Reihenfolge (*backward recall*) ist die Gedächtnisspanne in allen Altersgruppen deutlich geringer als bei der üblichen Wiedergabe gemäß der Präsentationsreihenfolge (Farrand & Jones, 1996; Rosen & Engle, 1997). Bei Erwachsenen ist dieses Befundmuster auch bei den Corsi-Block Aufgaben zu beobachten (Farrand & Jones, 1996) – bei Kindern hingegen ist bei dieser räumlichen Aufgabe die Art der Wiedergabe (vorwärts vs. rückwärts) irrelevant (Isaacs & Vargha-Khadem, 1989), was auf andere Verarbeitungsprozesse hindeutet (Gathercole, 1998).

(v) Entwicklung des episodischen Speichers. Der episodische Speicher vermag Informationen verschiedener Quellen zu einer zusammenhängenden, kohärenten Episode zu integrieren und zu speichern. Studien zufolge bildet er schon bei Kindern ab ca. 4 Jahren eine eigene Komponente des Arbeitsgedächtnisses (Alloway et al., 2004), unterliegt aber entwicklungsbedingten Veränderungen. Automatisch ablaufende Prozesse zur Integration von Informationen verschiedener Quellen (*automatic binding*) scheinen sich dabei aber sehr zügig zu entwickeln – Studien zeigen, dass sich diese Prozesse bereits im Alter von 4 bis 6 Jahren bilden (Lloyd, Doydum, & Newcombe, 2009; Sluzenski et al., 2006) und ab ca. 6 Jahren (Henry, 2012; Sluzenski et al., 2006) oder zumindest im Laufe der Grundschulzeit (Cowan et al., 2006) voll entwickelt sind. Die Verknüpfung von Informationen darüber hinaus aber auch strategisch zu nutzen (*strategic binding*) tritt jedoch erst im Jugendalter auf (Shing et al., 2008, 2010).

(vi) Entwicklung der zentralen Exekutive. Die zentrale Exekutive bildet die modalitätsunspezifische Kontroll- und Steuerungseinheit des Working Memory Model und ist somit verantwortlich für komplexes Problemlösen, Handlungskontrolle und die Steuerung von Aufmerksamkeitsprozessen. Das Modell selbst gibt allerdings wenig Auskunft zur Entwicklung der zentralen Exekutive bei Kindern – schließlich ist diese Komponente selbst bei Erwachsenen noch vergleichsweise wenig untersucht (Henry, 2012). In den letzten Jahren haben sich aber viele Wissenschaftler, zum Teil parallel und unabhängig voneinander, in differenzierter Art und Weise mit verschiedenen Exekutivfunktionen und deren Entwicklung beschäftigt. Meist gehen sie, anders als Baddeley, nicht von einem übergeordneten, einheitlichen, verhaltensregulierenden Kontrollsystem aus (Kray & Schneider, 2012) – vielmehr repräsentieren Exekutivfunktionen für sie ein weitergefasstes Bündel in Beziehung stehender, aber unterschiedlicher Fertigkeiten (*unity-but-diversity view*; Anderson, Anderson, Northam, Jacobs, & Catroppa, 2001; Asato, Sweeney, & Luna, 2006; Bull & Scerif, 2001; Friedman et al., 2008; Hughes, 1998; Huizinga, Dolan, & van der Molen, 2006; Lehto, Juujärvi, Kooistra, & Pulkkinen, 2003; Miyake et al., 2000; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Dementsprechend vielfältig sind auch die Begrifflichkeiten, die im Kontext exekutiver Funktionen verwendet werden: Teilweise stehen hinter gleichen Begriffen unterschiedliche Definitionen, teilweise gibt es für annähernd gleiche Konzepte aber auch unterschiedliche Begriffe, was auf die Herkunft aus verschiedenen Forschungstraditionen zurückzuführen ist. Im folgenden Abschnitt wird daher speziell auf das *executive-loaded working memory (ELWM)* eingegangen, dessen eher globale Konzeption exekutiver Funktionen der ursprünglichen Idee Baddeleys wohl am nächsten kommt.

Das *executive-loaded working memory (ELWM)* beschreibt den Aspekt, Informationen zeitgleich speichern und verarbeiten zu können (Henry, 2012). Entwicklungsbedingte Veränderungen werden üblicherweise mit komplexen Arbeitsgedächtnisspannungsaufgaben (*complex memory span tasks*) untersucht (Gathercole et al., 2004), wie beispielsweise der Lesespannungsaufgabe (*reading span*; Daneman & Carpenter, 1980), dem Verifizieren von Sätzen mit Wiedergabe des jeweils letzten Worts (*listening span task*; Gathercole et al., 2004; Henry, 2001; Leather & Henry, 1994; Siegel & Ryan, 1989), der Wiedergabe von Stimuli in umgekehrter Reihenfolge (*backward span*; Case, Kurland, & Goldberg, 1982; Gathercole et al., 2004), dem Zählen von Punkten (*counting span*; Bull & Scerif, 2001; Case et al., 1982; Gathercole et al., 2004), der *Odd-One-Out-Aufgabe*, bei der aus 3 Items dasjenige ausgewählt werden muss, das sich von den anderen beiden unterscheidet (Henry, 2001; Russell, Jarrold, & Henry, 1996), oder Updating-Aufgaben, bei denen ein Stimulus mit einem n Schritte zuvor präsentierten Stimulus verglichen werden muss (*n-back-task*; Im-Bolter, Johnson, & Pascual-Leone, 2006), jeweils die letzten n Items einer Liste unbekannter Länge (*letter memory task*; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006) oder stets die kleinsten Objekte zweier Listen zu memorieren sind (Carretti, Belacchi, & Cornoldi, 2010). Bemerkenswerterweise haben sich die Leistungen in diesen Aufgaben als relativ unabhängig von einfachen Spannungsaufgaben erwiesen, was die unterschiedlichen Verarbeitungsformate belegt (Morra, 1994).

Zahlreiche Studien mit derartigen Aufgaben zeigen, dass das executive-loaded working memory deutlichen entwicklungsbedingten Veränderungen unterliegt (Isaacs & Vargha-Khadem, 1989: 7 bis 15-Jährige – backward span; Siegel & Ryan, 1989: 7-8 vs. 9-10 vs. 11-13-Jährige – counting span, sentence span; Siegel, 1994: 6- bis 49-Jährige – listening span; Gathercole et al., 2004: 4 bis 15-Jährige – backward span, counting span, listening span). Bemerkenswert ist der stetige, äußerst steile Leistungszuwachs bis zu einem Alter von 16 Jahren (Gathercole, 1999), was für eine vergleichsweise lange Entwicklungsperiode des executive-loaded working memory spricht.

Fraglich ist jedoch, worauf die Entwicklungsverbesserungen des executive-loaded working memory zurückzuführen sind. Sind Leistungsverbesserungen durch eine höhere Effizienz spezifischer Prozesse bedingt oder nimmt die Kapazität der Ressourcen an sich zu (Gathercole, 1998)? Einer der einflussreichsten Ansätze stammt von Case, Kurland und Goldberg (1982), die zwischen Speicherkapazität und Verarbeitungskapazität trennen. Zentral dabei ist, dass die Gesamtkapazität, welche sich additiv aus den beiden Komponenten zusammensetzt, während der gesamten Entwicklung konstant bleibt. Entwicklungsbedingte Verbesserungen bei komplexen Arbeitsgedächtnisaufgaben werden auf effizientere Verarbeitungsprozesse bei älteren Kindern zurückgeführt, wodurch mehr Speicherplatz zur Verfügung steht. Experimentelle Belege für diesen negativen Zusammenhang von Speicherplatz und Verarbeitungseffizienz konnten in mehreren Experimenten mit 3- bis 6-Jährigen und Erwachsenen nachgewiesen werden (Case et al., 1982). Diese Idee wird grundsätzlich auch vom Working Memory Model vertreten (Gathercole & Baddeley, 1993).

Engle und Kollegen (1999) hingegen rekurren nicht auf eine höhere Effizienz von Verarbeitungsprozessen, sondern rücken vielmehr eine Kapazitätzunahme bei den Kontrollmechanismen in den Vordergrund: Demnach unterscheiden sich Personen hinsichtlich ihrer Ressourcen, die zur Fokussierung, zur Aufrechterhaltung und zum Wechsel von Aufmerksamkeit zur

Verfügung stehen, was sich in der unterschiedlichen Fähigkeiten zur Handlungsaktivierung oder – unterdrückung äußert (Engle et al., 1999). Obwohl ursprünglich zur Erklärung interindividueller Unterschiede gedacht, ermöglicht diese Idee auch die Erklärung entwicklungsbedingter Veränderungen (Gathercole, 1999), da mit zunehmendem Alter somit auch die Verfügbarkeit von Aufmerksamkeitsressourcen steigt (Swanson, 1999).

2.2.3 Erklärung des Irrelevant Sound Effect mithilfe des Working Memory Model

Im Folgenden wird der Irrelevant Sound Effect im Rahmen des Working Memory Model erklärt. Dabei gilt es jedoch zu beachten, dass das Modell ausschließlich zur Erklärung des Phänomens bei *sprachlichen* Hintergrundschallen entworfen wurde – sich demnach auf die Erklärung des Irrelevant Speech Effect beschränkt. Zunächst wird der allgemeine, an Erwachsenen konzipierte Erklärungsansatz vorgestellt. Anschließend wird auf kindliche Besonderheiten eingegangen.

Im Working Memory Model erfolgt die Erklärung des Irrelevant Speech Effect anhand modalitätsspezifischer Interferenzen im phonologischen Speicher der phonologischen Schleife (Salamé & Baddeley, 1982, 1986, 1989). Dabei wird angenommen, dass Sprachschall obligatorischen Zugang zum phonologischen Speicher erhält – Aufmerksamkeitsprozessen bzw. der zentralen Exekutive wird dabei keine Bedeutung zugemessen, weswegen man sich nicht willentlich gegen die Encodierung dieser Art von Information wehren kann. Visuelle Items, wie z.B. gedruckte Wörter oder Bilder, werden durch den Rehearsalmechanismus zunächst in einen verbal-akustischen Code übersetzt, um dann ebenfalls in den phonologischen Speicher übertragen werden zu können (Gathercole & Baddeley, 1993; Salamé & Baddeley, 1986). Bei der Bearbeitung einer seriellen Behaltensaufgabe (visueller oder auditiver Präsentationsart) mit gleichzeitiger Darbietung von irrelevanter Hintergrundsprache kommt es somit zu Leistungseinbußen, da die phonologischen Repräsentationen des automatisch encodierten irrelevanten Schalls mit denen der zu memorierenden Items interferieren (Salamé & Baddeley, 1986). Anders verhält es sich nur im Falle räumlich präsentierten Aufgabenmaterials: Da die Verarbeitung dieser Informationen im Rahmen des räumlich-visuellen Notizblocks erfolgt – ein System, das unabhängig von der phonologischen Schleife angesiedelt ist – wird dessen Funktion nicht durch irrelevanten Hintergrundschall beeinträchtigt (vgl. hierzu z.B. Klatt, 1996; Klatt & Hellbrück, 1997; Schmid et al., 2003).

Der Irrelevant Speech Effect ist also als *modalitätsspezifische, ähnlichkeitsbasierte Interferenz* zu verstehen (Salamé & Baddeley, 1982, 1986, 1987) – die Leistungseinbußen werden als eine direkte und passive Konsequenz der ähnlichen Beschaffenheit von irrelevanten und relevanten Informationen interpretiert, da sie daher dieselbe Speicherkomponente beanspruchen (*interference by content*). Demnach sollte die Erhöhung der Ähnlichkeit des Materials auch mit einer erhöhten Störwirkung einhergehen: “the amount of disruption caused by irrelevant speech is determined by the phonological similarity between the material being rehearsed and the irrelevant distracting material” (Salamé & Baddeley, 1982, S. 160).

Doch wie erklärt das Working Memory Model den Irrelevant Speech Effect bei Kindern? Aufgrund des automatischen Zugangs von Hintergrundsprache zur phonologischen Schleife ist davon auszugehen, dass irrelevanter Hintergrundschall und auditive Gedächtnisitems in derselben Art und Weise wie bei

Erwachsenen verarbeitet werden. Folglich sind bei derartigen Materialien keine Alterseffekte zu erwarten. Bei visuellen Gedächtnisitems hingegen ist mit entwicklungsbedingten Unterschieden zu rechnen: Da Kinder unter 7 Jahren visuelles, bildhaftes Material nicht spontan in ein phonologisches Format umwandeln (Conrad, 1971; Hitch et al., 1983; Kemps et al., 2000), stützen sie sich bei der Wiedergabe nicht wie ältere Kinder oder Erwachsene auf die phonologische Schleife, sondern auf den räumlich-visuellen Notizblock (Gathercole et al., 2004). Demnach werden bei jüngeren Kindern die zu memorierenden visuellen Items und der irrelevante Hintergrundsall in zwei getrennten Modellkomponenten verarbeitet, wodurch es (ähnlich wie bei räumlichen Items) nicht zu Interferenzen zwischen den Informationen kommt. Folglich ist bei jüngeren Kindern bei visueller Itempräsentation eine *geringere Störwirkung* irrelevanten Hintergrundsalls zu erwarten. Abb. 2 veranschaulicht Komponenten und Funktionsweise der phonologischen Schleife und des räumlich-visuellen Notizblocks, die unterschiedlichen Verarbeitungswege visuellen und auditiven Materials und somit die Entstehung des Irrelevant Speech Effect im Rahmen des Working Memory Model bei Kindern und Erwachsenen.

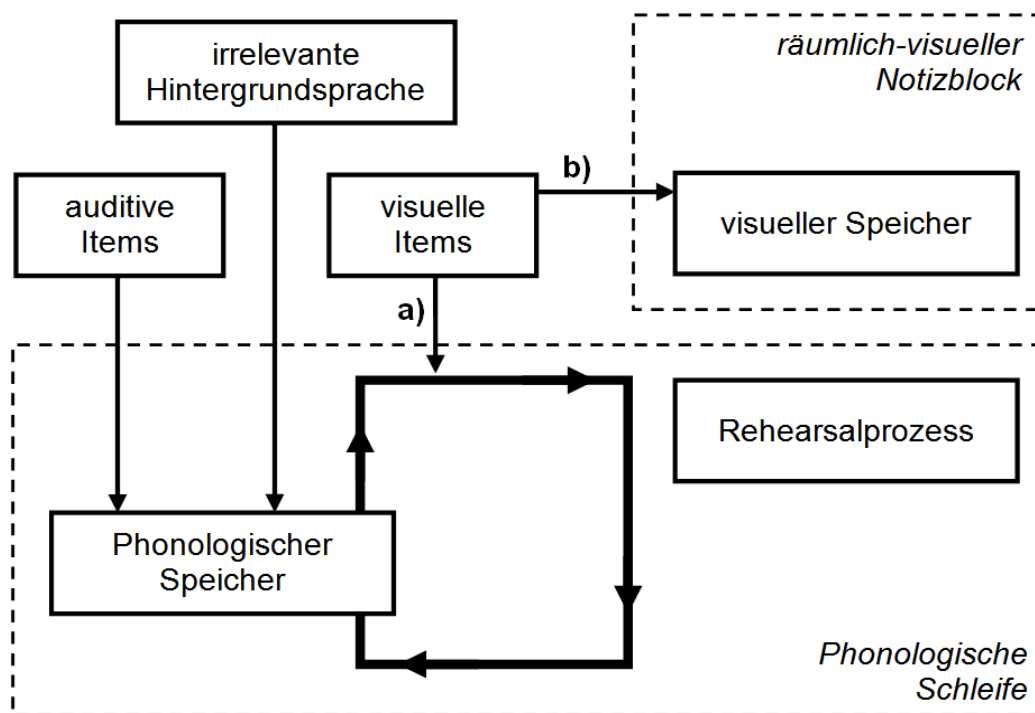


Abb. 2 Erklärung des Irrelevant Speech Effect im Rahmen des Working Memory Model. Auditive Items und irrelevanter Hintergrundsall erhalten stets direkten Zugang zum Phonologischen Speicher. a) Bei Erwachsenen und älteren Kindern werden visuelle Items mittels des subvokalen Rehearsalprozesses ebenfalls in den phonologischen Speicher „eingelesen“. b) Bei jüngeren Kindern erfolgt die Verarbeitung visueller Items im visuell-räumlichen Notizblock (adaptiert nach Gathercole & Baddeley, 1993, S. 8 sowie Schlittmeier, 1996, S. 23).

2.3 Das Embedded Processes Model

Ein weiteres, einflussreiches Modell zum Arbeitsgedächtnis wurde von Cowan (1988, 1999) publiziert. Das Arbeitsgedächtnis wird dabei als komplexes Konstrukt verstanden, das alle kognitiven Prozesse und Verarbeitungsmechanismen einbezieht, die zum kurzzeitigen Verfügbarhalten von Informationen

und dem erfolgreichen Bearbeiten von Aufgaben beitragen (Cowan, 1999). Dieser funktionalen Definition folgend, stehen beim *Embedded Processes Model* weniger strukturelle Aspekte des Arbeitsgedächtnisses im Vordergrund (wie beispielsweise im Working Memory Model), als vielmehr der funktionale Zustand einer Information, welcher maßgeblich dafür ist, ob eine Information im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden kann oder nicht (Berti, 2010). Dadurch wird Aufmerksamkeitsprozessen eine zentrale Rolle zugesprochen.

2.3.1 Beschreibung des Modells

(i) Mechanismen und Prozesse. Die etwas ungewöhnlich anmutende Bezeichnung als „Modell der eingebetteten Prozesse“ rührt daher, dass Cowans Arbeitsgedächtnismodell einerseits in sein allgemeines Informationsverarbeitungsmodell (Cowan, 1988) integriert ist und andererseits dessen einzelne Komponenten und Prozesse jeweils hierarchisch ineinander eingebunden sind. Dabei wird zwischen drei funktional unterschiedlichen Bereichen unterschieden (Ricker, AuBuchon, & Cowan, 2010): Den Ausgangspunkt der Betrachtungen bildet dabei das *Langzeitgedächtnis*. Der Teil der dortigen Einträge, der zur Aufgabenbearbeitung nötig ist, wird temporär aktiviert und zur Verarbeitung verfügbar gehalten (*aktivierter Teil des Langzeitgedächtnisses*). Informationsverarbeitung und –abruf können jedoch nur dann erfolgen, wenn die entsprechenden Repräsentationen ein besonders hohes Aktivierungsniveau besitzen, also wenn sie sich unmittelbar im *Fokus der Aufmerksamkeit* (einer Teilmenge des aktivierten Teils des Langzeitgedächtnisses) befinden.

Doch wie können Informationen in den Fokus der Aufmerksamkeit gelangen? Zunächst durchlaufen alle neu eintreffenden Stimuli das *sensorische Gedächtnis*, in welchem deren physikalische Eigenschaften kurzzeitig aufrecht erhalten und mit den gegenwärtig aktivierten Gedächtnisinhalten abgeglichen werden (Cowan, 1995). Wird der Stimulus als „neuartig“ eingestuft, gelangt er (unabhängig seiner Modalität) aufgrund einer unwillkürlichen Orientierungsreaktion direkt in den Fokus der Aufmerksamkeit. Dadurch wird sichergestellt, dass Umweltveränderungen registriert und im Fokus der Aufmerksamkeit auf ihre Relevanz hin überprüft werden können (Cowan, 1995). Stimmt der Stimulus jedoch mit aktuell aktivierten Gedächtniseinträgen überein (z.B. bei wiederholter Präsentation), findet eine Habituation der Orientierungsreaktion im Sinne Sokolovs (1963) statt, was durch den sukzessiven Aufbau eines neuronalen Modells während wiederholter Stimuluspräsentation erklärbar ist: Neue Wahrnehmungsereignisse werden mit dem neuronalen Modell abgeglichen und nur bei Diskrepanz wird eine Orientierungsreaktion ausgelöst. Die Orientierungsreaktion und deren Habituation nehmen in Cowans (1988) Modell somit die Aufgabe eines passiven, selektiven Filters ein (Cowan, 1999): Obwohl alle Stimuli die Aktivierung von Gedächtnisinhalten zu bewirken vermögen, wird der Fokus der Aufmerksamkeit nur auf Wahrnehmungsereignisse gerichtet, die als neuartig eingestuft wurden.

Doch auch Stimuli, an die habituiert wurde, können in den Fokus der Aufmerksamkeit gelangen. Dies ist jedoch nur durch die willentliche Aufmerksamkeitszuwendung, die über die *zentrale Exekutive* erfolgt, möglich (Cowan, 1995). Unter der zentralen Exekutive werden alle Prozesse subsummiert, die die bewusste Zuteilung von Aufmerksamkeitsressourcen und willentliche Verarbeitung steuern. Der Zugang zum Fokus der Aufmerksamkeit wird also sowohl durch automatische, unwillkürliche Prozesse

als auch durch willentliche, Anstrengung erfordernde Mechanismen kontrolliert. Diese Abläufe und Prozesse sind auch Abb. 3 zu entnehmen.

Zusammenfassend definiert Cowan (1995, 1999) ein funktionales Modell des Arbeitsgedächtnisses. Dabei wird explizit betont, dass keine singuläre, separate, theoretische Einheit „Arbeitsgedächtnis“ angenommen wird – ähnlich wie Baars (1988) versteht Cowan (1999) das Arbeitsgedächtnis vielmehr als „globalen Arbeitsraum“, in dem Informationen verfügbar gehalten und integriert werden. Somit entspricht das Arbeitsgedächtnis einem organisierten Set von Repräsentationen, das durch seinen jeweiligen funktionalen Zustand charakterisiert ist. Als zum Arbeitsgedächtnis zugehörig zu interpretieren sind Informationen unmittelbar im Fokus der Aufmerksamkeit, temporär aktivierte Informationen außerhalb des Fokus der Aufmerksamkeit, und schließlich inaktive Elemente mit ausreichend relevanten Abrufcues, da all diese Informationen und Prozesse entscheidend zur Aufgabebearbeitung mitwirken (Cowan, 1999).

(ii) Beschränkungen des Arbeitsgedächtnisses. Im Embedded Processes Model werden Arbeitsgedächtnisbeschränkungen dreierlei Arten angenommen: Zeitlicher, kapazitärer und energetischer Art. Was darunter genau zu verstehen ist, wird im Folgenden erläutert.

Zunächst wird davon ausgegangen, dass der aktivierte Teil des Langzeitgedächtnisses zwar unbegrenzt viele Einträge enthalten kann (d.h. keine Kapazitätsbegrenzung), diese jedoch nur *zeitlich begrenzt* verfügbar sind: Die temporäre Aktivierung von Gedächtniseinträgen nimmt im Zeitverlauf ab und resultiert schließlich im vollständigen Verlust der Repräsentation (Cowan, 1999). Der entsprechende Zeitrahmen liegt bei ca. 10 bis 30 Sekunden (Cowan, 1984, 1995).

Für den Fokus der Aufmerksamkeit wird hingegen die Beschränkung nicht zeitlich definiert, sondern durch die Anzahl der Informationen bestimmt, die sich dort gleichzeitig befinden können. Dabei wird eine *Kapazitätsgrenze* von 4 ± 1 Items zugrunde gelegt (Cowan, 1999, 2000), basierend auf Studien verschiedenster Forschungsrichtungen: So zeigen Studien, die mit der Methode der Informationsüberlastung arbeiten (d.h. eine Vielzahl von Items in sehr kurzer Zeit präsentieren), dass in etwa 4 Items korrekt erinnert werden können (Darwin, Turvey, & Crowder, 1972; Sperling, 1960). Eine ähnliche Leistung wird auch erbracht, wenn die Anwendung unterstützender Strategien (wie z.B. Rehearsal) verhindert wird (Glanzer & Razel, 1974; Jones et al., 1995; Pollack, Johnson, & Knaff, 1959; Waugh & Norman, 1965; Zhang & Simon, 1985). Weiterhin konnte bei der Untersuchung von Diskontinuitäten im Leistungsverlauf gezeigt werden, dass nur bis zu einer Anzahl von ca. 4 Items deren gleichzeitige Erfassung (Trick & Pylyshyn, 1993) und fehlerfreie Wiedergabe (Broadbent, 1975) möglich ist. Weiterhin gibt es indirekte Befunde, die auf eine entsprechende Kapazitätsgrenze schließen lassen, wie etwa dass die Größe von Chunks oder Clustern bei der Wiedergabe von Listen bei etwa 4 liegt (Broadbent, 1975; Ericsson, 1985; Ryan, 1969; Wickelgren, 1964). Eine umfassende Diskussion der angeführten Belege, die für die „magische Zahl 4“ (Cowan, 2000, S. 87) sprechen, wie auch weitere Befunde sind Cowan (2000) zu entnehmen. Anzumerken ist jedoch, dass es hinsichtlich der Kapazität des Aufmerksamkeitsfokus Uneinigheiten gibt: So gehen andere (z.B. Garavan, 1998; McElree, 2001; Verhaeghen & Basak, 2005) beispielsweise davon aus, der Aufmerksamkeitsfokus könne stets nur ein Item zu einem gewissen Zeitpunkt beinhalten.

Schließlich nehmen Courage und Cowan (2009) noch *energiebezogene Beschränkungen* des Arbeitsgedächtnisses an. Damit wollen sie dem Umstand Rechnung tragen, dass Informationen nicht einfach nur automatisch in das Arbeitsgedächtnis rücken und es ebenso automatisch wieder verlassen – sondern dass Zielsetzung und Handlungsplanung einer Person den Informationsverarbeitungsprozess beeinflussen. So können diese beispielsweise zu Bemühungen führen, aufgabenrelevante Items im Arbeitsgedächtnis zu halten und irrelevante hingegen zu entfernen (Courage & Cowan, 2009). Dementsprechend werden Aufmerksamkeitskontrollprozessen im Embedded Processes Model eine gewichtige Rolle eingeräumt: Die Fähigkeit, Aufmerksamkeit kontrollieren zu können, wird in direkter Relation zur Gedächtnisspanne angenommen.

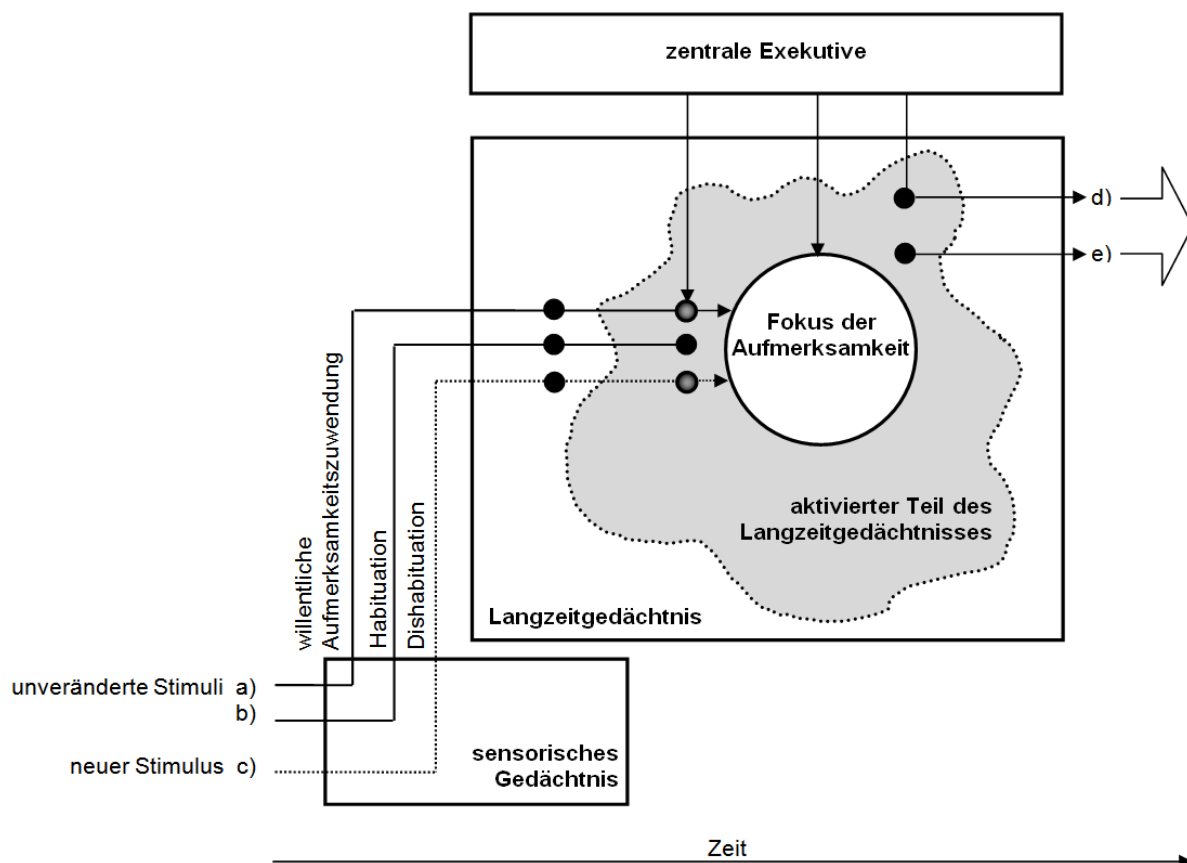


Abb. 3 Das aufmerksamsbasierte Embedded Processes Model des Arbeitsgedächtnisses (adaptiert nach Cowan, 1995). Wahrnehmungereignisse (a, b, c) durchlaufen zunächst den sensorischen Speicher. Neue Stimuli (c) lösen eine unwillkürliche Orientierungsreaktion aus und gelangen automatisch in den Fokus der Aufmerksamkeit. Unveränderte Stimuli hingegen verbleiben im aktivierten Teil des Langzeitgedächtnisses (b) – es sei denn, sie werden bewusst von der zentralen Exekutiven zur Weiterverarbeitung ausgewählt (a), wodurch sie ebenfalls in den Fokus der Aufmerksamkeit rücken können. Die Reaktion auf Ereignisse erfolgt entweder kontrolliert über die zentrale Exekutive (d) oder automatisch (e).

2.3.2 Das Embedded Processes Model bei Kindern

Das Embedded Processes Model wurde auch im Kontext entwicklungsbedingter Veränderungen diskutiert. Zwar ist der Wissensstand bei weitem nicht so umfangreich wie zum in der pädagogischen Psychologie dominierenden Working Memory Model Baddeleys – so wurden meines Wissens

beispielsweise noch keine Studien zur Übertragbarkeit des Modells auf Kinder durchgeführt – aber nichts desto trotz werden Veränderungen in mehreren Bereichen angenommen.

(i) Entwicklung von Aufmerksamkeitsprozessen. Aufmerksamkeitsprozesse nehmen in Cowans (1988, 1995) Modell eine gewichtige Rolle ein – schließlich können nur im Fokus der Aufmerksamkeit befindliche Repräsentationen verarbeitet werden. Diesen Zustand kann ein Stimulus entweder automatisch (über eine Orientierungsreaktion) oder über eine aktive, willentliche Steuerung (d.h. über selektives Lenken der Aufmerksamkeit auf den Zielreiz bei zeitgleicher Inhibition konkurrierender Informationen) erreichen (vgl. hierzu auch Gomes, Molholm, Christodoulou, Ritter, & Cowan, 2000). Im Folgenden wird der Forschungsstand zu entwicklungsbedingten Veränderungen beider Mechanismen vorgestellt, obwohl dieser zumeist von anderen Forschergruppen erarbeitet wurde.

Entwicklungsbedingte Veränderungen bei *Orientierungsreaktion* und ihrer Habituation sind kaum untersucht (Gomes et al., 2000). Die wenigen altersvergleichenden Studien deuten aber auf relative Reife der Orientierungsreaktion im Alter von 7 Jahren hin (Courchesne, 1990; Wijker, 1991, zit. nach van der Molen, 2000). Dabei gilt es jedoch zu beachten, dass auch bei Orientierungsreaktionen höhere, kognitive Prozesse eine Rolle spielen: Wenn ein Stimulus beispielsweise erwartet wird, fällt die Orientierungsreaktion kleiner aus als bei unerwarteten Reizen, weswegen entwicklungsbedingte Veränderungen möglicherweise hauptsächlich auf das veränderte Wissen über Neuartigkeit und Erwartungen zurückzuführen sind (Gomes et al., 2000).

Wesentlich umfänglicher und klarer ist der Wissensstand zur Entwicklung von selektiver Aufmerksamkeit und Inhibition: Die Forschung der letzten Jahrzehnte hat gezeigt, dass die Fähigkeit, Aufmerksamkeit selektiv auf einzelne Reize zu richten, während andere ignoriert werden – was nötig ist, um ein gewünschtes Item willentlich in den Fokus der Aufmerksamkeit zu rücken – klaren entwicklungsbedingten Veränderungen unterliegt (Courage & Cowan, 2009). Im Folgenden wird ein kurzer Abriss gegeben.

Generell setzt sich die Fähigkeit, eine Information zu beachten während andere Informationen ignoriert werden, aus verschiedenen Verarbeitungsschritten zusammen (Gomes et al., 2000): Zunächst ist die Trennung von relevanten und irrelevanten Informationen erforderlich, was häufig als *filtering* (Enns & Akhtar, 1989) oder *stimulus selection* (Lane & Pearson, 1982) bezeichnet wird. Anschließend ist Aufmerksamkeit auf die relevante Information zu lenken und aufrecht zu erhalten (*selective attention*; Garon, Bryson, & Smith, 2008), während gleichzeitig die Verarbeitung irrelevanter Informationen zu unterdrücken ist (*inhibition*; Hasher & Zacks, 1988; Neumann & DeSchepper, 1991). Letzteres geht auch mit der Unterdrückung nicht zielführender Strategien oder automatisierter Handlungstendenzen einher und ist je nach Quelle entweder bereits im Begriff „*inhibition*“ inbegriffen (Henry, 2012; Kray & Schneider, 2012) oder wird getrennt von reinen Aufmerksamkeitsprozessen verstanden und zur begrifflichen Abgrenzung als „*response inhibition*“ bezeichnet (Bartgis, Thomas, Lefler, & Hartung, 2008; Garon et al., 2008).

Zur Prüfung von selektiven Aufmerksamkeits- und (response) Inhibitionsprozessen werden typischerweise Aufgaben verwendet, die den Vergleich zwischen einer kongruenten Bedingung und

einer inkongruenten Bedingung beinhalten. Den Klassiker stellt die *Stroop-Aufgabe* (Stroop, 1935) dar, bei welcher Farbwörter entweder in kongruenter oder inkongruenter Farbe gedruckt sind. Die Aufgabe des Teilnehmers besteht darin, die Farbe des Worts zu nennen – und dabei das automatisierte Lesen zu unterdrücken. Mittlerweile gibt es zahlreiche Abwandlungen dieser ursprünglichen Stroop-Aufgabe auch für Kinder, die des Lesens noch nicht mächtig sind (z.B. Cramer, 1967; Hasselhorn et al., 2012; einen Überblick zu verschiedenen Varianten der Stroop-Aufgabe gibt MacLeod & Gorfein, 2007). Weitere Aufgaben bestehen darin, die in der kongruenten Bedingung präsentierten Objekte so schnell wie möglich zu benennen, während in der inkongruenten Bedingung jeweils das Gegenteil des Gezeigten zu sagen ist (*day-night task*, Garon et al., 2008; *Opposite Worlds Test*, Manly, Robertson, Anderson, & Nimmo-Smith, 1999), möglichst schnell auf häufig dargebotene Stimuli zu reagieren, nicht aber einen selten gezeigten Reiz (*Go-/No-Go task*; Kray & Schneider, 2012) oder ausschließlich auf einen Zielreiz zu reagieren, nicht aber auf diesen umgebende Distraktoren (*flanker task*; Eriksen & Eriksen, 1974). Eine Übersicht kindgerechter Aufgaben ist einem Überblick von Garon und Kollegen (2008) zu entnehmen.

Altersvergleichende Studien mit derartigen Aufgaben belegen deutliche Entwicklungsfortschritte (Aslan & Bäuml, 2010: 4-Jährige, 7-Jährige und Erwachsene; Bartgis et al., 2008: 5- und 7-Jährige; Davidson, Amso, Anderson, & Diamond, 2006: 4- bis 13-Jährige und Erwachsene; Enns & Cameron, 1987: 4-, 5-, 7-Jährige und Erwachsene; Huang-Pollock, Carr, & Nigg, 2002: 7/8-Jährige, 9/10-Jährige, 11/12-Jährige und Erwachsene; Huizinga et al., 2006: 7-, 11- und 15-Jährige; Klenberg, Korkman, & Lahti-Nuutila, 2001: 3- bis 12- Jährige, in Jahresschritten).

Eine Schwierigkeit reiner Verhaltensstudien ist aber, dass unklar bleibt, ob etwaige entwicklungsbedingte Veränderungen tatsächlich auf selektive Aufmerksamkeitsprozesse zurückzuführen sind oder ob die Leistungsunterschiede auch durch weitere Aspekte, wie etwa Planungs- und Selbstregulationsprozesse oder Daueraufmerksamkeit mit verursacht werden (Gomes et al., 2000). Daher werden in Studien zur selektiven Aufmerksamkeitsentwicklung auch neurophysiologische Paradigmen eingesetzt. Zum einen gibt es das *negative difference (Nd) Paradigma*, wobei durch Nd das Ausmaß repräsentiert wird, in dem die relevante Information beachtet und irrelevante Information ignoriert wird (Hansen & Hillyard, 1980, Hillyard & Hansen, 1986). Zum Anderen wird die *Amplitude P300* (auch P3 genannt) herangezogen, welche in direkter Beziehung zur Verarbeitungstiefe eines Stimulus zu sehen ist und daher als Maß für die Bereitstellung von Aufmerksamkeitsressourcen interpretiert wird (Donchin, Kramer, & Wickens, 1986; Fabiani, Gratton, & Coles, 2000; Ridderinkhof & van der Molen, 1995). Derartige neurophysiologische Untersuchungen bestätigen den bereits aus Verhaltensstudien ermittelten Trend der klaren Entwicklungsfortschritte mit zunehmendem Alter (Bartgis, Lilly, & Thomas, 2003: 5-, 7- und 9-Jährige; Berman & Friedman, 1995: 8-, 14-Jährige und Erwachsene; Ridderinkhof & van der Molen, 1995: 5-12-Jährige).

Auffallende Gemeinsamkeit der Verhaltens- und neuropsychologischen Studien ist aber, dass die größten Entwicklungsveränderungen zwischen 5- und 7-Jährigen stattfinden: 5-Jährige haben deutlich größere Schwierigkeiten ihre Aufmerksamkeit auf die wesentliche Information zu fokussieren und Irrelevantes auszublenden als 7-Jährige oder Ältere, die sich deutlich weniger unterscheiden (Aslan & Bäuml, 2010; Bartgis et al., 2003, 2008; Enns & Cameron, 1987; Johnstone et al., 2007; Korkman, Kemp, & Kirk, 2001; Lane & Pearson, 1982; Lehto et al., 2003; Ridderinkhof & van der Molen, 1995;

van der Molen, 2000) – ein Phänomen das in der Literatur als „5 to 7 shift“ bezeichnet wird (White, 1970). Dies zeigt sich auch dadurch, dass insbesondere bei einfacheren Inhibitionsaufgaben die relative Reife (Erwachsenenlevel) häufig schon im Alter von etwa 6 bis 7 Jahren erreicht wird (Becker, Isaac, & Hynd, 1987; Klenberg et al., 2001).

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass insbesondere bei Vorschulkindern die Fähigkeit zur Aufmerksamkeitsfokussierung und Inhibition begrenzt ist, was es mehr irrelevanten Informationen erlaubt, verarbeitet zu werden (Bjorklund & Harnishfeger, 1990; Gomes et al., 2000; Hasher & Zacks, 1988). Ausgehend von einem limitierten Arbeitsgedächtnis geht dies mit weniger Ressourcen zur Speicherung und Verarbeitung aufgabenrelevanter Informationen einher (Bjorklund & Harnishfeger, 1990). Darüber hinaus werden entwicklungsbedingte Veränderungen bei der Effizienz von Aufmerksamkeitsprozessen diskutiert (Courage & Cowan, 2009; Cowan, 1997), die z.B. für den ressourcenfordernden Einsatz von Mnemotechniken (z.B. Chunking, Elaboration, Rehearsal; Guttentag, 1984; Naveh-Benjamin & Jonides, 1984) entscheidend sind (Cowan, Scott, Nugent, & Elliott, 1999).

Studien zeigen aber, dass sich im Laufe der Entwicklung auch aufmerksamkeitsfreie Parameter des Gedächtnisses ändern (Cowan, Sauls, & Elliott, 2002; Sauls & Cowan, 1996). Daher sollen im Folgenden auch Veränderungen bei zeit- und kapazitätsbezogenen Arbeitsgedächtnisbeschränkungen vorgestellt werden.

(ii) Entwicklung zeitbezogener Beschränkungen des Arbeitsgedächtnisses. Die Wiedergabe von Gedächtniseinträgen ist nur möglich, wenn diese aktiviert sind und in den Fokus der Aufmerksamkeit gebracht werden können. Somit stellt die Zeitdauer, in der Informationen in aktiviertem Zustand und somit verfügbar verbleiben können, einen wichtigen Parameter des Arbeitsgedächtnisses dar. Studien haben ergeben, dass diese Zeitdauer im Laufe der Entwicklung zunimmt – oder anders ausgedrückt: Die *Zerfallsgeschwindigkeit* der Informationen nimmt ab (Cowan et al., 2002). So konnte gezeigt werden, dass Informationen bei jüngeren Kindern nur über einen deutlich kürzeren Zeitraum verfügbar bleiben als bei älteren Kindern oder Erwachsenen (Cowan, Nugent, Elliott, & Sauls, 2000: Zweit- vs. Fünftklässler vs. Erwachsene; Sauls & Cowan, 1996: Erst- vs. Drittklässler vs. Erwachsene).

Weiterhin wird angenommen, dass die Geschwindigkeit, mit der aktivierte Gedächtniseinträge durchsucht und in den Fokus der Aufmerksamkeit gebracht werden können (*Suchrate*), im Laufe der Entwicklung steigt (Cowan et al., 1998, 2002). Gestützt wird dies durch Studien, die zeigen, dass bei der Wiedergabe die Zeitintervalle zwischen den einzelnen Items (*interword pauses*) kürzer werden und mit der Gedächtnisspanne korrelieren (Cowan, 1992: 4-Jährige; Cowan et al., 1998: Erst- vs. Dritt- vs. Fünftklässler; Cowan et al., 1994: 4-Jährige vs. 8-Jährige). Dass diese Entwicklung tatsächlich verbesserte Suchprozesse widerspiegelt – und nicht etwa mit Veränderungen beim Rehearsal zusammenhängt – wird dadurch begründet, dass die Länge der Pausen zwischen den Items (im Gegensatz zu Rehearsalprozessen; Baddeley, 1986) nicht mit der Silbenanzahl der abgerufenen Items zusammenhängt (Cowan et al., 1994).

(iii) Kapazitätsbedingte Veränderungen im Fokus der Aufmerksamkeit. Zunächst sind Zuwächse bezüglich der Kapazität des Fokus der Aufmerksamkeit zu verzeichnen: So steigt die Anzahl der Items, die gleichzeitig manipuliert werden können, im Laufe der Entwicklung an (Cowan et al., 2002). Studien ergaben, dass Erstklässler durchschnittlich nur ca. 2,5 Items gleichzeitig im Fokus der Aufmerksamkeit behalten können und Viertklässler ca. 3 – während für Erwachsene 4 Items angenommen werden (Cowan et al., 1999; siehe hierzu auch: Halford, Maybery, & Bain, 1988).

2.3.3 Erklärung des Irrelevant Sound Effect mit Hilfe des Embedded Processes Model

Im Folgenden wird der Irrelevant Sound Effect im Rahmen des Embedded Processes Model erklärt. Dabei wird zunächst der allgemeine, an Erwachsene konzipierte Erklärungsansatz vorgestellt. Anschließend wird auf kindliche Besonderheiten eingegangen.

Das Embedded Processes Model (Cowan, 1988, 1995, 1999) liefert einen aufmerksamkeitsbasierten Erklärungsansatz zum Irrelevant Sound Effect, bei dem die unwillkürliche Orientierungsreaktion auf auditive Distraktoren die zentrale Erklärungskomponente darstellt (Cowan, 1995). Die Bearbeitung serieller Behaltensaufgaben (visueller oder auditiver Präsentationsart) erfordert es, die Repräsentationen der zu memorierenden Items willentlich über die zentrale Exekutive im Fokus der Aufmerksamkeit zu halten, da nur Informationen, die sich in diesem Bereich befinden, abgerufen oder erinnert werden können. Da sich aufgrund der Kapazitätsbegrenzung nicht alle Items einer längeren Sequenz gleichzeitig im Fokus der Aufmerksamkeit befinden können, muss die Verfügbarkeit der Itemsequenz durch eine fortwährend neue Zuteilung von Aufmerksamkeit gewährleistet werden. Irrelevanter Hintergrundschall, der abrupte, unerwartete Veränderungen aufweist, vermag jedoch (aufgrund der Abweichung vom bestehenden neuronalen Modell) automatische Orientierungsreaktionen zu provozieren, wodurch die Repräsentationen des Schalls automatisch in den Fokus der Aufmerksamkeit vordringen. Folglich ist der Fokus der Aufmerksamkeit nicht mehr auf die eigentliche Aufgabe, die Repräsentationen der zu memorierenden Items gerichtet, weswegen mit verstreichender Zeit deren Aktivierungsniveau (und damit die Verfügbarkeit) und dadurch die Wahrscheinlichkeit der erfolgreichen Wiedergabe sinken. Zudem ist es möglich, dass anstelle der Zielitems die Repräsentationen des irrelevanten Hintergrundschalls (welche sich im Fokus der Aufmerksamkeit befinden) abgerufen werden (Bell et al., 2008, 2010b; Cowan, 1999; Marsh et al., 2008). Ähnlich wie im nachfolgend erklärten Object-Oriented Episodic Record Model provozieren demnach Schalle mit großen spektral-temporalen Schwankungen (Changing-State-Schalle) die größte Störwirkung. Anders als im Object-Oriented Episodic Record Modell wird dabei aber nicht von einer Interferenz serieller Informationen aus gegangen, sondern – wie eben dargelegt – von Orientierungsreaktionen, die durch neuartige Schallereignisse provoziert werden. Irrelevanter Hintergrundschall bindet somit Aufmerksamkeitsressourcen, die folglich zur eigentlichen Aufgabenbearbeitung nicht mehr zur Verfügung stehen. Gleichförmige, kontinuierliche Schalle verursachen hingegen eine deutlich geringere Störwirkung, da die Distraktoren aufgrund der mit den Wiederholungen einhergehenden Habituation der Orientierungsreaktion nicht in den Fokus der Aufmerksamkeit rücken (Cowan, 1995). Die Höhe des Irrelevant Sound Effect wird also durch das Ausmaß der Abweichung der einzelnen aufeinanderfolgenden Wahrnehmungsereignisse bestimmt, da

diese die Stärke der Orientierungsreaktion und damit den Grad an Aufmerksamkeitsablenkung moderieren. Gestützt wird dieser Ansatz durch Befunde, die Habituationseffekte bei vielen Aufgabentypen nachweisen (Elliott & Cowan, 2001: color-word-interference task; Lorch, Anderson, & Well, 1984: classification task; Waters, McDonald, & Koresko, 1977: Problemlöseaufgaben) – allerdings gibt es bezüglich des Irrelevant Sound Effect auch zahlreiche gegenteilige Befunde, weswegen die Rolle der Aufmerksamkeit in diesem Zusammenhang nach wie vor kritisch diskutiert wird. Dennoch ist diese Konzeption als sehr attraktiv einzustufen – vermag sie es doch durch einen einzigen Mechanismus auch den Ablenkungseffekt (*deviation effect*, Hughes, Hurlstone, Marsh, Vachon, & Jones, 2012; Hughes, Vachon, & Jones, 2005, 2007; Lange, 2005; Parmentier, 2008; siehe hierzu Abschnitt 2.4.2.3) zu erklären. Zudem kann durch die „Einbettung“ des Arbeitsgedächtnisses in das Langzeitgedächtnis erklärt werden, warum Gedächtnisspannen für Wörter länger sind als für Pseudowörter (Hulme et al., 1991).

Doch wie erklärt das *Embedded Processes Model* den Irrelevant Sound Effect bei Kindern? Grundsätzlich wird das Phänomen bei Kindern durch dieselben Mechanismen erklärt wie auch bei Erwachsenen: Irrelevanter Hintergrundschall vermag bei hinreichender Variabilität unwillkürliche Orientierungsreaktionen zu provozieren, wodurch die Repräsentationen des Schalls automatisch in den Fokus der Aufmerksamkeit vordringen und die der zu memorierenden Items verdrängen (Cowan, 1995). Dem Zerfall der relevanten Information muss durch die willentliche Zuteilung von Aufmerksamkeit vorgebeugt werden. Aufgrund der beschriebenen Entwicklung von Aufmerksamkeitsprozessen ist dabei mit klaren entwicklungsbedingten Unterschieden zu rechnen: Da Kinder größere Schwierigkeiten haben, ihre Aufmerksamkeit auf die relevante Information zu lenken und die Verarbeitung irrelevanter Informationen zu unterdrücken, gelangen mehr irrelevante Informationen in den Fokus der Aufmerksamkeit. Die dabei beanspruchten Aufmerksamkeitsressourcen fehlen jedoch bei der Bearbeitung der eigentlichen Aufgabe. Gemäß dem *Embedded Processes Model* wird demnach bei Kindern aufgrund ihrer eingeschränkten Fähigkeit zur selektiven Aufmerksamkeit und Inhibition ein deutlich ausgeprägter Irrelevant Sound Effect erwartet. In diesem Zusammenhang gilt es außerdem zu bedenken, dass die gelingende Anwendung von Mnemotechniken zur Aufrechterhaltung der Zielitems (z.B. Rehearsal) bei Kindern deutlich mehr Ressourcen benötigt als bei Erwachsenen (Bjorklund & Harnishfeger, 1990; Guttentag, 1984; Naveh-Benjamin & Jonides, 1984), was bei ohnehin schon eingeschränkten Kapazitäten die Leistung der Kinder zusätzlich mindern sollte (Elliott, 2002).

2.4 Das Object-Oriented Episodic Record Model

Das von Jones und Koautoren (Jones, 1993; Jones et al., 1996) in den 90er Jahren entwickelte und seither weiter ausdifferenzierte *Object-Oriented Episodic Record Model* stellt eine alternative Konzeption des Arbeitsgedächtnisses dar, in dem anstelle mehrerer (modalitätsspezifischer) Speicherkomponenten ein einziges, amodales Speichersystem angenommen wird. Im Folgenden wird zunächst das Modell in seinen Komponenten vorgestellt und anschließend der Irrelevant Sound Effect erklärt. Zur Übertragbarkeit des Modells wie auch zur Erklärung des Irrelevant Sound Effect bei

Kindern können jedoch nur Mutmaßungen getroffen werden, da sich die Autorengruppe um Jones selbst der Untersuchung entwicklungsbedingter Veränderungen bislang nicht gewidmet und sich diesbezüglich auch nicht modelltheoretisch geäußert hat.

2.4.1 Beschreibung des Modells

(i) Bestandteile und Prozesse. Das *Object-Oriented Episodic Record Model* postuliert ein einziges amodales Speichersystem, die sogenannte *virtuelle Schreibtafel (Blackboard)*, auf dem Informationen sämtlicher Modalitäten und Quellen funktional gleichartig abgebildet und gespeichert werden. Die weiteren Komponenten des Modells sind *Objekte (objects)*, *episodische Zeiger (episodic pointers; links)* und *Ströme (streams)* (Jones, 1993; Jones et al., 1996). Im Folgenden werden die einzelnen Elemente sowie deren Zusammenwirken näher erklärt.

Objekte sind als abstrakte Repräsentationen einzelner Wahrnehmungsereignisse zu verstehen, die unabhängig von ihrer Modalität (z.B. auditiv, visuell, räumlich, haptisch) als separate Einheiten auf der virtuellen Schreibtafel angelegt werden und sämtliche Aspekte des zugehörigen Ereignisses enthalten. Zur Codierung der zeitlichen Abfolge von Ereignissen dienen die *episodischen Zeiger*, welche die Objekte gemäß ihrer Reihenfolge miteinander verbinden. Durch diese Verbindungen entstehen auf der virtuellen Schreibtafel zusammengehörige Einheiten, die sogenannten *Ströme*. Zentral ist dabei die Unterscheidung von *Changing-State-Sequenzen* und *Steady-State-Sequenzen*: Eine *Steady-State-Sequenz* wird gebildet, wenn ein Ereignis nur aus der fortwährenden Wiederholung ein und derselben Information besteht, da in diesem Fall auf der virtuellen Schreibtafel nur ein einziges Objekt geformt wird, dessen zugehöriger episodischer Zeiger nur auf sich selbst verweist. Eine *Changing-State-Sequenz* wird hingegen immer dann geformt, wenn sich ein Ereignis aus segmentierbaren, aber als zusammengehörig empfundenen Episoden zusammensetzt, die in Form aufeinander folgender und mit episodischen Zeigern verbundener Objekte repräsentiert werden.

(ii) Beschränkungen des Arbeitsgedächtnisses. Im Object-Oriented Episodic Record Model stellt die *Unversehrtheit der episodischen Zeiger*, nicht die der Items, das limitierende Element dar. Dabei wird angenommen, dass die episodischen Zeiger nur zeitlich begrenzt verfügbar sind (während die Items selbst relative lange intakt sind; Jones, 1993). Da Erhalt und Abruf von Informationen aber die Navigation entlang der episodischen Zeiger erfordert (um sukzessive die einzelnen Gedächtniseinträge zu aktivieren; Macken, Tremblay, Alford, & Jones, 1999), wird die originalgetreue Wiedergabe des zu memorierenden Materials im Laufe der Zeit immer schwieriger (Jones, 1993). Der Zustand der episodischen Zeiger bestimmt demnach die Qualität der Wiedergabe. Um ihrem Zerfall entgegen zu wirken, müssen Rehearsalprozesse eingesetzt werden (Jones, 1993).

(iii) Übertragbarkeit des Modells auf Kinder. Ob und wie sich die einzelnen Komponenten und Wirkmechanismen des an Erwachsenen konzipierten Arbeitsgedächtnismodells auf Kinder übertragen lassen, war bislang nicht Bestandteil empirischer Untersuchungen. Da Kinder jedoch erwiesenermaßen weniger Rehearsal nutzen (z.B. Palmer, 2000; vgl. ausführliche Darstellung der Entwicklung von Rehearsal in Abschnitt 2.2.2.2), sollten die episodischen Zeiger zur Aufrechterhaltung der Reihenfolgeinformationen deutlich schwächer ausgeprägt sein. Diese Annahme kann durch eine

altersvergleichende Studie gestützt werden, die sich der Häufigkeit bestimmter Fehlertypen bei seriellen Behaltensaufgaben gewidmet und verschiedene Fehlerprofile für 7-, 9-, 11-Jährige und Erwachsene ermittelt hat (McCormack, Brown, Vousden, & Henson, 2000): So nimmt bei Positionsfehlern die Distanz zwischen korrekter und fälschlich wiedergegebener Position mit zunehmendem Alter sukzessive ab. Jüngere Kinder haben demnach größere Schwierigkeiten Reihenfolgen aufrecht zu erhalten als ältere Kinder oder Erwachsene (für Gegenevidenz siehe: Pickering et al., 1998). Dies würde zur Vermutung schwächerer episodischer Zeiger bei Kindern passen und für entwicklungsbedingte Unterschiede beim „*memory for order*“ (Gathercole, 1999, S. 414) sprechen.

2.4.2 Erklärung des Irrelevant Sound Effect mithilfe des Object-Oriented Episodic Record Model

Im Folgenden wird der Irrelevant Sound Effect im Rahmen des Object-Oriented Episodic Record Model erklärt. Dabei wird zunächst der ursprüngliche Erklärungsansatz mithilfe der *Changing-State-Hypothese* vorgestellt und die zentralen Begrifflichkeiten „Changing-State“ und „Steady-State“ näher beschrieben und präzisiert. Anschließend wird auf die sukzessive Ausweitung der Theorie im Laufe der letzten Jahre eingegangen und die Erklärung des Phänomens im Rahmen des *Prinzips der spezifischen Interferenz* und des *Duplex-Mechanismus* vorgestellt. Letzterer ist inzwischen als einflussreichste Theorie im Feld einzustufen. Der Abschnitt schließt mit den Implikationen der Theorie für den Irrelevant Sound Effect bei Kindern.

2.4.2.1 Erklärung des Irrelevant Sound Effect mithilfe der Changing-State-Hypothese

(i) Beschreibung des Wirkmechanismus. Bei der Erklärung des Irrelevant Sound Effect im Rahmen des Object-Oriented Episodic Record Model ist die beschriebene Abhängigkeit des Phänomens von Zustandsänderungen im zeitlichen Schallverlauf („Changing-State-Charakter“) zentral. Der Irrelevant Sound Effect wird dabei als Resultat von Interferenzen zwischen unterschiedlichen Reihenfolge-Informationen innerhalb eines modalitätsunabhängigen Arbeitsgedächtnisses verstanden:

Bei der Bearbeitung einer seriellen Behaltensaufgabe unter irrelevantem Hintergrundschall werden zwei verschiedene Objektsequenzen auf der virtuellen Schreibtafel abgelegt (Jones, 1993; Jones et al., 1996): Einerseits werden die Items der Gedächtnisaufgabe mittels des Rehearsalmechanismus willentlich gemäß ihrer zeitlichen Abfolge aneinandergereiht und anhand episodischer Zeiger verbunden (*volitionale Seriation*; Jones & Tremblay, 2000). Andererseits wird bei der Verarbeitung irrelevanten Hintergrundschalls präattentiv und automatisch eine weitere modalitätsunspezifische Objektsequenz gebildet (*automatische Seriation*; Jones & Tremblay, 2000). Die serielle Wiedergabe der zu memorierenden Items erfordert nun die Navigation entlang der episodischen Zeiger von einer Itemrepräsentation zur nächsten (Macken et al., 1999) – was Rummelharts (1991) Vorstellung der „*episodic trajectory of events*“ ähnelt (Jones & Macken, 1993). Falls jedoch die Objektsequenz des irrelevanten Hintergrundschalls ebenfalls episodische Zeiger beinhaltet – was bei Changing-State-Schallen der Fall ist – wird dieser Prozess gestört, was die serielle Behaltensleistung signifikant beeinträchtigt. Steady-State-Schall bewirkt hingegen gar keine (Jones, 1993; Jones et al., 1992) oder

zumindest eine deutlich geringere Störwirkung (Jones & Tremblay, 2000; Macken et al., 1999), da dessen Repräsentation nur aus einem einzigen Objekt mit selbstreferenziellem episodischen Zeiger besteht, wodurch es keine konkurrierende Reihenfolgeinformation gibt (vgl. Abb. 4).

Der Irrelevant Sound Effect beruht im Object-Oriented Episodic Record Model demnach auf einer *Degeneration der in Form der episodischen Zeiger codierten Reihenfolgeinformationen* und nicht auf dem Zerfall oder der Interferenz der zu memorierenden Items (Beaman & Jones, 1997, 1998). Die Leistungsminderung wird demnach auf die Ähnlichkeit der Prozesse zurückgeführt (Seriationsprozess), die zur Verarbeitung des Hintergrundschalls wie auch zur Bearbeitung der Primäraufgabe erforderlich sind (*interference by process*) – und nicht wie in früheren Ansätzen (z.B. Working Memory Model; Salamé & Baddeley, 1982) als direkte und passive Konsequenz der strukturellen Ähnlichkeit der zu erinnernden und der zu ignorierenden Items verstanden, wonach der Irrelevant Sound Effect aufgrund der Beanspruchung derselben Speicherkomponente zustande kommt (*interference by content*) (Marsh et al., 2009).

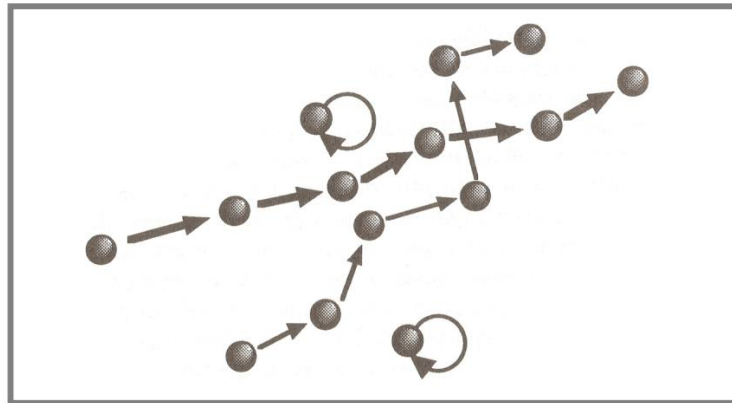


Abb. 4 Veranschaulichung des Object-Oriented Episodic Record Model. Auf der virtuellen Schreibtafel befinden sich zwei Changing-State-Ströme, die miteinander interferieren können und zwei Steady-State-Sequenzen, deren episodische Zeiger ausschließlich auf sich selbst verweisen (adaptiert nach Jones et al., 1996, S. 224).

Diese prozessorientierte Konzeption des Wirkmechanismus' impliziert jedoch, dass der Irrelevant Sound Effect einzig durch die Notwendigkeit des Seriationsprozesses zustande kommt und die Qualität der auditiven Distraktoren sowie deren Bezug zu den Zielobjekten unerheblich für das Ausmaß der Störwirkung anzusehen sind: Dementsprechend werden Hintergrundschalle sprachlicher und nichtsprachlicher Natur als funktional äquivalent betrachtet (Jones et al., 2000; Jones & Macken, 1993; Tremblay & Jones, 1998), der semantische Gehalt des Hintergrundschalls als irrelevant eingestuft (Tremblay et al., 2000) sowie der phonologischen Ähnlichkeit zwischen den zu memorierenden Items und dem Hintergrundschall keine Bedeutung zugemessen (Jones & Macken, 1995a). Darüber hinaus ist es unerheblich, ob es sich bei dem Störgeräusch um präsentierten oder selbstgenerierten Hintergrundschall handelt (Macken & Jones, 1995). Eine detaillierte Erörterung derartiger schallspezifischer Einflussfaktoren ist Abschnitt 1.2.1 zu entnehmen.

Auch die Darbietungsmodalität (auditiv vs. visuell) (Beaman & Jones, 1998; Jones & Tremblay, 2000) und exakte Beschaffenheit der zu memorierenden Items (verbal, räumlich,...; Jones et al., 1995; Tremblay et al., 2001) sollte keinen Einfluss auf das Ausmaß des Irrelevant Sound Effect nehmen – das Modell ist amodal konzipiert, weswegen die Bildung von Repräsentationen und der Einsatz von Rehearsal zur volitionalen Seriation modalitätsunabhängig erfolgen (Jones & Tremblay, 2000). Ein

verstärkter Irrelevant Sound Effect bei auditiven Items sei jedoch möglich, wenn die auditiv-perzeptive Segregation zwischen dem zu ignorierendem und dem zu behaltenden Material erschwert sei (Nicholls & Jones, 2002). Dies ist aber als additiver Effekt im Sinne vermehrter Höranstrengung zu interpretieren.

(ii) Kriterien für den Changing-State-Charakter eines Schalls. Jones und Kollegen (Jones & Macken, 1993; Jones et al., 1992; Macken et al., 1999) geben drei notwendige Eigenschaften an, die ein Hintergrundschall allesamt zu erfüllen hat, um eine leistungsmindernde Wirkung entfalten zu können: Zunächst muss sich der Schall in *diskrete Wahrnehmungsereignisse* zergliedern lassen (Macken, Phelps, & Jones, 2009) und die aufeinanderfolgenden Einheiten haben *perzeptible Zustandsänderungen* aufzuweisen, d.h. sie haben sich von der jeweils vorhergehenden Einheit klar wahrnehmbar zu unterscheiden (Macken et al., 2009). Diese beiden Voraussetzungen sind beispielsweise durch Pausen im Pegelverlauf, eine starke Variabilität der phonemischen Zusammensetzung oder deutliche Frequenz- oder Amplitudenänderungen gegeben. Grundlegend ist jedoch, dass – bei aller Segmentierbarkeit und Variabilität – aus den Einzelereignissen dennoch ein *kohärenter Wahrnehmungsstrom* geformt wird – der Schall also nicht nur aus einer losen Abfolge von Einzelereignissen besteht (Jones et al., 1999). Im Folgenden werden die drei Kriterien näher erläutert und deren empirische Basis dargestellt.

Zunächst zum Kriterium der *Segmentierbarkeit des Hintergrundschalls*. Dieses Kriterium erklärt, warum Sprache oder Stakkato-Musik ein deutlich höheres Störpotential besitzt als beispielsweise ein Summen, Legato-Musik oder Glissandi – letztere Schallsignale weisen eine deutlich geringere Zergliederbarkeit in einzelne Wahrnehmungsereignisse auf (Jones et al., 1993; Klatt et al., 1995; Morris et al., 1989). Ähnlich verhält es sich bei einem Stimmengewirr: Die Überlagerung mehrerer Sprecherstimmen führt zu einer Maskierung abrupter Frequenz- und Amplitudenschwankungen (Macken et al., 1999) – was ebenfalls die Segmentierbarkeit und damit die Störwirkung reduziert (Jones & Macken, 1995b; Kilcher & Hellbrück, 1996).

Doch eine gute Zerlegbarkeit des Hintergrundschalls allein ist nicht hinreichend, um das Störpotential eines Hintergrundschalls abzuschätzen – wie beispielsweise das Ausbleiben (Jones & Macken, 1993; Jones et al., 1992) oder der deutlich verminderte Irrelevant Sound Effect (Jones et al., 1997, 1999; Tremblay & Jones, 1998, 1999) bei repetitiv präsentierten Tönen oder Sprachlauten demonstrieren. Zusätzlich zur Segmentierbarkeit ist also das Kriterium der *Variabilität* des Hintergrundschalls, also die Unterschiedlichkeit der einzelnen Schallelemente, zu berücksichtigen: Das Störpotential eines Hintergrundschalls wird durch die Menge der im Hintergrundschall enthaltenen unterschiedlichen Einheiten (*Token Set Size Effect*; Campbell et al., 2002; Tremblay & Jones, 1998) sowie die Anzahl der pro Zeiteinheit artikulierten Items moderiert (*Token Dose Effect*; Bridges & Jones, 1996; Campbell et al., 2002; Macken et al., 2003; Tremblay & Jones, 1998). So konnten Untersuchungen zeigen, dass der Irrelevant Sound Effect bei z.B. 5 irrelevanten Items (z.B. ABCDEABCDE...) deutlich ausgeprägter als bei nur 2 irrelevanten Items (z.B. ABABAB...) (*Token Set Size Effect*; Hughes & Jones, 2001, konträr aber: Campbell et al., 2003) und die Leistung bei hoher Präsentationsrate, also bei einer hohen Variabilität des Schalls, schlechter ist (*Token Dose Effect*). Zur Bedeutung der akustischen Segmentierbarkeit und Variabilität des Schalls sei auch auf Abschnitt 1.2.1 verwiesen.

Nun zum dritten Kriterium – der Hintergrundschall muss, um seine Störwirkung entfalten zu können, bei aller Segmentierbarkeit und Variabilität als einzelner, *kohärenter Wahrnehmungsstrom* wahrgenommen werden. Wodurch ist dies zu begründen? Studien haben gezeigt, dass Versuchspersonen große Schwierigkeiten haben, die Reihenfolge loser, unverbundener Schallereignisse (z.B. die Abfolge eines Tons, Klickens, Brummens und Zischens) zu erkennen und richtig wiederzugeben (Warren & Obusek, 1972; Warren, Obusek, Farmer, & Warren, 1969). Dies wurde darauf zurückgeführt, dass die Ereignisse aufgrund ihrer großen Unterschiedlichkeit verschiedenen Wahrnehmungsströmen zugeordnet werden – und die Beurteilung der zeitlichen Abfolge aber nur innerhalb eines Stroms gut gelingt (Bregman & Campbell, 1971; Bregman & Dannenbring, 1973). Um es in der Terminologie des Object-Oriented Episodic Record Model auszudrücken: Eine hohe Segmentierbarkeit und Variabilität des Hintergrundschalls geht noch nicht zwangsläufig mit zahlreichen Ordnungsinformationen auf der virtuellen Schreibtisch einher. Physikalische Aspekte allein reichen demnach nicht aus, um die potentielle Störwirkung eines Hintergrundschalls zu beurteilen – vielmehr müssen Aspekte der auditiv-perzeptiven Wahrnehmungsorganisation und damit verbundene Gruppierungsmechanismen berücksichtigt werden („*streaming*“ im Sinne Bregmans, 1990), die die Störwirkung von Hintergrundschall zu moderieren vermögen (Jones et al., 1999).

Nach den Prinzipien der Wahrnehmungsorganisation können verschiedene Wahrnehmungsereignisse nur bis zu einem gewissen Ausmaß an Unterschiedlichkeit zu einem einzigen Strom verschmolzen werden – ist dieser Punkt jedoch überschritten, werden die Ereignisse getrennten Strömen zugeordnet (Hughes & Jones, 2001). Entscheidend für die Gliederung sind beispielsweise die Tonhöhe, oder die Lokalisation der Schallquelle (für eine ausführliche Diskussion dieser und weiterer Prinzipien sei auf Bregmans (1990) *Auditory Scene Analysis* verwiesen), deren Relevanz für den Irrelevant Sound Effect experimentell nachgewiesen werden konnte: So haben Ton- wie auch Sprachsequenzen, deren aufeinanderfolgende, alternierende Elemente 10 Halbtonschritte Höhendifferenz aufweisen, eine deutlich geringere Störwirkung als entsprechende Sequenzen mit einer Differenz von nur jeweils 5 Halbtonschritten (Jones et al., 1999). Die Leistungsbeeinträchtigung ist auch dann deutlich vermindert, wenn eine kurze Sequenz wechselnder Buchstaben stereophon präsentiert wird (wobei jeder Buchstabe stets nur aus einer zugewiesenen Richtung gehört wird) und nicht monophon (wobei alle Buchstaben aus derselben Richtung erklingen) (Jones & Macken, 1995c; Jones et al., 1999). Diese Befundmuster werden hinsichtlich einer Verarbeitung in getrennten Strömen (mit wenig konkurrierender Reihenfolgeinformation) im Gegensatz zu einem gemeinsamen Strom (mit einer Vielzahl an Ordnungsinformationen) interpretiert (Jones et al., 1999).

Trotz aller Empirie ist jedoch kritisch anzumerken, dass die derzeitige Konzeptualisierung des Changing-State-Begriffs eine gewisse Unschärfe birgt: Problematisch ist beispielsweise, dass einerseits ein bestimmtes Maß an Unterschiedlichkeit zwischen den Reizen gefordert wird – diese andererseits jedoch im Sinne des Streaming nicht zu groß sein darf, um die Verarbeitung innerhalb eines Stroms zu gewährleisten. So ist die Gefahr eines Zirkelschlusses gegeben, bei dem die Klassifikation des Schalls (Changing-State vs. Steady-State) möglicherweise erst ex post facto erfolgt. Zudem ist anzumerken, dass die Beurteilung streng genommen keinen kategorialen Prozess darstellt,

wie Jones' Begrifflichkeiten es vielleicht suggerieren: So zeigen Studien, die mit der Variabilität des Hintergrundschalls eine relevante Dimension systematisch variiert haben (indem hochvariabler Sprache ein sukzessive steigender Anteil kontinuierlichen Rauschens beigemischt wurde oder indem die Sprecheranzahl erhöht wurde, was aufgrund der Überlagerung der Einzelstimmen zu einer „Verrauschung“ führte), dass es kein „cut-off“-Kriterium gibt, das zwischen Steady-State-Schallen und Changing-State-Schallen trennt. Die Höhe der Leistungsbeeinträchtigung ist vielmehr in kontinuierlicher, linear-monotoner Relation zur Variabilität des Schalls zu sehen (Ellermeier & Hellbrück, 1998; Jones et al., 2000; Jones & Macken, 1995b). Optimal wäre daher ein Außenkriterium (z.B. ein akustisches Äquivalent), mit dessen Hilfe der Changing-State-Gehalt eines Hintergrundschalls zuverlässig erfasst und nicht nur kategorial sondern stetig beschrieben werden könnte und damit eine Vorhersage der Störwirkung ermöglichen würde (vgl. hierzu Schlittmeier et al., 2012). Die herausragende Leistung des Object-Oriented Episodic Record Model, den Einfluss physikalischer und auditiv-perzeptiver Schalleigenschaften auf das serielle Behalten mithilfe der Changing-State-Hypothese zu modellieren, stellt somit zugleich das größte modelltheoretische Problem dar.

(iii) Notwendigkeit des Changing-State-Charakters der Primäraufgabe. Nach der Beschreibung, was den Changing-State-Charakter des Hintergrundschalls auszeichnet, ist anzumerken, dass die Unterscheidung zwischen *Changing-State* und *Steady-State* nicht auf auditive Wahrnehmungsereignisse beschränkt ist. Vielmehr handelt es sich um ein allgemeines Charakteristikum, das für gelingende Vorhersagen der Störwirkung von Hintergrundschall auch auf die Primäraufgabe anzuwenden ist (Jones et al., 1996). Dementsprechend ist eine leistungsmindernde Wirkung irrelevanten Changing-State-Hintergrundschalls nur dann zu erwarten, wenn auch die *Aufgabenstellung* das Changing-State-Kriterium erfüllt, also das Memorieren von Reihenfolgeinformationen erfordert (Jones, Hughes, & Macken, 2010). Aufgaben, welche keine serielle Wiedergabe beinhalten oder keine Verwendung serieller Rehearsalstrategien erfordern, sollten auch nicht gestört werden (Banbury, Macken, Tremblay, & Jones, 2001; Jones et al., 2010), da in diesem Fall keine Aufrechterhaltung von Reihenfolgeinformationen stattfindet und damit keine konkurrierenden Ordnungsinformationen auf der virtuellen Schreibtafel vorliegen (Beaman & Jones, 1997, 1998; Jones et al., 1996; Jones & Macken, 1993; Macken et al., 1999). Jedoch gibt es, wie in Abschnitt 1.2.2 ausführlich diskutiert, mittlerweile auch Befunde, die auf eine Störung durch Lärm bei Aufgaben hindeuten, die keine serielle Komponente besitzen, z.B. das Paarassoziationslernen (LeCompte, 1994) oder die Missing-Item Aufgabe (LeCompte, 1996), oder über einfache Behaltensaufgaben hinausgehen, wie beispielsweise Kopfrechenaufgaben (Banbury & Berry, 1998; Schlittmeier et al., 2008c; Woodhead, 1964), Zählaufgaben (Buchner et al., 1998; Logie & Baddeley, 1987) oder Optimierungsaufgaben (Perham & Banbury, 2012). Dies hat zu Kritik (Neath, 2000) an der Theorie der Arbeitsgruppe um Jones sowie einer Ausweitung des Modells geführt, welche Leistungsbeeinträchtigungen durch Hintergrundschall deutlich allgemeiner zu erklären vermag. Diese Erweiterung wird im folgenden Abschnitt vorgestellt.

2.4.2.2 Erklärung des Irrelevant Sound Effect mithilfe der Interferenz ähnlicher Verarbeitungsprozesse

Nicht zuletzt aufgrund der Kritik, das *Object-Oriented Episodic Record Model* beschränke sich bei der Erklärung der Wirkung von Hintergrundlärm einseitig auf serielle Behaltensaufgaben (Neath, 2000), weiteten Jones und Koautoren ihren Ansatz aus und betteten die Changing-State-Hypothese in das breitere *Prinzip der spezifischen Interferenz* ein (Banbury et al., 2001; Jones & Tremblay, 2000; Marsh et al., 2008): Dabei beruht das Ausmaß der Störwirkung ganz allgemein auf der Ähnlichkeit zwischen den zur Aufgabenbearbeitung nötigen und den zur Verarbeitung der Umweltereignisse erforderlichen kognitiven Prozessen (*interference by process*) – womit das Störungskonzept über Seriationsprozesse hinaus auf Verarbeitungsprozesse vielerlei Arten generalisiert wird. Der Grad der Übereinstimmung der involvierten kognitiven Prozesse bestimmt dabei das Ausmaß der Beeinträchtigung durch Hintergrundschall bei einer bestimmten Aufgabe.

Dies geht mit einer veränderten Charakterisierung der Hintergrundschalle einher, die einen Irrelevant Sound Effect hervorrufen können (Marsh et al., 2008). Statt wie bislang einzig auf den temporal-spektralen Verlauf des Hintergrundschalls (Changing-State-Charakter) zu fokussieren, wird nun von einer Interdependenz zwischen der Primäraufgabe und den potentiell störenden Hintergrundschallen ausgegangen (Jones & Tremblay, 2000): Wenn die Primäraufgabe beispielsweise eine tiefere, inhaltliche Verarbeitung der Stimuli erfordert (siehe hierzu Abschnitt 1.2.2) oder die Semantik als Basis für den Abruf der Gedächtniseinträge dient, kommt lexikalisch-semantischen Parametern des Schalls anstelle der temporal-spektralen Struktur besondere Bedeutung zu (Jones et al., 2012, Marsh et al., 2008; Marsh & Jones, 2010). So stört Schall mit Sprachanteilen derartige Aufgaben deutlich mehr als Schall ohne Sprachanteile (Banbury & Berry, 1998: Reproduzieren von Texten; Jones et al., 2012, Marsh et al., 2008: Abruf von Vertretern aus gegebenen Kategorien) und semantisch bedeutsamer Schall stört mehr als Schall ohne semantischen Gehalt (Jones et al., 1990: Korrekturleseaufgaben; Martin et al., 1988; Oswald et al., 2000: Beantwortung inhaltlicher Fragen; Jones et al., 2012; Marsh & Jones, 2010: Nennung möglichst vieler Vertreter einer vorgegebenen Kategorie). Gemäß dem *Prinzip der spezifischen Interferenz* ist dies dadurch zu erklären, dass eine Aufgabe, deren Lösung einer inhaltlichen Verarbeitung bedarf, auch in besonderem Maße sensibel für Beeinträchtigungen durch bedeutungsvolle verbale Hintergrundschalle ist (Banbury et al., 2001; Jones et al., 2012, Marsh et al., 2008; Marsh & Jones, 2010) – während sich Reihenfolgeinformationen (vermittelt über die temporal-spektrale Struktur des Hintergrundschalls) in diesem Zusammenhang als irrelevant darstellen und demnach keinen Einfluss auf das Störpotential nehmen. Bei der klassischen, seriellen Behaltensaufgabe hingegen steht die Reihung des zu behaltenden Materials und nicht dessen semantische Verarbeitung im Vordergrund (Marsh & Jones, 2010), weswegen für diesen Aufgabentyp eine vergleichbar hohe Störwirkung für verständliche wie auch unverständliche Hintergrundsprache oder Nichtsprache erwartet wird. Demzufolge wird die Störwirkung bei Aufgaben, die eine tiefere sprachliche Verarbeitung erfordern, als qualitativ anders geartet betrachtet als bei seriellen Behaltensaufgaben (Jones et al., 1990).

Problematischerweise bestehen Aufgaben nicht nur aus einem einzigen Prozess – es ist stets die Mitbeteiligung weiterer Verarbeitungsmechanismen denkbar (Marsh & Jones, 2010). So können beispielsweise bei sogenannten „semantischen Aufgaben“ (wie etwa dem freien Abruf von Gegenständen einer bestimmten Kategorie; *semantic free recall*) neben der semantischen Komponente auch andere Prozesse, z.B. des episodischen Gedächtnisses, mit involviert sein (Marsh & Jones, 2010). Dies macht aber die Vorhersage, welche Aufgabentypen durch welche Art von Hintergrundschall gestört werden schwierig und die Gefahr von Zirkelargumentationen ist gegeben: Stört ein gewisser Schall eine bestimmte Aufgabe, wurden ähnliche Prozesse beansprucht; stört ebendieser Schall nicht, war die Ähnlichkeit der von Schall und Aufgabe benötigten Verarbeitungsprozesse wohl nicht weitreichend genug.

2.4.2.3 Störung durch Hintergrundschall: Verursacht durch einen Duplex-Mechanismus?

Ogleich das Object-Oriented Episodic Record Model (Jones, 1993) eine Vielzahl empirischer Ergebnisse elegant zu erklären vermag, blieb das Modell eine Erklärung des unvermittelten Leistungseinbruchs bei einem Wechsel oder hoher persönlicher Relevanz des Distraktormaterials (*Ablenkungseffekt, deviation effect*, Hughes et al., 2005, 2007, 2012; Lange, 2005; Parmentier, 2008) schuldig (Röer et al., 2011). Während aufmerksamkeitsbasierte Ansätze (wie z.B. das *Embedded Processes Model*; Cowan, 1995) das Phänomen analog zum Changing-State Effect schlicht über eine weitere Orientierungsreaktion erklären, hat dies bei der Arbeitsgruppe um Jones zur Konzeption des sogenannten *Duplex-Mechanismus (duplex-mechanism account of auditory distraction*; Hughes et al., 2007) geführt, welcher mittlerweile als einflussreichster Ansatz im Feld einzuordnen ist.

Nach dem sogenannten *Duplex-Mechanismus* (Hughes et al., 2007) werden Leistungsbeeinträchtigungen aufgrund irrelevanten Hintergrundschalls nach wie vor in erster Linie durch die automatische Interferenz ähnlicher Prozesse erklärt (*interference by process*), die sich bei seriellen Behaltensaufgaben im Rahmen des *Changing-State Effect* manifestiert – jedoch wird nun auch die Möglichkeit der Verlagerung von Aufmerksamkeitsressourcen hin zum Distraktormaterial mit einbezogen (*attentional capture; temporary attention distraction*): Dieser deutlich globalere, aufgabenunspezifische Mechanismus der Aufmerksamkeitsablenkung (Hughes et al., 2012) führt temporär zu einer gestörten Encodierung und Verarbeitung der Zielitems, was mit einer kurzzeitigen Leistungsminderung einhergeht und dadurch den Ablenkungseffekt zu erklären vermag (Hughes et al., 2007). Leistungsbeeinträchtigungen aufgrund von Hintergrundschall können demnach auf zweierlei Arten zustande kommen: Durch eine Interferenz ähnlicher Prozesse (offenkundig im Changing-State-Effekt) wie auch temporär durch aufmerksamkeitsbezogene Parameter (ersichtlich am Ablenkungseffekt) (Hughes et al., 2007).

Zentral dabei ist, dass beide Wirkmechanismen (anders als beispielsweise bei Cowan, 1995, oder Chein und Fiez, 2010) explizit klar voneinander getrennt werden: Weder stellt der Changing-State Effect eine Folge mehrfacher Ablenkungseffekte dar, noch ist der Ablenkungseffekt als Changing-State-Effekt zu verstehen (Hughes et al., 2007; Jones et al., 2010). Gestützt wird dies durch Studien unterschiedlichster Methodik, die für die funktionale Unabhängigkeit der Phänomene und somit für die Trennung beider Störungskonzepte sprechen. Im Folgenden werden vier Hauptresultate vorgestellt.

(a) Zunächst konnte gezeigt werden, dass Changing-State Effect und Ablenkungseffekt unabhängig voneinander auftreten können – der Ablenkungseffekt zeigt sich auch bei solchen Aufgabentypen, die sich als immun gegenüber dem Changing-State Effect erwiesen haben (missing-item-task; Hughes et al., 2007), womit ersterer deutlich weniger aufgabenspezifisch ist (Jones et al., 2010). (b) Ist eine Aufgabe jedoch sensibel bezüglich des Changing-State Effect (z.B. serielle Behaltensaufgabe), so tritt dieser auch während des Retentionsintervalls auf (Macken et al., 1999) – eine Leistungsminderung aufgrund von Aufmerksamkeitsablenkung konnte während dieser Phase hingegen nicht verzeichnet werden (Hughes et al., 2005). (c) Weiterhin konnte gezeigt werden, dass sich der Ablenkungseffekt durch eine Variation der Aufgabenschwierigkeit sowie der Vorhersagbarkeit abweichender Schallereignisse modulieren lässt, was für den Changing-State Effect hingegen nicht gilt (Hughes et al., 2012). Dieses Befundmuster spricht dafür, dass der dem Ablenkungseffekt zugrunde gelegte Aufmerksamkeitsmechanismus als Top-Down-Mechanismus (vgl. Wetzel & Schröger, 2007) zu verstehen ist und sich demnach empfänglich gegenüber kognitiver Kontrolle erweist – während sich der Changing-State Effect der willentlichen Beeinflussung entzieht (Hughes et al., 2012; Jones et al., 2010). (d) Schließlich zeigen Studien (passend zu den letztgenannten Befunden) zwar Zusammenhänge zwischen der individuellen Arbeitsgedächtniskapazität und der Empfindlichkeit gegenüber des Ablenkungseffekts (Conway, Cowan, & Bunting, 2001; Hughes et al., 2012; Sörqvist, 2010; Sörqvist, Marsh, & Nöstl, 2013), nicht jedoch gegenüber des Changing-State Effect (Beaman, 2004; Elliott & Cowan, 2005; Hughes et al., 2012; Sörqvist, 2010; Sörqvist et al., 2013).

Insgesamt sprechen die Studien somit für zwei qualitativ unterschiedliche Störungsmechanismen, die nicht miteinander interagieren, sondern eine additive Wirkung haben (Hughes et al., 2005, 2007). Damit ist es möglich, dass eine Leistungsminderung aufgrund einer Interferenz ähnlicher Prozesse zusätzlich durch Ablenkung verstärkt wird – was z.B. bei klassischen seriellen Behaltensaufgaben eine gewisse Modulation des Irrelevant Sound Effect um aufmerksamkeitsbezogene Parameter erlaubt.

Zweifellos ist der *Duplex-Mechanismus*, der sowohl eine Störung durch automatische wie auch aufmerksamkeitsbezogene Prozesse einbezieht, deutlich komplexer und auch weniger elegant als das ursprüngliche Object-Oriented Episodic Record Model, doch es birgt den Vorteil einer geradlinigen Erklärung der kurzfristigen Leistungseinbrüche bei Distraktorenwechsel (Röer et al., 2011). Mittlerweile ist dieser Ansatz als einflussreichste Theorie im Feld anzusehen.

2.4.2.4 Erklärung des Irrelevant Sound Effect bei Kindern

Es ist schwierig, aus dem *Object-Oriented Episodic Record Model* Vorhersagen bezüglich des Irrelevant Sound Effect bei Kindern abzuleiten, da sich die Autorengruppe um Jones selbst der Untersuchung entwicklungsbedingter Veränderungen bislang nicht gewidmet und sich diesbezüglich auch nicht modelltheoretisch geäußert hat. Aufgrund der Basisannahmen des Modells sind jedoch Implikationen für Entwicklungsprozesse ableitbar.

Zentral bei der Erklärung des Irrelevant Sound Effect im Rahmen der *Changing-State-Hypothese* ist das Vorliegen konkurrierender Reihenfolgeinformationen aufgrund zweier Seriationsprozesse: Die Objektsequenz des irrelevanten Hintergrundschalls wird präattentiv und automatisch gebildet – die

Reihenfolge der zu memorierenden Items wird hingegen willentlich über Rehearsalprozesse generiert und aufrechterhalten (Jones & Tremblay, 2000). Da Kinder mit abnehmendem Alter weniger Gebrauch von Rehearsalstrategien machen, und stattdessen zur Aufrechterhaltung alternative Gedächtnisstrategien nutzen (z.B. Palmer, 2000; vgl. ausführliche Darstellung der Entwicklung von Rehearsal in Abschnitt 2.2.2.2), sollte der Irrelevant Sound Effect bei ihnen deutlich weniger ausgeprägt sein (vgl. Elliott, 2002; Klatt et al., 2010b).

Nach dem *Duplex-Mechanismus* (Hughes et al., 2007) sind jedoch neben der Störung durch automatische Interferenz auch aufmerksamkeitsbezogene Prozesse (*attention capture*) als mögliche Ursache für Leistungsminderungen, im speziellen den Ablenkungseffekt (*deviation effect*, Hughes et al. 2005, 2007, 2012) mit einzubeziehen. Der Ablenkungseffekt sollte bei Kindern, aufgrund ihrer schlechter ausgeprägten Kontrollmechanismen zur Lenkung von Aufmerksamkeitsressourcen (vgl. hierzu Abschnitt 2.3.2) und ihrer geringeren Arbeitsgedächtniskapazität, die mit einer höheren Empfindlichkeit gegenüber dem Ablenkungseffekt einhergeht, ausgeprägter sein als bei Erwachsenen.

2.5 Das Feature Model

Das *Feature Model* (Nairne, 1988, 1990) stellt zusammen mit seinen Weiterentwicklungen (Neath, 2000; Neath & Nairne, 1995) ein sehr umfassendes Modell des Arbeitsgedächtnisses dar, das zahlreiche seiner Phänomene (z.B. Recency Effect, Stimulus Suffix Effect, phonologischer Ähnlichkeitseffekt, Wirkung artikulatorischer Unterdrückung, Wortlängeneffekt, Irrelevant Sound Effect) mathematisch zu modellieren und simulieren vermag und dadurch einen Abgleich mit Verhaltensdaten ermöglicht. Im Folgenden wird zunächst das Modell in seinen Grundannahmen beschrieben und anschließend auf die Erklärung des Irrelevant Sound Effect eingegangen. Die Befundlage zu Kindern ist – wie auch schon beim Object-Oriented Episodic Record Model – äußerst dünn, da Entwicklungsaspekte bislang nicht im Fokus der Arbeitsgruppe um Nairne und Neath standen. Daher sind erneut nur mögliche Implikationen zur Übertragbarkeit des Modells auf Kinder und kindlichen Besonderheiten beim Irrelevant Sound Effect möglich.

2.5.1 Beschreibung des Modells

(i) Bestandteile und Prozesse. Gemäß dem *Feature Model* wird jedes Wahrnehmungsereignis in Form eines Vektors repräsentiert, welcher als Bündel von Merkmalen verstanden werden kann (Nairne, 1990). Die einzelnen Merkmale des Vektors – die sogenannten *Features* – bilden die kleinsten Informationseinheiten des Modells und können die Werte „1“, „-1“ und „0“ annehmen (Nairne, 1990). Ähnlich den Bildschirmpixeln eines Fernsehgeräts erlangen sie ihre Bedeutung erst im Rahmen ihres Zusammenspiels (Neath & Surprenant, 2003). Dabei werden aber zwei unterschiedliche Arten von Merkmalen angenommen: Zur Repräsentation von Gedächtnisinhalten stehen *modalitätsabhängige Merkmale* (*modality-dependent features*) wie auch *modalitätsunabhängige Merkmale* (*modality-independent features*) zur Verfügung (Nairne, 1988; Neath & Nairne, 1995)

Die *modalitätsabhängigen Merkmale* beschreiben physikalische, modalitätsspezifische Charakteristika der Information, die die Präsentationsbedingungen der Information widerspiegeln, wie zum Beispiel

Schrifttyp, -größe und -farbe bei visueller Präsentation oder Lautstärke und Geschlecht des Sprechers bei auditiver Präsentation. *Modalitätsunabhängige Merkmale* hingegen speichern vom konkreten Präsentationsmodus unabhängige Informationen, wie etwa die Bedeutung eines Items oder dessen Zuordnung zu einer Kategorie. Die Speicherung erfolgt in Form eines abstrakten, internal gebildeten Codes (Nairne, 1990). Im Feature Model wird also jedwede Art von Information durch einen Merkmalsvektor repräsentiert, der sich aus der Codierung modalitätsabhängiger und/oder modalitätsunabhängiger Merkmale zusammensetzt.

Dabei bestehen Gedächtnisspuren, die rein internal (z.B. durch bildliche Vorstellung oder inneres Sprechen) generiert wurden, nur aus modalitätsunabhängigen Merkmalen, da diese Gedächtnisinhalte per definitionem keine Modalität aufweisen (Nairne, 1990). Die Gedächtnisspuren externer Ereignisse, die stets eine Präsentationsmodalität besitzen, beinhalten hingegen zusätzlich auch modalitätsabhängige Merkmale. Infolgedessen übersteigt die Anzahl modalitätsunspezifischer Merkmale in der Regel die der modalitätsspezifischen Merkmale (Nairne, 1988).

Darüber hinaus unterscheidet das Modell – in Anlehnung an James (1890) – zwischen dem *primären Gedächtnis (primary memory)* und dem *sekundären Gedächtnis (secondary memory)* (Nairne, 1990). Für jedes Wahrnehmungsereignis wird simultan in beiden Systemen eine separate Gedächtnisspur in Form eines Merkmalsvektors angelegt (Nairne, 1990). Das primäre Gedächtnis weist zwar keine Kapazitätsbeschränkungen auf, allerdings wird angenommen, dass die dort abgelegten Merkmalsvektoren anfällig gegenüber Degeneration sind: Aufgrund des partiellen Überschreibens bestehender Einträge durch neu eintreffende Informationen (*retroaktive Interferenz*) werden Gedächtnisinhalte im primären Gedächtnis demnach nur unvollständig repräsentiert (Neath & Nairne, 1995). Dabei gilt es allerdings zu beachten, dass nur Merkmale desselben Typs miteinander interferieren können: So können modalitätsabhängige Merkmale nur durch modalitätsabhängige Merkmale überschrieben werden, modalitätsunabhängige Merkmale hingegen nur durch modalitätsunabhängige (Neath & Nairne, 1995). Inhalte im sekundären Gedächtnis degradieren im Gegensatz zu Einträgen des primären Gedächtnisses nicht und werden demnach als dauerhaft verfügbar angesehen.

Der Abruf von Informationen aus dem Gedächtnis erfordert ein Zusammenspiel von primärem und sekundärem Gedächtnis. Die Repräsentationen im primären Gedächtnis können selbst nicht direkt abgerufen werden, sie dienen stattdessen als „Hinweisreize“ zur Aktivierung von Einträgen des sekundären Gedächtnisses (Nairne, 2001), aus welchem der Abruf erfolgt. Zentral dabei ist der sogenannte Ähnlichkeitsabgleich zwischen den Merkmalsvektoren beider Gedächtnissysteme: Einem bereits teilweise degradierten, unvollständigen Merkmalsvektor des primären Gedächtnisses wird derjenige Eintrag des sekundären Gedächtnisses zugewiesen (*sampling*), zu dem das höchste Maß an Merkmalsübereinstimmung besteht („*best relative match*“, Neath, 1999). Der Prozess des Ähnlichkeitsabgleichs zwischen Merkmalsvektoren des primären und sekundären Gedächtnisses ist Abb. 5 zu entnehmen.

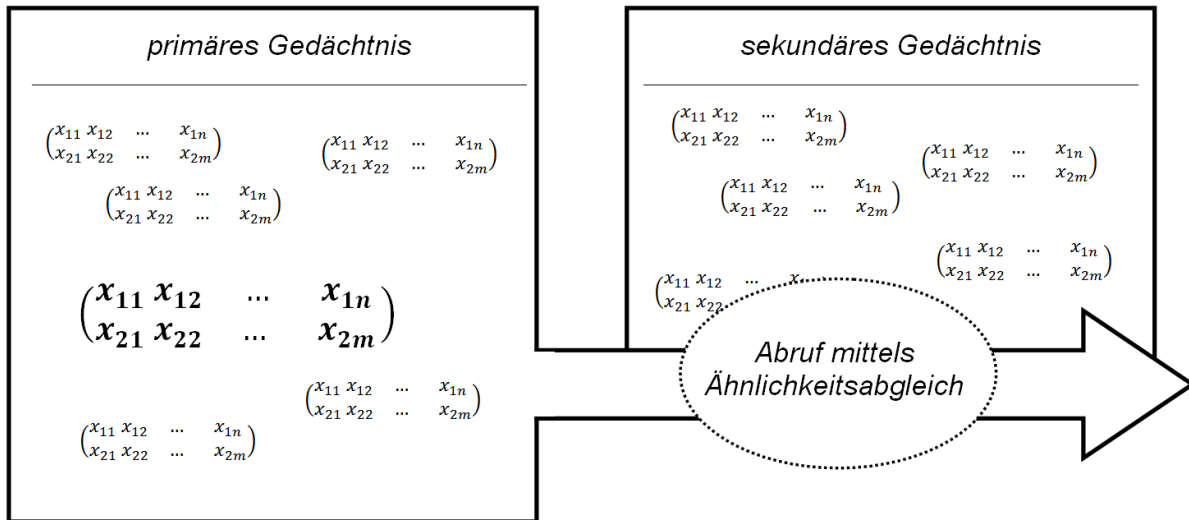


Abb. 5 Darstellung verschiedener Merkmalenvektoren und des Ähnlichkeitsabgleichs im Feature Model. Die Merkmalenvektoren setzen sich aus modalitätsabhängigen Merkmalen ($x_{11} \dots x_{1n}$) und modalitätsunabhängigen Merkmalen ($x_{21} \dots x_{2m}$) zusammen. Während die Merkmalenvektoren im sekundären Gedächtnis vollständige Repräsentationen einer Information darstellen ($x_{uk} \in [-1, 1]$, $u = 1, 2; k = 1 \dots n \dots m$), können Einträge im primären Gedächtnis teilweise überschrieben sein ($x_{uk} \in [-1, 0, 1]$, $u = 1, 2; k = 1 \dots n \dots m$) (adaptiert nach Nairne, 1990, Schlittmeier, 2005).

Der Abruf von Gedächtniseinträgen basiert im Feature Model demnach auf dem Auffinden desjenigen Eintrags im sekundären Gedächtnis, der die höchste relative Ähnlichkeit zum (teilweise bereits degradierten) Hinweisreiz im primären Gedächtnis aufweist. Der dabei zentrale Ähnlichkeitsabgleich lässt sich mathematisch modellieren (vgl. Neath, 2000, S. 408):

$$P(SM_j | PM_i) = \frac{s(i,j)}{\sum_{k=1}^n s(i,k)} = \frac{e^{-d_{ij}}}{\sum_{k=1}^n s(i,k)} = \frac{e^{-a \frac{\sum_{l=1}^N M_l}{N}}}{\sum_{k=1}^n s(i,k)}$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass der primären Gedächtnisspur PM_i die sekundäre Gedächtnisspur SM_j zugeordnet wird (kurz: $P(SM_j | PM_i)$), errechnet sich demnach aus der Ähnlichkeit zwischen den beiden Spuren PM_i und SM_j (kurz: $s(i,j)$) im Verhältnis zur Summe der Ähnlichkeiten von PM_i zu allen verfügbaren Spuren $k = 1, \dots, n$ des sekundären Gedächtnisses (kurz: $\sum_{k=1}^n s(i,k)$). Die Ähnlichkeit zweier Spuren $s(i,j)$ wird dabei über die Berechnung eines Distanzmaßes d_{ij} bestimmt, wobei in Anlehnung an Shepards (1987) Generalisierungsgradienten von einer exponentiellen Beziehung ausgegangen wird. Das Distanzmaß d_{ij} setzt sich dabei aus zwei Parametern zusammen: Einerseits wird die Summe der nicht übereinstimmenden Merkmale (kurz: $\sum_{l=1}^N M_l$) in Relation zur Anzahl aller der verglichenen Merkmale N berücksichtigt, andererseits geht ein Gewichtungsfaktor a in die Berechnung mit ein, der die während des Abgleichs verfügbaren Aufmerksamkeitsressourcen modelliert.

Fehler beim Abruf von Gedächtnisinhalten können im Rahmen des Feature Model auf zweierlei Arten erklärt werden: Zentral ist zunächst die mathematische Beziehung, dass $P(SM_j | PM_i)$ mit wachsendem $\sum_{k=1}^n s(i,k)$ sinkt – der Prozess des Ähnlichkeitsabgleichs also umso schwieriger wird, je mehr die einzelnen Wahrnehmungereignisse einander ähneln (Neath & Nairne, 1995). Abruffehler werden demnach auf *ähnlichkeitsbasierte Interferenzen* zwischen verschiedenen Gedächtniseinträgen

zurückgeführt, die in ungenauen Verweisen zwischen den Repräsentationen des primären und des sekundären Gedächtnisses münden – und nicht auf den Zerfall der Repräsentationen oder auf Kapazitätsbeschränkungen der einzelnen Speichersysteme (Nairne, 1990; Neath, 2000; Neath & Nairne, 1995). Leistungsbeeinträchtigungen können aber auch durch zu *geringe Aufmerksamkeitsressourcen* a , z.B. aufgrund parallel ablaufender Verarbeitung aufgabenirrelevanter Informationen oder begleitender Umweltereignisse, zustande kommen, da die Wahrscheinlichkeit der korrekten Spuruweisung $P(SM_j|PM_i)$ auch mit sinkendem a (bei ansonsten konstanten Bedingungen) abnimmt (Nairne, 1990; Neath & Nairne, 1995).

Anzumerken ist aber auch, dass der erfolgreiche Abruf selbst bei einer relativ hohen Anzahl an degenerierten Merkmalen möglich sein kann und die alleinige Erhöhung der Anzahl der Merkmale nicht zwingend mit einer verbesserten Abrufleistung einhergeht. Zur Verdeutlichung dieser Aussagen kann erneut die eingangs beschriebene Analogie des Fernsehbildes herangezogen werden: Bilder können auch bei zahlreichen, fehlenden Pixeln erkannt werden – allerdings wird ein bereits identifizierbares Bild nicht zwingend „besser“ erfasst, nur weil die Auflösung stetig erhöht wird (Neath, 2000).

(ii) Übertragbarkeit des Modells auf Kinder. Ob und wie sich die einzelnen Komponenten und Wirkmechanismen des an Erwachsenen konzipierten Arbeitsgedächtnismodells auf Kinder übertragen lassen, war meines Wissens bislang nicht Bestandteil empirischer Untersuchungen.

2.5.2 Erklärung des Irrelevant Sound Effect mithilfe des Feature Model

Das Feature Model nimmt bei der Erklärung der leistungsmindernden Wirkung irrelevanten Hintergrundschalls eine modelltheoretische Differenzierung zwischen sprachlichen und nichtsprachlichen Distraktoren vor – der Ähnlichkeitsabgleich wird von diesen in unterschiedlicher Art und Weise beeinflusst.

(i) Beschreibung der Störmechanismen. Die Störwirkung *sprachlicher Schalle* wird dabei in erster Linie auf das Prinzip der *Merkmalsübernahme (Feature Adoption)* zurückgeführt. Dabei werden die modalitätsunabhängigen Merkmale der im primären Gedächtnis gespeicherten, zu memorierenden Items durch modalitätsunabhängige Merkmale des Sprachschalls teilweise überschrieben und ersetzt (Neath, 1999, 2000). Dies geht mit einer verminderten Passung zwischen den degradierten Gedächtnisspuren im primären Gedächtnis und den intakten Spuren im sekundären Gedächtnis einher (d.h. $s(i,j)$ ist vermindert, vgl. Abschnitt 2.5.1), was in einer geringeren Wahrscheinlichkeit der korrekten Spuruordnung resultiert. Dieser Störmechanismus ist jedoch auf sprachliche Schalle beschränkt – schließlich erscheint es wenig eingängig, dass modalitätsunabhängige Merkmale eines nichtsprachlichen Geräuschs die der (sprachlichen) Gedächtnisitems im Sinne ähnlichkeitsbasierter Interferenz überschreiben können (Neath, 2000).

Zur Erklärung der leistungsmindernden Wirkung *nichtsprachlicher Schalle* wird daher auf einen zweiten, *aufmerksamkeitsbasierten Wirkmechanismus* rekuriert: Das Ignorieren von Störgeräuschen bindet Aufmerksamkeitsressourcen, die zur Bearbeitung der Primäraufgabe nicht mehr zur Verfügung stehen (d.h. „ a “ ist vermindert, siehe hierzu Abschnitt 2.5.1). Es wird also eine Dual Task Situation

angenommen, bei welcher das Ignorieren von Hintergrundschall eine eigene Aufgabe bildet (Neath, 2000). Durch die Doppelbelastung wird die relative Ähnlichkeit von Spuren mit hoher Merkmalsübereinstimmung herabgesetzt, wodurch die Abrufleistung sinkt⁴. Auch die erhöhte Störwirkung von Changing-State-Schallen im Vergleich zu Steady-State-Schallen wird (ähnlich wie im Embedded Processes Model) über die Beanspruchung von Aufmerksamkeitsressourcen erklärt, indem angenommen wird, dass das Ignorieren beständig wechselnder Distraktoren schwerer fällt als die Ausblendung eines gleichförmigen oder repetitiv dargebotenen Distraktors (Neath, 2000).

Zur Erklärung der leistungsmindernden Wirkung irrelevanter Hintergrundschalle werden demnach zwei unterschiedliche Mechanismen angeführt: mangelnde Aufmerksamkeitsressourcen und Feature Adoption. Während die Leistungseinbußen bei nicht-sprachlichen Distraktoren jedoch ausschließlich durch verminderte Aufmerksamkeitsressourcen begründet werden, wirken diese bei der Begründung der Störwirkung sprachlicher Distraktoren nur als zusätzlicher Erklärungsfaktor. Vornehmlich wird aber auf ähnlichkeitsbasierte Interferenz zwischen relevanten und irrelevanten modalitätsunabhängigen Merkmalen im primären Gedächtnis rekuriert (siehe Abb. 6)(Farley et al., 2007).

Aus dieser Konzeption der Störwirkung durch Hintergrundschall ergeben sich mehrere Implikationen bezüglich *aufgaben- und schallspezifischer Charakteristika* des Irrelevant Sound Effect:

Zunächst wird im Feature Model keine Einschränkung bezüglich potentiell lärmsensitiver Aufgaben getroffen – die leistungsmindernden Prozesse der Feature Adoption wie auch der Ressourcenbelastung können unabhängig von der speziellen *Aufgabe* auftreten (Farley et al., 2007; Neath, 2000). Darüber hinaus ist die Wirkung des irrelevanten Hintergrundschalls unabhängig von der *Darbietungsmodalität* der zu memorierenden Items, weil modalitätsspezifische Aspekte sowohl beim Prozess der Feature Adoption (welcher auf modalitätsunabhängige Merkmale beschränkt ist) als auch in der hypothetisch angenommenen Dual-Task-Situation keine Rolle spielen. Dementsprechend sind auch weitere physikalische Parameter, wie z.B. die *Lautstärke* des Hintergrundschalls als unerheblich einzustufen.

Nun zur Auswirkung verschiedener Hintergrundschalle: Gemäß dem Modell ist bei steigender *phonologischer Ähnlichkeit* der Gedächtnisitems mit einer zunehmenden Minderung der Behaltensleistung zu rechnen, da die Wahrscheinlichkeit der korrekten Zuordnung der Gedächtnisspuren bei einer insgesamt erhöhten Anzahl übereinstimmender Merkmale vermindert ist (Nairne, 2002; Neath & Nairne, 1995). Dieser Argumentationslinie folgend würde man auch einen *Between-Stream Phonological Similarity Effect* erwarten (Baddeley, 2000b; Jones & Tremblay, 2000) – was von Neath (2000) jedoch zurückgewiesen wird: Das Ausmaß der Feature Adoption bei zu den Gedächtnisitems ähnlichen bzw. unähnlichen Schallen sei als vergleichbar einzustufen, da die Präsentation der irrelevanten Hintergrundsprache nicht synchron zu der der Gedächtnisitems erfolge. Außerdem werde stets nur eine Teilmenge der Merkmale des irrelevanten Hintergrundschalls in die

⁴ Das Ignorieren sprachlicher Schalle erfordert zwar ebenfalls Aufmerksamkeit, allerdings wird der Prozess der Feature Adoption als vordergründig angenommen (Neath, 2000). Nichtsdestotrotz stellt die Störwirkung irrelevanter Sprache aber eine Kombination beider Faktoren dar (Farley, Neath, Allbritton, & Suprenant, 2007).

Repräsentationen der zu memorierenden Items mit einbezogen. Daher würde in beiden Fällen eine ähnliche Anzahl von Merkmalen implementiert (Neath, 2000).

Zentral im Feature Model ist die modelltheoretische Differenzierung der Störwirkung sprachlicher und nichtsprachlicher Distraktoren. Zwar konnten einige Studien qualitative Unterschiede der Störwirkung von Sprache und Nicht-Sprache feststellen (Neath & Surprenant, 2001), zahlreiche Befunde lassen jedoch auf funktionale Äquivalenz schließen (Chein & Fiez, 2010; Jones et al., 2000; Jones & Macken, 1993; Tremblay & Jones, 1998). Dadurch erscheint es zweifelhaft, auf getrennte Störmechanismen zu rekurrieren. Weitere Probleme ergeben sich auch aus Studien, die Beeinträchtigungen durch Distraktoren nachweisen, die sich nur hinsichtlich modalitätsabhängiger Merkmale voneinander unterscheiden (Jones et al., 1999; Jones & Macken, 1995c): Gemäß dem Modell ist der Prozess der Feature Adoption auf modalitätsunabhängige Merkmale beschränkt.

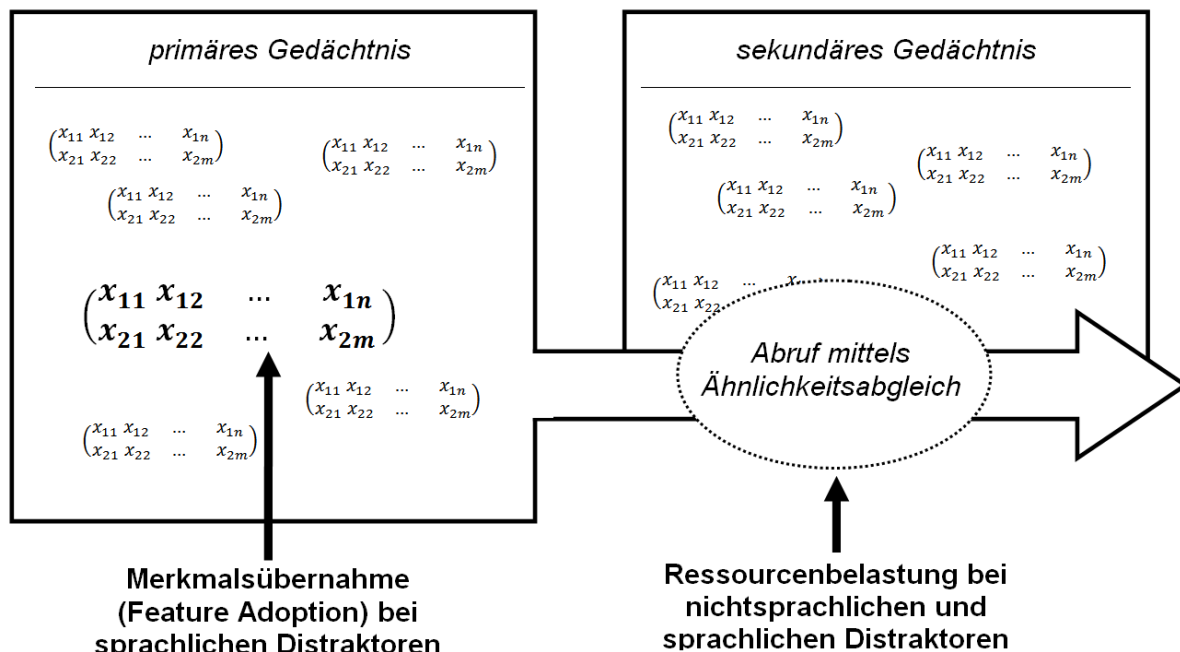


Abb. 6 Darstellung der Wirkung irrelevanten Hintergrundschalls im Feature Model. Feature Adoption bildet den zentralen Störmechanismus bei sprachlichen Distraktoren. Bei nichtsprachlichen Distraktoren wird hingegen rein auf fehlende Aufmerksamkeitsressourcen aufgrund der Doppelbelastung rekurriert (adaptiert nach Schlittmeier, 2005).

(ii) Erklärung bei Kindern. Es ist schwierig, aus dem Feature Model Vorhersagen bezüglich des Irrelevant Sound Effect bei Kindern abzuleiten, da sich die Autorengruppe selbst der Untersuchung entwicklungsbedingter Veränderungen meines Wissens nicht gewidmet und sich diesbezüglich auch nicht modelltheoretisch geäußert hat. Aufgrund der Basisannahmen des Modells sind jedoch Implikationen für Entwicklungsprozesse ableitbar.

Entwicklungsbedingte Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen bei der Erklärung des Irrelevant Sound Effect lassen sich im Rahmen des Feature Model möglicherweise über den Aufmerksamkeitsparameter modellieren (vgl. hierzu Elliott, 2002; Klatt et al., 2010b): Da Kinder, wie bereits in Abschnitt 2.3.2 ausführlich erläutert, deutlich weniger als Erwachsene dazu in der Lage sind, ihre Aufmerksamkeit auf aufgabenrelevante Informationen zu fokussieren und Irrelevantes

auszublenden, stehen ihnen weniger Aufmerksamkeitsressourcen zur Bearbeitung der Primäraufgabe zur Verfügung. Dementsprechend geringer ist die Wahrscheinlichkeit der korrekten Spurzuordnung, also des fehlerfreien Abrufs der Gedächtnisitems. Es ist also davon auszugehen, dass die Störwirkung von Changing-State-Schallen bei Kindern deutlich ausgeprägter ist (Elliott, 2002; Klatt et al., 2010b).

2.6 Zusammenfassende Betrachtung der arbeitsgedächtnisbasierten Erklärungsansätze des Irrelevant Sound Effect

In den vorangegangenen Abschnitten wurden verschiedene Arbeitsgedächtnismodelle mit ihren unterschiedlichen Grundannahmen und Mechanismen vorgestellt und die damit verbundenen Erklärungsansätze für das Zustandekommen des *Irrelevant Sound Effect* sowie deren Implikationen für das Phänomen bei Kindern erläutert. Im Folgenden werden die wesentlichen Punkte rekapituliert und zusammengefasst.

Der Irrelevant Sound Effect wurde zunächst im Rahmen des *Working Memory Model* (Baddeley, 1986) untersucht und als Folge modalitätsspezifischer Interferenzen im phonologischen Speicher der phonologischen Schleife interpretiert, zu dem gehörte Sprache – auch unbeachtete – obligatorischen Zugang habe (Salamé & Baddeley, 1982, 1986, 1989). Leistungseinbußen unter Hintergrundschall werden demnach als direkte und passive Konsequenz der ähnlichen Beschaffenheit von irrelevanten und relevanten Informationen interpretiert, die daher dieselbe Speicherkomponente beanspruchen (*interference by content*).

Inzwischen liegen jedoch mehrere alternative Erklärungsansätze vor, die von sehr unterschiedlichen Grundannahmen bezüglich der Struktur des Arbeitsgedächtnisses ausgehen. Nach dem, im Rahmen des *Object-Oriented Episodic Record Model* formulierten, Prinzip der spezifischen Interferenz wird der Irrelevant Sound Effect auf die Ähnlichkeit der kognitiven Prozesse zurückgeführt, die an der Verarbeitung des Hintergrundschalls und der Bearbeitung der Primäraufgabe beteiligt sind (*interference by process*) (Marsh et al., 2009). In der Erweiterung des Modells – dem sogenannten *Duplex-Mechanismus* (Hughes et al., 2007) – wird aber auch die Möglichkeit der Verlagerung von Aufmerksamkeitsressourcen hin zum Distraktormaterial mit berücksichtigt (*attentional capture; temporary attention distraction*): Dieser deutlich globalere, aufgabenunspezifische Mechanismus der Aufmerksamkeitsablenkung (Hughes et al., 2012) führt temporär zu einer gestörten Encodierung der Zielitems, was mit einer kurzzeitigen Leistungsminderung einhergeht und dadurch eine gewisse Modulation des Irrelevant Sound Effect um aufmerksamkeitsbezogene Parameter erlaubt (Hughes et al., 2007).

Einen rein aufmerksamkeitsbasierten Erklärungsansatz zum Irrelevant Sound Effect liefert hingegen das *Embedded Processes Model* (Cowan, 1988, 1995, 1999), bei dem die unwillkürliche Orientierungsreaktion auf auditiven Distraktoren die zentrale Erklärungskomponente des Phänomens darstellt: Irrelevanter Hintergrundschall bindet dabei Aufmerksamkeitsressourcen, die folglich zur eigentlichen Aufgabenbearbeitung nicht mehr zur Verfügung stehen, was mit einer Leistungsverschlechterung einhergeht.

Das *Feature Model* (Neath, 1999, 2000; Neath & Nairne, 1995) nimmt zur Erklärung des Irrelevant Sound Effect zwei qualitativ verschiedene Wirkmechanismen an: Einerseits können zeitlich

variierende Hintergrundgeräusche eine Doppelbelastung der Aufmerksamkeitsressourcen bewirken, da während der Bearbeitung der Erinnerungsaufgabe gleichzeitig irrelevante Geräusche auszublenden sind. Andererseits kann eine Leistungsminderung auch durch ähnlichkeitsbasierte Interferenz (*Feature Adoption*) auftreten.

Was lässt sich aus diesen Erklärungsansätzen bezüglich des *Irrelevant Sound Effect bei Kindern* folgern? Im *Working Memory Model* wie auch in der ursprünglichen Fassung des *Object-Oriented Episodic Record Model* werden die phonemische Codierung des Lernmaterials bzw. der Einsatz einer Rehearsalstrategie als Voraussetzungen für das Auftreten des Irrelevant Sound Effect betrachtet. Da jüngere Kinder von solchen Strategien weniger Gebrauch machen als ältere Kinder und Erwachsene (Hadlington et al., 2004; Jones & Macken, 1993; Klatt et al., 1995) ist theoriegemäß eine Abschwächung des Effekts mit abnehmendem Alter zu erwarten.

Bei Modellen, die eine Involvierung von Aufmerksamkeitsprozessen beim Irrelevant Sound Effect annehmen (z.B. *Duplex-Mechanismus* oder *Feature Model*) oder das Phänomen rein auf Aufmerksamkeitsdistraction zurückführen (*Embedded Processes Model*), ist hingegen mit einem Anstieg der Geräuschwirkung mit abnehmendem Alter zu rechnen, da Kinder weniger als Erwachsene in der Lage sind, irrelevante Geräusche auszublenden (Neath, Guérard, Jalbert, Bireta, & Surprenant, 2009; Ronsse & Wang, 2010; Ross et al., 2011).

3. Fragestellung

Der *Irrelevant Sound Effect* beschreibt das robuste und reliable Phänomen, dass die unmittelbare serielle Wiedergabeleistung für Folgen sprachlicher Items durch irrelevante Hintergrundschnalle beeinträchtigt wird. Unklar ist jedoch, ob der Irrelevant Sound Effect entwicklungsbedingten Veränderungen unterliegt. Die erste Experimentalreihe (Kapitel 4 und 5) prüft daher, ob es Alterseffekte zwischen Kindern und Erwachsenen gibt und ob diese gegebenenfalls durch die Art des Hintergrundschnalls (Changing-State- vs. Steady-State-Schnalle), die Modalität (auditiv vs. visuell) und/oder der Komplexität der zu bearbeitenden Aufgabe (Merkaufgabe mit serieller Komponente vs. Merk- und Vergleichsaufgabe ohne serielle Komponente) moderiert werden. Experiment 2 prüft den Einfluss der Verständlichkeit und der Lautstärke des Hintergrundschnalls. Neben phänomenbezogenen Erkenntnissen zur quantitativen und qualitativen Beschaffenheit des Irrelevant Sound Effect bei Kindern sollen die Experimente auch einen Beitrag zur Frage leisten, welches Arbeitsgedächtnismodell das kindliche Befundmuster am besten abzubilden vermag.

Bei dieser Experimentalserie haben sich zusätzliche, theoretisch bedeutsame Fragestellungen ergeben, deren Untersuchung unabhängig vom Entwicklungsaspekt wertvolle Erkenntnisse versprechen. Diese sollen in einer separaten, auf Erwachsene beschränkten, Experimentalreihe (Kapitel 6 und 7) weiter untersucht werden.

4. Empirische Untersuchungen – Teil 1: Altersvergleichende Studien

4.1 Experiment 1: Der „Irrelevant Sound Effect“ bei Kindern und Erwachsenen: Gibt es Alterseffekte?

In einer Reihe von Studien erwies sich das serielle Behalten sprachlicher Information im Arbeitsgedächtnis als besonders sensitiv für negative Lärmwirkungen. Dieser sogenannte „*Irrelevant Sound Effect*“ kann jedoch nicht durch jede Art von Hintergrundgeräusch hervorgerufen werden: Zeitlich variierende Hintergrundgeräusche, wie Sprache oder Instrumentalmusik, beeinträchtigen die Gedächtnisleistung signifikant, während kontinuierliche, subjektiv „glatte“ Geräusche, wie Stimmengewirr oder Rauschen, gleichen oder höheren Pegels keine Leistungsminderung bewirken („*Changing-State Effect*“).

Unklar ist jedoch, ob der Irrelevant Sound Effect entwicklungsbedingten Veränderungen unterliegt – und falls ja, welches Arbeitsgedächtnismodell das kindliche Befundmuster am besten abbildet. Bislang gibt es hierzu nur wenige altersvergleichende Studien, die zwar einhellig die Präsenz des Irrelevant Sound Effect bei Kindern belegen, davon abgesehen aber sehr widersprüchliche Befundmuster aufweisen: Zwei berichten von einem dramatischen Anstieg der Störwirkung durch Hintergrundsprache mit abnehmendem Alter (Elliott, 2002; Elliott & Briganti, 2012), eine andere fand hingegen keine Alterseffekte (Klatte et al., 2010b). In Experiment 1 soll daher die Wirkung irrelevanter sprachlicher Geräusche auf das Arbeitsgedächtnis altersvergleichend (Vorschüler vs. Erstklässler vs. Drittklässler vs. Fünftklässler vs. Erwachsene) untersucht werden. Dabei sind gegenüber den bisherigen Studien (Elliott, 2002; Elliott & Briganti, 2012; Klatte et al., 2010b) mehrere Erweiterungen und Variationen hervorzuheben:

(i) Altersbereich. Zunächst wird der Altersbereich der zu untersuchenden Stichprobe, anders als in den bisherigen Studien, die auf das Grundschulalter fokussierten, erstmals auf Vorschulkinder ausgedehnt. Dies ist durch die zahlreichen, entwicklungsbedingten Veränderungen zu begründen, die sich insbesondere im Alter von 5 bis 7 Jahren vollziehen und für den Irrelevant Sound Effect bedeutend sein könnten, wie etwa die Entwicklung von Rehearsalstrategien (siehe Abschnitt 2.2.2.2) oder die Entwicklung selektiver Aufmerksamkeits- und Inhibitionsprozesse (siehe Abschnitt 2.3.2). Der Einbezug jüngerer Kinder erscheint daher als vielversprechende Variation.

(ii) Hintergrundschaall. Bislang ist fraglich, ob sich der für Erwachsene typische Changing-State Effect auch bei Kindern reliabel nachweisen lässt. Zur Prüfung dieser Fragestellung soll neben einem einzelnen Hintergrundsprecher (*Changing-State-Schall*) erstmals die Hintergrundbedingung eines Stimmengewirrs verwendet werden. Die Wahl des Hintergrundschaalls lässt sich wie folgt begründen: Um *Changing-State-Charakter* aufzuweisen, hat ein Schall drei Kriterien zu erfüllen. (a) Zunächst muss sich der Schall in diskrete Wahrnehmungsereignisse zergliedern lassen (Macken et al., 2009). Diese Einzelereignisse wiederum (b) haben sich vom jeweils vorhergehenden klar wahrnehmbar zu unterscheiden (Macken et al., 2009) und (c) müssen eine serielle Abfolge zur Formung eines kohärenten Stroms beinhalten (Jones et al., 1999). Bei Verletzung einer einzigen dieser Forderungen

wird kein leistungsmindernder Effekt mehr erwartet, da der Schall dann als sogenannter *Steady-State-Schall* eingestuft wird. Bisherige altersvergleichende Studien verwendeten ausschließlich *Steady-State-Schalle*, denen der *Steady-State-Charakter* aufgrund einer Verletzung von Forderung (b) oder (c) zukam: Elliott (2002) setzte repetitive Wörter bzw. Töne ein – also Geräusche, deren einzelne Wahrnehmungsereignisse sich nicht voneinander unterscheiden (Verletzung von (b)). Klante und Kollegen (2010b) nutzten die Geräuschkulisse eines Klassenzimmers, welche als lose Abfolge unverbundener Ereignisse ohne serielle Abfolge verstanden werden kann (Verletzung von (c)). Ein kontinuierliches, hochgradig kohärentes Geräusch, das gegen Kriterium (a) verstoßen würde (Jones et al., 1992), wie etwa ein Stimmengewirr oder Breitbandrauschen, wurde bei Kindern bislang noch nicht eingesetzt, würde aber Aussagen zur Übertragbarkeit des *Changing-State-Kriteriums* auf Kinder ermöglichen.

(iii) Präsentationsmodalität. Eine zusätzliche Erweiterung gegenüber den bisherigen altersvergleichenden Studien stellt die Präsentationsmodalität der zu bearbeitenden Aufgaben dar: Bislang wurden ausschließlich visuelle Aufgaben verwandt – in Experiment 1 hingegen sollen visuelle und auditive Aufgaben bearbeitet werden. Dies ist insbesondere in Hinblick auf die Materialabhängigkeit der eingesetzten Behaltensstrategie bei jüngeren Kindern interessant: Präferieren selbige bei Bildmaterial doch visuelle anstelle phonologischer Merktechniken (siehe Abschnitt 2.2.2.1), was sich in Modalitätseffekten widerspiegeln könnte und modelltheoretisch bedeutsam wäre.

(iv) Aufgabentypen. Die in Kapitel 2 beschriebenen Arbeitsgedächtnismodelle unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Annahmen bezüglich potentiell lärmsensitiver Aufgaben: Im *Working Memory Model* wird der *Irrelevant Sound Effect* als modalitätsabhängige Interferenz phonologischer Repräsentationen des Schall einerseits und der Gedächtnisitems andererseits verstanden, weswegen das Phänomen bei allen Aufgabentypen auftreten sollte, die eine phonologische Verarbeitung erfordern (Salamé & Baddeley, 1982, 1986, 1989). Im klassischen *Object-Oriented Episodic Record Model* hingegen tritt der *Irrelevant Sound Effect* als Resultat eines Konflikts unterschiedlicher Reihenfolgeinformationen auf, weswegen das Phänomen auf Aufgaben mit serieller Komponente beschränkt sein sollte (Banbury et al., 2001; Jones et al., 1996, 2010). Im *Feature Model* wie auch im *Embedded Processes Model* werden hingegen keine Einschränkungen getroffen, da die leistungsmindernden Prozesse der *Feature Adoption* wie auch der Ressourcenbelastung unabhängig von der speziellen Aufgabe auftreten können (Cowan, 1995; Farley et al., 2007; Neath, 2000).

Um dem gerecht zu werden, wird in der vorliegenden Studie, anders als in den bisherigen Altersvergleichen, der Aufgabentyp variiert: Es wird nicht nur der vergleichsweise simple, klassische Aufgabentyp „seriellen Behaltensaufgabe“ eingesetzt, sondern auch eine komplexere Aufgabe zur phonologischen Verarbeitung. Diese Variation soll Schlussfolgerungen über die Parameter ermöglichen, die eine Aufgabe sensitiv gegenüber Hintergrundschall machen. Insbesondere soll die Notwendigkeit der Aufrechterhaltung von Reihenfolgeinformationen (*Serialität*) geprüft werden – ein Aspekt, der auch bei Erwachsenen noch nicht abschließend geklärt ist (vgl. Abschnitt 1.2.2). Bislang gibt es, wie ebendort erläutert, jedoch nur wenige Studien, die sich überhaupt mit den Auswirkungen irrelevanten Hintergrundschalls auf Aufgaben mit phonologischer anstelle serieller Anforderung beschäftigt haben: Bei Erwachsenen konnten Smith und Kollegen (1995) Beeinträchtigungen in einer

Buchstaben-Ziffern-Folge-Aufgabe nachweisen, Baddeley und Salamé (1986) bei Reimaufgaben hingegen nicht. Klatté und Kollegen (2007) gaben diesbezüglich aber zu bedenken, dass die anscheinend lärmsensitive Ziffern-Folge-Aufgabe, anders als die Reimaufgabe, eine phonologische Verarbeitung auf der Ebene einzelner Phoneme benötigt (Klatté et al., 2007). Daher soll im aktuellen Experiment eine Aufgabe zum Einsatz kommen, die selbiges erfordert und darüber hinaus für Kinder geeignet ist. Die von Klatté und Kollegen (2007) bereits bei Kindern erprobte Odd-One-Out-Aufgabe⁵ (Bradley & Bryant, 1983; Klatté et al., 2007; Stock, Marx, & Schneider, 2004) scheint für die vorliegenden Zwecke passend: Die serielle Behaltensaufgabe und die Odd-One-Out-Aufgabe gleichen sich hinsichtlich der Encodierung der Stimuli, differieren aber bezüglich ihrer Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis. Odd-One-Out erfordert kein serielles Erinnern, dafür aber die Kategorisierung der Stimuli hinsichtlich der Anlaute (phonologische Anforderung auf Phonemebene). Interessant wird also sein, ob beim Aufgabentyp „Odd-One-Out“ überhaupt ein Irrelevant Sound Effect in allen Altersstufen zu beobachten sein wird – und falls ja, ob das Befundmuster dem der seriellen Behaltensaufgabe ähnelt oder nicht.

Zusammenfassend prüft Experiment 1, ob beim Irrelevant Sound Effect Alterseffekte zu verzeichnen sind und ob diese durch die Art des Hintergrundschalls (Changing-State- vs. Steady-State-Schall), die Modalität der Aufgabenstellung (auditiv vs. visuell) und/oder die Anforderungen der der zu bearbeitenden Aufgabe (serielle Behaltensaufgabe vs. Odd-One-Out-Aufgabe) moderiert werden.

4.1.1 Methode

4.1.1.1 Teilnehmer

Für die experimentelle Untersuchung werden insgesamt 123 Personen aus 5 Altersgruppen (Vorschüler, Erstklässler, Drittklässler, Fünftklässler, Erwachsene) untersucht. Die Teilnehmer geben an, Deutsch als Muttersprache zu sprechen und keine Kenntnisse des Koreanischen zu haben. Die Kinder bekommen als Dank für ihr Mitwirken (mit Einverständnis der Eltern) Schokolade und Gummibärchen. Die Erwachsenen werden mit 7 Euro pro Stunde bar entlohnt.

(i) Vorschüler. Die Stichprobe der Kindergartenkinder (n=24; 10 Mädchen, 14 Jungen) setzt sich aus Vorschülern zweier bayerischer Kindertagesstätten zusammen. Die Kinder haben einen Altersmedian von 5;3 Jahren, der jüngste Teilnehmer ist 4;10, der älteste 5;7 Jahre alt.

(ii) Erstklässler. Die Erstklässler (n=24; 15 Mädchen, 9 Jungen) sind Schüler einer bayerischen Grundschule. Sie haben einen Altersmedian von 6;7 Jahren, der jüngste Teilnehmer ist 6;3, der älteste 7;1 Jahre.

(iii) Drittklässler. Bei der Stichprobe der Drittklässler (n=27; 12 Mädchen, 15 Jungen) handelt es sich um Schüler einer bayerischen Grundschule. Die Teilnehmer weisen einen Altersmedian von 8;7 Jahren, bei einer Spannweite von 8;3 bis 9;1 Jahren auf.

⁵ Da sich dieser Aufgabentyp in Vorversuchen allerdings für viele Vorschulkinder als zu schwierig erwiesen hat, wird die Aufgabenvariation nur mit Schulkindern und Erwachsenen durchgeführt.

(iv) Fünftklässler. Die Fünftklässler (n=24; 8 Mädchen, 16 Jungen) sind Schüler einer bayerischen Mittelschule. Die Teilnehmer weisen einen Altersmedian von 10;8 Jahren, bei einer Spannweite von 10;4 bis 11;8 Jahren auf.

(iv) Erwachsene. Bei der Stichprobe der Erwachsenen (n=24; 15 Frauen, 9 Männer) handelt es sich um Studierende der TU Kaiserslautern. Sie haben einen Altersmedian von 23;8 Jahren bei einer Spannweite von 21;1 bis 27;0 Jahren.

4.1.1.2 Aufgaben, Stimulusmaterial und Hintergrundschalle

(i) Serielle Behaltensaufgabe. Die Versuchsteilnehmer sollen während der Darbietung von irrelevantem Hintergrundschall (Ruhe, einzelner Sprecher, Stimmengewirr) eine Sequenz von drei bis zu acht unverbundenen, bildlich oder auditiv präsentierten Items memorieren. Die Anzahl der zu memorierenden Items variiert über die Altersstufen hinweg, um eine vergleichbare Aufgabenschwierigkeit zu gewährleisten. Vorschüler bearbeiten Sequenzen der Länge 3 und 4 (zu jeweils 50%), Erstklässler der Länge 4, Drittklässler der Länge 5, Fünftklässler der Länge 6 und Erwachsene der Länge 8. Die präsentierte Sequenz ist anschließend in der entsprechenden Darbietungsreihenfolge zu wiederholen. Die Aufforderung zur Wiedergabe der korrekten Reihenfolge erfolgt unmittelbar nach der Präsentation des letzten Items. Dazu werden alle Bilder in zufälliger Anordnung gleichzeitig präsentiert. Der Wiedergabemodus ist ebenfalls an die Altersstufe angepasst: Die Vorschüler sollen auf die Bilder in der zuvor memorierten Reihenfolge deuten – das schriftliche Festhalten der Reihung erfolgt durch den Versuchsleiter. Die übrigen Altersgruppen tragen die Reihenfolge selbst auf ihren Antwortbögen ein – die Methodik entspricht dabei der von Klatte und Kollegen (2010b): Während Drittklässler, Fünftklässler und Erwachsene die Bilder eigenständig durchnummerieren, werden den Erstklässlern die Ziffern von 1 bis 4 bereits vorgegeben – sie haben nur noch Verbindungsstriche zwischen dem Bild und der jeweiligen Positionsnummer zu ziehen. Der Grund hierfür ist, dass das eigenständige Schreiben der Ziffern relativ lange dauert, was die Output-Interferenz dramatisch erhöhen könnte (vgl. Klatte et al., 2010b). Bei den Antwortbögen der Fünftklässler und der Erwachsenen gibt es noch eine zusätzliche Schwierigkeit: Damit die Items nicht über ihre feste räumliche Position memorieren zu sind, werden auf den Antwortbögen jeweils zwei Anordnungsvarianten der Bilder vorgegeben. Ein Pfeil auf der Projektionswand zeigt *nach* der Präsentation der jeweiligen Sequenz an, in welcher Anordnungsvariante die Nummerierung vollzogen werden soll. Bei jüngeren Kindern wird davon ausgegangen, dass noch keine derartigen Strategien verwendet werden.

Material. Bei den zu memorierenden Items handelt es sich um deutsche, einsilbige, phonologisch unähnliche, bildlich gut darstellbare Substantiva. Bei der Auswahl der Items wurde bei den Versionen der Vorschüler, sowie der Erst- und Drittklässler darauf geachtet, dass neben Anfangslauten auch die im Wort vorkommenden Vokale innerhalb jeder Sequenz unterschiedlich sind. Eine Übersicht der Stimuli ist Tab. 1 zu entnehmen.

Tab. 1 Übersicht der Stimuli der seriellen Behaltensaufgabe für die verschiedenen Altersstufen.

Altersstufe	Listenlänge	Itempool
Vorschüler	3 und 4	Fee, Nuss, Ball, Eis, Topf, Pilz, Glas
Erstklässler	4	Fee, Nuss, Ball, Eis, Topf, Pilz, Glas, Zaun
Drittklässler	5	Fee, Nuss, Ball, Eis, Topf, Pilz, Glas, Zaun, Dieb, Schwein
Fünftklässler	6	Fee, Nuss, Ball, Eis, Topf, Pilz, Glas, Zaun, Dieb, Schwein, Kamm, Wal
Erwachsene	8	Fee, Nuss, Ball, Eis, Topf, Pilz, Glas, Zaun, Dieb, Schwein, Kamm, Wal, Zopf, Zeh

(ii) **Odd-One-Out-Aufgabe**⁶. Diese Standardaufgabe zur phonologischen Bewusstheit enthält im Gegensatz zur seriellen Behaltensaufgabe keine serielle Komponente. Bei dieser Aufgabe sind während der Darbietung von irrelevantem Hintergrundschall bildlich oder auditiv präsentierte Wörter hinsichtlich ihres Anlautes zu kategorisieren. Die Anzahl der Worte, die es zu begutachten gilt, variiert über die Altersstufen hinweg, um eine vergleichbare Aufgabenschwierigkeit zu gewährleisten. Je nach Altersstufe werden den Teilnehmern Sequenzen von drei, fünf oder sieben Wörtern dargeboten (z.B. „Fee-Zopf-Dach-Zaun-Dieb“). Erstklässler und Drittklässler bearbeiten Sequenzen der Länge 3, Drittklässler und Fünftklässler Sequenzen der Länge 5 und Erwachsene Sequenzen der Länge 7. Jede Sequenz beinhaltet stets ein Wort, dessen Anlaut nur ein einziges Mal vorkommt („*Odd-One*“; hier: „Fee“) – die weiteren Wörter besitzen paarweise gleiche Anlaute (hier: „Dach-Dieb“, „Zopf-Zaun“). Aufgabe der Teilnehmer ist es, jeweils das Wort herauszufinden, dessen Anlaut nur einmal vorkommt und das entsprechende Bild im Antwortbogen anzukreuzen (Version für 1. und 3. Klasse) bzw. das Wort auf dem Antwortbogen zu notieren (Version für 5. Klasse und Erwachsene). Um bei den Erst- und Drittklässlern die Gedächtniskomponente zu garantieren – und um den phonologischen Vergleich nicht nur anhand der Bilder des Antwortbogens durchführen zu können, werden neben den in der Sequenz vorkommenden Bildern 3 zusätzliche Bilder als Distraktoren mit dargestellt. Dabei handelt es sich stets um ein Bild, dessen zugehöriges Wort denselben Anfangslaut besitzt, wie das „*Odd-One*“ (hier beispielsweise „Fach“) – sowie zwei Bilder, die zwei Wörter mit gleichen Anlauten repräsentieren. Dieses zusätzliche Bildpaar verhindert den Einsatz der Strategie, immer das Bild als „*Odd-One*“ zu markieren, dessen zugehöriges Wort den gleichen Anfangsbuchstaben besitzt, wie das Wort, das dem neu hinzugekommenen, zuvor nicht in der Sequenz enthaltenden Bild entspricht.

Material. Bei den Items handelt es sich um deutsche, einsilbige, bildlich gut darstellbare, bis auf Anfangslaute phonologisch unterschiedliche Substantiva, die am Wortanfang eine Konsonant-Vokal-Struktur aufweisen. In der Version für Erstklässler wird zusätzlich darauf geachtet, nur Anlaute zu verwenden, deren Kenntnis in der standardisierten bayerischen Schuleingangsuntersuchung vorgesehen ist und den Kindern demnach bereits bekannt sein müssen. Desweiteren weisen Zielitem und Distraktoren Anlaute unterschiedlicher Lautklassen (z.B. Plosiv-Frikativ) und unterschiedliche Vokale in der Wortmitte auf, um gute akustische Unterscheidbarkeit zu gewährleisten. Eine Übersicht der Stimuli ist Tab. 2 zu entnehmen.

⁶ Dieser Aufgabentyp hat sich in Vorversuchen für viele Vorschulkinder als zu schwierig erwiesen. Die Aufgabe wird daher nur von Erst-, Dritt- und Fünftklässlern sowie von den Erwachsenen bearbeitet.

Tab. 2 Übersicht der Stimuli der Odd-One-Out-Aufgabe für die verschiedenen Altersstufen.

Altersstufe	Listenlänge	Stimulusmaterial
Erstklässler	3	Kamm, Kuss, Schal, Schaum, Fach, Fee, Sand, See, Wal, Wein, Zopf, Zaun, Haus, Hand, Tal, Topf,
Drittklässler	3 und 5	Kamm, Kuss, Schal, Schaum, Fach, Fee, Sand, See, Wal, Wein, Zopf, Zaun, Haus, Hand, Tal, Topf, Baum, Ball, Lied, Lamm, Dieb, Dach
Fünftklässler	5	Kamm, Kuss, Schal, Schaum, Fach, Fee, Sand, See, Wal, Wein, Zopf, Zaun, Haus, Hand, Tal, Topf, Baum, Ball, Lied, Lamm, Dieb, Dach
Erwachsene	7	Kamm, Kuss, Schal, Schaum, Schach, Fach, Fee, Sand, See, Sieb, Wal, Wein, Wand, Zopf, Zaun, Zeh, Haus, Hand, Tal, Topf, Baum, Ball, Bank, Lied, Lamm, Dieb, Dach

(iii) Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe. Die *Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe* soll der Gewährleistung optimaler Sprachwahrnehmung bei auditiver Itempräsentation dienen, sodass etwaige Schalleffekte in der seriellen Behaltensaufgabe (auditiv) nicht auf fehlerhafte Encodierung des Materials zurückgeführt werden können (Kontrollaufgabe). Bei dieser Aufgabe werden jeweils drei Abbildungen von leicht benennbaren Objekten mit phonologisch ähnlichen Bezeichnungen gleichzeitig präsentiert (z.B. „Fee“, „Zeh“, „See“). Zusätzlich wird ein zu einem der drei Objekten passendes Wort (z.B. „See“) während der Präsentation irrelevanten Hintergrundschalls über Kopfhörer dargeboten. Die Aufgabe besteht darin, auf das zum gehörten Wort entsprechende Bild zu deuten (Version für Vorschüler) bzw. das entsprechende Bild im vorgefertigten Antwortbogen anzukreuzen (Version für die übrigen Altersstufen). Diese Aufgabe soll der Gewährleistung optimaler Sprachwahrnehmung dienen und erfolgt daher nur in den beiden Schallbedingungen „einzelner Sprecher“ und „Stimmengewirr“. Die Bearbeitung unter Ruhe wird aus Gründen zeitlicher Ökonomie nicht realisiert, da davon auszugehen ist, dass dies keine Schwierigkeit für die Versuchsteilnehmer darstellt.

Material. Da die Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe als Kontrollaufgabe zur Lautdiskrimination fungiert und eine optimale Sprachverständlichkeit im Störgeräusch bestätigen soll, beinhaltet sie alle Wörter, die in der seriellen Behaltensaufgabe und der Odd-One-Out-Aufgabe vorkommen. Zur Vervollständigung werden deutsche, einsilbige, bildlich gut darstellbare Substantiva gewählt: Fee, Zeh, See; Nuss, Kuss, Fluss; Ball, Bart Bank; Eis, Preis, Kreis; Topf, Knopf, Zopf; Pilz, Prinz, Blitz; Glas, Grab, Gras; Zaun, Baum, Schaum; Dieb, Sieb, Lied; Schwein, Wein, Bein; Kamm, Lamm, Stamm; Wal, Schal, Tal; Dach, Fach, Schach; Haus, Maus, Strauß; Sand, Hand, Wand.

(iv) Beschaffenheit der Stimuli. Die Items der *visuellen* Bedingungen der Aufgaben, wie auch die Bilder in der Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe, werden in Form von Abbildungen mit je einer Höhe von 74mm und einer Breite von 70mm in der Bildschirmmitte zentriert präsentiert. Bei der Untersuchung in der Kleingruppe (Erst-, Dritt-, Fünftklässler und Erwachsene) wird die Information an eine weiße Wand projiziert.

Die Items der *auditiven* Bedingungen der Aufgaben, wie auch die Wörter der Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe, werden von einer weiblichen, geschulten Sprecherin gesprochen. Um eine

optimale Klangqualität des Audiosignals zu erreichen, wird die ideale Bandbreite mit einer Abtastrate von 44.100 Hz und einer Auflösung von 16 Bit pro Messwert gewählt. Anschließend werden die Audiosignale auf eine einheitliche, angenehme Lautstärke genormt, sowie der Sample-Typ „mono“ gewählt. Um die exakte Präsentationslautstärke der Stimuli am Ohr zu bestimmen, werden zunächst die Sprechpausen – definiert als Audiosignale unter 50db, die länger als 100ms andauern – entfernt, um die Lautstärke bei der späteren Mittelung nicht zu unterschätzen. Die Messung mit dem Schallpegelmesser SPM Modul BZ 7112 und einem Mikrophon Typ 4192 der Firma Brüel & Kjær ergibt eine durchschnittliche Präsentationslautstärke (L_{eq}) der auditiven Items von 63 dB(A), bei einem Peak von 68 dB(A).

(v) Hintergrundschnalle. Die Leistungen in der seriellen Behaltensaufgabe und der Odd-One-Out-Aufgabe werden jeweils unter drei verschiedenen Schallbedingungen erhoben: Ruhe, einzelner fremdsprachlicher Sprecher und Stimmengewirr. Das *einzelne fremdsprachliche Sprechen* besteht aus der 44.100Hz 16 Bit Mono Audioaufnahme eines einzelnen, männlichen Koreaners. Die Aufnahme weist keinen Nachhall und keine nennenswerten Veränderungen in Lautstärke und Intonation auf. Die durchschnittliche Präsentationslautstärke (L_{eq}) wird nach Messung mit o.g. Apparatur und Vorgehen auf 57 dB(A) festgesetzt, um mit einem Signal-Rausch-Abstand von +6dB(A) eine gute Verständlichkeit des auditiv präsentierten Stimulusmaterials in der auditiven Bedingung zu gewährleisten.

Beim *Stimmengewirr* handelt es sich um eine 44.100Hz 16 Bit Mono Audioaufnahme von 80 Studenten in einem Hörsaal der Universität Oldenburg. Es ist nicht möglich, dem Stimmengewirr einzelne Wörter oder Sätze zu entnehmen. Desweiteren gibt es innerhalb des gleichförmigen Audiosignals keine nennenswerten Veränderungen in der Lautstärke. Die durchschnittliche Präsentationslautstärke (L_{eq}) wird nach subjektiv empfundener Lautstärke an das einzelne, fremdsprachliche Sprechen angepasst und auf 60 dB(A) korrigiert. Dies geht mit einem Signal-Rausch-Abstand S/N von +3dB(A) einher, welcher ebenfalls gute Verständlichkeit verspricht. In der *Ruhebedingung* wird keinerlei Hintergrundschnalle dargeboten, die Kopfhörer werden aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit dennoch getragen.

4.1.1.3 Apparatur

Die Präsentation der Aufgabenstellungen erfolgt mit Hilfe der Software Microsoft Office PowerPoint 2007 auf einem Notebook mit dem Betriebssystem Windows 7 Professional. Das Laptop besitzt einen 2GHz Intel Core 2 Duo Prozessor, einen 14 Zoll Breitbild LCD Bildschirm mit einer Bildschirmauflösung von 1280 x 800 Pixel und 32-Bit Farbe. Die Antwortreaktionen werden in Paper-Pencil-Form erfasst.

Die auditiven Stimuli, gesprochen von einer geschulten Sprecherin, werden mit einem Sennheiser MD 421II Mikrophon an einem Apple MacBook Pro, Mac OS X Version 10.6.3 mittels des Programms Amadeus Pro v1.5.1 und der externen Soundkarte Edirol USB Audio Capture UA-25 (24 bit 96kHz) in einer schallisolierten Kabine aufgenommen.

Zur exakten Regulierung der Präsentationslautstärke und um die Untersuchung in der Kleingruppe zu ermöglichen, wird der Samson S-Phone 4-Kanal-Kopfhörerverstärker mit 2 Band Klangregelung je Kanal eingesetzt. Dieser ermöglicht den parallelen Anschluss von vier beyerdynamic DT 990 PRO 250 Ohm Kopfhörern am Laptop. Zur Präsentation der Abbildungen in der Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe, der Stimuli in der visuellen Bedingung und zur Darbietung der Wiedergabeaufforderung wird bei der Untersuchung der Erst-, Dritt- und Fünftklässler sowie den Erwachsenen der Epson Multimedia Projektor EMP-1700 verwendet, der die Informationen an eine ca. 2m entfernte, weiße Wand unmittelbar in das Sichtfeld der Teilnehmer projiziert. Die Vorschüler sehen die visuell präsentierten Informationen direkt am Laptop.

Um bei der Untersuchung in Kleingruppen gegenseitige visuelle Ablenkung und Abschreiben zu verhindern, wird jeweils zwischen zwei Teilnehmern ein Sichtschutz mit den Maßen von 40 x 50 cm aufgestellt.

4.1.1.4 Versuchsablauf

Die experimentelle Untersuchung fand vom 04. Oktober bis 15. November 2011 in ruhig gelegenen Räumen der Technischen Universität Kaiserslautern, der Kindertagesstätten und Schulen statt. Die Bearbeitung der Aufgaben erfolgte bei den Vorschülern im Einzelversuch, bei den restlichen Versuchsteilnehmern in Vierergruppen.

Das Experiment beginnt mit der Instruktion des Versuchsablaufs, was mit Hilfe eines standardisierten Textes erfolgt. Zunächst werden dem Teilnehmer alle im Versuch vorkommenden Bilder vorgestellt, um Bedeutungsäquivalenz zu gewährleisten. Als erste Aufgabe wird die Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe (Kontrollaufgabe) bearbeitet, anschließend folgen die serielle Behaltensaufgabe und die Odd-One-Out-Aufgabe jeweils in beiden Präsentationsvarianten (visuell vs. auditiv) und unter jeweils drei Schallbedingungen (Ruhe vs. einzelner Sprecher vs. Stimmengewirr). Die Abfolge der seriellen Behaltensaufgabe und der Odd-One-Out-Aufgabe, der Präsentationsmodi und der Schallarten ist über die Versuchsteilnehmer hinweg blockweise nach dem lateinischen Quadrat ausbalanciert. Dadurch werden Reihenfolge- und Positionseffekte verhindert. Im Folgenden wird der genaue Ablauf der einzelnen Aufgaben erläutert. Zu beachten ist, dass es zwischen den Altersgruppen Unterschiede bezüglich der Präsentationszeit der Stimuli, der zur Verfügung stehenden Antwortdauer und den Antwortmodi gibt. Auf diese methodischen Details wird im Folgenden eingegangen.

Zunächst wird die Kontrollaufgabe, die *Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe* durchgeführt. Dabei werden jeweils drei Abbildungen von leicht benennbaren Objekten gleichzeitig nebeneinander präsentiert. Nach 1s wird zusätzlich ein zu einem der drei Abbildungen passendes Wort über die Kopfhörer dargeboten. Die Aufgabe besteht darin, auf das zum gehörten Wort entsprechende Bild zu deuten (Version für Vorschüler) bzw. den zugehörigen Antwortkasten auf dem Antwortbogen anzukreuzen (Version für die übrigen Altersgruppen). Während eines kurzen, aus drei Bildreihen bestehenden Übungsdurchgangs vergewissert sich der Versuchsleiter, dass alle Teilnehmer die Aufgabe verstanden haben. Etwaige Fragen werden gegebenenfalls mit standardisierten Sätzen beantwortet.

Anschließend folgen insgesamt zwei Versuchsdurchgänge (einzelner Sprecher, Stimmengewirr) mit 7 bzw. 8 Bildreihen, die ohne Hilfe bearbeitet werden. Nach jeder Bildreihe wird das Experiment bei den Vorschülern durch den Versuchsleiter fortgesetzt – bei den übrigen Altersgruppen erfolgt dies automatisch nach 10s Bearbeitungszeit. Ein akustisches Signal („Ding-Dong“) kündigt das nächste Trial an. Insgesamt bearbeiten die Versuchsteilnehmer 15 Bildreihen.

Anschließend folgt die serielle Behaltensaufgabe und dann die Odd-One-Out-Aufgabe oder umgekehrt (die Reihenfolge der Aufgaben ist ausbalanciert). Bei der *seriellen Behaltensaufgabe* werden je nach Altersgruppe Sequenzen von 3 bis 8 Items in zufälliger Reihenfolge präsentiert (Vorschüler: 3-4; Erstklässler: 4; Drittklässler: 5; Fünftklässler: 6; Erwachsene: 8). Die Items einer Sequenz werden dabei einzeln nacheinander präsentiert. In der auditiven Bedingung wird jedes Item 1s lang dargeboten, zwischen zwei Items gibt es 1s Pause. In der visuellen Bedingung gilt diese Taktung nur für Erwachsene – die Kinder sehen aus Gründen der Aufgabenkomplexität die bildlichen Stimuli jeweils 2s lang. Unmittelbar nach der Präsentation des letzten Items erfolgt die Aufforderung, die Sequenz in der zuvor gegebenen Reihenfolge wiederzugeben. Dazu werden alle Bilder in zufälliger Anordnung gleichzeitig präsentiert – die Darstellung entspricht der des Antwortbogens. Die Vorschüler sollen dann auf die Bilder in der zuvor memorierten Reihenfolge deuten – das schriftliche Festhalten der Reihung erfolgt durch den Versuchsleiter. Die übrigen Altersgruppen tragen die Reihenfolge selbst auf ihren Antwortbögen ein. Fünftklässlern und Erwachsenen werden zwei Anordnungsvarianten auf dem Antwortbogen vorgegeben – gemeinsam mit der Wiedergabeaufforderung wird angezeigt, in welcher Variante die Nummerierung vollzogen werden soll. Dies soll die Memorierung der Items über ihre räumliche Position verhindern. Bei den Vorschülern wird der Versuch durch den Versuchsleiter fortgesetzt, bei den übrigen Altersgruppen erfolgt dies automatisch 15s nach der Wiedergabeaufforderung. 1s nach dem akustischem Signal („Ding-Dong“) erscheint/ertönt die nächste Wortfolge. Pro Bedingung haben die Kinder 6, die Erwachsenen 8 Sequenzreihen zu bearbeiten. Da es drei Schallbedingungen (Ruhebedingung, einzelner Sprecher, Stimmengewirr) und zwei Darbietungsmodalitäten gibt, bearbeiten die Kinder insgesamt $6 \times 3 \times 2 = 36$ Folgen, die Erwachsenen insgesamt $8 \times 3 \times 2 = 48$ Folgen. Ein Überblick ist Tab. 3 zu entnehmen.

Tab. 3 Überblick zur Seriellen Behaltensaufgabe.

	Listenlänge	Darbietungsdauer (visuell)	Darbietungsdauer (auditiv)	Antwortdauer	Antwortmodus
Vorschüler	3,5	2s/Item	1s/Item	-	Zeigen
Erstklässler	4	2s/Item	1s/Item	15s	Verbinden
Drittklässler	5	2s/Item	1s/Item	15s	Durchnummerieren
Fünftklässler	6	2s/Item	1s/Item	15s	Durchnummerieren mit Strategieblocker
Erwachsene	8	1s/Item	1s/Item	15s	Durchnummerieren mit Strategieblocker

Den Teilnehmern wird außerdem untersagt sich die Reihenfolge der präsentierten Stimuli laut vorzusprechen. Die Vergleichbarkeit der Versuchsteilnehmer wäre sonst nicht gewährleistet. Nach der

Instruktion werden die Versuchsteilnehmer nach etwaigen Unklarheiten befragt, diese werden gegebenenfalls mit standardisierten Sätzen beantwortet. Dann startet ein kurzer Übungsdurchgang mit 3 Folgen. Während des Übens vergewissert sich der Versuchsleiter, dass die Teilnehmer die Aufgabe verstanden haben. Anschließend folgen die Versuchsdurchgänge. Diese bearbeiten die Teilnehmer ohne Hilfe.

Bei der *Odd-One-Out-Aufgabe* werden den Teilnehmern je nach Altersgruppe Sequenzen von 3 (Erstklässler, Drittklässler), 5 (Drittklässler, Fünftklässler) oder 7 (Erwachsene) Worten bildlich oder auditiv dargeboten. Die Wörter einer Sequenz werden dabei einzeln nacheinander präsentiert. In der auditiven Bedingung wird jedes Wort 1s lang dargeboten, zwischen zwei Items gibt es eine einsekündige Pause. In der visuellen Bedingung gilt diese Taktung nur für Erwachsene – die Kinder sehen die bildlichen Stimuli jeweils 2s lang. Unmittelbar nach der Präsentation des letzten Worts erfolgt die Lösungsaufforderung, wozu der jeweilige Ausschnitt aus dem Antwortbogen präsentiert wird. Aufgabe der Teilnehmer ist es, das Wort herauszufinden, dessen Anfangslaut nur einmal vorgekommen ist und das entsprechende Bild im Antwortbogen anzukreuzen (Version für 1. und 3. Klasse) bzw. das Wort auf dem Antwortbogen zu notieren (Version für 5. Klasse und Erwachsene).

Der Versuch wird 15 Sekunden nach der Wiedergabeaufforderung automatisch fortgesetzt. 1s nach dem akustischem Signal („Ding-Dong“) erscheint/ertönt die nächste Wortfolge. Pro Bedingung haben die Kinder 6, die Erwachsenen 8 Sequenzreihen zu bearbeiten. Da es drei Schallbedingungen (Ruhebedingung, einzelner Sprecher, Stimmengewirr) und zwei Darbietungsmodalitäten gibt, bearbeiten die Kinder insgesamt $6 \times 3 \times 2 = 36$ Folgen, die Erwachsenen insgesamt $8 \times 3 \times 2 = 48$ Folgen. Einen Überblick gibt Tab. 4.

Den Teilnehmern wird außerdem untersagt sich die präsentierten Stimuli laut vorzusprechen. Die Vergleichbarkeit der Versuchsteilnehmer wäre sonst nicht gewährleistet. Nach der Instruktion werden die Versuchsteilnehmer nach etwaigen Unklarheiten befragt, diese werden gegebenenfalls mit standardisierten Sätzen beantwortet. Dann startet ein kurzer Übungsdurchgang mit 3 Folgen. Während des Übens ist der Versuchsleiter vergewissert sich der Versuchsleiter, dass die Teilnehmer die Aufgabe verstanden haben. Anschließend folgen die Experimentaldurchgänge, welche die Teilnehmer ohne Hilfe bearbeiten.

Tab. 4 Überblick zur Odd-One-Out-Aufgabe.

	Listen-länge	Darbietungs-dauer (visuell)	Darbietungs-dauer (auditiv)	Antwort-dauer	Antwortmodus
Erstklässler	3	2s/Item	1s/Item	15s	Ankreuzen (Auswahl: 6 Bilder)
Drittklässler	3/5	2s/Item	1s/Item	15s	Ankreuzen (Auswahl: 6 bzw. 8 Bilder)
Fünftklässler	5	2s/Item	1s/Item	15s	Aufschreiben des jeweiligen Worts
Erwachsene	7	1s/Item	1s/Item	15s	Aufschreiben des jeweiligen Worts

4.1.2 Überblick zum statistischen Verfahren

Die statistische Auswertung der vorliegenden experimentellen Untersuchungen richtet sich nach dem im Folgenden dargestellten Vorgehen. Abweichungen von der beschriebenen Verfahrensweise werden, wenn vorgenommen, in den spezifischen Abschnitten beschrieben.

(i) Deskriptive Analyse. Zunächst werden zur Rohdatenaufbereitung die Leistungen der Versuchsteilnehmer in den verschiedenen Aufgaben analysiert. Dabei wird stets die Anzahl der richtigen Antworten zur Rohwertbildung herangezogen. Bei der seriellen Behaltensaufgabe wird das „strenge Kriterium“ verwendet, bei welchem über die an jeder Position richtig wiedergegebenen Items summiert wird. Um Aussagen über den Einfluss verschiedener Hintergrundbedingungen zu treffen, werden in der Literatur üblicherweise einfache Differenzen zwischen den erreichten Rohwertpunkten unter Ruhe und unter Hintergrundschall berechnet (Ellermeier & Zimmer, 1997). Diese Methode wird in der vorliegenden Arbeit aber nur zu Analysen innerhalb der Altersgruppen angewendet – zum Vergleich zwischen den Altersgruppen ist sie ungeeignet, da die verschiedenen Altersgruppen z.T. unterschiedlich viele Trials unterschiedlicher Listenlänge bearbeiteten und somit die Anzahl maximal erreichbarer Rohwertpunkte differiert.

Eine mögliche Lösung zum Altersgruppenvergleich bietet die Umrechnung in Prozentwerte (vgl. (Anderson, Bucks, Bayliss, & Della Sala, 2011; Darling, Della Sala, & Logie, 2007; Elliott & Briganti, 2012). Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Leistungsveränderung entweder in *Prozentpunkten* (absolute Verschlechterung) oder in *prozentualen Anteilen* (relative Verschlechterung gegenüber der Baseline) angegeben werden kann. Da in der Regel die abkürzende Formulierung „Verschlechterung um x%“ verwendet wird, bei welcher unklar bleibt, welche der beiden Varianten gemeint ist, ist die Gefahr von Missverständnissen gegeben. Zudem berücksichtigen Prozentwerte zwar den unterschiedlich großen Testumfang, dem Umstand unterschiedlich großer Standardabweichungen innerhalb der verschiedenen Altersgruppen werden sie jedoch nicht gerecht. Insbesondere diesem Punkt muss in der vorliegenden Arbeit besondere Aufmerksamkeit zuteil werden: Während es sich bei den Erwachsenen ausschließlich um Studierende handelt, ist die Stichprobe der Kinder nicht vorselektiert, weswegen bei den Kindern per se von einer größeren Streuung in den erhobenen Leistungsdaten auszugehen ist. Weiterhin ist bei der Verwendung von Prozentwerten auch das Vorliegen der Intervallskalierung kritisch zu hinterfragen: Einerseits sind die Abstände nicht äquidistant, andererseits sind untere und obere Grenzen gegeben.

Aus diesen Gründen wird in der vorliegenden Arbeit bei Altersgruppenvergleichen bewusst auf Prozentwerte verzichtet – stattdessen wird ein Maß, in Anlehnung an Glass' Schätzer der Effektgröße (Hedges, 1981) herangezogen:

$$\delta = \frac{y - \bar{x}}{\sigma(x)}$$

[Definition: y : erreichte Rohwertpunkte des Teilnehmers in der jeweiligen Hintergrundbedingung; \bar{x} : durchschnittliche Ruheleistung der jeweiligen Altersgruppe; $\sigma(x)$ Standardabweichung der Ruheleistung der jeweiligen Altersgruppe]

Durch die Relativierung der individuell erreichten Rohwertpunkte an Mittelwert und Standardabweichung der Ruhebedingung der jeweiligen Altersgruppe sind Leistungsunterschiede

zwischen der Ruhebedingung (Kontrollbedingung) und den Geräuschbedingungen (Experimentalbedingungen) über verschiedene Altersgruppen hinweg anhand eines einheitlichen Maßstabs vergleichbar. Die individuelle Testleistung jeder Versuchsperson wird also durch die Verwendung von δ an der Variabilität im jeweiligen Kollektiv relativiert. Dieses Vorgehen ermöglicht es, die ermittelte Leistungsdifferenz in Einheiten der Standardabweichung vom jeweiligen Gruppenmittelwert anzugeben.

(ii) Inferenzstatistische Analyse. Die Auswertung der Untersuchungsdaten erfolgt zunächst mittels *Varianzanalysen*. Die Homogenität der Fehlervarianzen von Zwischensubjektfaktoren wird mittels des *Levene-Tests* überprüft. Bei gleich großem Stichprobenumfang wird auch bei einem signifikanten Ergebnis des Levene-Tests die varianzanalytische Auswertung fortgesetzt, da das Verfahren robust gegenüber einer solchen Verletzung der Voraussetzungen ist (Roberts & Russo, 1999). Bei ungleichen Stichprobengrößen wird bei den Haupteffekten auf den nonparametrischen *Kruskal-Wallis-Test* ausgewichen. Die Varianzhomogenität von Innersubjektfaktoren mit mehr als zwei Faktorstufen wird mittels *Mauchly's Test* auf Sphärizität geprüft. Ist der zur Schätzung verwendete χ^2 -Test signifikant, wird nach üblicher Konvention eine Korrektur der Freiheitsgrade des *F-Tests* nach *Box* (SPSS: „*Greenhouse-Geiser*“) durchgeführt, bei welcher der Korrekturfaktor ϵ mit der Stärke der Verletzung der Zirkularitätsannahme variiert (Rasch, Friese, Hofmann, & Naumann, 2010). Führt diese Korrektur zu einer Veränderung des Signifikanzniveaus der Varianzanalyse, werden die korrigierten Ergebnisse berichtet. Entsprechend üblicher Konvention werden Effekte, deren α -Fehler Wahrscheinlichkeit kleiner als 5% bzw. 1% ist, als signifikant bzw. hochsignifikant bezeichnet. Als Kenngröße der Effektstärke wird η_p^2 , also das Verhältnis zwischen der auf den Faktor entfallenden Varianz und der Summe aus dieser Varianz und der Fehlervarianz des entsprechenden Faktors angegeben. Da dieses Maß jedoch keinen Vergleich über verschiedene Studien hinweg bzw. zwischen Studien mit und ohne Messwiederholung erlaubt (Rasch et al., 2010), wird zusätzlich *Cohen's f* angegeben, wobei bei messwiederholtem Design um die mittlere Korrelation der Stufen gemäß *G*Power* bereinigt wird.

Die weitere Auswertung erfolgt mittels *t-Tests für unabhängige oder abhängige Stichproben*. Die resultierenden Wahrscheinlichkeiten werden Bonferroni-korrigiert. Somit wird die Alphafehler-Kumulierung bei multiplen Paarvergleichen neutralisiert, was als grundsätzlich notwendig erachtet wird (Roberts & Russo, 1999). Bei signifikantem Levene-Test werden die korrigierten Werte berichtet. Als Effektstärkemaß wird *Cohen's d* für abhängige oder unabhängige Stichproben angegeben.

Bei nicht signifikanten Ergebnissen wird zur Entscheidung, ob die Nullhypothese angenommen werden darf, eine *Teststärkeberechnung a posteriori* durchgeführt. Zur Berechnung mithilfe *G*Power* wird dabei der empirisch gefundene Effekt der eigenen Untersuchung herangezogen. Falls dieser aber keine inhaltlich relevante Größe erreichen sollte, wird stattdessen ein spezifischer, aus inhaltlichen Überlegungen abhängiger Populationseffekt festgelegt (Rasch et al., 2010), worauf im Text aber explizit hingewiesen wird. Teststärken von $(1-\beta) \geq .80$ werden als ausreichend für die Annahme der Nullhypothese erachtet.

4.1.3 Ergebnisse

4.1.3.1 Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe

Zunächst wird die Leistung in der Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe geprüft, um Aussagen über die Verständlichkeit der im Störgeräusch dargebotenen auditiven Stimuli (auditive Bedingung) treffen zu können. Die optimale Sprachverständlichkeit von 100% entspricht dabei 7.50 Rohwertpunkten (maximal erreichbar). Die durchgeführte deskriptive Analyse zeigt bei den Vorschülern unter „Stimmengewirr“ einen Mittelwert $AM=7.38$ ($SD=0.57$) und unter „einzelner Sprecher“ einen Mittelwert $AM=7.42$ ($SD=0.48$). Die Erstklässler erreichen bei „Stimmengewirr“ im Mittel $AM=7.25$ ($SD=0.59$) und bei „einzelner Sprecher“ im Mittel $AM=7.21$ ($SD=0.74$). Die Drittklässler zeigen unter „Stimmengewirr“ einen Mittelwert $AM=7.22$ ($SD=0.62$), und unter „einzelner Sprecher“ einen Mittelwert $AM=7.33$ ($SD=0.64$). Die Berechnungen ergeben bei den Fünftklässlern unter „Stimmengewirr“ einen Mittelwert $AM=7.33$ ($SD=0.69$), und unter „einzelner Sprecher“ einen Mittelwert $AM=7.29$ ($SD=0.64$). Erwachsene erreichen unter „Stimmengewirr“ einen Mittelwert $AM=7.46$ ($SD=0.50$), und unter „einzelner Sprecher“ einen Mittelwert $AM=7.42$ ($SD=0.51$). Einen Überblick über die Ergebnisse verschafft Abb. 7. Diese Ergebnisse entsprechen einer Verständnisleistung von jeweils über 95%, womit die Sprachverständlichkeit im Störgeräusch als gegeben angesehen werden kann. Etwaige Leistungsminderungen in den Geräuschbedingungen im Vergleich zur Ruhe können in den auditiven Bedingungen der seriellen Behaltensaufgabe bzw. der Odd-One-Out-Aufgabe demnach nicht auf das mangelnde Verständnis der zu erinnernden Items zurückgeführt werden.

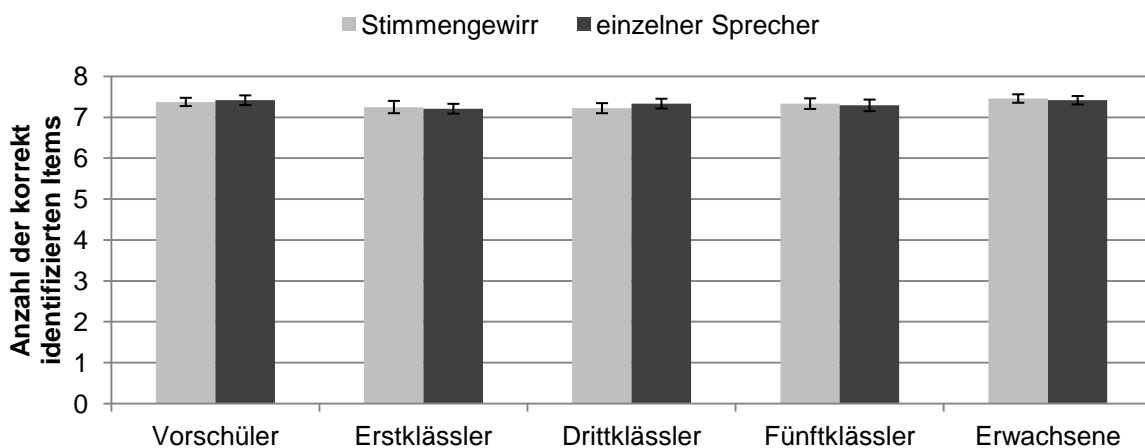


Abb. 7 Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe: Anzahl der korrekt identifizierten Items der verschiedenen Altersgruppen in Abhängigkeit des präsentierten Hintergrundschalls. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler [maximal erreichbare Rohwertpunkte: 7,50].

4.1.3.2 Serielle Behaltensaufgabe

Im Folgenden werden die seriellen Behaltensleistungen unter den verschiedenen Schallbedingungen und Modalitäten statistisch betrachtet. Dazu werden die Daten zunächst nach Modalitäten getrennt betrachtet und dabei für jede Altersstufe separat ausgewertet, um den Einfluss der verschiedenen

Hintergrundbedingungen und Wiedergabepositionen innerhalb jeder Altersgruppe zu klären. Anschließend erfolgt die Prüfung etwaiger Alters- und Modalitätseffekte.

4.1.3.2.1 Daten aus visueller Itempräsentation

(i) Analyse von Schall- und Positionseffekten innerhalb der Altersgruppen. In Tab. 5 sind die durchschnittliche Anzahl der korrekt wiedergegebenen Items (in Rohwertpunkten) und die zugehörigen Standardabweichungen bei visueller Itempräsentation in Abhängigkeit der Altersstufen und Schallbedingungen dargestellt.

Tab. 5 Serielle Behaltensaufgabe (visuell): Mittlere Wiedergabeleistungen der verschiedenen Altersgruppen in Abhängigkeit der Schallbedingungen. Dargestellt sind Mittelwerte [in Rohwertpunkten] und Standardabweichungen.

Altersgruppe	Ruhe	Einzelner Sprecher	Stimmengewirr
	AM (SD)	AM (SD)	AM (SD)
Vorschüler	13.75 (2.47)	8.04 (2.47)	7.92 (2.40)
Erstklässler	14.17 (5.27)	10.08 (4.80)	11.88 (4.46)
Drittklässler	19.85 (6.29)	16.81 (6.78)	18.89 (5.61)
Fünftklässler	21.42 (5.88)	16.88 (6.08)	21.00 (6.61)
Erwachsene	37.92 (7.72)	31.17 (10.40)	35.67 (7.65)

[maximal erreichbare Rohwertpunkte: Vorschüler: 21 – Erstklässler: 24 – Drittklässler: 30 – Fünftklässler: 36 – Erwachsene: 64]

Zur inferenzstatistischen Analyse folgt in jeder Altersgruppe separat eine *zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktoren: Schallbedingung, 3-stufig; Position, 3- bis 8-stufig). Der abhängige Faktor ist jeweils die Wiedergabeleistung (in Rohwertpunkten). Die Auswertung ergibt in allen Altersgruppen einen Haupteffekt „Schall“, was auf einen deutlichen Irrelevant Sound Effect schließen lässt (Vorschüler 3er: $F(2, 46)=34.14$, $p<.01$, $\eta_p^2=.60$, $f=0.41$; Vorschüler 4er: $F(2, 46)=37.74$, $p<.01$, $\eta_p^2=.62$, $f=0.42$; Erstklässler: $F(2, 46)=13.84$, $p<.01$, $\eta_p^2=.38$, $f=0.33$; Drittklässler: $F(2, 52)=3.91$, $p<.05$, $\eta_p^2=.13$, $f=0.21$; Fünftklässler: $F(2, 46)=8.28$, $p<.01$, $\eta_p^2=.27$, $f=0.31$; Erwachsene: $F(2, 46)=10.80$, $p<0.01$, $\eta_p^2=.32$, $f=0.30$). Weiterhin zeigt sich ein, für Aufgaben der seriellen Wiedergabe typischer Haupteffekt „Position“ in allen Altersgruppen (Vorschüler 3er: $F(2, 46)=7.41$, $p<.01$, $\eta_p^2=.24$, $f=0.34$; Vorschüler 4er: $F(3, 69)=26.20$, $p<.01$, $\eta_p^2=.53$, $f=0.63$; Erstklässler: $F(3, 69)=11.36$, $p<.01$, $\eta_p^2=.33$, $f=0.26$; Drittklässler: $F(4, 104)=34.57$, $p<.01$, $\eta_p^2=.57$, $f=0.22$; Fünftklässler: $F(5, 115)=17.92$, $p<.01$, $\eta_p^2=.44$, $f=0.33$; Erwachsene: $F(7, 161)=21.91$, $p<0.01$, $\eta_p^2=.49$, $f=0.40$) aber keine Interaktionen (Vorschüler 3er: $F(4, 92)=0.81$, $p=.48$; Vorschüler 4er: $F(6, 138)=2.06$, $p=.09$; Erstklässler: $F(6, 138)=1.11$, $p=.385$; Drittklässler: $F(8, 208)=0.46$, $p=.79$; Fünftklässler: $F(10, 230)=1.05$, $p=.39$; Erwachsene: $F(14, 322)=1.21$, $p=.30$).

Der beobachtete Haupteffekt „Schall“ wird in jeder Altersgruppe mittels dreier *gepaarter t-Tests* weiter aufgeklärt. Dabei werden die mittleren Wiedergabeleistungen der Schallbedingungen paarweise verglichen. Wie zu erwarten war, führt der einzelne Sprecher in allen Altersgruppen zu einer reliablen Verschlechterung der Wiedergabeleistung im Vergleich zu Ruhe (Vorschüler: $t(23)=15.09$, $p<.01$,

$d=3.08$; Erstklässler: $t(23)=5.20$, $p<.01$, $d=1.06$; Drittklässler: $t(26)=2.74$, $p<.05$, $d=0.53$; Fünftklässler: $t(23)=4.07$, $p<.01$, $d=0.83$; Erwachsene: $t(23)=4.80$, $p<.01$, $d=0.98$), wohingegen die Leistung beim Stimmengewirr bei Drittklässlern, Fünftklässlern und Erwachsenen unbeeinträchtigt bleibt (Drittklässler: $t(26)=0.79$, $p=.44$; Fünftklässler: $t(23)=0.36$, $p=.73$; Erwachsene: $t(23)=1.71$, $p=.10$). Interessanterweise kann dieses Befundmuster nicht bei Erstklässlern und Vorschülern repliziert werden: Sie werden auch durch das Stimmengewirr deutlich beeinträchtigt (Vorschüler: $t(23)=12.55$, $p<.01$, $d=2.56$; Erstklässler: $t(23)=3.04$, $p<.05$, $d=0.62$). Während bei Erstklässlern aber noch ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Hintergrundschall besteht (Erstklässler: $t(23)=-2.25$, $p<.05$, $d=.49$) werden Vorschüler durch beide in gleichem Maße beeinträchtigt (Vorschüler: $t(23)=0.29$, $p=.77$). Veranschaulicht werden die Behaltensleistungen in Abb. 8 bis Abb. 12

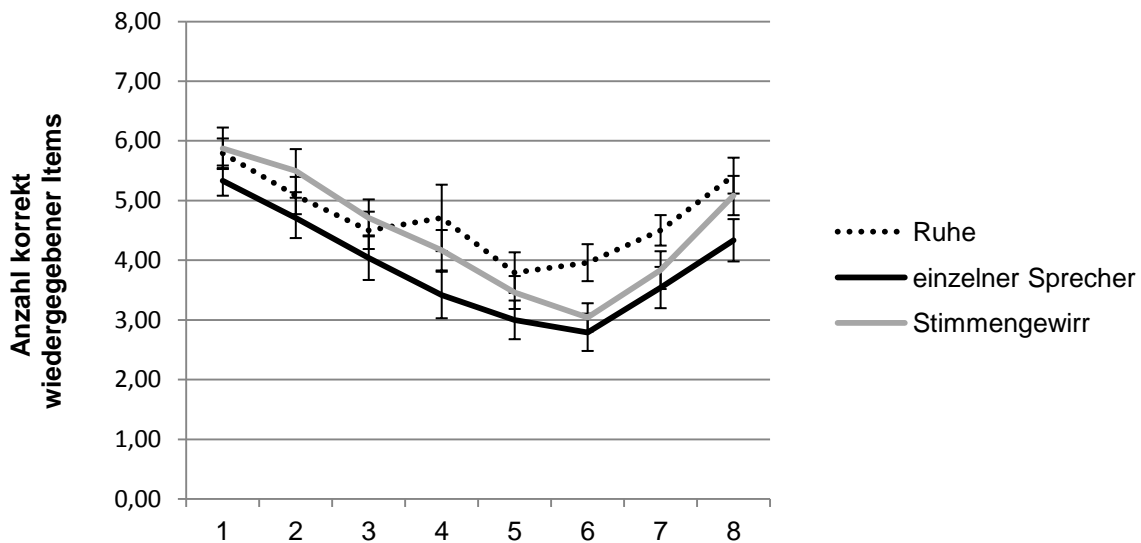


Abb. 8 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Erwachsenen. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

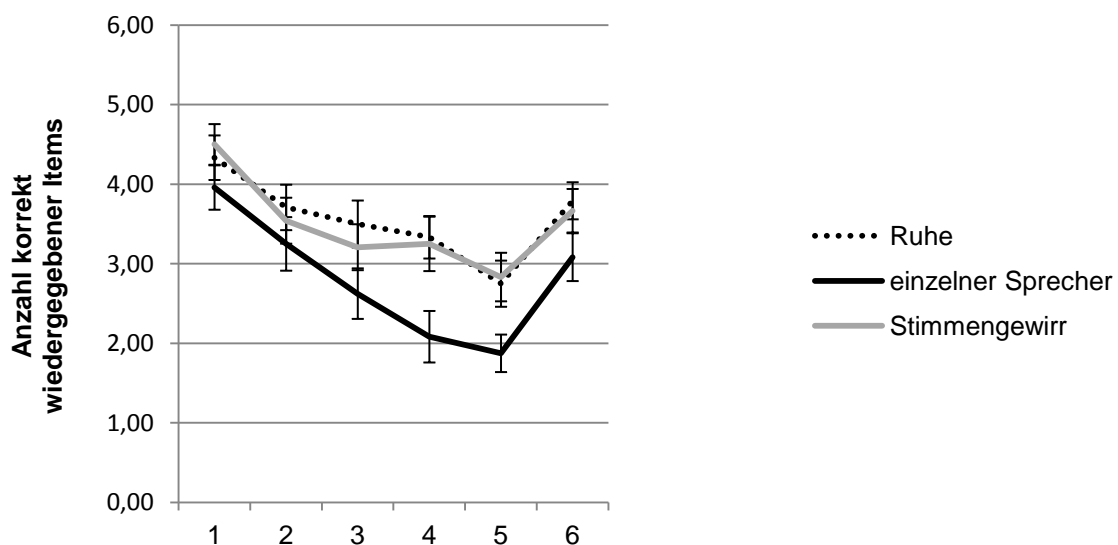


Abb. 9 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Fünftklässlern. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

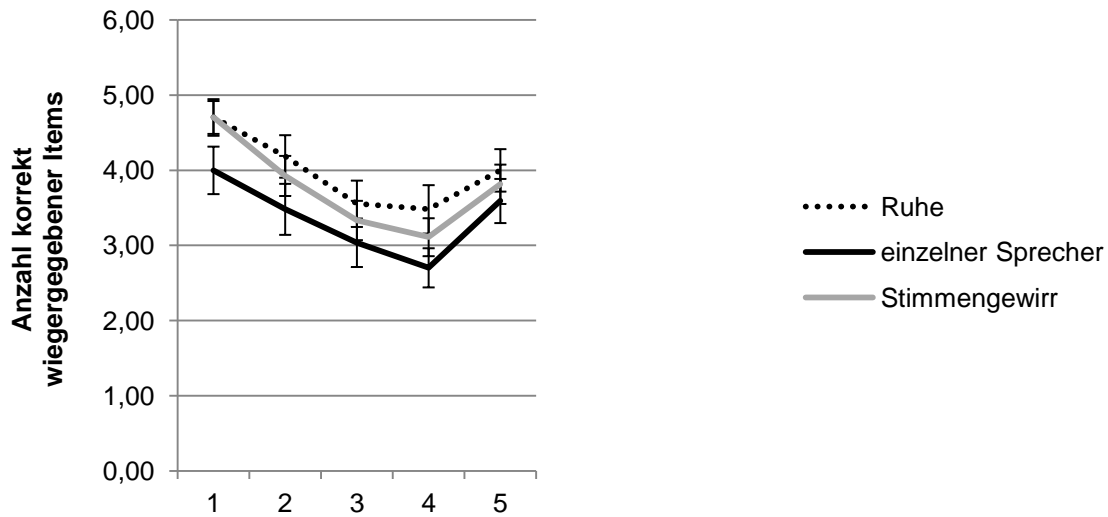


Abb. 10 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Drittklässlern. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

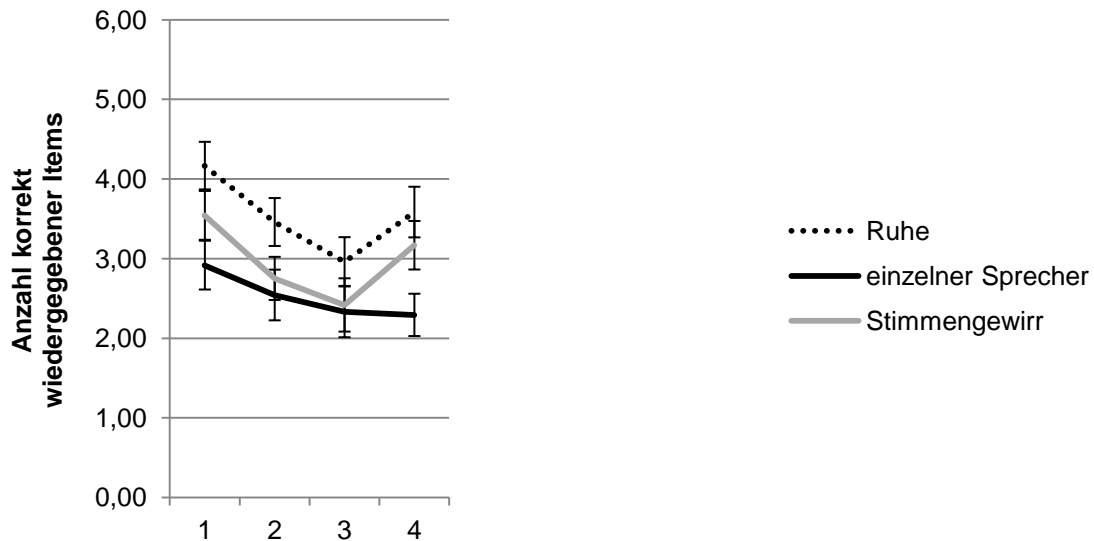


Abb. 11 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Erstklässlern. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

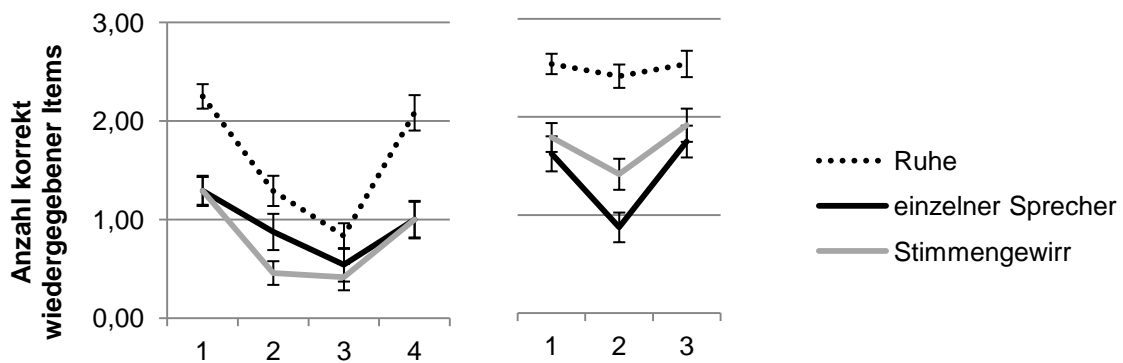


Abb. 12 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Vorschülern. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

(ii) Analyse von Alterseffekten. Zur Analyse von Alterseffekten werden in allen Altersgruppen die erreichten Rohwertpunkte gemäß dem in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Verfahren standardisiert. Die durchschnittliche Ruheleistung wird dadurch in allen Altersgruppen auf $AM=0.00$ ($SD=1.00$) festgelegt und die Leistungsverschlechterung unter Hintergrundschall kann in Einheiten der Standardabweichung angegeben werden, was die Vergleichbarkeit der Daten über die Altersgruppen hinweg erlaubt. Die Vorschulkinder verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=2.31$ ($SD=1.02$) gegenüber der Ruheleistung, unter Stimmengewirr um $AM=2.36$ ($SD=0.99$). Die Erstklässler verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=0.76$ ($SD=0.93$), unter Stimmengewirr um $AM=0.44$ ($SD=0.86$). Die Drittklässler verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=0.48$ ($SD=1.10$), unter Stimmengewirr um $AM=0.15$ ($SD=0.91$). Die Fünftklässler verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=0.77$ ($SD=1.06$), unter Stimmengewirr um $AM=0.07$ ($SD=1.15$). Die Erwachsenen verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=0.87$ ($SD=1.38$), unter Stimmengewirr um $AM=0.29$ ($SD=1.01$). Veranschaulicht wird dies in Abb. 13.

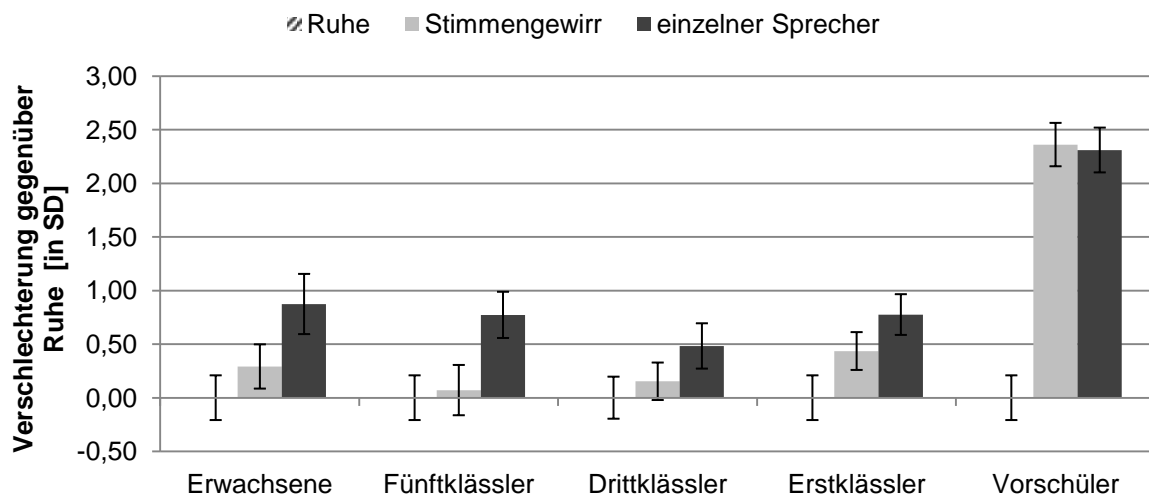


Abb. 13 Serielle Behaltensaufgabe (visuell): Mittlere Leistungsverschlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung [in Standardabweichungen] in Abhängigkeit des Hintergrundschalls und der Altersgruppe.

Zur inferenzstatistischen Analyse folgt eine *zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktor: Schall, 3-stufig; Zwischensubjektfaktor: Alter, 5-stufig). Der abhängige Faktor ist die Leistungsverschlechterung gegenüber Ruhe (in SD). Neben dem bereits näher betrachteten Haupteffekt „Schall“ ($F(2, 236)=85.29$, $p<.01$, $\eta_p^2=.42$, $f=0.18$) sind ein Haupteffekt des Faktors „Alter“ ($F(4, 118)=9.30$, $p<.01$, $\eta_p^2=.24$, $f=0.47$), sowie eine Interaktion „Alter*Schall“ ($F(8, 236)=15.44$, $p<.01$, $\eta_p^2=.34$, $f=0.20$) nachweisbar.

Zur weiteren Aufklärung der Interaktion von „Alter*Schall“ werden *t-Tests für unabhängige Stichproben* angewandt, welche die mittleren Leistungsverschlechterungen jeder Altersstufe paarweise miteinander vergleichen. Die Analyse ergibt zwei homogene Untergruppen (vgl. Tab. 6 und Tab. 7): Die Leistungsverschlechterung der Vorschüler ist sowohl beim einzelnen Sprecher als auch beim Stimmengewirr hochsignifikant stärker ausgeprägt als in allen übrigen Altersgruppen, die sich diesbezüglich nicht zu unterscheiden scheinen. Zur Gewährleistung, dass der absente Alterseffekt zwischen Schulkindern und Erwachsenen nicht lediglich auf mangelnde Teststärke zurückzuführen ist,

wird eine *Teststärkeanalyse* für „Schall*Alter“ in diesem Altersbereich durchgeführt. Diese ergibt eine Testpower von $(1-\beta)=.90$. Es darf somit gefolgert werden, dass Schulkinder und Erwachsene hinsichtlich der Auswirkungen irrelevanten Hintergrundschalls nicht differieren.

Tab. 6 Serielle Behaltensaufgabe (visuell): Ergebnisse der *t*-Tests für unabhängige Stichproben. Verglichen werden die mittleren Leistungsver schlechterungen unter „einzelner Sprecher“ der verschiedenen Altersgruppen.

Altersgruppe		Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Vorschüler	Erstklässler	-1.54	0.28	-5.44	46	<.001	1.69
	Drittklässler	-1.83	0.30	-6.16	49	<.001	1.97
	Fünftklässler	-1.54	0.30	-5.13	46	<.001	1.46
	Erwachsene	-1.44	0.35	-4.11	46	<.001	1.47
Erstklässler	Drittklässler	-0.29	0.29	-1.02	49	.31	
	Fünftklässler	-0.00	0.29	-0.01	46	.99	
	Erwachsene	0.10	0.34	0.29	46	.77	
Drittklässler	Fünftklässler	0.29	0.30	0.96	49	.34	
	Erwachsene	0.39	0.35	1.13	49	.26	
Fünftklässler	Erwachsene	0.10	0.35	0.29	46	.78	

Tab. 7 Serielle Behaltensaufgabe (visuell): Ergebnisse der *t*-Tests für unabhängige Stichproben. Verglichen werden die mittleren Leistungsver schlechterungen unter „Stimmengewirr“ der verschiedenen Altersgruppen.

Altersgruppe		Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Vorschüler	Erstklässler	-1.93	0.27	-7.17	46	<.001	2.03
	Drittklässler	-2.21	0.27	-8.30	49	<.001	2.12
	Fünftklässler	-2.29	0.31	-7.39	46	<.001	2.24
	Erwachsene	-2.07	0.29	-7.16	46	<.001	1.74
Erstklässler	Drittklässler	-0.28	0.25	-1.13	49	.26	
	Fünftklässler	-0.36	0.29	-1.24	46	.22	
	Erwachsene	-0.14	0.27	-0.53	46	.60	
Drittklässler	Fünftklässler	-0.08	0.29	-0.28	49	.78	
	Erwachsene	0.14	0.27	0.52	49	.60	
Fünftklässler	Erwachsene	0.22	0.31	0.71	46	.48	

4.1.3.2.2 Daten aus auditiver Itempräsentation

(i) **Analyse von Schall- und Positionseffekten innerhalb der Altersgruppen.** In Tab. 8 sind die durchschnittliche Anzahl der korrekt wiedergegebenen Items (in Rohwertpunkten) und deren zugehörige Standardabweichungen bei auditiver Itempräsentation in Abhängigkeit der Altersstufen und Schallbedingungen dargestellt.

Tab. 8 Serielle Behaltensaufgabe (auditiv): Mittlere Wiedergabeleistungen der verschiedenen Altersgruppen in Abhängigkeit der Schallbedingungen. Dargestellt sind Mittelwerte [in Rohwertpunkten] und Standardabweichungen.

Altersgruppe	Ruhe	Einzelner Sprecher	Stimmengewirr
	AM (SD)	AM (SD)	AM (SD)
Vorschüler	13.92 (2.50)	7.38 (1.98)	8.08 (1.91)
Erstklässler	18.63 (3.40)	15.21 (3.23)	16.08 (4.87)
Drittklässler	23.48 (4.84)	18.59 (6.51)	20.93 (6.55)
Fünftklässler	23.88 (5.80)	19.54 (6.74)	21.46 (6.43)
Erwachsene	42.63 (10.45)	36.25 (7.71)	41.88 (9.90)

[maximal erreichbare Rohwertpunkte: Vorschüler: 21 – Erstklässler: 24 – Drittklässler: 30 – Fünftklässler: 36 – Erwachsene: 64]

Zur inferenzstatistischen Analyse folgt in jeder Altersgruppe separat eine *zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktoren: Schallbedingung, 3-stufig; Position, 3- bis 8-stufig). Der abhängige Faktor ist jeweils die Wiedergabeleistung (in Rohwertpunkten). Die Auswertung ergibt in allen Altersgruppen einen Haupteffekt „Schall“, was auf einen deutlichen Irrelevant Sound Effect schließen lässt (Vorschüler – 3er: $F(2, 46)=35.38, p<.01, \eta_p^2=.61, f=0.51$; Vorschüler – 4er: $F(2, 46)=46.28, p<.01, \eta_p^2=.66, f=0.51$; Erstklässler: $F(2, 46)=15.94, p<.01, \eta_p^2=.41, f=0.35$; Drittklässler: $F(2, 52)=16.49, p<.01, \eta_p^2=.39, f=0.31$; Fünftklässler: $F(2, 46)=5.53, p<.01, \eta_p^2=.19, f=0.29$; Erwachsene: $F(2, 46)=6.85, p<0.01, \eta_p^2=.23, f=0.30$).

Weiterhin zeigt sich ein, für Aufgaben der seriellen Wiedergabe typischer Haupteffekt „Position“ in allen Altersgruppen (Vorschüler 3-er: $F(2, 46)=10.64, p<.01, \eta_p^2=.32, f=0.41$; Vorschüler 4-er: $F(3, 69)=25.51, p<.01, \eta_p^2=.53, f=0.62$; Erstklässler: $F(3, 69)=31.65, p<.01, \eta_p^2=.58, f=0.31$; Drittklässler: $F(4, 104)=31.21, p<.01, \eta_p^2=.55, f=0.25$; Fünftklässler: $F(5, 115)=46.11, p<.01, \eta_p^2=.67, f=0.39$; Erwachsene: $F(7, 161)=26.84, p<0.01, \eta_p^2=.54, f=0.56$), sowie teilweise Interaktionen (Vorschüler 3er: $F(4, 92)=3.74, p<.01, \eta_p^2=.14$; Vorschüler 4er: $F(6, 138)=3.39, p<.01, \eta_p^2=.13$; Erstklässler: $F(6, 138)=1.90, p=.12$; Drittklässler: $F(8, 208)=1.34, p=.26$; Fünftklässler: $F(10, 230)=1.81, p=.06$; Erwachsene: $F(14, 322)=2.79, p<0.01, \eta_p^2=.11$).

Der beobachtete Haupteffekt „Schall“ wird in jeder Altersgruppe mittels dreier *gepaarter t-Tests* weiter aufgeklärt. Dabei werden die mittleren Wiedergabeleistungen der Schallbedingungen paarweise miteinander verglichen. Wie zu erwarten war, führt der einzelne Sprecher in allen Altersgruppen zu einer reliablen Verschlechterung der Wiedergabeleistung im Vergleich zu Ruhe (Vorschüler: $t(23)=12.08, p<.01, d=2.47$; Erstklässler: $t(23)=6.31, p<.01, d=1.30$; Drittklässler: $t(26)=6.02, p<.01, d=1.16$; Fünftklässler: $t(23)=3.86, p<.01, d=0.79$; Erwachsene: $t(23)=3.08, p<.05, d=0.62$),

wohingegen die Leistung beim Stimmengewirr bei Fünftklässlern und Erwachsenen unbeeinträchtigt bleibt (Fünftklässler: $t(23)=2.02$, $p=.06$; Erwachsene: $t(23)=0.45$, $p=.66$). Die jüngeren Kinder werden auch durch das Stimmengewirr deutlich beeinträchtigt (Vorschüler: $t(23)=12.44$, $p<.01$, $d=2.54$; Erstklässler: $t(23)=3.90$, $p<.01$, $d=0.80$; Drittklässler: $t(26)=2.84$, $p<.05$, $d=0.55$). Vorschüler und Erstklässler dabei in vergleichbarem Ausmaß wie durch den einzelnen Sprecher (Vorschüler: $t(23)=-1.71$, $p=.10$; Erstklässler: $t(23)=-1.28$, $p=.21$), die Drittklässler in abgeschwächter Form gegenüber dem einzelnen Sprecher beeinträchtigt ($t(23)=-2.77$, $p<.05$, $d=0.53$). Einen Überblick zu den seriellen Behaltensleistungen geben Abb. 14 bis Abb. 18.

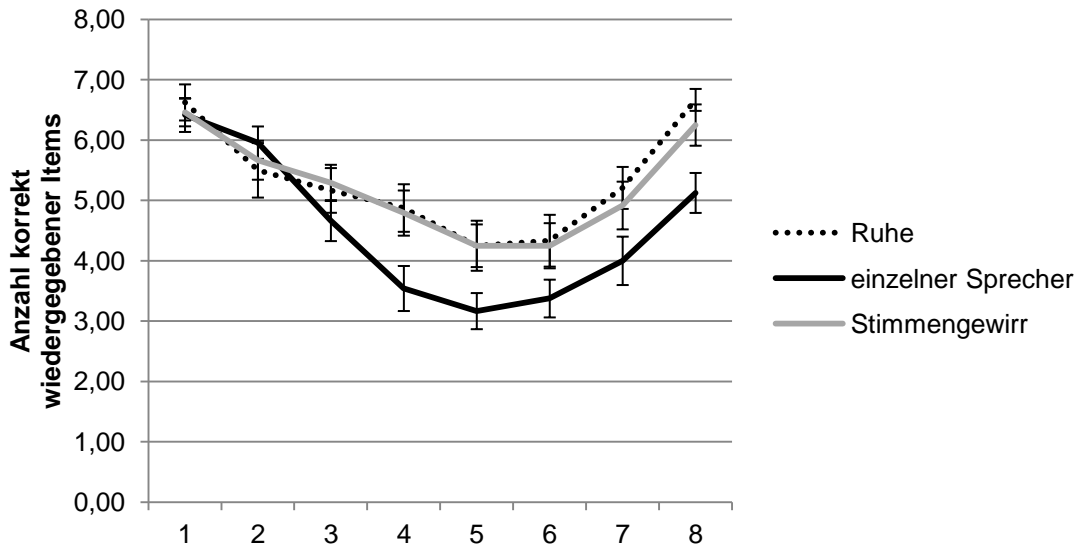


Abb. 14 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten auditiver Items bei Erwachsenen. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

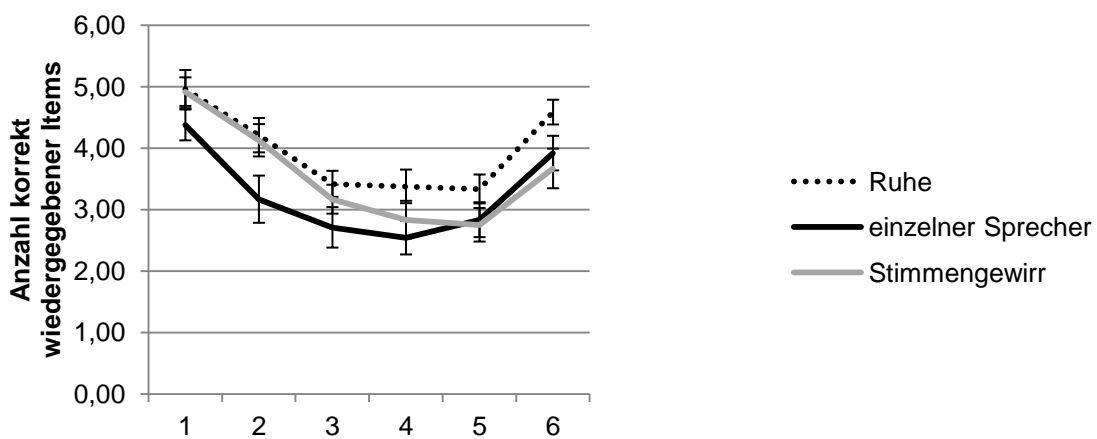


Abb. 15 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten auditiver Items bei Fünftklässlern. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

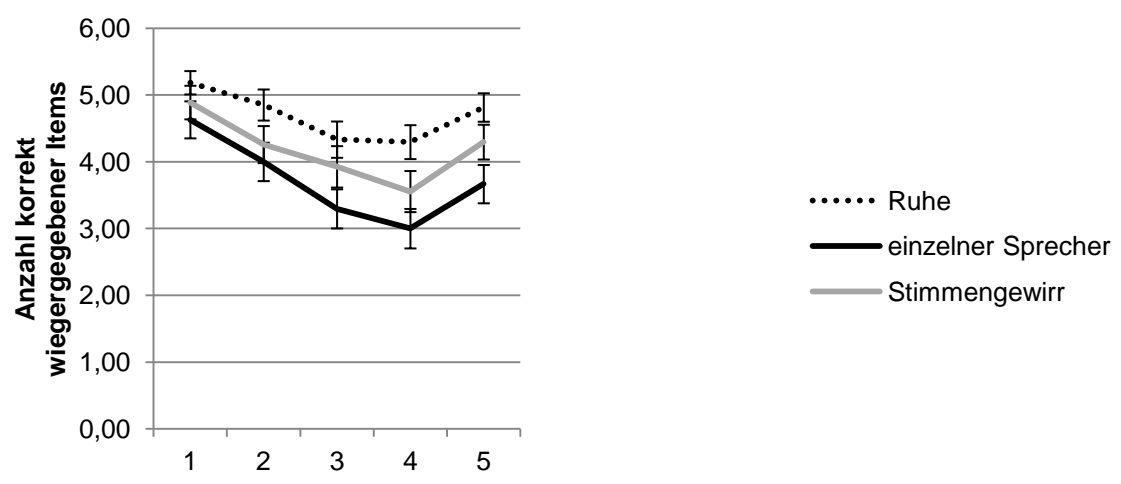


Abb. 16 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten auditiver Items bei Drittklässlern. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

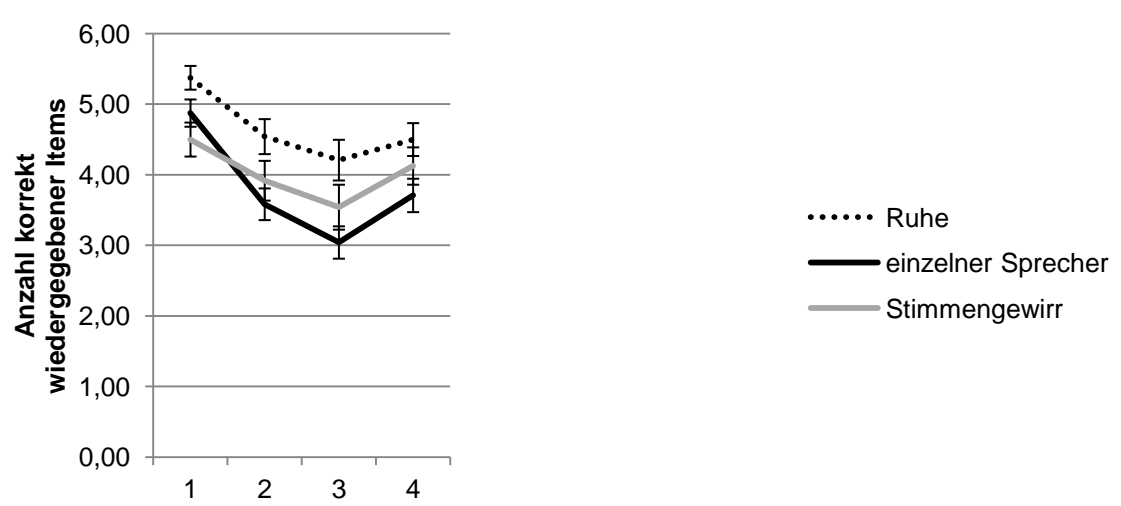


Abb. 17 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten auditiver Items bei Erstklässlern. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

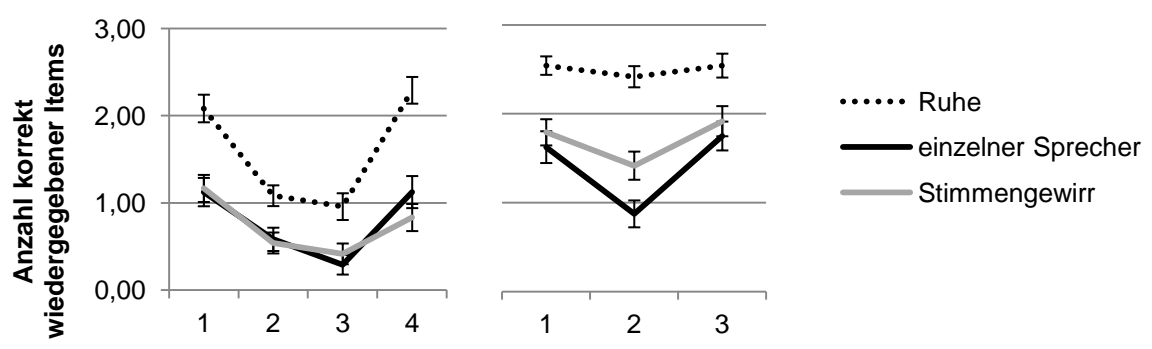


Abb. 18 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten auditiver Items bei Vorschülern. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

(ii) **Analyse von Alterseffekten.** Zur Analyse von Alterseffekten werden in allen Altersgruppen die erreichten Rohwertpunkte gemäß dem in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Verfahren standardisiert. Die durchschnittliche Ruheleistung wird dadurch in allen Altersgruppen auf $AM=0.00$ ($SD=1.00$) festgelegt und die Leistungsverschlechterung unter Hintergrundschall kann in Einheiten der Standardabweichung angegeben werden, was die Vergleichbarkeit der Daten über die Altersgruppen hinweg erlaubt. Die Vorschüler verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=2.62$ ($SD=0.79$) gegenüber der Ruheleistung, unter Stimmengewirr um $AM=2.33$ ($SD=0.77$). Die Erstklässler verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=1.00$ ($SD=0.95$), unter Stimmengewirr um $AM=0.75$ ($SD=1.43$). Die Drittklässler verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=1.01$ ($SD=1.34$), unter Stimmengewirr um $AM=0.53$ ($SD=1.35$). Die Fünftklässler verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=0.75$ ($SD=1.16$), unter Stimmengewirr um $AM=0.42$ ($SD=1.11$). Die Erwachsenen verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=0.61$ ($SD=0.74$), unter Stimmengewirr um $AM=0.07$ ($SD=0.95$). Veranschaulicht wird dies in Abb. 19.

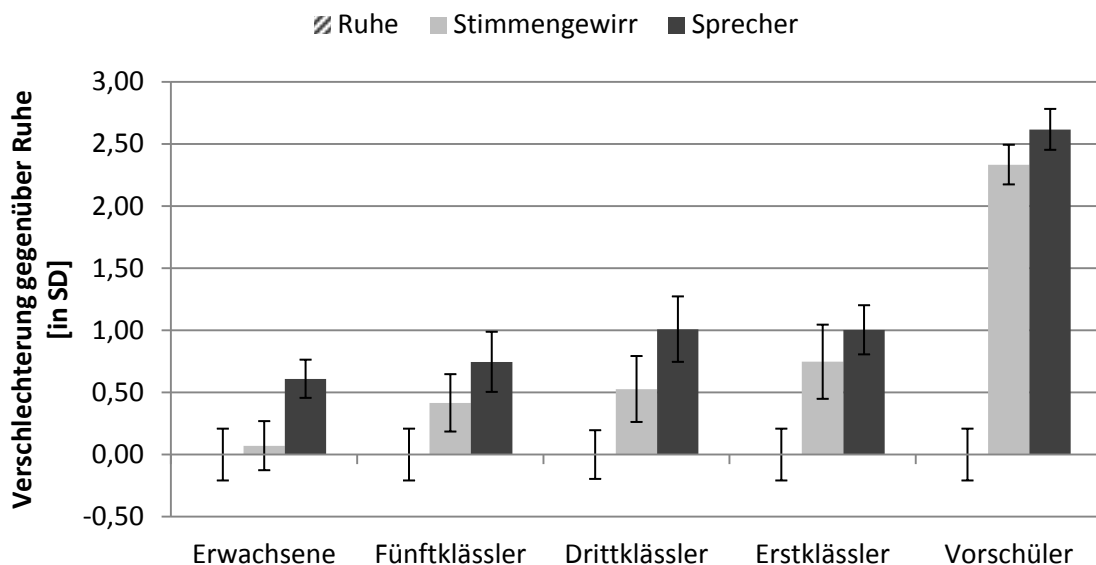


Abb. 19 Serielle Behaltensaufgabe (auditiv): Mittlere Leistungsverschlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung [in Standardabweichungen] in Abhängigkeit des Hintergrundschalls und der Altersgruppe.

Zur inferenzstatistischen Analyse folgt eine *zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktor: Schall, 3-stufig; Zwischensubjektfaktor: Alter, 5-stufig). Der abhängige Faktor ist die Leistungsverschlechterung gegenüber Ruhe (in SD). Neben dem bereits näher betrachteten Haupteffekt „Schall“ ($F(2, 236)=101.80$, $p<.01$, $\eta_p^2=.46$, $f=0.18$) sind ein Haupteffekt „Alter“ ($F(4, 118)=8.73$, $p<.01$, $\eta_p^2=.23$, $f=0.46$), sowie eine Interaktion „Schall*Alter“ ($F(8, 236)=12.87$, $p<.01$, $\eta_p^2=.30$, $f=0.22$) nachweisbar. Da aufgrund heterogener Varianzen (angezeigt durch einen signifikanten Levene-Test) die Gültigkeit des F -Tests jedoch in Frage zu stellen ist, wird zur Analyse des Faktors „Alter“ zusätzlich der Kruskal-Wallis-Test eingesetzt, welcher die hochsignifikanten Unterschiede aber bestätigt (Sprecher: $\chi^2(4)=38.79$, $p<.01$; Stimmengewirr: $\chi^2(4)=37.79$, $p<.01$). Zur Aufklärung der Interaktion „Alter*Schall“ werden *t-Tests für unabhängige Stichproben* angewandt, welche die mittleren Leistungsverschlechterungen der Altersstufen paarweise miteinander

vergleichen. Die Analyse ergibt zwei homogene Untergruppen (vgl. Tab. 9 und Tab. 10): Die Leistungsver schlechterung der Vorschüler ist sowohl beim einzelnen Sprecher als auch beim Stimmengewirr hochsignifikant stärker ausgeprägt als in allen übrigen Altersgruppen, die diesbezüglich nicht zu differieren scheinen. Zur Gewährleistung, dass der absente Alterseffekt zwischen Schulkindern und Erwachsenen nicht lediglich auf mangelnde Teststärke zurückzuführen ist, wird eine *Teststärkeanalyse* für die, in diesem Altersbereich nicht signifikante Interaktion „Schall*Alter“ durchgeführt. Diese ergibt eine Testpower von $(1-\beta)=.99$. Es darf somit gefolgert werden, dass Schulkinder und Erwachsene hinsichtlich der Auswirkungen irrelevanten Hintergrundschalls nicht differieren.

Tab. 9 Serielle Behaltensaufgabe (auditiv): Ergebnisse der *t*-Tests für unabhängige Stichproben. Verglichen werden die mittleren Leistungsver schlechterungen unter „einzelner Sprecher“ der verschiedenen Altersgruppen.

Altersgruppe		Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Vorschüler	Erstklässler	-1.62	0.25	-6.28	46	<.001	1.74
	Drittklässler	-1.61	0.31	-5.18	49	<.001	1.55
	Fünftklässler	-1.87	0.29	-6.40	46	<.001	1.91
	Erwachsene	-2.01	0.23	-8.92	46	<.001	2.31
Erstklässler	Drittklässler	0.01	0.33	0.02	49	.99	
	Fünftklässler	-0.26	0.31	-0.83	46	.41	
	Erwachsene	-0.39	0.25	-1.57	46	.12	
Drittklässler	Fünftklässler	-0.26	0.36	-0.73	49	.47	
	Erwachsene	-0.34	0.31	-1.31	49	.20	
Fünftklässler	Erwachsene	-0.14	0.29	-0.48	46	.64	

Tab. 10 Serielle Behaltensaufgabe (auditiv): Ergebnisse der *t*-Tests für unabhängige Stichproben. Verglichen werden die mittleren Leistungsver schlechterungen unter „Stimmengewirr“ der verschiedenen Altersgruppen.

Altersgruppe		Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Vorschüler	Erstklässler	-1.60	0.34	-4.69	46	<.001	1.47
	Drittklässler	-1.81	0.31	-5.84	49	<.001	1.76
	Fünftklässler	-1.92	0.28	-6.84	46	<.001	2.00
	Erwachsene	-2.27	0.25	-8.92	46	<.001	2.46
Erstklässler	Drittklässler	-0.22	0.40	-0.55	49	.59	
	Fünftklässler	-0.33	0.38	-0.88	46	.39	
	Erwachsene	-0.68	0.36	-1.89	46	.07	
Drittklässler	Fünftklässler	-0.11	0.36	-0.31	49	.76	
	Erwachsene	-0.46	0.33	-1.38	49	.18	
Fünftklässler	Erwachsene	-0.35	0.30	-1.13	46	.26	

4.1.3.2.3 Analyse von Modalitätseffekten

Im letzten Analyseschritt zur seriellen Behaltensaufgabe wird geprüft, ob es Modalitätseffekte zu verzeichnen gibt. Dazu folgt zur inferenzstatistischen Analyse eine *dreifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktoren: Schall, 3-stufig, Modalität, 2-stufig; Zwischensubjektfaktor: Alter, 5-stufig). Der abhängige Faktor ist die Leistungsverschlechterung gegenüber Ruhe (in SD). Zunächst bestätigt die Auswertung die bereits vorher analysierten Haupteffekte der Faktoren „Schall“ ($F(2, 236)=186.78, p<.01, \eta_p^2=.61, f=0.22$) und „Alter“ ($F(4, 118)=10.57, p<.01, \eta_p^2=.26, f=0.43$), sowie deren Interaktion ($F(8, 236)=27.01, p<.01, \eta_p^2=.48, f=0.21$). Demgegenüber liegt auf dem Faktor Präsentationsmodalität kein Haupteffekt vor ($F(1, 118)=2.37, p=.13$) – und auch keine Interaktion „Schall*Modalität“ ($F(2, 236)=1.16, p=.32$). Auch die weiteren Interaktionen sind nicht signifikant („Modalität*Alter“: $F(4, 118)=1.26, p=.29$; „Schall*Modalität*Alter“: $F(8, 236)=1.13, p=.34$). Veranschaulicht werden die Ergebnisse in Abb. 20.

Die Auswirkungen irrelevanten Hintergrundschalls scheinen demnach nicht durch die Präsentationsmodalität der zu memorierenden Stimuli moderiert zu werden. Außerdem ist auszuschließen, dass dieses Ergebnis auf mangelnde Teststärke zurückzuführen ist. Eine Teststärkeanalyse der nicht signifikanten Interaktion „Schall*Modalität“ ergibt eine Teststärke von $(1-\beta)=.90$. Es darf somit gefolgert werden, dass irrelevanter Hintergrundschall auf visuelle wie auch auditive Aufgabenstellungen gleichermaßen wirkt.

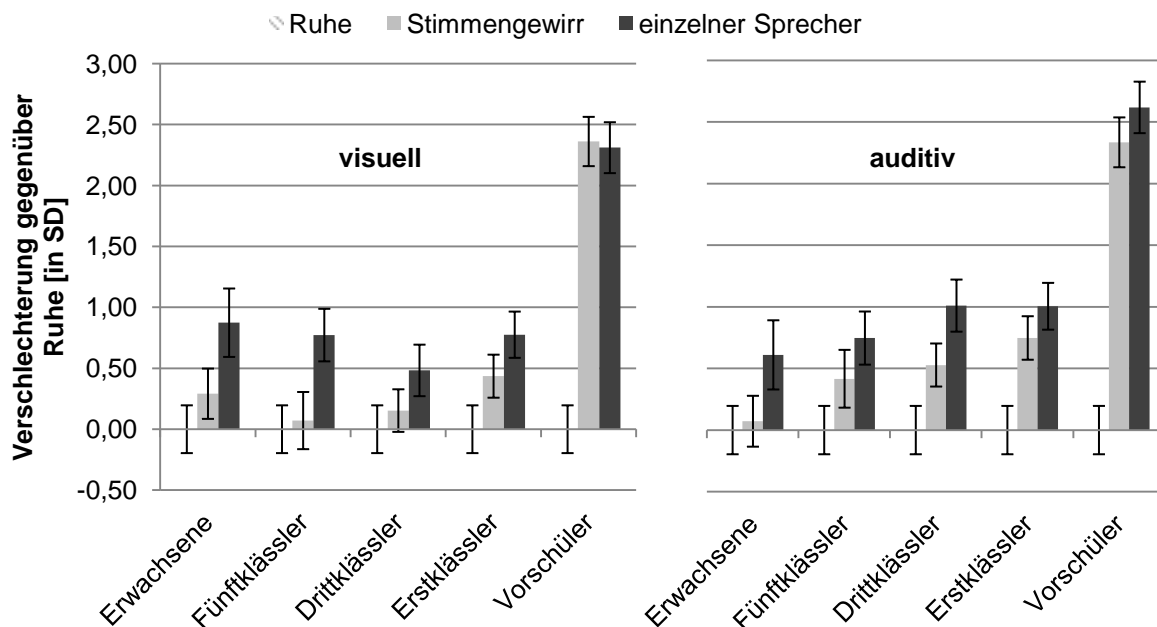


Abb. 20 Serielle Behaltensaufgabe: Mittlere Leistungsverschlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung [in Standardabweichungen] in Abhängigkeit des Hintergrundschalls, der Altersgruppe und der Präsentationsmodalität.

4.1.3.3 Odd-One-Out-Aufgabe

Im Folgenden werden die Leistungen der Odd-One-Out-Aufgabe, die kein serielles Erinnern erfordert, unter den verschiedenen Schallbedingungen statistisch betrachtet. Das Vorgehen erfolgt analog zur Auswertung der seriellen Behaltensaufgabe: Zunächst werden die Daten nach Modalitäten getrennt betrachtet und vorab für jede Altersstufe separat ausgewertet, um den Einfluss der verschiedenen Hintergrundbedingungen innerhalb jeder Altersgruppe zu klären. Anschließend erfolgt die Prüfung etwaiger Alterseffekte⁷ und schließlich die von Modalitätseffekten.

4.1.3.3.1 Daten aus visueller Itempräsentation

(i) Analyse von Schalleffekten innerhalb der Altersgruppen. Die Leistung in der Odd-One-Out-Aufgabe wird durch Summation der korrekt identifizierten „Odd-Ones“ bestimmt. In Tab. 11 sind die mittleren Wiedergabeleistungen (in Rohwertpunkten) und Standardabweichungen der verschiedenen Altersstufen bei visueller Itempräsentation in Abhängigkeit der Schallbedingungen dargestellt.

Tab. 11 Odd-One-Out-Aufgabe (visuell): Mittlere Wiedergabeleistungen der verschiedenen Altersgruppen in Abhängigkeit der Schallbedingungen. Dargestellt sind Mittelwerte [in Rohwertpunkten] und Standardabweichungen.

Altersgruppe	Ruhe	Einzelner Sprecher	Stimmengewirr
	AM (SD)	AM (SD)	AM (SD)
Erstklässler	4.21 (1.41)	3.17 (1.62)	3.71 (1.37)
Drittklässler	4.52 (1.20)	3.30 (1.44)	4.11 (1.26)
Fünftklässler	4.46 (1.61)	3.46 (1.63)	4.13 (1.48)
Erwachsene	6.13 (1.74)	4.96 (1.97)	5.79 (1.63)

[maximal erreichbare Rohwertpunkte: Vorschüler, Erstklässler, Drittklässler, Fünftklässler: 6 – Erwachsene: 10]

Zur inferenzstatistischen Analyse folgt in jeder Altersgruppe separat eine *einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktor: Schallbedingung, 3-stufig). Der abhängige Faktor ist jeweils die Leistung (in Rohwertpunkten). Überraschenderweise ergibt die Auswertung in allen Altersgruppen einen Haupteffekt „Schall“, welcher auf einen Irrelevant Sound Effect schließen lässt (Erstklässler: $F(2, 46)=7.31, p<.01, \eta_p^2=.24, f=0.28$; Drittklässler: $F(2, 52)=9.87, p<.01, \eta_p^2=.28, f=0.39$; Fünftklässler: $F(2, 46)=6.57, p<.01, \eta_p^2=.22, f=0.27$; Erwachsene: $F(2, 46)=5.39, p<0.01, \eta_p^2=.19, f=0.28$).

Der beobachtete Haupteffekt „Schall“ wird innerhalb jeder Altersgruppe mittels dreier *gepaarter t-Tests* weiter aufgeklärt. Dabei werden die mittleren Leistungen der Schallbedingungen paarweise miteinander verglichen. Der einzelne Sprecher führt in allen Altersgruppen zu einer reliablen Verschlechterung der Wiedergabeleistung im Vergleich zu Ruhe (Erstklässler: $t(23)=4.03, p<.01$,

⁷ Dieser Aufgabentyp hat sich in Vorversuchen für viele Vorschulkinder als zu schwierig erwiesen. Die Aufgabe wird daher nur von Erst-, Dritt- und Fünftklässlern sowie von den Erwachsenen bearbeitet.

$d=0.82$; Drittklässler: $t(26)=4.74$, $p<.01$, $d=0.91$; Fünftklässler: $t(23)=4.61$, $p<.01$, $d=0.94$; Erwachsene: $t(23)=2.72$, $p<.05$, $d=0.55$), wohingegen die Leistung beim Stimmengewirr unbeeinträchtigt bleibt (Erstklässler: $t(23)=1.77$, $p=.09$; Drittklässler: $t(26)=1.46$, $p=.16$; Fünftklässler: $t(23)=1.07$, $p=.30$; Erwachsene: $t(23)=1.07$, $p=.30$).

(ii) Analyse von Alterseffekten. Zur Analyse von Alterseffekten werden in allen Altersgruppen die erreichten Rohwertpunkte gemäß dem in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Verfahren standardisiert. Die durchschnittliche Ruheleistung wird dadurch in allen Altersgruppen auf $AM=0.00$ ($SD=1.00$) festgelegt und die Leistungsverschlechterung unter Hintergrundschall kann in Einheiten der Standardabweichung angegeben werden, was die Vergleichbarkeit der Daten über die Altersgruppen hinweg erlaubt. Die Erstklässler verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=0.74$ ($SD=1.15$) gegenüber der Ruheleistung, unter Stimmengewirr im Mittel um $AM=0.35$ ($SD=0.97$). Die Drittklässler verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=1.02$ ($SD=1.20$), unter Stimmengewirr im Mittel um $AM=0.34$ ($SD=1.05$). Die Fünftklässler verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=0.62$ ($SD=1.02$), unter Stimmengewirr im Mittel um $AM=0.21$ ($SD=0.92$). Die Erwachsenen verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=0.67$ ($SD=1.13$), unter Stimmengewirr im Mittel um $AM=0.19$ ($SD=0.94$). Veranschaulicht wird dies in Abb. 21.

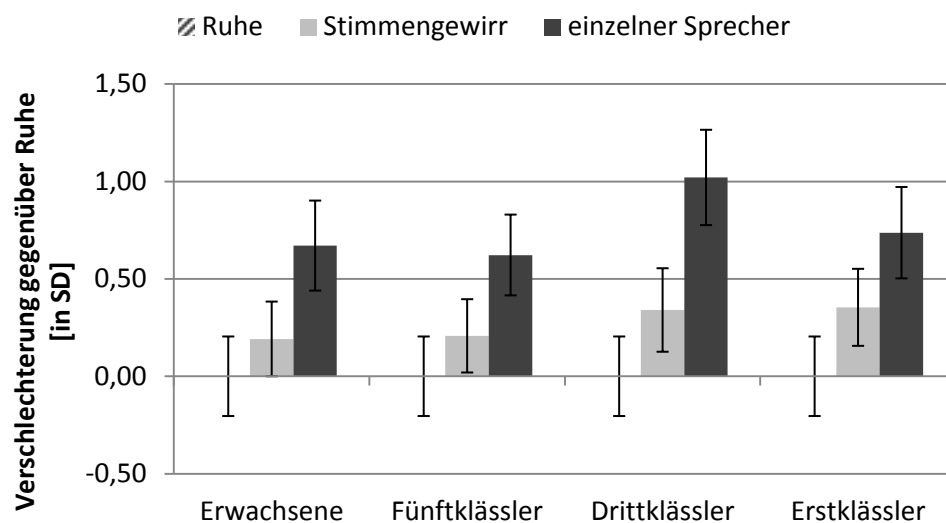


Abb. 21 Odd-One-Out-Aufgabe (visuell): Mittlere Leistungsverschlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung [in Standardabweichungen] in Abhängigkeit des Hintergrundschalls und der Altersgruppe.

Zur inferenzstatistischen Analyse folgte eine *zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktor: Schall, 3-stufig; Zwischensubjektfaktor: Alter, 4-stufig). Der abhängige Faktor ist die Leistungsverschlechterung gegenüber Ruhe (in SD). Wie in vorherigen Analysen bereits erörtert, ergibt die Auswertung einen Haupteffekt „Schall“ ($F(2, 190)=27.94$, $p<.01$, $\eta_p^2=.23$, $f=0.22$) – jedoch auch keinen Haupteffekt „Alter“ ($F(3, 95)=0.23$, $p=.88$) und auch keine Interaktion ($F(6, 190)=0.46$, $p=.83$). Das Ausmaß der Leistungsverschlechterung im Störgeräusch scheint demnach in allen Altersgruppen vergleichbar.

Allerdings ist auszuschließen, dass die absente Interaktion „Schall*Alter“ lediglich auf mangelnde Teststärke zurückzuführen ist: Eine *Teststärkeanalyse* mit einer als inhaltlich relevant erachteten, geschätzten Effektgröße von $f=0.25$ (mittlerer Effekt) ergibt eine Teststärke von $(1-\beta)=.99$. Es darf somit gefolgert werden, dass Schulkinder und Erwachsene hinsichtlich der Auswirkungen irrelevanten Hintergrundschalls nicht oder wenn dann nur in kleinem Maße differieren.

4.1.3.3.2 Daten aus auditiver Itempräsentation

(i) Analyse von Schalleffekten innerhalb der Altersgruppen. In Tab. 12 sind die mittleren Wiedergabeleistungen (in Rohwertpunkten) und Standardabweichungen der verschiedenen Altersstufen bei auditiver Itempräsentation in Abhängigkeit der Schallbedingungen dargestellt.

Zur inferenzstatistischen Analyse folgt in jeder Altersgruppe separat eine *einfaktorielles Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktor: Schallbedingung, 3-stufig). Der abhängige Faktor ist jeweils die Leistung (in Rohwertpunkten). Die Auswertung ergibt in allen Altersgruppen einen Haupteffekt „Schall“, was auf einen Irrelevant Sound Effect schließen lässt (Erstklässler: $F(2, 46)=21.20$, $p<.01$, $\eta_p^2=.48$, $f=0.40$; Drittklässler: $F(2, 52)=19.06$, $p<.01$, $\eta_p^2=.28$, $f=0.39$; Fünftklässler: $F(2, 46)=7.12$, $p<.01$, $\eta_p^2=.24$, $f=0.30$; Erwachsene: $F(2, 46)=6.63$, $p<.01$, $\eta_p^2=.22$, $f=0.31$).

Der beobachtete Haupteffekt „Schall“ wird innerhalb jeder Altersgruppe mittels dreier *gepaarter t-Tests* weiter aufgeklärt. Dabei werden die mittlere Leistung der Schallbedingungen paarweise miteinander verglichen. Der einzelne Sprecher bewirkt in allen Altersgruppen eine reliable Verschlechterung der Identifikationsleistung im Vergleich zu Ruhe (Erstklässler: $t(23)=8.09$, $p<.01$, $d=1.65$; Drittklässler: $t(26)=7.25$, $p<.01$, $d=1.40$; Fünftklässler: $t(23)=3.92$, $p<.01$, $d=0.80$; Erwachsene: $t(23)=2.79$, $p<.05$, $d=0.57$), wohingegen die Leistung der Dritt- und Fünftklässler, sowie der Erwachsenen beim Stimmengewirr unbeeinträchtigt bleibt (Drittklässler: $t(26)=1.44$, $p=.16$; Fünftklässler: $t(23)=1.45$, $p=.16$; Erwachsene: $t(23)=-0.13$, $p=.90$). Einzig die Erstklässler werden auch durch das Stimmengewirr beeinträchtigt ($t(23)=3.11$, $p<.05$, $d=0.64$), wenn auch nicht so stark wie durch das einzelne Sprechen ($t(23)=-2.94$, $p<.05$, $d=0.60$),

Tab. 12 Odd-One-Out-Aufgabe (auditiv): Mittlere Wiedergabeleistungen der verschiedenen Altersgruppen in Abhängigkeit der Schallbedingungen. Dargestellt sind Mittelwerte [in Rohwertpunkten] und Standardabweichungen.

Altersgruppe	Ruhe	Einzelner Sprecher	Stimmengewirr
	AM (SD)	AM (SD)	AM (SD)
Erstklässler	4.67 (1.28)	3.21 (1.19)	4.00 (1.53)
Drittklässler	4.63 (1.31)	3.37 (1.36)	4.33 (1.28)
Fünftklässler	4.42 (1.22)	3.42 (1.50)	4.08 (1.47)
Erwachsene	5.75 (1.51)	4.79 (1.61)	5.79 (1.35)

[maximal erreichbare Rohwertpunkte: Vorschüler, Erstklässler, Drittklässler, Fünftklässler: 6 – Erwachsene: 10]

(ii) Analyse von Alterseffekten. Zur Analyse von Alterseffekten werden in allen Altersgruppen die erreichten Rohwertpunkte gemäß dem in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Verfahren standardisiert. Die

durchschnittliche Ruheleistung wird dadurch in allen Altersgruppen auf $AM=0.00$ ($SD=1.00$) festgelegt und die Leistungsverschlechterung unter Hintergrundschall kann in Einheiten der Standardabweichung angegeben werden, was die Vergleichbarkeit der Daten über die Altersgruppen hinweg erlaubt. Die Erstklässler verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=1.14$ ($SD=0.93$) gegenüber der Ruheleistung, unter Stimmengewirr um $AM=0.52$ ($SD=1.19$). Die Drittklässler verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=0.96$ ($SD=1.04$), unter Stimmengewirr um $AM=0.23$ ($SD=0.97$). Die Fünftklässler verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=0.82$ ($SD=1.23$), unter Stimmengewirr um $AM=0.27$ ($SD=1.20$). Die Erwachsenen verschlechtern sich unter dem einzelnen Sprecher im Mittel um $AM=0.64$ ($SD=1.07$), unter Stimmengewirr um $AM=0.03$ ($SD=0.90$). Veranschaulicht wird dies in Abb. 22.

Zur inferenzstatistischen Analyse folgt eine *zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktor: Schall, 3-stufig; Zwischensubjektfaktor: Alter, 4-stufig). Der abhängige Faktor ist die Leistungsverschlechterung gegenüber Ruhe (in SD). Wie in vorherigen Analysen bereits erörtert, ergibt die Auswertung einen Haupteffekt „Schall“ ($F(2, 190)=45.91$, $p<.01$, $\eta_p^2=.33$, $f=0.20$) – jedoch keinen Haupteffekt „Alter“ ($F(3, 95)=0.59$, $p=.62$) und auch keine Interaktion ($F(6, 190)=0.91$, $p=.49$). Das Ausmaß der Leistungsverschlechterung im Störgeräusch scheint demnach in allen Altersgruppen vergleichbar.

Zur Gewährleistung, dass der absente Alterseffekt nicht lediglich auf mangelnde Teststärke zurückzuführen ist, wird eine Teststärkeanalyse für die nicht signifikante Interaktion „Schall*Alter“ durchgeführt. Diese ergibt eine Testpower von $(1-\beta)=.95$. Es darf somit gefolgert werden, dass die Altersgruppen hinsichtlich der Auswirkungen irrelevanten Hintergrundschalls nicht differieren.

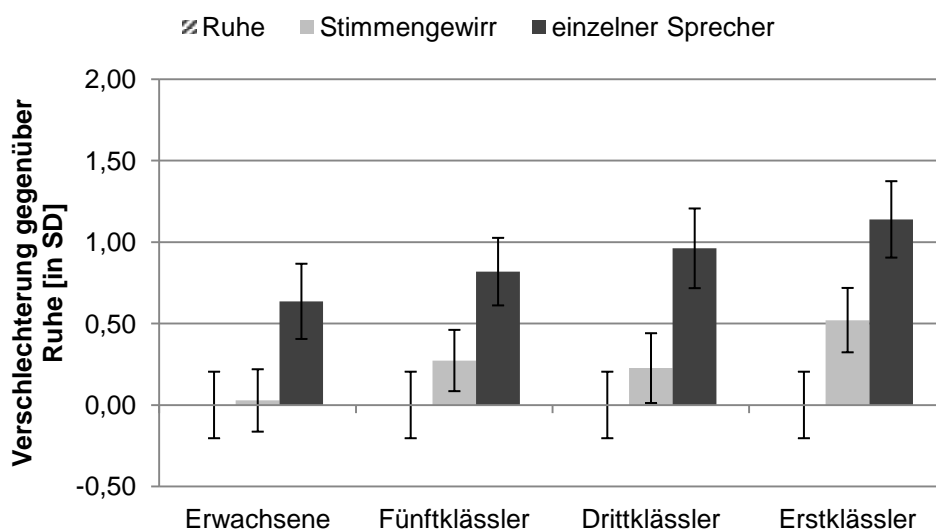


Abb. 22 Odd-One-Out-Aufgabe (auditiv): Mittlere Leistungsverschlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung [in Standardabweichungen] in Abhängigkeit des Hintergrundschalls und der Altersgruppe.

4.1.3.3.3 Analyse von Modalitätseffekten

Im letzten Analyseschritt zur Odd-One-Out-Aufgabe wird geprüft, ob die bisherigen Befunde aus visueller Itempräsentation auf die auditorisch übertragbar sind oder ob es Modalitätseffekte zu verzeichnen gibt. Dazu werden die Ergebnisse aus visueller und auditorischer Itempräsentation gemeinsam betrachtet. Zur inferenzstatistischen Analyse folgt eine *dreifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktoren: Schall, 3-stufig, Modalität, 2-stufig; Zwischensubjektfaktor: Alter, 4-stufig). Der abhängige Faktor ist die Leistungsverschlechterung gegenüber Ruhe (in SD). Neben dem bereits analysierten Haupteffekt „Schall“ ($F(2, 190)=56.42, p<.01, \eta_p^2=.37, f=0.22$) ergibt die Auswertung keine weiteren signifikanten Effekte: Auf dem Faktor Präsentationsmodalität liegt kein Haupteffekt vor ($F(1, 95)=0.23, p=.63$) und auch die Interaktionen sind nicht signifikant („Schall*Modalität“: $F(2, 190)=0.91, p=.40$; „Modalität*Alter“: $F(3, 95)=0.83, p=.48$; „Schall*Modalität*Alter“: $F(6, 190)=0.48, p=.82$) Veranschaulicht wird dies in Abb. 23.

Allerdings ist auszuschließen, dass der absente Modalitätseffekt auf mangelnde Teststärke zurückzuführen ist: Eine *Teststärkeanalyse* mit einer als inhaltlich relevant erachteten, geschätzten Effektgröße von $f=0.25$ (mittlerer Effekt) ergibt eine Teststärke von $(1-\beta)=.99$. Es darf somit gefolgert werden, dass irrelevanter Hintergrundschall auf beide Aufgabenstellungen gleichermaßen wirkt oder allenfalls Effekte kleiner Ordnung zu verzeichnen sind.

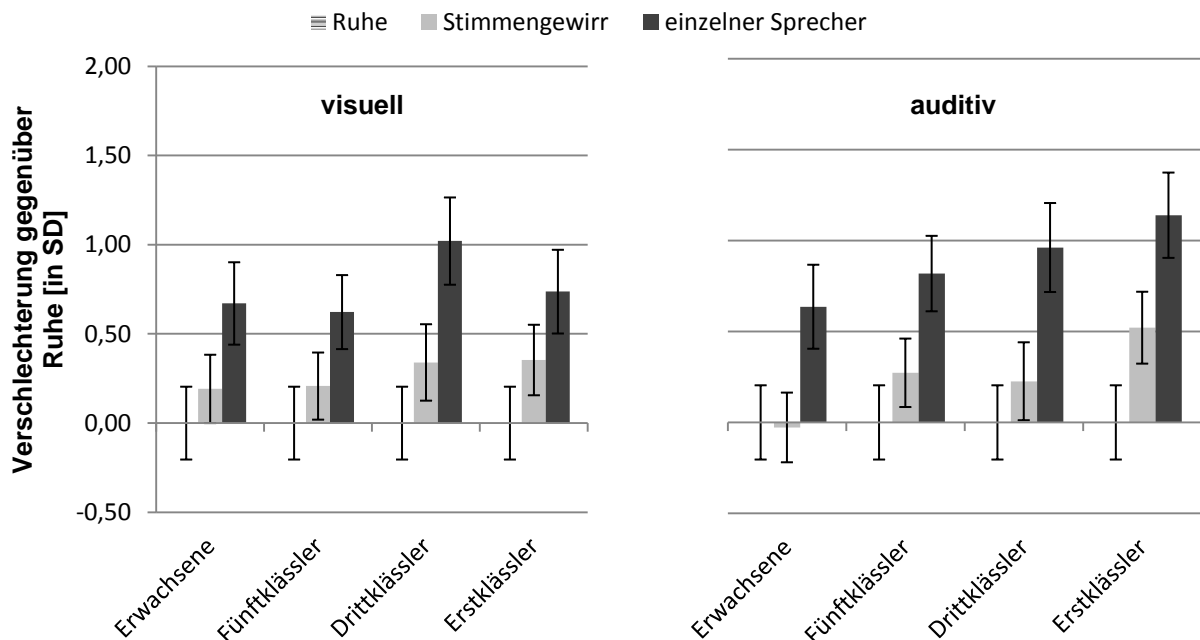


Abb. 23 Odd-One-Out-Aufgabe: Mittlere Leistungsverschlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung [in Standardabweichungen] in Abhängigkeit des Hintergrundschalls, der Altersgruppe und der Präsentationsmodalität.

4.1.3.4 Aufgabenvergleich

Im letzten Analyseschritt wird geprüft, ob es zwischen den beiden Aufgabentypen serielle Behaltensaufgabe und Odd-One-Out-Aufgabe unterschiedliche Befundmuster zu verzeichnen gibt oder ob sie gleichermaßen sensitiv gegenüber der Störwirkung durch Hintergrundschall sind. Die dazu nötigen Analysen werden nach Modalitäten getrennt durchgeführt und im Folgenden vorgestellt.

4.1.3.4.1 Aufgaben bei visueller Itempräsentation

Zur inferenzstatistischen Analyse wird eine *dreifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktoren: Aufgabe, 2-stufig, Schall, 3-stufig; Zwischensubjektfaktor: Alter, 4-stufig) durchgeführt. Der abhängige Faktor ist die Leistungsverschlechterung gegenüber Ruhe (in SD) bei visueller Itempräsentation. Erneut bestätigt hat sich der bereits analysierte Haupteffekt „Schall“ ($F(2, 190)=60.89, p<.01, \eta_p^2=.32, f=0.26$). Interessanterweise kann aber kein Haupteffekt „Aufgabe“ ($F(1, 95)=0.06, p=.81$) festgestellt werden. Ebenso zeigen sich keine Interaktionen, insbesondere nicht bei „Aufgabe*Schall“ ($F(2, 190)=0.05, p=.96$) – der Irrelevant Sound Effect scheint somit in beiden Aufgabentypen in vergleichbarem Ausmaß zu beobachten zu sein.

Dabei ist auszuschließen, dass die absente Interaktion auf mangelnde Teststärke zurückzuführen ist. Eine *Teststärkeanalyse* mit einer als inhaltlich relevant erachteten, geschätzten Effektgröße von $f=0.25$ (mittlerer Effekt) ergibt eine Teststärke von $(1-\beta)=.99$. Es darf somit gefolgert werden, dass irrelevanter Hintergrundschall auf beide Aufgabenstellungen gleichermaßen wirkt oder allenfalls kleine Effekte zu verzeichnen sind.

4.1.3.4.2 Aufgaben bei auditiver Itempräsentation

Zur inferenzstatistischen Analyse wird eine *dreifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktoren: Aufgabe, 2-stufig, Schall, 3-stufig; Zwischensubjektfaktor: Alter, 4-stufig) durchgeführt. Der abhängige Faktor ist die Leistungsverschlechterung gegenüber Ruhe (in SD) bei auditiver Itempräsentation. Das Befundmuster entspricht dem bereits bei visueller Itempräsentation berichteten: Der bereits analysierte Haupteffekt „Schall“ ($F(2, 190)=79.93, p<.01, \eta_p^2=.46, f=0.25$) hat sich erneut bestätigt, es kann aber kein Haupteffekt „Aufgabe“ ($F(1, 95)=0.28, p=.60$) festgestellt werden – wie auch keine Interaktionen, insbesondere nicht bei „Aufgabe*Schall“ ($F(2, 190)=1.81, p=.17$).

Zur Gewährleistung, dass die absente Interaktion nicht lediglich auf mangelnde Teststärke zurückzuführen ist, wird eine Teststärkeanalyse für die nicht signifikante Interaktion „Aufgabe*Schall“ durchgeführt. Diese ergibt eine Testpower von $(1-\beta)=.94$. Es darf somit gefolgert werden, dass der Irrelevant Sound Effect in beiden Aufgabentypen in vergleichbarem Ausmaß zu beobachten ist.

4.1.4 Diskussion

Der Irrelevant Sound Effect beschreibt das Phänomen einer geminderten Behaltensleistung durch irrelevante Hintergrundgeräusche. Unklar ist jedoch, ob der Irrelevant Sound Effect entwicklungsbedingten Veränderungen unterliegt – und falls ja, welches Arbeitsgedächtnismodell das kindliche Befundmuster am besten abbildet. Um diese Fragestellungen zu klären, wurde in Experiment 1 die Wirkung irrelevanter sprachlicher Geräusche auf das Arbeitsgedächtnis altersvergleichend (Vorschüler vs. Erstklässler vs. Drittklässler vs. Fünftklässler vs. Erwachsene) untersucht. Dabei wurde die Art des Hintergrundschalls (Changing-State-Schall vs. Steady-State-Schall), die Modalität des zu memorierenden Materials (auditiv vs. visuell) und die Anforderung der zu bearbeitenden Aufgabe⁸ (Merkaufgabe mit serieller Komponente vs. Merk- und Vergleichsaufgabe ohne serielle Komponente) innerhalb der Versuchsteilnehmer variiert, um ein differenziertes Bild zu erhalten.

Dabei haben sich folgende Hauptresultate ergeben: (i) Die Leistungsbeeinträchtigung durch den einzelnen Sprecher ist bei den Vorschulkindern deutlich ausgeprägter als in den übrigen Altersgruppen, welche diesbezüglich nicht differieren; (ii) Der typische Changing-State Effect ist bei den Vorschulkindern, im Gegensatz zu den übrigen Altersgruppen, nicht zu beobachten; Es sind (iii) keine Modalitätseffekte und (iv) keine Aufgabeneffekte zu verzeichnen⁹. Nun erfolgt die Einordnung der Befunde in den bisherigen Forschungsstand sowie die Diskussion ihrer modelltheoretischen Implikationen, ausgehend von der klassischen Variante – der seriellen Behaltensaufgabe mit visueller Präsentation.

(i) Ausmaß des Irrelevant Sound Effect. Der Irrelevant Sound Effect, verursacht durch den einzelnen Sprecher, zeigt sich bei der *seriellen Behaltensaufgabe mit visueller Präsentation* eindrücklich in allen untersuchten Altersgruppen – ist demnach also insbesondere auch bei Kindern präsent (vgl. hierzu auch Elliott, 2002; Elliott & Briganti, 2012; Elliott & Cowan, 2005; Klatt et al. 2007, 2010b). Zentral dabei ist aber, dass das Ausmaß der Leistungsver schlechterung bei den Vorschulkindern deutlich ausgeprägter ist als bei den Schulkindern und Erwachsenen, welche diesbezüglich nicht differieren. Der Irrelevant Sound Effect unterliegt also entwicklungsbedingten Veränderungen, welche zeitlich im Vorschulalter anzusiedeln sind. Bei Vorschülern scheint das Phänomen anders geartet zu sein als älteren Teilnehmern, welche (trotz der großen Altersspanne von 6 bis 27 Jahren) eine homogene Gruppe bilden. Letzteres repliziert die Ergebnisse von Klatt und Kollegen (2010b) in Bezug auf Schulkinder und Erwachsene, kontrastiert aber mit Elliott (2002), welche auch zwischen selbigen Alterseffekte ermittelte. Im Folgenden werden zunächst mögliche Ursachen für die Ergebnisse der aktuellen Studie mit ihren modelltheoretischen Implikationen aufgezeigt, anschließend werden mögliche Gründe für die divergierenden Ergebnisse von Elliott (2002) erörtert.

⁸ Die Odd-One-Out-Aufgabe hat sich in Vorversuchen für viele Vorschulkinder als zu schwierig erwiesen und wird von dieser Altersgruppe demnach nicht bearbeitet.

⁹ Die empirischen Effekte bei der Odd-One-Out-Aufgabe erreichten häufig keine inhaltlich relevante Größe. Zur Teststärkeberechnung wurde deswegen ein geschätzter Effekt von $f=.25$ verwendet, welcher eine für das Annehmen der Nullhypothese ausreichende Teststärke ergab.

Warum also werden Vorschüler so massiv beeinträchtigt, während der Irrelevant Sound Effect bei Schulkindern bereits dem Erwachsener gleicht? Die Fähigkeit, Aufmerksamkeit selektiv auf einzelne Reize zu richten, während andere ignoriert werden, unterliegt klaren entwicklungsbedingten Veränderungen (Courage & Cowan, 2009). Dabei hat sich in Verhaltens- und in neuropsychologischen Studien gezeigt, dass die größten Entwicklungsveränderungen im Alter zwischen 5 und 7 Jahren stattfinden: 5-Jährige haben deutlich größere Schwierigkeiten ihre Aufmerksamkeit auf die wesentliche Information zu fokussieren und Irrelevantes auszublenden als 7-Jährige oder Ältere, die sich deutlich weniger unterscheiden (Aslan & Bäuml, 2010; Bartgis et al., 2003, 2008; Enns & Cameron, 1987; Johnstone et al., 2007; Korkman et al., 2001; Lane & Pearson, 1982; Lehto et al., 2003; Ridderinkhof & van der Molen, 1995; van der Molen, 2000), was in der Literatur als „5 to 7 shift“ bezeichnet wird (White, 1970) (siehe hierzu Abschnitt 2.3.2). Wird der Irrelevant Sound Effect als Folge einer Aufmerksamkeitsablenkung konzeptualisiert, dann wäre bei Vorschülern mit größeren Leistungseinbrüchen zu rechnen als bei Grundschulkindern oder Erwachsenen – was das vorliegende Befundmuster gut abbilden würde. Das Ergebnis bevorzugt somit Arbeitsgedächtnismodelle, die bei der Erklärung des Irrelevant Sound Effect Aufmerksamkeitsparameter mit einschließen. In diesem Zusammenhang sind das *Embedded Processes Model* (Cowan, 1988, 1999) das *Feature Model* (Nairne, 1988, 1990; Neath, 2000; Neath & Nairne, 1995) und der *Duplex-Mechanismus* (*duplex-mechanism account of auditory distraction*; Hughes et al., 2007) zu nennen.

Im *Embedded Processes Model* (Cowan, 1988, 1999) stellt die unwillkürliche Orientierungsreaktion auf auditive Distraktoren die zentrale Erklärungskomponente des Irrelevant Sound Effect dar (Cowan, 1995). Während die Repräsentationen des Hintergrundschalls durch die Orientierungsreaktion automatisch in den Fokus der Aufmerksamkeit vordringen können, erreichen die Repräsentationen der zu memorierenden Items diesen Zustand nur aufgrund der willentlichen Zuteilung von Aufmerksamkeit (Cowan, 1995). Da insbesondere Vorschulkinder große Schwierigkeiten haben, ihre Aufmerksamkeit auf die relevante Information zu lenken und die Verarbeitung irrelevanter Informationen zu unterdrücken, gelangen mehr irrelevante Informationen in den Fokus der Aufmerksamkeit. Die dabei beanspruchten Aufmerksamkeitsressourcen fehlen jedoch bei der Bearbeitung der eigentlichen Aufgabe, was die geminderte Behaltensleistung der Vorschüler erklärt.

Im *Feature Model* (Nairne, 1988, 1990; Neath, 2000; Neath & Nairne, 1995) wird die Störwirkung sprachlicher Schalle in erster Linie auf die ähnlichkeitsbasierte Interferenz der Feature Adoption zurückgeführt, jedoch wird auch die Möglichkeit der Modulation durch aufmerksamsbedingte Parameter eingeräumt: Dabei bindet das Ignorieren von Störgeräuschen Aufmerksamkeitsressourcen, die zur Bearbeitung der Primäraufgabe nicht mehr zur Verfügung stehen (Neath, 2000). Derartige Dual Task Situationen stellen aus o.g. Gründen insbesondere für Vorschüler eine große Herausforderung dar. Fraglich ist allerdings, ob dieser Wirkmechanismus, der eigentlich zur Erklärung nichtsprachlicher Geräusche konzipiert wurde und bei sprachlichen Schallen allenfalls eine Modulation des Befundmusters erlaubt, derart massive Leistungseinbrüche erklären kann.

Schließlich ist auf die mittlerweile sehr einflussreiche Weiterentwicklung des Object-Oriented Episodic Record Model, den *Duplex-Mechanismus* (*duplex-mechanism account of auditory distraction*; Hughes et al., 2007) einzugehen, welcher eine gewisse Variation des Irrelevant Sound Effect um

aufmerksamkeitsbezogene Parameter ermöglicht: Dabei kann die Verlagerung von Aufmerksamkeitsressourcen hin zum Distraktormaterial (*attentional capture; temporary attention distraction*) temporär zu einer gestörten Encodierung und Verarbeitung der Zielitems führen, was mit einer kurzzeitigen Leistungsminderung einhergeht (Hughes et al., 2007). Dieser Ablenkungseffekt sollte bei Kindern, aufgrund ihrer schlechter ausgeprägten Kontrollmechanismen, ausgeprägter sein als bei Erwachsenen. Jedoch wirkt dieser Effekt theoriegemäß allenfalls verstärkend – die Haupterklärung des Irrelevant Sound Effect bleibt nach wie vor die automatische Interferenz ähnlicher Prozesse (*interference by process*). Es ist daher – ähnlich wie im Feature Model – fraglich, ob dieser Erklärungsansatz dem massiven Leistungseinbruch der Vorschüler gerecht wird. Ansätze, die den Irrelevant Sound Effect rein als Folge einer Aufmerksamkeitsablenkung konzeptualisieren, vermögen dies wohl besser zu leisten.

Doch wie ist der ausbleibende Alterseffekt zwischen Schulkindern verschiedenen Alters und Erwachsenen zu begründen und zu interpretieren? Zunächst ist darauf hinzuweisen, dass die Altersunabhängigkeit bei Schulkindern und Erwachsenen die Ergebnisse von Klatte und Kollegen (2010b) repliziert und sich daher das Befundmuster aus Studien mit Erwachsenen unterschiedlichen Alters fortsetzen lässt (Beaman, 2005b; Bell & Buchner, 2007; Belleville et al., 2003; Boman et al., 2005; Enmarker, 2004; Rouleau & Belleville, 1996; van Gerven et al., 2007). Die fehlenden Alterseffekte erweisen sich jedoch als problematisch für (im Vorschulalter bevorzugte) aufmerksamkeitsbasierte Erklärungsmodelle – schließlich gibt es maßgebliche Veränderungen bei Aufmerksamkeits- und Inhibitionsprozessen weit über das Vorschulalter hinaus (Berman & Friedman, 1995: 8-, 14-Jährige und Erwachsene; Davidson et al., 2006: 4- bis 13-Jährige und Erwachsene; Huang-Pollock et al., 2002: 7/8-Jährige, 9/10-Jährige, 11/12-Jährige und Erwachsene; Huizinga et al., 2006: 7-, 11- und 15-Jährige; Klenberg et al., 2001: 3- bis 12- Jährige (in Jahresschritten); Ridderinkhof & van der Molen, 1995: 5-6-, 7-9-, und 10-12-Jährige), was sich in Alterseffekten auch zwischen älteren Teilnehmern abzeichnen sollte. Die Ergebnisse der Schulkinder und der Erwachsenen bevorzugen daher eher Modelle, die auf automatische Interferenz rekurren. In diesem Zusammenhang sind das *Working Memory Model* (Baddeley & Salamé, 1986) und das klassische *Object-Oriented Episodic Record Model* (Jones, 1993; Jones et al., 1996) zu nennen. In diesen Modellen stellen Rehearsalprozesse die zentrale „Vorbedingung“ für das Zustandekommen des Irrelevant Sound Effect bei seriellen Behaltensaufgaben dar: Im Working Memory Model ist Rehearsal zur Übersetzung der visuellen Items in einen verbal-akustischen Code nötig, um Zugang zum phonologischen Speicher zu erhalten (Gathercole & Baddeley, 1993; Salamé & Baddeley, 1986) und im Object-Oriented Episodic Record Model wird Rehearsal zur Generierung und Aufrechterhaltung der Reihenfolgeinformationen der Gedächtnisitems benötigt. Da Rehearsalprozesse ab einem Alter von ca. 7 Jahren reliabel eingesetzt werden (vgl. ausführliche Darstellung der Entwicklung von Rehearsal in Abschnitt 2.2.2.2), sollte sich der Irrelevant Sound Effect ab diesem Alter bei den Versuchsteilnehmern zeigen und über die Altersspanne entweder gleichermaßen ausgeprägt oder bei jüngeren Teilnehmern aufgrund sich noch entwickelnder Strategien weniger ausgeprägt sein (vgl. Elliott, 2002; Klatte et al., 2010b).

Warum also ist der Irrelevant Sound Effect bei Vorschülern so ausgeprägt, während das Phänomen bei Schulkindern bereits dem Befundmuster der Erwachsenen gleicht? Möglicherweise ist von zwei

getrennten Wirkmechanismen auszugehen (vgl. Klatter et al., 2010b): Einerseits vermag irrelevanter Hintergrundschall Aufmerksamkeit an sich zu binden. Das Ausmaß der Ablenkung hängt dabei von der individuellen selektiven Aufmerksamkeits- und Inhibitionsfähigkeit ab – und unterliegt klaren entwicklungsbedingten Veränderungen. Andererseits erhält irrelevanter Hintergrundschall obligatorischen, automatischen Zugang zum Arbeitsgedächtnis, wodurch eine Interferenz mit den Gedächtnisitems auftritt. Dieser Mechanismus ist, sobald die Teilnehmer über Rehearsalstrategien verfügen, als entwicklungsunabhängig anzusehen. Die Frage ist nun aber, wie das Verhältnis dieser beiden qualitativ unterschiedlichen Störungsmechanismen zueinander gestaltet ist. Erwachsenenstudien zum Duplex-Mechanismus sprechen für eine additive Wirkung (Hughes et al., 2005, 2007). Über die Lebensspanne ist der Zusammenhang aber möglicherweise eher interagierender Natur, wobei die Bedeutung des Aufmerksamkeitsparameters sukzessive abnimmt und sich der Irrelevant Sound Effect mehr und mehr auf automatische Interferenz stützt: Bei Vorschülern würde Aufmerksamkeitsablenkung demnach noch die zentrale Komponente darstellen (zumal sie sich noch nicht auf Rehearsalstrategien stützen), während selbige bei älteren Kindern oder Erwachsenen eine eher untergeordnete Rolle spielt. Eine derartige Konzeption würde sich gut in die intensive Diskussion um die Rolle von Aufmerksamkeitsprozessen bei der Entstehung des Irrelevant Sound Effect einreihen (vgl. hierzu ausführliche Darstellung in 2.1). Zudem könnte diese Konzeptualisierung die widersprüchliche Befundlage der aktuellen Studie und der von Klatter und Kollegen (2010b) im Vergleich zu Elliott (2002) im Altersbereich der Schulkinder und Erwachsenen erklären: Wenn Aufmerksamkeitsprozesse mit abnehmendem Alter wichtiger werden, dann erfahren möglicherweise analog gewisse schallbezogene Parameter eine zunehmend größere Bedeutung. Folglich könnten die widersprüchlichen Befundmuster durch Unterschiede bezüglich Art und Präsentation der in den Studien verwendeten Hintergrundgeräusche verursacht sein (Klatter et al., 2010b): Während Elliott (2002) muttersprachliche Wörter bei relativ hohem Pegel präsentierte und die Geräuschbedingungen von Versuchsdurchgang zu Versuchsdurchgang variierte, verwendeten Klatter und Coautoren (2010b) wie auch die Autorin der vorliegenden Studie Fremdsprache, die bei moderatem Pegel präsentiert und jeweils in Blöcken von Versuchsdurchgängen variiert wurde. Die Störwirkung von Hintergrundsprechen hat sich zwar in Erwachsenenstudien als weitgehend unabhängig von der Lautstärke und Verständlichkeit der Sprache sowie der Präsentationsart erwiesen (siehe Abschnitt 1.2.1 und 1.2.2), bei Kindern steht eine umfängliche Prüfung solcher Einflussfaktoren jedoch noch aus. Es ist denkbar, dass derartige Faktoren bei Kindern – anders als bei Erwachsenen – die Störwirkung moderieren und die Befundlage beeinflussen. Zur Klärung dieser Frage ist weitere Forschung nötig. Die Untersuchung des Einflusses der Lautstärke und der Verständlichkeit der Sprache soll daher in Experiment 2 erfolgen.

(ii) Changing-State Effect. Weiterhin zeigt sich bei der seriellen Behaltensaufgabe mit visueller Präsentation, dass jüngere Kinder (Vorschüler und Erstklässler) deutlich umfänglicher durch Hintergrundschall gestört werden: Bei ihnen ruft nicht nur das einzelne Sprechen bedeutsame Leistungsminderungen hervor, sondern auch das Stimmengewirr, welches ältere Teilnehmer unbeeinflusst lässt. Während bei den Erstklässlern aber noch ein signifikanter Leistungsunterschied zwischen dem einzelnen Sprecher (Changing-State-Schall) und dem Stimmengewirr (Steady-State-

Schall) besteht, werden Vorschulkinder durch beide Schallarten gleichermaßen beeinträchtigt. Der typische Changing-State Effect (Jones et al., 1992) ist bei Vorschulkindern also nicht zu beobachten. Dies ist als sehr erstaunliches Ergebnis einzustufen – gilt das Phänomen bei Erwachsenen doch als sehr robust und vielfach belegt (z.B. Ellermeier & Hellbrück, 1998; Jones & Macken, 1995b; Klatte et al., 1995; Morris et al., 1989).

Erste Indizien, dass jüngere Kinder umfassender durch Hintergrundschall gestört werden könnten, zeigten sich bereits auch bei Klatte und Kollegen (2010b): Paarvergleiche ergaben eine signifikante Leistungsbeeinträchtigung durch Klassenzimmergeräusche gegenüber Ruhe bei Erstklässlern (Experiment 1), nicht jedoch bei Zweit-/Drittklässlern (Experiment 2) oder Erwachsenen (Experiment 1 und 2). Klatte und Kollegen (2010b) erklärten dieses Ergebnis damit, dass Klassenzimmergeräusche möglicherweise Aufmerksamkeitsressourcen binden und jüngere Kinder anfälliger gegenüber Ablenkung sind als ältere Kinder. Genauere Aussagen zum Changing-State Effect bei Kindern wurden in deren Studie jedoch nicht getroffen, da die akustische Variabilität des Hintergrundschalls nicht innerhalb der Versuchspersonen variiert wurde und das Klassenzimmergeräusch auch nicht als klassischer Steady-State-Schall einzustufen ist. Bei Elliott (2002) hingegen ist der Changing-State Effect genauer untersucht worden: Sie verglich die Wirkung eines einzelnen, repetitiv dargebotenen Worts (Steady-State-Schall) mit der wechselnder Wörter (Changing-State-Schall) altersvergleichend (Zweit- vs. Dritt-/Viert- vs. Fünft-/Sechstklässler vs. Erwachsene). Dabei konnte in allen Altersgruppen der Changing-State Effect nachgewiesen werden. Darüber hinaus war der Effekt bei jüngeren Kindern nicht wie in der vorliegenden Studie schwächer als bei älteren oder Erwachsenen, sondern deutlich ausgeprägter. Zwar gibt es zwischen Elliott (2002) und der vorliegenden Arbeit Unterschiede bezüglich der untersuchten Altersspanne, aber die Tendenz ist klar: In der aktuellen Studie nimmt der Changing-State Effect mit abnehmendem Alter ab, bei Elliott (2002) zu.

Möglicherweise sind die bereits beschriebenen Unterschiede bei Art und Präsentation der verwendeten Hintergrundgeräusche (einzelner fremdsprachlicher Sprecher – Stimmengewirr, blockweise Darbietung vs. muttersprachlicher Sprecher – repetitiv dargebotene muttersprachliche Wörter, trialweise Darbietung) für diese divergierenden Befundmuster mitverantwortlich. Grundsätzlich sind derart voneinander abweichende Ergebnisse aber überraschend.

Darüber hinaus ist die grundsätzliche Frage zu diskutieren, welche Art von Schall als sensitiv für entwicklungsbedingte Veränderungen angenommen wird: Elliott (2002) erklärt die größer werdende Differenz zwischen Changing-State- und Steady-State-Schallen bei jüngeren Kindern durch eine zunehmende Störwirkung der Changing-State-Schalle. Die entscheidende Größe entwicklungsbedingter Veränderungen ist demnach die Verarbeitung variabler Geräusche, während die Verarbeitung von Steady-State-Schallen relativ konstant über die Altersspanne zu bleiben scheint. Die Ergebnisse der aktuellen Studie legen eher eine umgekehrte Argumentation nahe: Möglicherweise nimmt die Differenz zwischen Changing-State- und Steady-State-Schallen bei jüngeren Kindern ab, weil das Störpotential von Steady-State-Schallen zunimmt. Hierbei wäre die Verarbeitung monotoner Geräusche zentral zur Erklärung entwicklungsbedingter Unterschiede. Welche Implikationen ergeben sich daraus für die vorgestellten Arbeitsgedächtnismodelle?

Den Befund, dass Vorschüler durch ein hochkohärentes Stimmengewirr im gleichen Umfang beeinträchtigt werden wie durch ein einzelnes Hintergrundsprechen, modelltheoretisch einzuordnen

und zu erklären gestaltet sich als schwierig: Während die akustische Variabilität des Schalls im Working Memory Model nicht explizit thematisiert wurde, stellt sie im Object-Oriented Episodic Record Model den entscheidenden Parameter zur Modellierung der Störwirkung dar (Jones et al., 1992). Die temporal-spektrale Struktur bestimmt, ob konkurrierende Reihenfolgeinformationen auf der virtuellen Schreibtafel enthalten sind, die die serielle Behaltensleistung mindern oder nicht. Dass Vorschüler gleichermaßen durch Changing-State- wie auch durch Steady-State-Schalle beeinträchtigt werden, lässt sich daher nicht mit dem Modell vereinbaren. Doch auch das Feature Model und das Embedded Processes Model würden dieses Ergebnis nicht vorhersagen: Im Feature Model wird angenommen, dass das Ignorieren beständig wechselnder Distraktoren schwieriger ist als die Ausblendung eines gleichförmigen oder repetitiv dargebotenen Distraktors (Neath, 2000). Da das Stimmengewirr ein sehr gleichförmiges, monotones Geräusch bildet, sollte dessen Störwirkung auch bei Vorschülern deutlich geringer sein als bei einem einzelnen Sprechen. Ähnlich verhält es sich im Embedded Processes Model: Die Distraktoren sollten aufgrund der mit den Wiederholungen einhergehenden Habituation der Orientierungsreaktion (Cowan, 1995) nach einer gewissen Zeit gar nicht mehr in den Fokus der Aufmerksamkeit vorrücken. Zwar deuten die wenigen altersvergleichenden Studien zur Orientierungsreaktion auf deren relative Reife erst ab einem Alter von ca. 7 Jahren hin (Courchesne, 1990; Wijker, 1991, zit. nach van der Molen, 2000) – bei Vorschülern ist die Reaktion demnach noch anders geartet als bei Schulkindern oder Erwachsenen – aber dennoch sollte bei blockweiser Präsentation eine Habituation an das monotone Stimmengewirr stattfinden und die Leistung deutlich besser sein als beim variablen Geräusch.

Doch wie kann der ausbleibende Changing-State Effect der Vorschüler nun erklärt werden? Vermutlich muss auf einen „globaleren Mechanismus“ rekurriert werden, dessen Störwirkung sich bereits „vor“ der Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis entfaltet. Denkbar wäre beispielsweise eine gestörte Encodierung der Zielitems: Möglicherweise führt irrelevanter Hintergrundschaall – unabhängig von seiner temporal-spektralen Struktur – zu einem fehlerhaften Einlesen der Items. Überprüft werden könnte dies durch eine Variation des Zeitpunktes der Schallpräsentation: Indiz für eine gestörte Encodierung wäre, wenn während der Darbietung der Zielitems eingespielter Hintergrundschaall eine signifikant größere Störwirkung entfaltet als nur während der Retentionsphase eingespielter Hintergrundschaall.

(iii) Prüfung von Modalitätseffekten. Als Variation zur klassischen seriellen Behaltensaufgabe mit visueller Präsentation der zu memorierenden Stimuli wurden selbige in der aktuellen Studie auch auditiv dargeboten. Der fehlende Haupteffekt auf Modalität sowie die absente Interaktion von Schallbedingung und Modalität sprechen jedoch dafür, dass irrelevanter Hintergrundschaall auf das serielle Erinnern visueller wie auditiver Items in analoger Weise wirkt (vgl. hierzu auch Campbell et al., 2002; Jones et al., 2004; Klatt et al., 2002; LeCompte, 1996; Nicholls & Jones, 2002; Schlittmeier, 2005; Schlittmeier et al., 2008b), was sich auch bei einem genaueren Blick auf die Einzelvergleiche sowie die Teststärkenanalyse bestätigt. Wichtig dabei ist, dass die Leistungseinbußen unter Hintergrundschaall nicht auf mangelnde Verständlichkeit der zu memorierenden Stimuli zurückgeführt werden können: Eine Kontrollaufgabe zum Sprachverständnis im Störgeräusch (Bild-zu-Wort-Zuordnungsaufgabe) belegt die optimale Verstehensleistung des auditiven Materials.

Welche modelltheoretischen Implikationen ergeben sich aus diesen Ergebnissen? Grundsätzlich nehmen alle vorgestellten Arbeitsgedächtnismodelle die Unabhängigkeit des Irrelevant Sound Effect von der Präsentationsmodalität der zu memorierenden Stimuli an – wenngleich von verschiedenen Modellannahmen ausgehend. Im amodal konzipierten Object-Oriented Episodic Record Model sind konkurrierende Reihenfolgeninformationen zentral für die Entstehung des Irrelevant Sound Effect. Da die Bildung von Repräsentationen und der Einsatz von Rehearsal zur volitionalen Seriation modalitätsunabhängig erfolgen (Jones & Tremblay, 2000), sollte die Darbietungsmodalität keinen Einfluss auf das Phänomen nehmen (Beaman & Jones, 1998; Jones & Tremblay, 2000). Im Feature Model ist die Wirkung des irrelevanten Hintergrundschalls unabhängig von der Darbietungsmodalität der zu memorierenden Items, weil modalitätsspezifische Aspekte sowohl beim Prozess der Feature Adoption (welcher auf modalitätsunabhängige Merkmale beschränkt ist) als auch in der hypothetisch angenommenen Dual-Task-Situation keine Rolle spielen (Neath, 1999, 2000). Im Embedded Processes Model (Cowan, 1988, 1995, 1999) ist die ursprüngliche Beschaffenheit der Zielitems unerheblich, weil der Irrelevant Sound Effect auf eine, durch den Hintergrundschall verursachte, unwillkürliche Orientierungsreaktion zurückgeführt wird. Im Working Memory Model sind die im phonologischen Speicher der phonologischen Schleife abgelegten Informationen unabhängig davon, ob sie ursprünglich visuellen oder auditiven Formats waren. Folglich führt der, von den Repräsentationen des automatisch encodierten Hintergrundschalls verursachte Informationsverlust zu einem modalitätsunabhängigen Irrelevant Sound Effect.

Im Kontext des Working Memory Model ist jedoch auf eine Besonderheit hinzuweisen: Bei Vorschülern erfolgt die Verarbeitung visueller und auditiver Informationen – anders als bei älteren Personen – in unterschiedlichen Modellkomponenten, da Kinder unter 7 Jahren beim Memorieren von Bildmaterial visuelle anstelle phonologischer Strategien präferieren (vgl. Abschnitt 2.2.2.2). Folglich stützen sie sich bei der Wiedergabe visuellen Materials auf den räumlich-visuellen Notizblock (Gathercole et al., 2004) – und nicht wie bei auditivem Material auf die phonologische Schleife. Dies sollte sich in Modalitätseffekten widerspiegeln, was jedoch nicht der Fall ist. Darüber hinaus würde das Working Memory Model keine Alterseffekte bezüglich des Ausmaßes des Irrelevant Sound Effect bei auditivem Material vermuten: Aufgrund des automatischen Zugangs akustischen Materials zur phonologischen Schleife ist davon auszugehen, dass irrelevanter Hintergrundschall und auditive Gedächtnisitems bei Vorschülern in derselben Art und Weise wie bei älteren Kindern oder Erwachsenen verarbeitet werden.

(iv) Prüfung von Aufgabeneffekten¹⁰. Eine weitere zentrale Frage des ersten Experiments war, ob sich das Ergebnismuster der vergleichsweise simplen, seriellen Behaltensaufgaben auf einen Aufgabentyp ohne serielle Komponente, aber mit phonologischer Anforderung („Odd-One-Out-Aufgabe“) übertragen lässt. Die Analysen ergaben weder einen Haupteffekt „Aufgabe“ noch signifikante Interaktionen. Insbesondere die fehlende Interaktion von Schallbedingung und Aufgabe lässt den Schluss zu, dass der Irrelevant Sound Effect in beiden Aufgabentypen vergleichbar

¹⁰ Die Odd-One-Out-Aufgabe hat sich in Vorversuchen für viele Vorschulkinder als zu schwierig erwiesen und wird von dieser Altersgruppe demnach nicht bearbeitet.

ausgeprägt ist. Im Folgenden werden die Ergebnisse für Kinder und Erwachsene getrennt diskutiert, beginnend mit ersteren.

Es gibt in der Literatur bereits Befunde, die vermuten lassen, dass der Irrelevant Sound Effect bei Kindern nicht auf serielle Aufgaben beschränkt ist (vgl. hierzu Abschnitt 1.2.3). So wiesen Klatt und Coautoren (2007) bei Erst- und Zweitklässlern signifikante Leistungsminderungen unter Hintergrundschall bei Aufgabentypen nach, die dem Bereich der phonologischen Vorläuferfertigkeiten des Laut- und Schriftspracherwerbs zuzuordnen sind: Sowohl bei der Odd-One-Out-Aufgabe als auch beim kurzzeitigen Behalten von unbekanntem phonologischen Wortformen (Pseudowörter merken; vgl. Gathercole, 2006) zeigten sich signifikante Leistungsminderungen. In diese Befundlage reihen sich die Ergebnisse der aktuellen Studie gut ein.

Welche modelltheoretischen Implikationen ergeben sich daraus? Im Working Memory Model wird der Irrelevant Sound Effect als modalitätsabhängige Interferenz phonologischer Repräsentationen des Schalls einerseits und der Gedächtnisitems andererseits verstanden. Folglich sollte das Phänomen bei allen Aufgabentypen auftreten, die eine phonologische Verarbeitung erfordern (Salamé & Baddeley, 1982, 1986, 1989) – was das aktuelle Befundmuster gut abbildet. Ebenso passend sind das Feature Model wie auch das Embedded Processes Model, in welchen keine aufgabenspezifischen Einschränkungen getroffen werden: Die leistungsmindernden Prozesse der Feature Adoption wie auch der Ressourcenbelastung können unabhängig von der speziellen Aufgabe auftreten (Cowan, 1995; Farley et al., 2007; Neath, 2000). Das klassische Object-Oriented Episodic Record Model hingegen stößt an seine Grenzen: Da der Irrelevant Sound Effect als Resultat eines Konflikts unterschiedlicher Reihenfolgeinformationen auftritt, sollte das Phänomen auf Aufgaben mit serieller Komponente beschränkt sein (Banbury et al., 2001; Jones et al., 1996, 2010) – was offensichtlich nicht der Fall ist.

Bei Erwachsenen hingegen ist das Resultat überraschend. Im Regelfall ist bei Aufgaben ohne serielle Komponente kein Irrelevant Sound Effect nachweisbar – nur vereinzelt konnten Studien derartige Effekte zeigen (vgl. hierzu Abschnitt 1.2.2). In deren Kontext gilt es aber stets folgenden methodischen Einwand zu bedenken: Nach Neath (2000) könnten Versuchspersonen serielle Behaltensstrategien zur Memorierung der Items nutzen, obwohl die Aufgabenstellung per se keinerlei serielle Komponente besitzt. Dieser Aspekt könnte auch bei der aktuellen Studie zutreffen: Es ist denkbar, dass die Versuchspersonen die Items der Odd-One-Out-Aufgabe seriell memoriert haben. Folglich wäre der beobachtete Irrelevant Sound Effect nicht auf den phonologischen Charakter der Aufgabe, sondern schlicht auf den Strategieeinsatz zurückzuführen. Zwar ist das Argument der seriellen Speicherung der Gedächtniseinträge auch bei Kindern nicht ganz auszuschließen, Klatt und Kollegen (2007) zufolge aber eher unwahrscheinlich: Sie hätten bei 8-Jährigen die klassische Odd-One-Out-Aufgabe mit nur 3 Items durchgeführt, was keine komplexe Speicheranforderung darstelle. In Anbetracht der Effektgröße sei es daher gerechtfertigt, auf die phonologische Verarbeitung per se zu rekurrieren. Bei Erwachsenen hingegen kann dies ohne weitere Experimente nicht geklärt werden. Da dieser Punkt hohe modelltheoretische Relevanz besitzt, werden zusätzlich zu den altersvergleichenden Studien die Experimente 3 bis 5 durchgeführt. Die modelltheoretische Interpretation und Einordnung der Ergebnisse der Erwachsenen erfolgt daher erst in den dortigen Abschnitten, welche auch die Folgeexperimente berücksichtigt.

Zusammenfassung modelltheoretischer Implikationen. Neben phänomenbezogenen Erkenntnissen zur quantitativen und qualitativen Beschaffenheit des Irrelevant Sound Effect bei Kindern sollte Experiment 1 auch einen Beitrag zur Frage leisten, welches Arbeitsgedächtnismodell das kindliche Befundmuster am besten abzubilden vermag. Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass keines der vorgestellten Modelle das Befundmuster in Gänze erklären kann, diese aber zentrale, wenn auch unterschiedliche Aspekte der Experimentalergebnisse bewältigen können:

Die Unabhängigkeit des Phänomens von der Darbietungsmodalität der Primäraufgabe vermögen das Object-Oriented Episodic Model, das Embedded Processes Model und das Feature Model zu erklären. Einzig das Working Memory Model würde bei den Vorschülern, die noch über keine Rehearsalstrategien verfügen, einen Modalitätseffekt erwarten.

Der Irrelevant Sound Effect in der lautanalytischen Aufgabe bevorzugt Modelle, die eine spezifische Interferenz der phonologischen Repräsentationen des Hintergrundschalls einerseits und der zu memorierenden Stimuli andererseits annehmen. Dies spricht insbesondere für das Feature Model und das Working Memory Model. Doch auch das Embedded Processes Model, welches per se keine Einschränkung bezüglich potentiell lärmsensitiver Aufgaben trifft, kann das Befundmuster erklären. Das Object-Oriented Episodic Record Model hingegen stößt klar an seine Grenzen.

Etwas komplexer einzuordnen sind die Erkenntnisse zum Ausmaß des Irrelevant Sound Effect. Vermutlich ist von zwei getrennten Wirkmechanismen auszugehen (vgl. Klatt et al., 2010b): Einerseits erhält irrelevanter Hintergrundschall obligatorischen, automatischen Zugang zum Arbeitsgedächtnis, wodurch eine Interferenz mit den Gedächtnisitems auftritt. Dieser Mechanismus ist, sobald die Teilnehmer über Rehearsalstrategien verfügen, als entwicklungsunabhängig anzusehen – was den absenten Alterseffekt im Grundschulalter plausibel macht. Andererseits vermag irrelevanter Hintergrundschall möglicherweise Aufmerksamkeit an sich zu binden. Das Ausmaß der Ablenkung hinge dabei von der individuellen selektiven Aufmerksamkeits- und Inhibitionsfähigkeit ab – und unterläge klaren entwicklungsbedingten Veränderungen – was den Alterseffekt der Vorschüler erklären würde. Derartige Überlegungen wären insbesondere mit solchen Modellen gut vereinbar, die neben dem Wirkmechanismus der automatischen Interferenz eine gewisse Modulation um aufmerksamkeitsbezogene Parameter erlauben, wie etwa das Feature Model oder der Duplex-Mechanismus. Jedoch ist für derartige Annahmen die Rolle der Aufmerksamkeitsdistraktion bei der Entstehung des Irrelevant Sound Effect bei Kindern noch näher abzuklären, was im folgenden Experiment 2 geleistet werden soll.

Einzig der absente Changing-State Effect in der Altersgruppe der Vorschüler bereitet allen vorgestellten Modellen Probleme: Entweder wird die Thematik, wie im Working Memory Model, ohnehin nicht explizit beleuchtet oder die Modellannahmen sind konträr zum Befundmuster – was auf die übrigen Modelle zutrifft. Möglicherweise muss auf einen zusätzlichen, globaleren Wirkmechanismus verwiesen werden, dessen Störwirkung sich bereits vor der Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis entfaltet. Denkbar wäre beispielsweise eine gestörte Encodierung der Zielitems.

4.2 Experiment 2: Der „Irrelevant Sound Effect“ bei Kindern und Erwachsenen – Automatische Interferenz oder Aufmerksamkeitsdistraktion?

In Experiment 1 konnte unter Anderem gezeigt werden, dass die Arbeitsgedächtnisleistungen der Vorschüler deutlich umfänglicher und stärker durch Hintergrundschall beeinträchtigt werden als die der übrigen Altersgruppen, welche diesbezüglich nicht differieren. Als mögliche Erklärung wurden Befunde der Aufmerksamkeitsforschung zitiert, die belegen, dass Vorschulkinder deutlich mehr Probleme haben, ihre Aufmerksamkeit auf Zielstimuli zu richten und irrelevante Informationen zu ignorieren als Schulkinder (vgl. Abschnitt 2.3.2; „5 to 7 shift“ White, 1970). Folglich könnte der ausgeprägtere Irrelevant Sound Effect der Vorschüler auf eine vermehrte Bindung von Aufmerksamkeitsressourcen zurückzuführen sein. Die Frage nach der Beteiligung von Aufmerksamkeitsprozessen bei der Entstehung des Irrelevant Sound Effect ist bei Kindern noch ungeklärt – aber auch bei Erwachsenen viel diskutiert (vgl. Abschnitt 2.1) und von modelltheoretischer Bedeutung (vgl. Modelle mit und ohne Aufmerksamkeitsparameter in den Abschnitten 2.2 bis 2.5). In Experiment 2 soll daher der Beitrag der Aufmerksamkeitsdistraktion altersvergleichend untersucht werden. Ist das Phänomen als Folge selbiger zu konzeptualisieren oder doch auf automatische, spezifische Interferenzen zurückzuführen?

Es gibt mehrere Möglichkeiten, wie die Frage nach dem Beitrag der Aufmerksamkeitsdistraktion operationalisiert werden kann: In Erwachsenenstudien erfolgte dies beispielsweise über die Prüfung des Einflusses abrupter Veränderungen der Distraktoren (Röer et al., 2011), den Vergleich nieder- und hochfrequenter Zielitems (Buchner & Erdfelder, 2005; Diana & Reder, 2006; Hulme et al., 1997; Watkins, 1977) bzw. Distraktoren (Buchner & Erdfelder, 2005; Elliott & Briganti, 2012), die Variation der Valenz der Items (Buchner et al., 2004, 2006), die Variation der Vorhersagbarkeit der irrelevanten Stimuli (Jones et al., 1992, 1999; Röer, 2011; Tremblay & Jones, 1998) oder dem Vergleich zwischen einer block- bzw. trialweisen Darbietung des Hintergrundschalls (Colle, 1980; Ellermeier & Hellbrück, 1998; Tremblay & Jones, 1999). Darüber hinaus wurden die Lautstärkeunabhängigkeit des Irrelevant Sound Effect (Colle, 1980; Ellermeier & Hellbrück, 1998; Salamé & Baddeley, 1987) und sein Auftreten unabhängig vom semantischen Gehalt des Hintergrundschalls (Buchner et al., 1996; Colle & Welsh, 1976; Jones et al., 1990; Klatt et al., 1995; LeCompte & Shaibe, 1997; Salamé & Baddeley, 1982, Surprenant, 2007; Tremblay et al., 2000) als Indizien gegen eine ursächliche Rolle der Aufmerksamkeitsdistraktion interpretiert.

Aus mehreren Gründen stellt die Variation der Lautstärke und des semantischen Gehalts einen besonders vielversprechenden Ansatzpunkt für eine altersvergleichende Studie zur Aufmerksamkeitsdistraktion dar: Zunächst ist die weitgehende Irrelevanz dieser Parameter ein Kerncharakteristikum des Irrelevant Sound Effect bei Erwachsenen. Bei Kindern steht eine diesbezügliche Prüfung jedoch noch aus. Möglicherweise werden Kinder – anders als Erwachsene – durch semantisch bedeutsame und/oder laute Sprache mehr beeinträchtigt als durch unverständliche und/oder leise präsentierte Sprache. Neben Aussagen über die Involvierung von Aufmerksamkeitsprozessen erlaubt eine derartige Variation also auch Schlussfolgerungen zur

qualitativen Beschaffenheit des Irrelevant Sound Effect bei Kindern. Im Kontext bisheriger altersvergleichender Studien ergibt sich ein weiterer Vorteil: Wie bereits in Abschnitt 1.2.3 erläutert, zeichnet sich in der Altersstufe der Grundschul Kinder bei Elliott (2002) ein Alterseffekt ab, bei Klatte und Coautoren (2010b) bzw. dem vorliegendem Experiment 1 jedoch nicht. Als potentielle Ursache für die divergierenden Befundmuster wurden Unterschiede in der Operationalisierung diskutiert (vgl. Abschnitt 4.1.4; Klatte und Coautoren, 2010b): Während Elliott (2002) muttersprachliche Wörter bei relativ hohem Pegel präsentierte, verwendeten Klatte und Coautoren (2010b) wie auch die Autorin der vorliegenden Arbeit Fremdsprache, die bei moderatem Pegel präsentiert wurde. Ein Experiment, in dem gezielt der Einfluss von Lautstärke und Semantik untersucht wird, kann möglicherweise die widersprüchlichen Befundmuster aufklären.

4.2.1 Methode

4.2.1.1 Teilnehmer

Für die experimentelle Untersuchung werden 205 Teilnehmer aus vier Altersgruppen (Vorschüler, Erstklässler, Drittklässler, Erwachsene) untersucht. Die Teilnehmer geben an, Deutsch als Muttersprache zu sprechen und keine Kenntnisse des Koreanischen zu haben. Die Kinder bekommen als Dank für ihr Mitwirken eine kleine Überraschung (Spielzeugautos, Glitzerringe...). Die Erwachsenen werden mit 7 Euro pro Stunde bar entlohnt.

(i) Vorschüler. Die Stichprobe der Vorschüler ($n = 60$; 23 Mädchen, 37 Jungen) setzt sich aus Vorschülern bayerischer und rheinland-pfälzischer Kindertagesstätten zusammen. Die Kinder haben einen Altersmedian von 5;11 Jahren, der jüngste Teilnehmer ist 5;3, der älteste 6;7 Jahre alt.

(ii) Erstklässler. Die Erstklässler ($n = 54$; 30 Mädchen, 24 Jungen) sind Schüler bayerischer Grundschulen. Sie haben einen Altersmedian von 7;2 Jahren, der jüngste Teilnehmer ist 6;5, der älteste 7;7 Jahre.

(iii) Drittklässler. Bei der Stichprobe der Drittklässler ($n = 48$; 22 Mädchen, 26 Jungen) handelt es sich um Schüler bayerischer Grundschulen. Die Teilnehmer haben einen Altersmedian von 9;0 Jahren, der jüngste ist 8;6 Jahre, der älteste 9;8 Jahre alt.

(iv) Erwachsene. Bei der Stichprobe der Erwachsenen ($n = 48$; 15 Frauen, 9 Männer) handelt es sich um Studierende der TU Kaiserslautern. Sie weisen einen Altersmedian von 22;7 Jahren bei einer Spannweite von 20;10 bis 27;1 Jahren auf.

4.2.1.2 Aufgaben, Stimulusmaterial, Hintergrundschalle und Apparatur

(i) Serielle Behaltensaufgabe. Die Versuchsteilnehmer sollen während der Darbietung von irrelevantem Hintergrundscha ll die serielle Behaltensaufgabe mit visueller Itempräsentation bearbeiten. Das zu memorierende Aufgabenmaterial wird aus Experiment 1 übernommen (siehe hierzu Abschnitt 4.1.1)

(ii) Hintergrundschalle. Die Leistung bei der seriellen Behaltensaufgabe wird bei allen Versuchspersonen unter drei verschiedenen Schallbedingungen erhoben: Ruhe, ein Störgeräusch mit

60 dB(A) und ein Störgeräusch mit 50 dB(A). Die Art des Störgeräuschs variiert zwischen den Teilnehmern bezüglich seiner Verständlichkeit. Das *fremdsprachliche Sprechen* besteht aus der Audioaufnahme eines einzelnen, männlichen Koreaners („einzelner Sprecher“, übernommen aus Experiment 1), beim *muttersprachlichen Sprechen* handelt es sich um den Vortrag eines zusammenhängenden Textes zum Thema „Eichhörnchen“ eines einzelnen, männlichen Deutschen¹¹. Beide Aufnahmen weisen keinen Nachhall und keine nennenswerten Veränderungen in Lautstärke und Intonation auf. Die exakte Kalibrierung der Präsentationslautstärke der Stimuli am Ohr auf 50dB(A) bzw. 60 dB(A) erfolgt mit dem Schallpegelmesser SPM Modul BZ 7112 und einem Mikrophon Typ 4192 der Firma Brüel & Kjær. In der *Ruhebedingung* wird keinerlei Hintergrundschall dargeboten, die Kopfhörer werden aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit dennoch getragen.

(iii) Apparatur. Die Apparatur wird von Experiment 1 übernommen.

4.2.1.3 Versuchsablauf

Die experimentelle Untersuchung fand vom 12. März bis 11. Mai 2012 in ruhig gelegenen Räumen der Technischen Universität Kaiserslautern, der Kindertagesstätten und Schulen statt. Die Bearbeitung der Aufgaben erfolgte bei den Vorschülern im Einzelversuch, bei den restlichen Versuchsteilnehmern in Vierergruppen.

Das Experiment beginnt mit der Instruktion des Versuchsablaufs, was mit Hilfe eines standardisierten Textes erfolgt. Dem Teilnehmer werden im Anschluss alle im Versuch vorkommenden Bilder vorgestellt, um Bedeutungsäquivalenz zu gewährleisten. Anschließend wird die serielle Behaltensaufgabe jeweils unter drei Schallbedingungen (Ruhe, Sprechen bei 60dB(A), Sprechen bei 50 dB(A)) bearbeitet. Pro Schallbedingung haben die Versuchsteilnehmer 10 Sequenzreihen zu bearbeiten. Demnach bearbeiten die Teilnehmer $3 \times 10 = 30$ Folgen. Die Abfolge der Schallbedingungen ist über die Versuchsteilnehmer hinweg blockweise nach dem lateinischen Quadrat ausbalanciert. Dadurch werden Reihenfolge und Positionseffekte verhindert. Die Variation der Verständlichkeit des Hintergrundschalls (mutter- vs. fremdsprachliches Sprechen) erfolgt zwischen den Teilnehmern.

Weitere, auch technische Details zum Versuchsablauf der seriellen Behaltensaufgabe mit visueller Itempräsentation (Präsentationszeit der Stimuli, Listenlängen, Antwortdauer, Antwortmodi usw.) sind Abschnitt 4.1.1 zu entnehmen, da das Vorgehen in Experiment 2 dem in Experiment 1 entspricht.

4.2.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die seriellen Behaltensleistungen unter den verschiedenen Schallbedingungen statistisch betrachtet. Dazu werden die Daten zunächst für jede Altersstufe separat ausgewertet, um den Einfluss der verschiedenen Hintergrundbedingungen innerhalb jeder Altersgruppe zu klären. Anschließend erfolgt die Prüfung etwaiger Verständlichkeits- und Alterseffekte.

¹¹ Vielen Dank an Barbara Estner, die die Erstellung der Aufnahmen übernommen hat.

(i) Analyse von Schall- und Positionseffekten innerhalb der Altersgruppen. In Tab. 13 sind die mittleren Wiedergabeleistungen (in Rohwertpunkten) und Standardabweichungen der verschiedenen Altersstufen in Abhängigkeit der Schallbedingungen dargestellt.

Tab. 13 Serielle Behaltensaufgabe: Mittlere Wiedergabeleistung [in Rohwertpunkten] und Standardabweichung in Abhängigkeit der Altersstufe und der Schallbedingung.

Altersgruppe	Ruhe	50dB(A)	60dB(A)
	MW (SD)	AM (SD)	AM (SD)
Vorschüler	22.30 (4.56)	15.12 (5.09)	14.28 (5.13)
Erstklässler	25.85 (6.43)	20.91 (6.80)	20.24 (6.60)
Drittklässler	34.77 (7.16)	29.90 (7.86)	29.48 (8.19)
Erwachsene	52.27 (11.70)	47.69 (12.14)	46.31 (12.46)

[maximal erreichbare Rohwertpunkte: Vorschüler: 35 – Erstklässler: 40 – Drittklässler: 50 – Erwachsene: 80]

Zur inferenzstatistischen Analyse folgt in jeder Altersgruppe separat eine *zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktoren: Schallbedingung, 3-stufig; Position: 3- bis 8-stufig). Die abhängige Variable ist jeweils die Wiedergabeleistung (in Rohwertpunkten). Die Auswertung ergibt in allen Altersgruppen einen Haupteffekt „Schall“, was auf einen Irrelevant Sound Effect schließen lässt (Vorschüler 3-er: $F(2, 118)=63.22, p<.01, \eta_p^2=.52, f=0.24$; Vorschüler 4-er: $F(2, 118)=76.47, p<.01, \eta_p^2=.56, f=0.24$; Erstklässler: $F(2, 106)=21.09, p<.01, \eta_p^2=.29, f=0.32$; Drittklässler: $F(2, 94)=12.02, p<.01, \eta_p^2=.20, f=0.32$; Erwachsene: $F(2, 94)=10.09, p<.01, \eta_p^2=.18, f=0.22$). Weiterhin zeigt sich ein, für Aufgaben der seriellen Wiedergabe typischer Haupteffekt „Position“ in allen Altersgruppen (Vorschüler 3er: $F(2, 118)=13.79, p<.01, \eta_p^2=.19, f=0.19$; Vorschüler 4er: $F(3, 177)=35.13, p<.01, \eta_p^2=.37, f=0.28$; Erstklässler: $F(3, 159)=37.13, p<.01, \eta_p^2=.41, f=0.30$; Drittklässler: $F(4, 188)=69.19, p<.01, \eta_p^2=.60, f=0.34$; Erwachsene: $F(7, 329)=45.27, p<.01, \eta_p^2=.49, f=0.41$) aber keine Interaktionen (Vorschüler 3er: $F(4, 236)=0.94, p=.44$; Vorschüler 4er: $F(6, 354)=0.60, p=.73$; Erstklässler: $F(6, 318)=1.58, p=.18$; Drittklässler: $F(8, 376)=1.60, p=.15$; Erwachsene: $F(14, 658)=1.26, p=.27$).

Der beobachtete Haupteffekt „Schall“ wird mittels dreier gepaarter *t*-Tests weiter aufgeklärt. Dabei werden die mittleren Wiedergabeleistungen der Schallbedingungen paarweise miteinander verglichen. Wie zu erwarten war, führen 60 dB(A) wie auch 50 dB(A) lautes Hintergrundsprechen in allen Altersgruppen zu einer hochsignifikant schlechteren Wiedergabeleistung im Vergleich zu Ruhe (Vorschüler: $t(59)=14.91, p<.01, d=1.94$; $t(59)=13.67, p<.01, d=1.78$; Erstklässler: $t(53)=6.18, p<.01, d=0.85$; $t(53)=5.10, p<.01, d=0.70$; Drittklässler: $t(47)=4.79, p<.01, d=0.70$; $t(47)=4.41, p<.01, d=0.64$; Erwachsene: $t(47)=4.05, p<.01, d=0.59$; $t(47)=3.20, p<.01, d=0.47$). Signifikante Leistungsunterschiede zwischen 60dB(A) und 50dB(A) sind hingegen in keiner Altersgruppe feststellbar (Vorschüler: $t(59)=-1.04, p=.13$; Erstklässler: $t(53)=-0.70, p=.49$; Drittklässler: $t(47)=-0.30, p=.76$; Erwachsene: $t(47)=-1.10, p=.28$). Veranschaulicht wird dies in Abb. 24 bis Abb. 27. Es kann somit festgehalten werden, dass Hintergrundsprechen in allen Altersgruppen zu einer signifikanten Leistungsverschlechterung führt, die Lautstärke dabei jedoch irrelevant erscheint.

Allerdings muss noch geprüft werden, ob der absente Effekt zwischen 50dB(A)- und 60dB(A)-lautem Schall auf mangelnde Teststärke zurückzuführen ist. Eine *Teststärkeanalyse* mit einer als inhaltlich relevant erachteten, geschätzten Effektgröße von $d=0.20$ (kleiner Effekt) ergibt jedoch eine hinreichende Teststärke von $(1-\beta)=.82$. Die Folgerung, dass Hintergrundsprechen bei 50dB(A) und bei 60 dB(A) in etwa zu einer Leistungsver schlechterung vergleichbaren Ausmaßes führen, ist somit zulässig. Aus diesem Grund werden für nachfolgende Analysen die beiden Stufen (60dB(A)-Schall bzw. 50dB(A)-Schall) unter Verwendung des arithmetischen Mittels zu einem kombinierten Faktor „Hintergrundschall“ zusammengefasst und nicht mehr separat betrachtet.

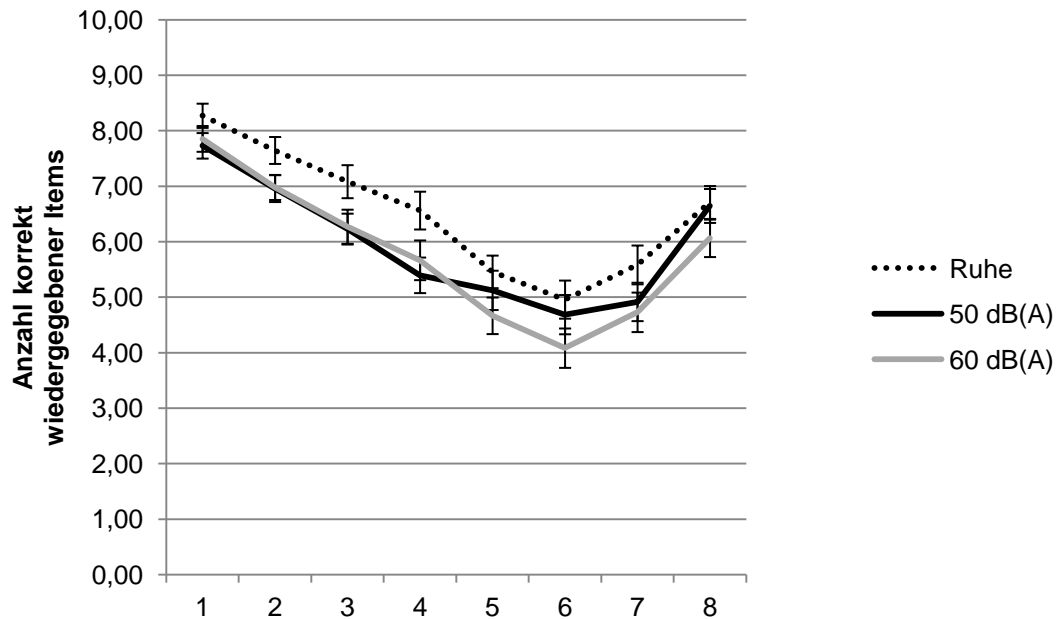


Abb. 24 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Erwachsenen. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

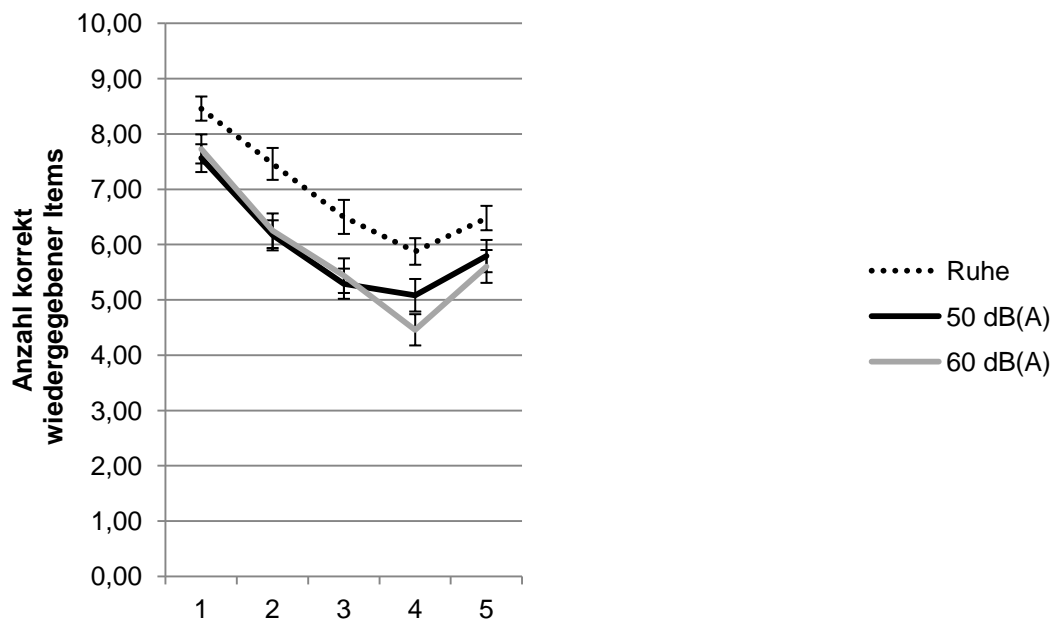


Abb. 25 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Drittklässlern. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

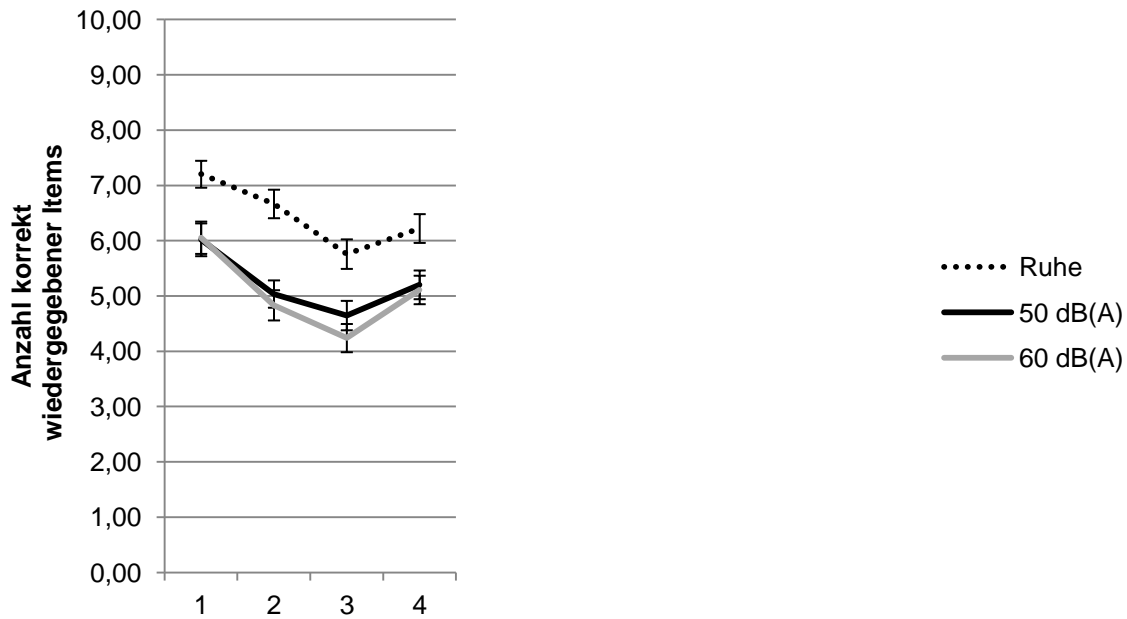


Abb. 26 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Erstklässlern. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

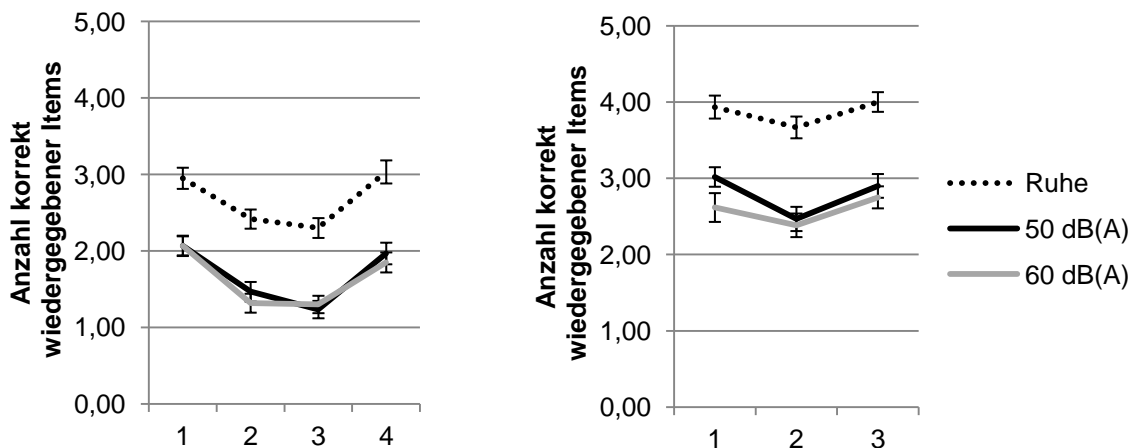


Abb. 27 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Vorschülern. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items je Serienposition.

(ii) **Analyse von Alters- und Verständlichkeitseffekten.** Zur Analyse von Alters- und Verständlichkeitseffekten werden in allen Altersgruppen Differenzwerte zwischen der Leistung unter Ruhe und unter Hintergrundschall gebildet und gemäß dem in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Verfahren standardisiert. Die Leistungsver schlechterung unter Hintergrundschall kann dadurch in Einheiten der Standardabweichung angegeben werden, was die Vergleichbarkeit der Daten über die Altersgruppen hinweg erlaubt. Die Vorschulkinder verschlechtern sich unter Fremdsprache im Mittel um $AM=1.53$ ($SD=0.89$) gegenüber der Ruheleistung, unter Muttersprache im Mittel um $AM=1.80$ ($SD=0.60$). Die Erstklässler verschlechtern sich unter Fremdsprache im Mittel um $AM=0.74$ ($SD=0.94$), unter Muttersprache im Mittel um $AM=0.90$ ($SD=0.87$). Die Drittklässler verschlechtern sich unter Fremdsprache im Mittel um $AM=0.58$ ($SD=0.74$), unter Muttersprache im Mittel um $AM=0.84$ ($SD=0.89$). Die Erwachsenen verschlechtern sich unter Fremdsprache im Mittel um $AM=0.46$

(SD=0.81), unter Muttersprache im Mittel um AM=0.44 (SD=0.72). Veranschaulicht wird dies in Abb. 28.

Zur inferenzstatistischen Analyse folgt eine *univariate Varianzanalyse* (Zwischensubjektfaktoren: Verständlichkeit, 2-stufig; Alter, 4-stufig). Die abhängige Variable ist die Leistungsver schlechterung gegenüber Ruhe (in SD). Wie Abb. 28 bereits andeutet, ergibt die Auswertung einen Haupteffekt „Alter“ ($F(3, 202)=22.34$, $p<.01$, $\eta_p^2=.25$, $f=0.32$), jedoch keinen Haupteffekt „Verständlichkeit“ ($F(1, 202)=2.12$, $p=.15$) und auch keine Interaktion ($F(3, 202)=0.33$, $p=.81$).

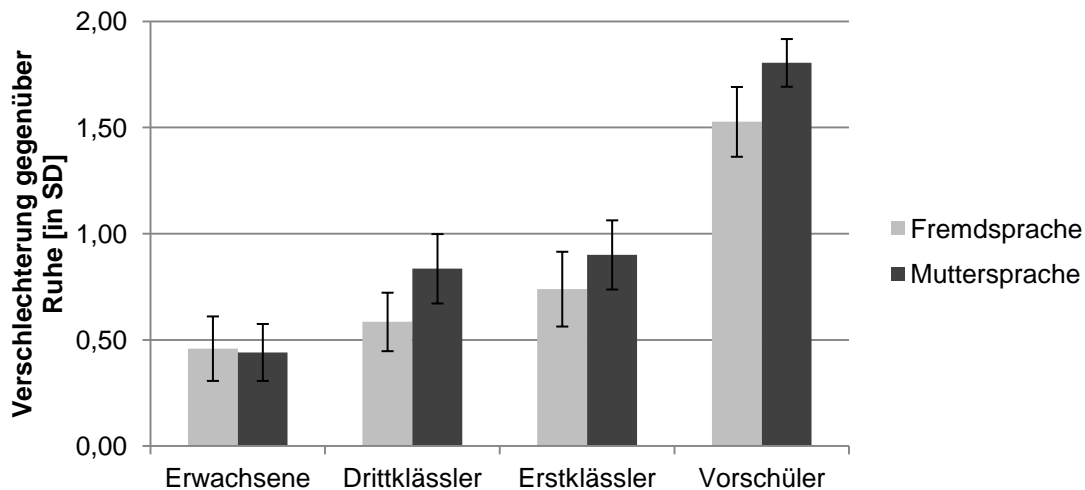


Abb. 28 Mittlere Leistungsver schlechterung bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung [in Standardabweichungen] in Abhängigkeit der Verständlichkeit des Hintergrundschalls und der Altersgruppe.

Zur weiteren Aufklärung des Haupteffekts „Alter“ werden *t*-Tests für unabhängige Stichproben angewendet, welche die mittleren Leistungsver schlechterungen jeder Altersstufe paarweise miteinander vergleichen. Die Analyse (vgl. Tab. 14) zeigt, dass die Leistungsver schlechterung der Vorschüler hochsignifikant stärker ausgeprägt ist als in allen übrigen Altersgruppen, die diesbezüglich nicht zu differieren scheinen. Zur Gewährleistung, dass letzteres nicht auf mangelnde Teststärke zurückzuführen ist, wird eine *Teststärkeanalyse* für den, in diesem Altersbereich nicht signifikanten Faktor „Alter“ durchgeführt. Diese ergibt mit einer als inhaltlich relevant erachteten, geschätzten Effektgröße von $f=0.25$ (mittlerer Effekt) jedoch eine hinreichende Teststärke von $(1-\beta)=.81$. Es darf somit gefolgert werden, dass Schulkinder und Erwachsene hinsichtlich der Auswirkungen irrelevanten Hintergrundschalls nicht, oder allenfalls in kleinem Maße, differieren.

Zum Faktor „Verständlichkeit“ bleibt anzumerken, dass sich ein Einfluss auf das Ausmaß des Irrelevant Sound Effect auch in nach Altersgruppen getrennten *t*-Tests für unabhängige Stichproben nicht nachweisen lässt (Vorschüler: $t(58)=-1.40$, $p=.17$; Erstklässler: $t(52)=-0.64$, $p=.53$; Drittklässler: $t(46)=-1.04$, $p=.31$; Erwachsene: $t(46)=0.08$, $p=.94$). Die seriellen Behaltensleistungen der Gruppe mit muttersprachlichem Hintergrundschall scheinen demnach in allen Altersgruppen mit denen der fremdsprachlichen Gruppe vergleichbar. Allerdings muss noch geprüft werden, ob der absente Verständlichkeitseffekt auf mangelnde Teststärke zurückzuführen ist. Eine *Teststärkeanalyse* mit einer

als inhaltlich relevant erachteten, geschätzten Effektgröße von $d=0.50$ (mittlerer Effekt) ergibt jedoch eine hinreichende Teststärke von $(1-\beta)=.95$.

Vorschulkinder werden demnach zwar deutlich stärker durch Hintergrundschall beeinträchtigt als ältere Kinder oder Erwachsene – ein Einfluss der Lautstärke oder der Verständlichkeit des Hintergrundgeräuschs kann jedoch nicht nachgewiesen werden.

Tab. 14 Ergebnisse der t -Tests für unabhängige Stichproben. Verglichen werden die mittleren Leistungsverlechterungen unter Hintergrundschall der verschiedenen Altersgruppen.

Altersgruppe		Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	t	df	p	d
Vorschüler	Erstklässler	0.85	0.16	5.31	112	<.001	0.92
	Drittklässler	0.96	0.16	6.13	106	<.001	1.07
	Erwachsene	1.22	0.15	8.08	106	<.001	1.38
Erstklässler	Drittklässler	0.11	0.18	0.63	100	.53	
	Erwachsene	0.37	0.17	2.17	100	.10	
Drittklässler	Erwachsene	0.26	0.16	1.58	94	.12	

4.2.3 Diskussion

Nachdem in Experiment 1 der Irrelevant Sound Effect bei Vorschülern deutlich umfassender und massiver ausgeprägt war als bei älteren Kinder und Erwachsenen, wurde auf die Beteiligung von Aufmerksamkeitsprozessen als mögliche Erklärungsursache rekurriert. Die Bedeutung des Aufmerksamkeitsparameters bei der Entstehung des Irrelevant Sound Effect ist bei Kindern, wie auch bei Erwachsenen, noch ungeklärt und zugleich aber von hoher modelltheoretischer Bedeutung. In Experiment 2 wurden daher die Auswirkungen irrelevanten Hintergrundprechens altersvergleichend (Vorschüler vs. Erstklässler vs. Drittklässler vs. Erwachsene) untersucht, wobei die Lautstärke des Schalls (50dB(A) vs. 60 dB(A)) und dessen semantischer Gehalt (mutter- vs. fremdsprachliches Sprechen) variiert wurden. Diese Variationen sollten die qualitative Beschaffenheit des Irrelevant Sound Effect bei Kindern erforschen und Aussagen darüber ermöglichen, ob das Phänomen eher als Folge einer Aufmerksamkeitsdistraktion zu konzeptualisieren ist oder doch auf automatische, spezifische Interferenzen zurückgeführt werden sollte.

Folgende Ergebnisse konnten festgestellt werden: (i) Hintergrundsprechen führt in allen Altersgruppen zu deutlichen Leistungsverlechterungen, wobei die Vorschüler aber signifikant stärker beeinträchtigt werden als ältere Kinder oder Erwachsene, die diesbezüglich nicht differieren. Dies repliziert die Ergebnisse aus Experiment 1, weswegen für eine Diskussion auf Abschnitt 4.1.4 verwiesen wird. (ii) Darüber hinaus können in keiner Altersgruppe Effekte der Lautstärke oder der

Verständlichkeit des Hintergrundschalls nachgewiesen werden¹². Dieses Ergebnis wird im Folgenden für Vorschüler und Grundschüler getrennt diskutiert – beginnend mit letzteren.

Im Altersbereich der Grundschüler reiht sich das Resultat gut in die bisherigen Befunde der Experimentalreihe ein. Der Irrelevant Sound Effect bei Grundschulern hat sich bereits in Experiment 1 als sehr ähnlich zu dem Erwachsener erwiesen: Sowohl die Art der störend wirkenden Hintergrundschalle als auch das Ausmaß der Leistungsbeeinträchtigung waren vergleichbar. Dass sich nun bei den Grundschulern auch weitere Kerncharakteristika des Phänomens zeigen, nämlich die weitgehende Unabhängigkeit von Lautstärke und semantischem Gehalt, bekräftigt die Annahme, dass deren Irrelevant Sound Effect qualitativ mit dem Erwachsener vergleichbar ist. Darüber hinaus spricht der nicht nachweisbare Einfluss von Semantik und Lautstärke eher gegen eine ursächliche Beteiligung des Aufmerksamkeitsparameters bei der Entstehung des Irrelevant Sound Effect. Das hat sich in der Literatur bereits angedeutet – obgleich die Befundlage äußerst dünn ist. Bislang gibt es nur eine altersvergleichende Studie, die sich speziell der Bedeutung von Aufmerksamkeitsressourcen beim Irrelevant Sound Effect bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen gewidmet hat: Elliott und Briganti (2012) untersuchten das serielle Erinnern bei Grundschulern und Erwachsenen, wobei die Frequenz der Distraktoren variierte. Obwohl eine andere Operationalisierung des Aufmerksamkeitsparameters gewählt wurde, deckt sich das Ergebnis mit dem der aktuellen Studie: Es konnten keine Unterschiede zwischen den Distraktorbedingungen festgestellt werden, was als Indiz gegen aufmerksamkeitsbasierte Erklärungsansätze zu interpretieren ist.

Die Passung des Embedded Processes Model, welches den Irrelevant Sound Effect rein einer Aufmerksamkeitsdistraktion zuschreibt, ist folglich in Frage zu stellen. Vielmehr scheint der Irrelevant Sound Effect auf eine automatische Interferenz zurückzuführen sein, was das Working Memory Model und das klassische Object-Oriented Episodic Record Model bevorzugt: Diese Modelle vertreten die Sichtweise, dass irrelevante Sprache automatischen und obligatorischen Zugang zum Arbeitsgedächtnis erhält und folglich kein Widerstand gegen die leistungsmindernde Wirkung des Schalls möglich ist. Doch auch der Duplex-Mechanismus und das Feature Model vermögen das Befundmuster abzubilden: Zwar berücksichtigen sie den Aufmerksamkeitsparameter, doch die Wirkung irrelevanter Hintergrundsprache wird in erster Linie auf automatische Interferenz zurückgeführt.

Nun zum Altersbereich der Vorschüler: Zwar ist deren Ausmaß der Leistungsbeeinträchtigung erneut deutlich gravierender als in den übrigen Altersgruppen (vgl. Experiment 1), doch auch bei ihnen lassen sich keine Effekte der Lautstärke und der Semantik des Hintergrundschalls nachweisen. Zwar ist die Teststärke des vorliegenden Experiments nur zur Aufdeckung mittlerer, nicht aber kleiner Effekte ausreichend – es erscheint jedoch unwahrscheinlich, dass kleine Einflüsse der Lautstärke oder der Semantik ursächlich für den massiven Leistungseinbruch der Vorschüler sein könnten. Die Ergebnisse sprechen somit eher gegen den Ansatzpunkt, den Leistungseinbruch der Vorschüler über

¹² Die empirischen Effekte der Faktoren „Lautstärke“ und „Verständlichkeit“ erreichten keine inhaltlich relevante Größe. Zur Teststärkeanalyse wurde deswegen ein geschätzter Effekt von $d=0.20$ bzw. $d=0.50$ verwendet, welcher eine für das Annehmen der Nullhypothese ausreichende Teststärke von $(1-\beta)\geq.80$ ergab. Das Vorliegen kleinerer Einflüsse kann jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

eine vermehrte Bindung von Aufmerksamkeitsressourcen erklären zu wollen (vgl. Argumentationslinie in Abschnitt 4.1.4).

Aber welche alternativen Erklärungsmöglichkeiten gibt es für den massiven Irrelevant Sound Effect? Möglicherweise sind dessen Ursachen auf einer dem Arbeitsgedächtnis vorgelagerten Ebene zu begründen. Es wäre denkbar, dass Hintergrundschaall bei Vorschülern bereits eine fehlerhafte Encodierung der zu memorierenden Items bedingt. Diese Idee wurde bereits im Rahmen des absenten Changing-State Effect in Experiment 1 angedacht, da sie die globale Wirkung des Hintergrundschaalls, ungeachtet seiner Variabilität, erklären könnte. Doch auch das Ausmaß des Irrelevant Sound Effect wäre als logische Konsequenz zu interpretieren: Die Auswirkungen fehlerhaften Einlesens gepaart mit dem klassischen Irrelevant Sound Effect im Arbeitsgedächtnis könnten durchaus zu Leistungseinbrüchen bis auf bzw. knapp über Rateniveau führen. Weitere Untersuchungen in diese Richtung wären daher wünschenswert.

Unter Umständen ist aber auch der Aufmerksamkeitsansatz nicht vollständig zu verwerfen: Es wäre möglich, dass die Hintergrundschaalle an sich bereits derart viel Aufmerksamkeit an sich binden, dass eine Variation der Verständlichkeit und/oder der Lautstärke keinen zusätzlichen Effekt erbringen kann. Ein Indiz für diese Überlegung ergibt sich aus der näheren Betrachtung der Leistungsdaten der Vorschüler: Sie können beim leisen, fremdsprachlichen Sprechen durchschnittlich $AM=16,30$ Items korrekt erinnern [Maximum: 35]. Das 95%-Rateintervall¹³ liegt jedoch im Bereich von [3,80; 16,20]. Die Leistung der Vorschüler liegt also bereits in der Bedingung, welche als am wenigsten aufmerksamkeitsbindend einzustufen ist, nur knapp über Rateniveau. Möglicherweise kann deshalb kein signifikanter Unterschied zum muttersprachlichen und/oder lauten Sprechen mehr aufgedeckt werden. Eine Option wäre, einen anderen Hintergrundschaall zu wählen: Sprachliche Schalle erbringen in der Regel ein Maximum an Störwirkung (vgl. Buchner et al., 2008; Hall & Gathercole, 2011; Klatt et al., 1995; LeCompte et al., 1997; Salamé & Baddeley, 1989; Schlittmeier et al., 2012; Tremblay et al., 2000), was vermutlich auch auf Kinder zutrifft: So erwies sich auch deren Irrelevant Sound Effect bei Sprache als signifikant ausgeprägter im Vergleich zu Tönen (Elliott, 2002). Vermutlich kann sogar davon ausgegangen werden, dass Sprachschalle bei Kindern eine besonders hohe Distraktorwirkung besitzt: Entwicklungspsychologische Studien zeigen, dass bereits Säuglinge Sprache gegenüber Nicht-Sprache präferieren (Vouloumanos & Werker, 2004) und 4- bis 5-Jährige Kinder bei Wortverständlichkeitsaufgaben durch Sprache mehr gestört werden als durch Nicht-Sprache (Papso & Blood, 1989). Diese herausragende Stellung von Sprache könnte bis in die frühe Kindheit andauern und so besonders starke Leistungseinbußen unter Sprachschalle erklären (Klatt et al., 2007). Beim Vorhaben, kleinere Effekte aufdecken zu wollen, ist der Einsatz von Sprachschallen daher möglicherweise ungeschickt – ein nichtsprachliches Geräusch, dessen Störwirkung nicht ganz so massiv ist, würde womöglich besser differenzieren. Natürlich sind dann kein Vergleiche des semantischen Gehalts oder der Distraktorfrequenz möglich – diese Optionen sind ja auf sprachliche Reize beschränkt – aber eine Variation der Lautstärke, oder die Gegenüberstellung einer block- vs. trialweisen Darbietung des Schalls wären denkbar.

¹³ Berechnung des Rateintervalls: Erwartungswert und Varianz der Anzahl der Fixpunkte einer Permutationsgruppe S_n beträgt unabhängig von n stets 1, d.h. bei der seriellen Behaltensaufgabe ist pro Trial mit einer korrekten Antwort zu rechnen, unabhängig von der Listenlänge. Mit Hilfe der Eulerschen Phi-Funktion kann ein 95%-Vertrauensintervall erstellt werden.

Womöglich ist aber auch der Unterschied zwischen den Distraktorbedingungen Mutter- und Fremdsprache nicht groß genug. In diesem Zusammenhang ist die grundsätzliche und nach Röer (2011) noch ungeklärte Frage zu stellen, ob die Versuchsteilnehmer – insbesondere die Vorschulkinder – irrelevanten Hintergrundschall überhaupt automatisch semantisch verarbeiten. Sollte dies nicht der Fall sein, dann kann eine Variation des semantischen Gehalts keine Effekte erbringen. Doch wie könnte diese Voraussetzung geprüft werden? Eine Option stellt die ereigniskorrelierte Potentialkomponente N400 dar: Wenn semantisch abweichende Distraktoren eine N400-Komponente auszulösen vermögen, spräche dies für eine Verletzungen der semantischen Erwartung und damit für eine automatische, semantische Verarbeitung (Röer, 2011). Eine andere Variante ergibt sich aus dem Ansatz, dass Aufmerksamkeitsreaktionen insbesondere auf Bekanntes und Bedeutsames hin stattfinden (z.B. den eigenen Namen, Cowan, 1999; vgl. Cocktailparty-Phänomen, Moray, 1959): So könnte beispielsweise Hintergrundschall mit bzw. ohne Selbstbezug zum Einsatz kommen (vgl. Röer, 2011). Die Leistungsdifferenz zwischen den beiden Bedingungen würde dann den Anteil des Ablenkungseffekts (*deviation effect*; Hughes et al., 2005, 2007, 2012; Lange, 2005; Abschnitt 2.4.2.3) widerspiegeln.

Alternativ könnte eine Kontrollaufgabe zum Einsatz kommen, die selektive Aufmerksamkeits- und Inhibitionsprozesse, aber keine Speicherkomponente beansprucht, z.B. die Stroop-Aufgabe. Diese hat sich in den meisten Erwachsenenstudien zwar nicht als lärmsensitiv erwiesen (vgl. Miles & Jones, 1989; Miles et al., 1989; Thackray & Jones, 1971; Thackray et al., 1972; Gegenevidenz: Elliott et al., 1998) – bei Kindern ist die Stroop-Interferenz jedoch ausgeprägter (MacLeod, 1991) und daher möglicherweise empfänglich gegenüber der Störwirkung von Hintergrundlärm.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich der Ansatz der vermehrten Aufmerksamkeitsdistraktion (zumindest mit der aktuellen Operationalisierung) zur Erklärung des massiven Leistungseinbruchs der Vorschüler als unzulänglich herausgestellt hat. Die Ursachen für die extreme Lärmsensitivität der Vorschulkinder liegen damit nach wie vor im Dunkeln.

Potentielle Ursachen für das divergierende Befundmuster von Elliott (2002). Neben Aussagen zur Aufmerksamkeitsdistraktion und ihren modelltheoretischen Implikationen soll Experiment 2 aber auch mögliche Ursachen für das divergierende Befundmuster von Elliott (2002) prüfen: Wie bereits in Abschnitt 1.2.3 erläutert, konnte Elliott (2002) auch in der Altersgruppe der Grundschüler Effekte bezüglich des Ausmaßes des Irrelevant Sound Effect im Vergleich zu Erwachsenen feststellen, was sowohl Klante und Coautoren (2010b) als auch der Autorin der vorliegenden Arbeit in Experiment 1 und 2 nicht gelang. Als potentielle Ursache wurde die unterschiedliche Auswahl der Hintergrundschalle angeführt (laute Muttersprache vs. moderate Fremdsprache). Effekte der Lautstärke und der Semantik konnten nun aber nicht festgestellt werden – womit sich der angedachte Erklärungsansatz als unzulänglich erweist. Gleichwohl muss angemerkt werden, dass das aktuelle Experiment die in den vorigen Studien verwendeten Lautstärkebereiche nicht exakt abbildet: Elliott (2002) präsentierte ihre Hintergrundschalle mit ca. 70 dB(A), Klante und Coautoren (2010b) mit etwa 55dB(A) – in der aktuellen Studie wurden lediglich Schalle der Lautstärken von 50dB(A) und 60dB(A) miteinander verglichen. Der Einsatz lauterer Hintergrundgeräusche war aber in Hinblick auf das Wohlbefinden der noch sehr jungen Versuchsteilnehmer nicht zu rechtfertigen. Dass eine Variation

der Lautstärke erst in einem höheren Pegelbereich zur Varianzaufklärung beiträgt ist zwar unwahrscheinlich, aber nicht gänzlich auszuschließen. Aus ethischen Gründen ist dieser Punkt jedoch kaum zu untersuchen.

Welche alternativen Ansatzpunkte könnte es also für die divergierenden Befundmuster geben? Ein weiterer Unterschied zwischen den Experimenten besteht in den verwendeten *Listenlängen*: Während die Autorin der vorliegenden Studie innerhalb jeder Altersgruppe fixierte Listenlängen nutzte, kamen bei Elliott (2002) an die individuelle Gedächtnisspanne angepasste Listenlängen zum Einsatz. Dieser Punkt wurde jedoch bereits von Klatte und Coautoren (2010b) näher untersucht und für unerheblich befunden. Schließlich variierte Elliott (2002) die Hintergrundbedingung von *Trial zu Trial* – während Klatte und Coautoren (2010b) wie auch die Autorin der vorliegenden Arbeit ein *geblocktes Design* nutzten. Dieser Ansatz zielt aber – ebenso wie die Variation der Lautstärke und des semantischen Gehalts – in Richtung der Aufmerksamkeitsdistraction, weswegen dessen Gewicht eher fraglich erscheint. Möglicherweise liegen die Ursachen auch im verwendeten *Stimulusmaterial* begründet: Während Klatte und Kollegen (2010b) wie auch die Autorin der vorliegenden Arbeit Bildmaterial verwendeten, nutzte Elliott (2002) Ziffern. Bei Erwachsenen hat sich der Irrelevant Sound Effect zwar weitestgehend unabhängig vom Material erwiesen (vgl. Abschnitt 1.2.2), bei Kindern steht ein derartiger Nachweis jedoch noch aus. Eventuell sind die Kinder in Elliotts (2002) Versuch auch benachteiligt, da die Verarbeitung von Ziffern bei ihnen noch nicht so automatisiert ist wie bei Erwachsenen. Außerdem zeigen altersvergleichende Studien zur Gedächtnisspanne, dass Versuchspersonen mit sinkendem Alter sukzessive weniger Vorteil aus der Vertrautheit mit dem Stimulusmaterial ziehen können (Turner et al., 2000: 5- vs. 7- vs. 10-Jährige vs. Erwachsene; Turner et al., 2004: 5- vs. 7- vs. 10-Jährige). Vielleicht ergeben sich dadurch bei den Kindern Zusatzbelastungen, die sich – wenn auch nicht zwingend unter Ruhe – dann aber in der Dual-Task-Situation der Aufgabenbearbeitung unter Lärm widerspiegeln und in einem ausgeprägteren Irrelevant Sound Effect münden. Material, das – wie in der aktuellen Studie oder wie bei Klatte und Kollegen (2010b) – für alle Teilnehmer gleichermaßen neuartigen Charakter aufweist, wäre demnach fairer.

Ein weiterer Ansatzpunkt ist im *Antwortformat* zu sehen: Elliott (2002) ließ die Reihenfolge der Stimuli am PC eintippen, während diese bei Klatte und Kollegen (2010b) wie auch in der aktuellen Studie handschriftlich durchnummerieren bzw. mit Linien zu verbinden waren. Möglicherweise ist bei der PC-Variante die Output-Interferenz der Kinder überproportional hoch, weil sie mit Zifferneingabe noch nicht so vertraut sind. Bei Klatte und Kollegen (2010b) und in der aktuellen Studie ist die Wiedergabemethode allerdings nicht bei allen Altersgruppen identisch. Das könnte in der aktuellen Studie insbesondere bei den Vorschülern problematisch sein: Sie bilden die einzige Altersgruppe, die nur auf die Bilder zu zeigen hatte – und bilden auch die einzige Altersgruppe, die massiver gestört wird. Zwar sollte die „Zeige-Variante“ die einfachste Antwortmethode darstellen und die Vorschüler somit eher „begünstigen“ – aber für zukünftige Studien wäre es in jedem Fall wünschenswert, ein einheitliches Antwortformat für alle untersuchten Altersgruppen zu verwenden. Besonders anbieten würde sich beispielsweise die Reihenfolgewiedergabe per Touchpad.

Alles in Allem bleiben die Ursachen für die divergierenden Befundmuster im Unklaren. Möglicherweise sind diese aber auch gar nicht phänomenspezifischer, sondern eher testtheoretischer Natur: So könnten Elliotts (2002) Daten einen Fehler 1. Art aufweisen – oder umgekehrt der absente Alterseffekt

der aktuellen Studie bzw. der von Klatt und Coautoren (2010b) einen Fehler 2. Art reflektieren. So lag die Teststärke in der aktuellen Studie bei den Alterseffekten bei $(1-\beta)=.90$ (Experiment 1) bzw. bei $(1-\beta)=.81$ (Experiment 2) zwar in einem akzeptablen, aber keineswegs hervorragenden Bereich. In diesem Zusammenhang ist natürlich die grundsätzlich sehr überschaubare Anzahl an Versuchsdurchgängen zu kritisieren. Experimente, die eine Dauer von 40 Minuten überschreiten, sind mit Kindern aber kaum zu realisieren. Eine Option wäre die Verteilung auf mehrere Sessions, dies wäre jedoch mit zusätzlicher Varianz (z.B. Tagesschwankungen, Motivationsverlust) verbunden.

Zusammenfassung modelltheoretischer Implikationen. Neben phänomenbezogenen Erkenntnissen zur quantitativen und qualitativen Beschaffenheit des Irrelevant Sound Effect bei Kindern sollte Experiment 2 auch einen Beitrag zur Frage leisten, welches Arbeitsgedächtnismodell das kindliche Befundmuster am besten abzubilden vermag. Insbesondere wurde das Vorliegen einer vermehrten Aufmerksamkeitsdistraktion bei Vorschülern als mögliche Erklärungsursache für den massiven Alterseffekt aus Experiment 1 geprüft. Dieser Ansatz erwies sich jedoch als unzulänglich: Der Irrelevant Sound Effect zeigte sich in allen Altersgruppen – auch bei den Vorschülern – unabhängig von der Semantik und der Lautstärke des Hintergrundschalls, was eher gegen die ursächliche Beteiligung des Aufmerksamkeitsparameters bei der Entstehung des Phänomens spricht. Die Passung des rein aufmerksamkeitsbasierten Embedded Processes Model ist folglich in Frage zu stellen. Vielmehr scheint der Irrelevant Sound Effect auf eine automatische Interferenz zurückzuführen sein, was das Working Memory Model und das klassische Object-Oriented Episodic Record Model bevorzugt. Aber auch das Feature Model und der Duplex-Mechanismus nehmen für (sprachliche) Hintergrundschalle automatische Interferenz als wesentlichen Störmechanismus an. Letztere Modelle vermögen somit zwar das Befundmuster der Grundschüler gut zu erklären, stoßen jedoch bei der Begründung der extremen Lärmsensitivität der Vorschüler klar an ihre Grenzen. Vermutlich ist dessen Ursache auf einer dem Arbeitsgedächtnis vorgelagerten Ebene zu begründen. Denkbar wäre beispielsweise eine gestörte Encodierung der Zielitems, was die Notwendigkeit weiterer Forschung verdeutlicht.

5. Zusammenfassung der altersvergleichenden Experimente & Ausblick

5.1 Theoretische und methodische Aspekte

Der Irrelevant Sound Effect beschreibt das Phänomen einer geminderten Arbeitsgedächtnisleistung verursacht durch irrelevante Hintergrundgeräusche. Ungeachtet mehrerer Dekaden intensiver Forschung ist unklar, ob der Irrelevant Sound Effect bei Kindern entwicklungsbedingten Veränderungen unterliegt, da es in hierzu nur sehr wenige, widersprüchliche Studien gibt (vgl. Elliott, 2002; Elliott & Briganti, 2012; Klatt et al., 2010b). Der mangelnde Kenntnisstand setzt sich auf modelltheoretischer Ebene fort: Es ist strittig, welches Arbeitsgedächtnismodell das kindliche Befundmuster am besten abzubilden vermag. Um einen Beitrag zur Klärung dieser Fragestellungen zu leisten, wurden zwei altersvergleichende Studien zur Wirkung irrelevanter sprachlicher Geräusche auf das Arbeitsgedächtnis durchgeführt. Um ein differenzierteres Bild zu erhalten, sind gegenüber den bisherigen Studien mehrere Erweiterungen und Variationen hervorzuheben: Zunächst war nicht allein das Ausmaß der Leistungsbeeinträchtigung von Interesse – der Blick wurde gezielt auch auf die qualitative Beschaffenheit des Irrelevant Sound Effect bei Kindern gerichtet. Dazu wurden Kerncharakteristika des Phänomens geprüft, namentlich der Changing-State Effect, die Lautstärkeirrelevanz sowie die weitgehende Unabhängigkeit des semantischen Gehalts des Hintergrundschalls. Ferner wurde die Präsentationsmodalität der Aufgaben variiert und neben der klassischen seriellen Behaltensaufgabe auch eine lautanalytische Aufgabe eingesetzt. Besonders aber ist hervorzuheben, dass erstmals die Altersgruppe der Vorschüler berücksichtigt wurde, womit die Studien einen breiten Altersbereich vom Vorschul- bis zum Erwachsenenalter abdecken.

Die wesentlichen Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden: Der Irrelevant Sound Effect bei *Grundschulern* ähnelt quantitativ wie qualitativ dem Erwachsener. Während der gesamten Experimentalreihe konnten keinerlei Alterseffekte zwischen ihnen festgestellt werden – weder hinsichtlich des Ausmaßes der Leistungsbeeinträchtigung, noch bezüglich der Art der interferierenden Geräusche: Der klassische Changing-State Effect ließ sich bei den Grundschulern ebenso nachweisen wie die weitgehende Unabhängigkeit des Phänomens von Parametern wie Lautstärke und Semantik des Hintergrundschalls oder der Präsentationsmodalität der Aufgabe. Trotz der großen Altersspanne bilden Schulkinder und Erwachsene in Bezug auf den Irrelevant Sound Effect eine homogene Gruppe. Bei *Vorschülern* hingegen scheint das Phänomen anders geartet zu sein. In beiden Experimenten konnten massive Alterseffekte zwischen den Vorschülern und den älteren Versuchsteilnehmern nachgewiesen werden. Auffallend ist zunächst das immense Ausmaß des Irrelevant Sound Effect – die Leistung der Vorschüler reduziert sich unter Lärm bis auf bzw. knapp über Rateniveau. Darüber hinaus werden Vorschüler deutlich anfälliger durch Hintergrundschall gestört: Der typische Changing-State Effect ist bei ihnen nicht zu beobachten – sie werden durch ein hochkohärentes Stimmengewirr im gleichen Umfang beeinträchtigt wie durch ein einzelnes Hintergrundsprechen. Die akustische Variabilität des Schalls scheint demnach nicht den

entscheidenden Parameter zur Modellierung der Störwirkung darzustellen. Ein Einfluss der Lautstärke und des semantischen Gehalts des Hintergrundschalls wie auch der Darbietungsmodalität der Primäraufgabe konnte allerdings, wie bei den älteren Teilnehmern auch, nicht nachgewiesen werden. Kurzum: *Der Irrelevant Sound Effect unterliegt entwicklungsbedingten Veränderungen, welche zeitlich im Vorschulalter anzusiedeln sind. Im Grundschulalter gleicht das Phänomen quantitativ wie qualitativ bereits dem Erwachsener.*

Neben phänomenbezogenen Erkenntnissen zur Beschaffenheit des Irrelevant Sound Effect bei Kindern sollten die altersvergleichenden Experimente auch einen Beitrag zur Frage leisten, welches Arbeitsgedächtnismodell das kindliche Befundmuster am besten abzubilden vermag. Eine Einordnung und ausführliche Diskussion der Ergebnisse in Hinblick auf das Working Memory Model, das Object-Oriented Episodic Record Model, das Embedded Processes Model und das Feature Model erfolgte bereits in den Abschnitten 4.1.4 und 4.2.3 und soll an dieser Stelle nicht wiederholt werden. Stattdessen soll ein Schritt zurückgetreten und das Gesamtbild betrachtet werden. Die Effekte irrelevanten Hintergrundschalls scheinen bei Kindern auf zwei qualitativ unterschiedlichen Wirkmechanismen zu fußen: Einerseits erhält irrelevanter Hintergrundschall obligatorischen, automatischen Zugang zum Arbeitsgedächtnis, wodurch eine Interferenz mit den zu memorierenden Items auftritt. Dieser Mechanismus ist als entwicklungsunabhängig anzusehen. Andererseits muss in der Altersgruppe der Vorschüler – zur Erklärung des massiven Ausmaßes des Irrelevant Sound Effect sowie des absenten Changing-State Effect – auf einen zusätzlichen Wirkmechanismus verwiesen werden. Der elegante und in der Literatur hierzu bereits angedachte Ansatz einer vermehrten Aufmerksamkeitsdistraktion kann in Anbetracht der aktuellen Befundlage jedoch nicht gestützt werden. Stattdessen ist ein globalerer Mechanismus anzunehmen, dessen Störwirkung sich bereits vor der Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis entfaltet. Denkbar wäre beispielsweise eine gestörte Encodierung der Zielitems. Als Fazit bleibt demnach festzuhalten, dass die vorgestellten Arbeitsgedächtnismodelle verschiedene Aspekte des Befundmusters der Grundschüler gut zu erklären vermögen, bei der Begründung der extremen Lärmsensitivität der Vorschüler jedoch an ihre Grenzen stoßen.

Weitere altersvergleichende Studien zum Irrelevant Sound Effect sind daher wünschenswert, da die Ursachen für den massiven Leistungseinbruch der Vorschüler nach wie vor ungeklärt sind. Ein vielversprechender Ansatzpunkt wäre zu prüfen, ob unter Hintergrundschall möglicherweise eine gestörte Encodierung der zu memorierenden Items stattfindet. Dies würde sowohl das immense Ausmaß der Leistungsminderung bis knapp auf Rateniveau als auch die „globale“ Wirkung von Hintergrundschall ungeachtet seiner Variabilität erklären. Operationalisiert werden könnte dieser Punkt über eine Variation des Zeitpunktes der Schallpräsentation. Darüber hinaus sollte aber auch die Idee der Aufmerksamkeitsdistraktion in anderer Operationalisierung weiter verfolgt werden. Möglichkeiten wurden bereits in Abschnitt 4.2.3 angedacht, wie etwa die Verwendung eines nicht-sprachlichen Hintergrundgeräuschs – in der Annahme, dass dieses im unteren Leistungsbereich besser differenziert oder der Einsatz einer Kontrollaufgabe, die zwar Aufmerksamkeitsressourcen aber keine Speicherkomponente beansprucht. Ferner sind Ursachen zu ermitteln, weswegen in manchen Studien auch zwischen Grundschulern und Erwachsenen Alterseffekte festgestellt werden konnten (Elliott, 2002; Elliott & Briganti, 2012). Auf phänomenspezifischer Ebene bilden Unterschiede im verwendeten

Stimulusmaterial und Antwortformat Ansatzpunkte, aber darüber hinaus sollten künftige Untersuchungen auch stärker auf testtheoretische Aspekte fokussieren (vgl. Abschnitt 4.2.3).

5.2 *Praktische Implikationen*

Im Fokus der vorliegenden Arbeit standen grundwissenschaftliche Fragestellungen zum Irrelevant Sound Effect. Experimentelle Untersuchungen zu den Auswirkungen irrelevanten Hintergrundlärms bei Kindern erlauben jedoch auch die Ableitung praktischer Implikationen. Im Folgenden wird daher kurz die praktische Relevanz der Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit aufgezeigt. Anschließend soll aber der Blick geweitet und die Tragweite des Themas „Lärm bei Kindern“ verdeutlicht werden, indem ein Überblick zu den umfassenden Auswirkungen von Lärm moderaten Pegels – über das Arbeitsgedächtnis hinaus – gegeben wird.

Um den praktischen Wert der aktuellen Erkenntnisse beurteilen zu können, gilt es, sich die weitreichenden Konsequenzen der eindrücklich belegten, hohen Lärmsensitivität des kindlichen Arbeitsgedächtnisses vor Augen zu führen: Dadurch, dass dieses Gedächtnissystem eine zentrale Speicher- und Verarbeitungskomponente darstellt, das Lernen optimiert und den Abruf von Gelerntem aus dem Langzeitgedächtnis erleichtert (Hasselhorn & Grube, 2003), spielt es bei einer Vielzahl kognitiver Aufgaben, die Kinder in ihrem Alltag zu bewältigen haben, eine wichtige Rolle. So ist beispielsweise die Bedeutung des phonologischen Arbeitsgedächtnisses für die laut- und schriftsprachliche Entwicklung vielfach belegt (Lachmann, 2002; LeCompte et al., 1997; Steinbrink & Klatt, 2008; Wilson, Farmer, Gandhi, Shelburne, & Weaver, 2010): Es ist notwendig für die Aneignung von Buchstabe-Laut-Zuordnungsregeln und bei der Speicherung einzelner, lautlicher Einheiten (Klatt & Lachmann, 2009; Steinbrink & Klatt, 2008). Doch auch beim frühen Wortschatzerwerb (Gathercole & Baddeley, 1993), der Ausbildung grammatischer Kompetenzen (Hasselhorn & Werner, 2000), oder auch beim Rechnen (Hasselhorn & Grube, 2003) ist es maßgeblich involviert. Hintergrundlärm hat demnach das Potential, die unmittelbar die zur Bearbeitung (vor-)schulischer Aufgaben nötigen kognitiven Verarbeitungsprozesse zu beeinträchtigen (Klatt & Lachmann, 2009; siehe auch Clark & Sörqvist, 2012). Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer guten akustischen Umweltqualität. Problematisch sind allerdings zwei Aspekte: Zunächst sind sich Kinder der gravierenden, beeinträchtigenden Wirkung irrelevanten Hintergrundschalls zumeist nicht bewusst (Klatt, Lachmann, & Meis, 2010a). Folglich werden unbedacht z.B. Hausaufgaben bei laufendem Radio erledigt oder Vokabeln neben sich unterhaltenden Mitschülern gelernt – was die Effizienz dieser Bemühungen sicherlich mindert. Darüber hinaus sind akustische Verbesserungsversuche, die einzig auf eine Pegelreduktion abzielen aufgrund der aktuell nachgewiesenen weitgehenden Lautstärkeirrelevanz des Irrelevant Sound Effect bei Kindern unzureichend.

Außerdem konnte die Studie zeigen, dass der Irrelevant Sound Effect bei Kindern auch bei auditivem Material auftritt – eine Erkenntnis, die ebenfalls für den (Vor-)Schulunterricht bedeutsam ist, da selbiger maßgeblich auf mündlicher Kommunikation beruht. Bei mündlich übermittelten Informationen kann Hintergrundlärm aber nicht nur Arbeitsgedächtnisminderungen bewirken (auf welche die vorliegende Arbeit fokussierte) – es sind auch Leistungseinbußen durch eine verminderte

Sprachwahrnehmung und durch Höranstrengung vermittelte Effekte zu berücksichtigen. Zur Verdeutlichung der umfassenden Wirkung von Lärm sollen diese weiteren Bereiche kurz beleuchtet werden.

Ungünstige Hörbedingungen aufgrund von Hintergrundgeräuschen oder undeutlicher, verzerrter Sprache können dazu führen, dass Informationen falsch oder gar nicht verstanden werden. Je jünger Kinder sind, desto schlechter ist die Verstehensleistung in schwierigen Hörsituationen (Eisenberg, Shannon, Martinez, Wygonski, & Boothroyd, 2000; Elliott, 1979; Johnson, 2000; Klatte & Lachmann, 2009; Neuman, Wroblewski, Hajicek, & Rubinstein, 2010; Nozza, Rossman, Bond, & Miller, 1990) – erst im Alter von ca. 14 Jahren gleicht sie der Erwachsener (Johnson, 2000; Neuman & Hochberg, 1983; Stuart, 2005; Talarico et al., 2007). Mögliche Ursachen für die Schwierigkeiten jüngerer Kinder sind, dass die Ausdifferenzierung der phonetischen Kategorien bis weit ins Schulalter hinein andauert (Hazan & Barrett, 2000) und die im Langzeitgedächtnis gespeicherten Wortrepräsentationen bei Kindern weniger in einzelne Phonemeinheiten differenziert, sondern eher holistischer Natur sind (Metsala, 1997). Bereits kleine „Lücken“ im sprachlichen Input können daher die Identifikation des Worts verhindern (Klatte & Lachmann, 2009).

Eine gelingende Sprachwahrnehmung allein ist für den erfolgreichen (Vor-)Schulbesuch aber nicht ausreichend – Informationen müssen nicht nur aufgenommen, sondern auch gespeichert, verarbeitet und mit bestehendem Wissen verknüpft werden (Klatte & Lachmann, 2009). Dies geht mit erheblichen Anforderungen nicht nur an zentral-auditive und sprachliche Funktionen, sondern auch an die damit unmittelbar verbundenen Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozesse einher. Auch diese „höheren Hörverstehensprozesse“ (Klatte & Lachmann, 2009, S. 147) werden durch Hintergrundlärm gestört. Ursächlich hierfür ist, dass der erhöhte Aufwand der Informationsaufnahme (z.B. kontinuierliches Ausblenden von Hintergrundlärm, stetes Ergänzen fehlender Informationen) zu Lasten der Ressourcen stattfindet, die für das Behalten und Verarbeiten der gehörten Information zur Verfügung stehen (Heinrich et al., 2008; McCoy et al., 2005). Folglich können lärmbedingte Leistungsbeeinträchtigungen bei der Verarbeitung sprachlicher Informationen selbst dann auftreten, wenn das bloße Verstehen selbiger noch fehlerfrei gelingt (Downs, 1982; Kjellberg et al., 2008; Murphy et al., 2000; Surprenant, 1999; vgl. Klatte & Lachmann, 2009). Untersuchungen von Klatte und Coautoren (Klatte et al., 2007, 2010a) zum Anweisungsverständnis zeigen, dass derartige durch Höranstrengung vermittelte Effekte bei Kindern sehr ausgeprägt zu sein scheinen. Die Autoren führen dies darauf zurück, dass die Sprachverarbeitung bei Kindern weit weniger automatisiert verlaufe, wodurch das Arbeitsgedächtnis eine höhere Beanspruchung erfahre als bei Erwachsenen (vgl. hierzu auch Baddeley & Gathercole, 1993; Baddeley, Gathercole, & Papagno, 1998).

Die bisherigen Ausführungen bezogen sich stets auf unmittelbare, „akute“ Auswirkungen von Hintergrundlärm. Problematischerweise sind die selbige aber nicht „nur“ auf aktuelle Anforderungen beschränkt: Manche Forscher nehmen negative Langzeitwirkungen andauernder Lärmexposition an (vgl. Klatte, Bergström, & Lachmann, 2013). So konnten eine geringere Lesekompetenz und geringere Vorläuferfertigkeiten des Schriftspracherwerbs bei chronisch lärmbelasteten Kindern nachgewiesen werden (Klatte, Hellbrück, Seidel, & Leistner, 2010c; Maxwell & Evans, 2000; Shield & Dockrell, 2008). Auch Defizite bei der Sprachwahrnehmung treten bei extrem belasteten Kindern (die z.B. in einer

Einflugschneise oder an Autobahnen leben) häufiger auf (Evans & Maxwell, 1997). Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass selbst nach vielen Jahren Gewöhnung an lärmige Umgebungen die Störfunktion von Lärm auf das Erledigen von kognitiven Aufgaben erhalten bleibt (Kujala et al., 2004). Die Ausführungen über die weitreichenden Auswirkungen von Hintergrundschall abschließen soll noch die Anmerkung, dass Lärm nicht nur leistungsbezogene Effekte hat – chronischer Lärm kann auch das soziale Miteinander beeinflussen. Einer Studie zufolge berichten Kinder in lärmigen Klassenzimmern ein weniger positives Lern- und Klassenklima (Klatte et al., 2010c): Die freundschaftlichen Beziehungen der Schüler untereinander und das Verhältnis zur Lehrkraft werden negativer beurteilt.

Lärm beeinträchtigt die Aneignung (vor)schulischer Kompetenzen und ist als Moderator des sozialen Miteinanders anzusehen. Lernumgebungen sollten daher eine gute akustische Umweltqualität aufweisen – Räume sollten so gestaltet sein, dass Sprache klar und mühelos verständlich ist und Lernsituationen so arrangiert werden, dass sie effektives Arbeiten erlauben (Huber, Kahlert, & Klatte, 2002). Die Realität sieht allerdings häufig anders aus: Feldstudien zufolge liegt die Lärmbelastung in Bildungsstätten oft über den Grenzen der Zumutbarkeit (Schick, Klatte, & Meis, 1999). In Kindertagesstätten wurden durchschnittliche Schallpegel von 65 bis 85 dB(A) gemessen – mit Spitzenpegeln von über 100 dB(A) (von Krause, Drenckberg, Ludwig, & Seßlen, o. J.) und an Schulen wurden je nach Unterrichtssituation zwischen 60 und 77dB(A) festgestellt (Hecker, 1994; Pekkarinen & Viljanen, 1991; Schönwälder, Berndt, Ströver, & Tiesler, 2004; Shield & Dockrell, 2004). Das sind Pegel, die Kommunikation, konzentriertes Arbeiten und optimale Lernfähigkeit, aber auch Wohlbefinden kaum mehr erlauben (Klatte & Lachmann, 2009). Verschärft wird die Problematik dadurch, dass Kindertagesstätten zunehmend zu einem Lernort werden und in den Klassenzimmern der lehrerzentrierte Unterricht mehr und mehr durch Gruppen- und Freiarbeitsphasen ergänzt wird. Während selbiger ist es besonders laut, da die Kinder Materialien holen, an mehreren Tischen gleichzeitig arbeiten und diskutieren (Klatte & Lachmann, 2009). Zwar ist dieser Schritt im Zuge selbstgesteuerten Lernens und individueller Förderung unbestritten – erfordert jedoch entsprechende akustische Bedingungen im Klassenzimmer (Klatte & Lachmann, 2009). Die Beurteilung dieser Erkenntnisse und die Entscheidung über Notwendigkeit, Art und voraussichtlichen Erfolg von akustischen Verbesserungsmaßnahmen an Kindertagesstätten und Schulen setzen jedoch ein genaues Wissen darüber voraus, wie sich unterschiedliche akustische Umweltbedingungen auf das Lernen von Kindern unterschiedlichen Alters auswirken und worauf die hohe Sensitivität der Kinder gegenüber Lärm zurückzuführen ist. Weitere experimentelle Untersuchungen zum Irrelevant Sound Effect bei Kindern, aber auch zu Sprachwahrnehmungs- und Hörverstehensprozessen sind daher wünschenswert.

6. Empirische Untersuchungen – Teil 2: Erwachsenenstudien

Den Ansatzpunkt für die zweite, auf Erwachsene beschränkte Experimentalreihe bildet die in Experiment 1 durchgeführte Aufgabenvariation: Neben der vergleichsweise simplen, seriellen Behaltensaufgabe haben die Teilnehmer auch einen komplexeren Aufgabentyp ohne serielle Komponente („Odd-One-Out-Aufgabe“) bearbeitet. Überraschenderweise war der Irrelevant Sound Effect in beiden Aufgabentypen in vergleichbarem Maße festzustellen. Das Phänomen scheint demnach nicht auf serielle Aufgaben beschränkt zu sein – die Ergebnisse deuten eher auf Interferenzen zwischen irrelevantem Hintergrundschall und phonologischen Verarbeitungsprozessen im Arbeitsgedächtnis hin. Dieser Punkt besitzt hohe modelltheoretische Bedeutung – differieren die vorgestellten Arbeitsgedächtnismodelle doch hinsichtlich ihrer Annahmen bezüglich potentiell lärmsensitiver Aufgaben (vgl. Abschnitt 2.2 bis 2.5). Daher wird der Irrelevant Sound Effect bei der Odd-One-Out-Aufgabe in den folgenden Experimenten näher untersucht. In Experiment 3 soll zunächst geprüft werden, ob der Irrelevant Sound Effect bei der Odd-One-Out-Aufgabe möglicherweise nur auf den zugrunde liegenden Strategieeinsatz zurückzuführen ist.

6.1 Experiment 3: Der „Irrelevant Sound Effect“ bei der Odd-One-Out-Aufgabe – phonologische Anforderung oder Strategieeinsatz?

In Experiment 1 konnte der Irrelevant Sound Effect nicht nur bei der seriellen Behaltensaufgabe, sondern auch bei einem Aufgabentyp beobachtet werden, der kein serielles Erinnern der Gedächtnisitems erfordert (Odd-One-Out-Aufgabe). In diesem Zusammenhang ist aber kritisch zu prüfen, ob den beiden Aufgaben, trotz der unterschiedlichen Instruktion, nicht doch eine gemeinsame Bearbeitungsweise – nämlich das serielle Erinnern – eigen ist: „It is possible that even though a task has no serial component, subjects are nonetheless engaging in serial rehearsal or serial recall.“ (Neath, 2000, S. 405). Folglich wären die nachgewiesenen Beeinträchtigungen bei der Odd-One-Out-Aufgabe nicht auf die Aufgabe selbst, sondern schlicht auf die angewandte Lösungsstrategie zurückzuführen (vgl. Abschnitt 1.2.2)

In Anbetracht dieser alternativen Erklärungsmöglichkeit bedürfen die Ergebnisse aus Experiment 1 einer weiteren Überprüfung. Es gilt die Frage zu klären, ob der Irrelevant Sound Effect bei der Odd-One-Out-Aufgabe nur das Resultat einer zugrundeliegenden, seriellen Bearbeitungsstrategie war oder auf die phonologische Anforderung der Aufgabe zurückzuführen ist. Um diese Alternativen gegeneinander zu prüfen, wird in Experiment 3 das Vergleichskriterium der Odd-One-Out-Aufgabe variiert: In der phonologischen Variante ist ein Anlautvergleich durchzuführen (analog zu Experiment 1) – bei der semantischen Variante soll der Vergleich der Stimuli nach einem inhaltlichen Kriterium erfolgen.

Dieser Variation liegt folgende Logik zugrunde: Wenn die phonologische Anforderung der Odd-One-Out-Aufgabe ausschlaggebend für ihre Sensitivität gegenüber Hintergrundschall ist, dann sollte der

Irrelevant Sound Effect ausschließlich in der phonologischen Variante auftreten. In der semantischen Variante sind dann keine Leistungseinbußen zu erwarten, da dieser Aufgabentyp keine phonologische Verarbeitung erfordert. Wenn für den beobachteten Effekt in Experiment 1 aber nur eine serielle Strategie ausschlaggebend war, dann sollte der Irrelevant Sound Effect in beiden Varianten auftreten: Ob das Vergleichskriterium phonologischer oder semantischer Natur ist, sollte unerheblich sein.

6.1.1 Methode

6.1.1.1 Teilnehmer

Am Experiment nehmen 24 Erwachsene teil (11 Frauen, 13 Männer). Die Teilnehmer haben einen Altersmedian von 23;0 Jahren, der jüngste Teilnehmer ist 20;4 Jahre, der älteste 26;7 Jahre alt. Alle geben an, Deutsch als Muttersprache zu sprechen und keine Kenntnisse des Koreanischen zu haben. Die Teilnehmer werden mit 7 Euro pro Stunde bar entlohnt.

6.1.1.2 Aufgaben, Stimulusmaterial, Hintergrundschalle und Apparatur

(i) Aufgaben. In Experiment 3 ist die Odd-One-Out-Aufgabe in zwei Varianten zu bearbeiten, die sich hinsichtlich ihres Vergleichskriteriums unterscheiden. Bei der *phonologischen Odd-One-Out-Aufgabe*, die aus Experiment 1 übernommen wurde, sind bildlich präsentierte Wörter hinsichtlich ihres Anlautes zu kategorisieren (Details siehe Abschnitt 4.1.1). Die *semantische Odd-One-Out-Aufgabe* stellt eine Variation dar, bei der die bildlich präsentierte Wörter hinsichtlich ihrer semantischen Zugehörigkeit einzuordnen sind. Wie auch in der phonologischen Variante wird dabei jeweils eine Sequenz von 7 Wörtern präsentiert (z. B. „Bier-Ohr-Hals-Rock-Milch-Schuh-Tisch“). Die Sequenz beinhaltet stets ein Wort, dessen semantische Kategorie nur ein einziges Mal vorkommt (hier: „Odd-One“: „Tisch“ – einziges Möbelstück) – die weiteren Wörter besitzen paarweise dieselbe Kategorie (hier: „Bier-Milch“ – Getränke, „Ohr-Hals“ – Körperteile, „Rock-Schuh“ – Kleidungsstücke). Aufgabe der Teilnehmer ist es, jeweils das Wort herauszufinden, dessen Kategorie in der präsentierten Sequenz nur einmal vorkam und das entsprechende Wort auf dem Antwortbogen zu notieren.

(ii) Stimulusmaterial. Bei den Items handelt es sich um deutsche, einsilbige, bildlich gut darstellbare, Substantiva. Ein Überblick zu den verwendeten Stimuli ist Tab. 15 zu entnehmen.

(iii) Hintergrundschalle. Die Leistung bei den beiden Odd-One-Out-Aufgaben wird jeweils unter drei verschiedenen Schallbedingungen erhoben: Ruhe, einzelner fremdsprachlicher Sprecher und Stimmengewirr. Die Hintergrundschalle werden dabei aus Experiment 1 übernommen.

(iv) Apparatur. Die Versuchsanordnung wird aus Experiment 1 übernommen.

Tab. 15 Übersicht der Stimuli der Odd-One-Out-Aufgabe für die beiden Aufgabenvarianten.

Phonologische Variante		Semantische Variante	
Kategorie	Items	Kategorie	Items
„Z“	Zeh, Zaun, Zopf, Zahn	Getränke	Bier, Saft, Milch, Tee
„B“	Ball, Baum, Bank, Bart	Bekleidung	Hemd, Kleid, Rock, Schuh
„W“	Wal, Wein, Wand, Wurm	Möbel	Tisch, Bett, Schrank, Stuhl
„F“	Fee, Fass, Fisch, Föhn	Transportmittel	Schiff, Floß, Zug, Bus
„H“	Hand, Haus, Herz, Hut	Tiere	Hund, Maus, Reh, Frosch
„Sch“	Schach, Schaum, Schirm, Schal	Körperteile	Ohr, Arm, Hals, Fuß
„K“	Kamm, Kuss, Koch, Kopf	Lebensmittel	Keks, Wurst, Eis Brot

6.1.1.3 Versuchsablauf

Die experimentelle Untersuchung fand vom 10. Januar bis 20. Januar 2012 in ruhig gelegenen Räumen der Technischen Universität Kaiserslautern statt. Die Bearbeitung der Aufgaben erfolgte in Vierergruppen.

Das Experiment beginnt mit der Instruktion des Versuchsablaufs, was mit Hilfe eines standardisierten Textes erfolgt. Dem Teilnehmer werden im Anschluss alle im Versuch vorkommenden Bilder vorgestellt, um Bedeutungsäquivalenz zu gewährleisten. Anschließend bearbeiten die Teilnehmer die Odd-One-Out-Aufgabe in beiden Varianten (phonologisch vs. semantisch) und jeweils unter drei Schallbedingungen (Ruhe, einzelner Sprecher, Stimmengewirr). Die Abfolge der Aufgaben und Schallbedingungen ist über die Versuchsteilnehmer hinweg blockweise nach dem lateinischen Quadrat ausbalanciert, was Reihenfolge- und Positionseffekte verhindert. Pro Schallbedingung werden 8 Sequenzreihen bearbeitet – insgesamt also $8 \times 3 \times 2 = 48$ Folgen.

Weitere, auch technische Details zum Versuchsablauf der Odd-One-Out-Aufgabe mit visueller Itempräsentation (Präsentationszeit der Stimuli, Antwortdauer, Antwortmodus usw.) sind Abschnitt 4.1.1 zu entnehmen, da das Vorgehen in Experiment 3 dem in Experiment 1 entspricht.

6.1.2 Ergebnisse

Die Leistung in beiden Odd-One-Out-Aufgaben wird jeweils durch Summation der korrekt identifizierten „Odd-Ones“ bestimmt. In der phonologischen Variante der Odd-One-Out-Aufgabe erreichen die Teilnehmer unter Ruhe im Mittel $AM=6.21$ ($SD=1.12$), unter Stimmengewirr $AM=5.88$ ($SD=1.33$) und unter dem einzelnen Sprecher $AM=5.08$ ($SD=1.61$). In der semantischen Variante hingegen identifizieren sie unter Ruhe im Mittel $AM=6.38$ ($SD=1.38$) korrekt, im Stimmengewirr $AM=6.33$ ($SD=1.43$) und beim einzelnen Sprecher $AM=6.54$ ($SD=1.08$). Abb. 29 veranschaulicht die mittleren Wiedergabeleistungen (in Rohwertpunkten) der Teilnehmer in Abhängigkeit der Aufgabenvarianten und Schallbedingungen.

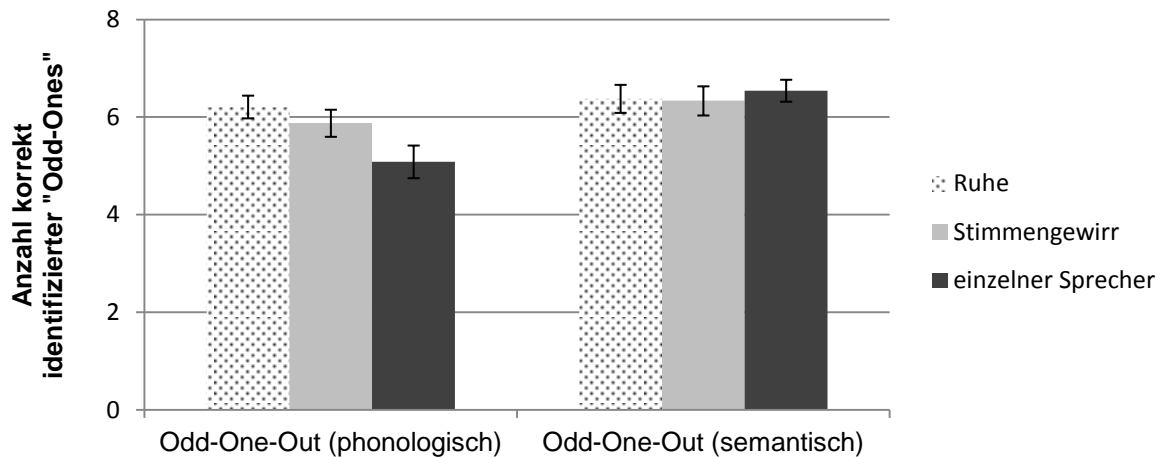


Abb. 29 Mittlere Identifikationsleistung [in Rohwertpunkten; maximal erreichbar: 8] und Standardfehler in den beiden Aufgabenvarianten der Odd-One-Out-Aufgabe in Abhängigkeit der Schallbedingungen.

Zur inferenzstatistischen Analyse werden zunächst die Leistungen in den beiden Ruhebedingungen verglichen, um die Aufgabenschwierigkeit beider Varianten (phonologisch vs. semantisch) zu prüfen. Ein *t-Test für abhängige Stichproben* zeigt keinen signifikanten Unterschied an ($t(23)=-0.51$, $p=.62$), was für eine vergleichbare Schwierigkeit beider Varianten spricht.

Anschließend folgt eine *zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktoren: Aufgabenvariante, 2-stufig; Schallbedingung, 3-stufig). Der abhängige Faktor ist jeweils die Anzahl korrekt identifizierter Odd-Ones. Die Auswertung ergibt Haupteffekte der Faktoren „Aufgabe“ ($F(1, 23)=10.33$, $p<.01$, $\eta_p^2=.310$, $f=0.34$) und „Schall“ ($F(2, 46)=4.33$, $p<.05$, $\eta_p^2=.16$, $f=0.25$), sowie eine Interaktion „Aufgabe*Schall“ ($F(2, 46)=5.17$, $p<.01$, $\eta_p^2=.18$, $f=0.23$), was auf eine unterschiedliche Wirkung des Hintergrundschalls in Abhängigkeit der Aufgabenvariante schließen lässt.

Zur Aufklärung dieser Wechselwirkung werden *einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktor: Schallbedingung, 3-stufig) separat für beide Aufgabentypen, gefolgt von *t-Tests für abhängige Stichproben* durchgeführt. Die Ergebnisse sind wie folgt: Bei Odd-One-Out (phonologisch) ergibt die Analyse einen Haupteffekt „Schall“ ($F(2, 46)=8.26$, $p<.01$, $\eta_p^2=.26$, $f=0.35$), was auf einen Irrelevant Sound Effect schließen lässt. Wie auch in Experiment 1 verursacht das einzelne Sprechen eine reliable Verschlechterung der Identifikationsleistung gegenüber Ruhe ($t(23)=3.58$, $p<.01$, $d=0.75$), während das Stimmengewirr die Leistung unbeeinflusst lässt ($t(23)=1.45$, $p=.49$). Entsprechend der Changing-State-Hypothese ist ein signifikanter Unterschied der Störwirkung zwischen dem einzelnen Sprecher (Changing-State-Schall) und dem Stimmengewirr (Steady-State-Schall) feststellbar ($t(23)=-2.63$, $p<.05$, $d=0.55$). Ein völlig anderes Befundmuster ergibt sich hingegen bei Odd-One-Out (semantisch): In dieser Aufgabenvariante kann kein Haupteffekt „Schall“ ($F(2, 46)=0.39$, $p=.68$) festgestellt werden. Dieser Nulleffekt ist jedoch nicht auf mangelnde Teststärke zurückzuführen: Eine *Teststärkeanalyse* mit einer als inhaltlich relevant erachteten, geschätzten Effektgröße von $f=0.25$ (mittlerer Effekt) ergibt eine Teststärke von $(1-\beta)=.81$.

6.1.3 Diskussion

In Experiment 1 konnte der Irrelevant Sound Effect nicht nur bei der seriellen Behaltensaufgabe, sondern auch bei einem Aufgabentyp beobachtet werden, der kein serielles Erinnern der Gedächtnisitems erfordert (Odd-One-Out-Aufgabe). In diesem Zusammenhang ist aber kritisch zu prüfen, ob der Effekt tatsächlich auf die phonologische Anforderung der Aufgabe zurückzuführen ist, oder ob selbiger nur die Anwendung etwaiger serieller Bearbeitungsstrategien reflektiert. Um diese Alternativen gegeneinander zu prüfen, wurde in Experiment 3 das Vergleichskriterium der Odd-One-Out-Aufgabe variiert (phonologisch vs. semantisch). Folgende Ergebnisse können berichtet werden: Der Irrelevant Sound Effect bei der lautanalytischen Odd-One-Out-Aufgabe konnte repliziert werden (vgl. Experiment 1). Der Effekt wurde jedoch aufgehoben, wenn die Kategorisierung des Stimulusmaterials nicht nach einem phonologischen, sondern nach einem semantischen Kriterium erfolgte. Dies spricht dafür, dass das Phänomen nicht nur auf etwaige serielle Lösungsstrategien zurückzuführen ist, sondern die phonologische Anforderung der Aufgabe selbige lärmsensitiv macht.

Es gibt in der Literatur bereits mehrere Befunde, die ebenfalls darauf schließen lassen, dass sich der Irrelevant Sound Effect über serielle Aufgabentypen hinaus zeigt: So konnte der Effekt zum Beispiel bei Reizwiedererkennungsaufgaben (Stokes & Arnell, 2012), der Missing-Item Aufgabe (LeCompte, 1996; Henson et al., zitiert nach Beaman & Jones, 1998), oder beim Paarassoziationslernen (LeCompte, 1994) nachgewiesen werden (vgl. hierzu Abschnitt 1.2.2). Außerdem hat sich auch die Bedeutung phonologischer Verarbeitungsprozesse beim Irrelevant Sound Effect bereits angedeutet. Mehrere Studien konnten zeigen, dass selbst bei der so lärmsensitiven seriellen Behaltensaufgabe phonologische Prozesse eine zentrale Rolle einnehmen: Bei Bergström und Kollegen (2010) wird die serielle Behaltensaufgabe zunehmend immun gegenüber Hintergrundschall, wenn die phonologische Codierbarkeit des Stimulusmaterials abnimmt. Bei Hanley und Bakopoulou (2003) vermag irrelevantes Hintergrundsprechen die serielle Behaltensleistung nur dann zu mindern, wenn die Versuchsteilnehmer phonologische Strategien nutzen – nicht aber, wenn die Verwendung semantischer Strategien instruiert wurde. Dass phonologische Prozesse stattfinden zeigt sich auch darin, dass Versuchsteilnehmer beispielsweise dazu tendieren, phonologisch ähnliche Wörter (z.B. Reimwörter) zu gruppieren und gemeinsam wiederzugeben (Long & Allen, 1973) oder nicht präsentierte, aber zur Itemliste phonologisch ähnliche Wörter nennen (z.B. „cab“ anstelle von „cat“, Sommers & Lewis, 1999).

Möglicherweise wirken phonologische Prozesse aber nicht nur moderierend, sondern sind per se empfänglich gegenüber der leistungsmindernden Wirkung irrelevanten Hintergrundschalls (vgl. Klatte et al., 2007; Smith & Jonides, 1997). Dieser Ansatz würde möglicherweise auch den ausbleibenden Effekt bei der semantischen Variante der Odd-One-Out-Aufgabe erklären: Diese Aufgabenvariation wäre folglich nicht empfänglich gegenüber der leistungsmindernden Wirkung des Hintergrundschalls, da sie keine phonologische Komponente besitzt. Allerdings ist die Befundlage hierzu noch nicht umfassend genug, um derartige Schlussfolgerungen ziehen zu können. Zwar gibt es mehrere Studien, die den Irrelevant Sound Effect bei semantischen Aufgaben überprüft haben, jedoch differieren diese stark hinsichtlich der geforderten inhaltlichen Verarbeitung (vgl. Abschnitt 1.2.2), was das

Argumentieren erschwert. Der semantischen Odd-One-Out-Aufgabe vermutlich am ähnlichsten sind wohl die *semantic fluency task* (Jones et al., 2012; Marsh & Jones, 2010), bei welcher möglichst vieler Vertreter einer vorgegebenen semantischen Kategorie genannt werden sollen und die *category recall task* (Marsh et al., 2008), bei der der Abruf der Items gemäß ihrer inhaltlichen Kategorie erfolgt. Diese Aufgaben erfordern, ähnlich wie die Odd-One-Out-Aufgabe, die Verarbeitung von Einzelworten auf Kategorieebene. Während der Aufgabenbearbeitung dargebotene, bedeutungslose Sprache hatte ebenfalls keinerlei leistungsmindernde Wirkung (Jones et al., 2012; Marsh & Jones, 2010) oder nur einen kleinen Effekt gegenüber Ruhe (Marsh et al., 2008) – was zur beobachteten Absenz des Irrelevant Sound Effect in der semantischen Variante der Odd-One-Out-Aufgabe passen würde.

Nun zur modelltheoretischen Einbettung der Befunde: Wie sind der zur seriellen Behaltensaufgabe vergleichbare Irrelevant Sound Effect der phonologischen Odd-One-Out-Aufgabe und die nicht feststellbare Leistungsminderung in der semantischen Variante modelltheoretisch einzuordnen?

Im *Working Memory Model* wird der Irrelevant Sound Effect auf modalitätsspezifische Interferenzen zwischen den phonologischen Repräsentationen der Gedächtnisitems und denen des irrelevanten Hintergrundschalls zurückgeführt. Folglich sollte der Irrelevant Sound Effect bei allen Aufgabentypen zu beobachten sein, die eine phonologische Verarbeitung erfordern. Dementsprechend ist der deutliche Irrelevant Sound Effect sowohl bei der klassischen seriellen Behaltensaufgabe als auch bei der phonologischen Odd-One-Out-Aufgabe (vgl. Experiment 1 und 3) zu erwarten. Darüber hinaus sind auch die analogen Befundmuster bei beiden Aufgabentypen theoriekonform (vgl. fehlende Interaktion „Schall*Aufgabe“ in Experiment 1), da die leistungsmindernde Wirkung des Hintergrundschalls auf ein- und denselben Wirkmechanismus zurückgeführt wird (modalitätsspezifische Interferenz). Doch wie ist der ausbleibende Effekt bei der semantischen Variante der Odd-One-Out-Aufgabe im Rahmen des Working Memory Model zu erklären? Rekapitulieren wir zunächst die Anforderungen der semantischen Odd-One-Out-Aufgabe: Zunächst sind die Einzelitems zu memorieren und mithilfe von Langzeitgedächtniswissen einer inhaltlichen Kategorie zuzuordnen. Diese kombinierten Informationen müssen temporär gespeichert und miteinander verglichen werden. Es ist zu vermuten, dass der episodische Speicher eine zentrale Rolle einnimmt, da er die Modellkomponente darstellt, in welcher Informationen verschiedener Quellen integriert, mit Wissen aus dem Langzeitgedächtnis verknüpft und kurzzeitig gespeichert werden (Baddeley, 2000a, 2002, 2003a). Da der Irrelevant Sound Effect im Working Memory Model jedoch auf Interferenzen im phonologischen Speicher zurückgeführt wird und dieser eine eigene, separate Modellkomponente darstellt, ist von keiner Störwirkung in der semantischen Odd-One-Out-Variante auszugehen. Das Working Memory Model vermag das aktuelle Befundmuster demnach gut abzubilden.

Zentral bei der Erklärung des Irrelevant Sound Effect im *Embedded Processes Model* ist die unwillkürliche Orientierungsreaktion auf auditiven Distraktoren, welche selbige – anstelle der Gedächtnisitems – in den Fokus der Aufmerksamkeit vorrücken lässt. Die Höhe des Irrelevant Sound Effect wird dabei durch das Ausmaß bestimmt, in welchem der irrelevante Hintergrundschall Aufmerksamkeitsressourcen an sich zu binden vermag. Das Modell fokussiert demnach auf die Eigenschaften des Hintergrundschalls und nicht auf die konkreten Prozesse, die zur Bearbeitung der

Primäraufgabe nötig sind. Folglich werden auch keine Einschränkungen bezüglich potentiell lärmsensitiver Aufgaben getroffen. Dass es also bei der seriellen Behaltensaufgabe und der phonologischen Odd-One-Out-Aufgabe gleichermaßen zu Leistungseinbußen kommt (vgl. Experiment 1), ist modelltheoretisch zu erwarten. Allerdings sollte auch die Variation des Vergleichskriteriums der Odd-One-Out-Aufgabe (phonologisch vs. semantisch) keinen Einfluss auf das Befundmuster nehmen – der Irrelevant Sound Effect sollte in beiden Varianten gleichermaßen ausgeprägt sein, was den Ergebnissen von Experiment 3 widerspricht.

Im *Feature Model* werden durch irrelevanten Sprachschall verursachte Leistungseinbußen in erster Linie auf eine ähnlichkeitsbasierte Interferenz (*Feature Adoption*) zurückgeführt. Dabei werden modalitätsunabhängige Merkmale der zu erinnernden Items durch die des Sprachschalls teilweise überschrieben (Neath, 1999, 2000). Ein modalitätsunabhängiges Merkmal ist beispielsweise die Zugehörigkeit eines Items zu einer bestimmten Kategorie (Nairne, 1990). Da bei der lautanalytischen Variante der Odd-One-Out-Aufgabe die Zugehörigkeit der Items zu einer phonologischen Kategorie beurteilt werden muss, kann gemäß dem Feature Model ein Irrelevant Sound Effect vermutet werden – was das Befundmuster der Experimente 1 und 3 gut abbildet. Modelltheoretisch schwierig zu beurteilen ist hingegen der absente Irrelevant Sound Effect in der semantischen Variante: Grundsätzlich sollte auch bei diesem Aufgabentyp ein Irrelevant Sound Effect möglich sein – schließlich handelt es sich bei der Bedeutung eines Items um ein explizit genanntes, modalitätsunabhängiges Merkmal, das somit empfänglich für Feature Adoption sein sollte. Allerdings wurde als Hintergrundschall Fremdsprache, also Sprache ohne semantischen Gehalt, verwendet. Ist der absente Effekt der semantischen Odd-One-Out-Aufgabe möglicherweise darauf zurückzuführen, dass Fremdsprache keine ähnlichkeitsbasierte Interferenz bewirken kann? Neben dem Prozess der Feature Adoption wird aber noch ein weiterer, aufmerksamkeitsbasierter Störmechanismus angenommen: Zeitlich variierende Hintergrundgeräusche können demnach eine Doppelbelastung der Aufmerksamkeitsressourcen bewirken, da während der Bearbeitung der Erinnerungsaufgabe gleichzeitig irrelevante Geräusche auszublenden sind. Bei diesem Mechanismus sind keinerlei Einschränkungen auf gewisse Aufgabentypen anzunehmen. Allerdings wirkt selbiger im aktuellen Experiment – welches sprachliche Hintergrundgeräusche verwendete – allenfalls moderierend. Zusammenfassend sind die Ergebnisse der bisherigen Experimente 1 und 3 grundsätzlich als modellkompatibel zu interpretieren, gleichwohl die Ergebnisse der semantischen Odd-One-Out-Aufgabe modelltheoretisch schwierig zu beurteilen sind.

Im klassischen *Object-Oriented Episodic Record Model* wird die leistungsmindernde Wirkung irrelevanten Changing-State-Hintergrundschalls nur dann erwartet, wenn auch die Aufgabenstellung das Changing-State-Kriterium erfüllt, also das Memorieren von Reihenfolgeinformationen erfordert (Jones et al., 2010). Aufgaben, die keine serielle Wiedergabe beinhalten oder keine seriellen Rehearsalstrategien erfordern, sollten demnach nicht gestört werden (Banbury et al., 2001; Jones et al., 2010). Dieser Ansatz greift in Hinblick auf die aktuelle Datenlage definitiv zu kurz: Der Irrelevant Sound Effect bei der Odd-One-Out-Aufgabe hat sich in Experiment 3 erneut bestätigt, wobei serielle Strategien ausgeschlossen werden können. Es ist jedoch möglich, das Resultat mit dem *Prinzip der spezifischen Interferenz* zu erklären (Banbury et al., 2001; Jones et al., 2012; Jones & Tremblay, 2000; Marsh et al., 2008), welches von einer Interdependenz zwischen der Primäraufgabe und den

potentiell störenden Hintergrundschallen ausgeht: “tasks that require memory for serial order are not impaired by the semantic or phonological properties of irrelevant sound; and tasks that require memory for semantic – or phonological-category information, regardless of its presentation order, are disrupted by, respectively, similar semantic or phonological information conveyed by irrelevant sound but not its acoustic attributes.” (Marsh et al., 2008, S. 247). Diesem Ansatz zufolge wäre der, beim einzelnen Hintergrundsprechen beobachtete, Leistungseinbruch bei der phonologischen Odd-One-Out-Aufgabe erwartungskonform – wobei er aber auf dem phonologischen Charakter des Hintergrundschalls fußen würde und nicht auf dessen temporal-spektralen Eigenschaften. Fraglich ist aber, ob dann nicht auch das Stimmengewirr Leistungseinbußen provozieren müsste, da es sich dabei ebenfalls um Sprachschall handelt. Hierbei gilt es jedoch zu bedenken, dass die einzelnen lautlichen Einheiten bei einem aus 80 Personen bestehenden Stimmengewirr derart überlagert sind, dass keine Phoneme mehr herausgehört werden können, weswegen folglich auch keine phonologische Interferenz möglich sein sollte. Nun zur semantischen Variante der Odd-One-Out-Aufgabe: Nach dem Prinzip der spezifischen Interferenz ist nicht von einer Leistungsminderung auszugehen – schließlich kann der fremdsprachliche Hintergrundschall keiner interferierenden semantischen Verarbeitung unterliegen. Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass das Prinzip der spezifischen Interferenz das vorliegende Befundmuster gut abzubilden vermag – genauer überprüft werden könnte die Passung aber noch, indem verständliche Muttersprache mit einbezogen werden würde: In der semantischen Variante sollte Muttersprache, im Gegensatz zu Fremdsprache, einen Irrelevant Sound Effect bewirken können. Jedoch ist zur Erklärung im Rahmen des Prinzips der spezifischen Interferenz auch Kritisches anzumerken: Falls der Irrelevant Sound Effect von anderen Schallparametern als des temporal-spektralen Verlaufs hervorgerufen wird, wird er nach Marsh und Kollegen (Marsh et al., 2008, S. 697), als “qualitatively distinct from that in serial recall” eingestuft. Zur Erklärung des Irrelevant Sound Effect bei der Odd-One-Out-Aufgabe wird somit auf einen anderen Störungsmechanismus rekuriert als bei der seriellen Behaltensaufgabe. In Experiment 1 erwies sich die Störwirkung irrelevanten Hintergrundschalls jedoch bei beiden Aufgabentypen als vergleichbar – was bei zwei getrennten Wirkmechanismen eher unwahrscheinlich, aber nicht unmöglich ist. Allerdings sind bei der Beurteilung von Theorien auch wissenschaftstheoretische Aspekte zu berücksichtigen: Gemäß dem Parsimonitätsprinzip („Ockhams Rasiermesser“) sollen bei der Modellbildung nicht mehr Variablen eingeführt werden als zur Klärung des Sachverhalts nötig.

Zusammenfassung modelltheoretischer Implikationen: Drei Ansätze vermögen – trotz ihrer Verschiedenartigkeit – das Befundmuster grundsätzlich gut zu erklären: Das Prinzip der spezifischen Interferenz nimmt Konflikte zwischen den zur Schall- und Aufgabenbearbeitung nötigen Verarbeitungsprozessen an (*interference by process*). Der Irrelevant Sound Effect in den beiden Aufgabentypen basiert demnach auf zwei qualitativ unterschiedlichen Wirkmechanismen: Ein Konflikt des Seriationsmechanismus´ bei der seriellen Behaltensaufgabe und ein Konflikt phonologischer Prozesse bei der Odd-One-Out-Aufgabe. Das Working Memory Model und das Feature Model rekurren zur Erklärung des Irrelevant Sound Effect hingegen in beiden Aufgabentypen auf die ähnlichkeitsbasierte Interferenz phonologischer Repräsentationen (*interference by content*). In weiteren Experimenten gilt es diese Theorien gegeneinander zu prüfen.

6.2 Experiment 4: Der „Irrelevant Sound Effect“ – ähnlichkeitsbasierte Interferenz oder Konflikt ähnlicher Verarbeitungsprozesse?

In den Experimenten 1 und 3 konnte der Irrelevant Sound Effect bei der klassischen seriellen Behaltensaufgabe und auch bei einer lautanalytischen Aufgabe (Odd-One-Out-Aufgabe, phonologische Variante) festgestellt werden – nicht aber bei einer semantischen Aufgabe (Odd-One-Out-Aufgabe, semantische Variante). Wie in Abschnitt 6.1.3 dargestellt, vermögen drei Modelle das Befundmuster gut zu erklären: Einerseits könnte der Irrelevant Sound Effect auf eine ähnlichkeitsbasierte Interferenz zwischen den Repräsentationen des Schalls und den zu memorierenden Items zurückgeführt werden (*interference by content*). Diese Idee vertreten das *Working Memory Model* sowie das *Feature Model*, wenn auch von unterschiedlichen Grundannahmen ausgehend. Andererseits ist das Resultat auch im Rahmen des *Prinzips der spezifischen Interferenz* interpretierbar (Banbury et al., 2001; Jones et al., 2012; Jones & Tremblay, 2000; Marsh et al., 2008), welches eine Interferenz ähnlicher Prozesse annimmt (*interference by process*): Der Irrelevant Sound Effect wird dabei auf zwei qualitativ unterschiedliche Wirkmechanismen zurückgeführt. In der seriellen Behaltensaufgabe wäre die Leistungsminderung das Resultat interferierender Seriationsprozesse, in der der Odd-One-Out-Aufgabe Ergebnis eines Konflikts phonologischer Verarbeitungsprozesse. Im Vorfeld als weniger geeignet hat sich das *Embedded Processes Model* erwiesen, welches einen rein aufmerksamkeitsbasierten Erklärungsansatz zur Erklärung des Phänomens liefert. Um genauere Aussagen zur Passung der Theorien treffen zu können, sollen die drei vielversprechendsten Ansätze (*Working Memory Model*, *Feature Model* und *Prinzip der spezifischen Interferenz*) in Experiment 4 gegeneinander geprüft werden.

Zentral ist folgende Überlegung: Die eben beschriebenen, grundlegend voneinander abweichenden Vorstellungen des zugrundeliegenden Wirkmechanismus sollten bei den Schallcharakteristika offenkundig werden, die kritisch für die Entstehung und das Ausmaß des Irrelevant Sound Effect sind. Einen Ansatzpunkt bildet der sogenannte *Between-Stream Phonological Similarity Effect* (vgl. Abschnitt 2.2.1), der eine erhöhte Störwirkung bei zur Itemliste phonologisch ähnlichem Distraktormaterial beschreibt. Die Modelle vertreten diesbezüglich nämlich unterschiedliche Sichtweisen:

Wird der Irrelevant Sound Effect als ähnlichkeitsbasierte Interferenz phonologischer Repräsentationen gemäß dem *Working Memory Model* verstanden (Salamé & Baddeley, 1982, 1986, 1987), dann sollte die Erhöhung der phonologischen Ähnlichkeit zwischen dem zu ignorierenden und dem zu memorierenden Material in *beiden* Aufgabenvarianten (Odd-One-Out phonologisch und serielle Behaltensaufgabe) mit einer erhöhten Störwirkung einhergehen, da dem Irrelevant Sound Effect in beiden Aufgabentypen derselbe Störmechanismus zugrundegelegt wird.

Nach dem *Prinzip der spezifischen Interferenz* hingegen sind phonologische Parameter des Hintergrundschalls nur bei solchen Aufgabentypen von Belang, die phonologische Verarbeitungsprozesse erfordern. Die Wechselwirkung zwischen Aufgabe und Schall stellt demnach die entscheidende Komponente dar: “Tasks that require memory for serial order are not impaired by the semantic or phonological properties of irrelevant sound [...]; and tasks that require memory for

semantic- or phonological-category information, regardless of its presentation order, are disrupted by, respectively, similar semantic or phonological information conveyed by irrelevant sound but not its acoustic attributes.” (Marsh et al., 2008, S. 247). Dementsprechend ist ein Between-Stream Phonological Similarity Effect nur bei der lautanalytischen Odd-One-Out-Aufgabe, nicht aber bei der seriellen Behaltensaufgabe zu erwarten.

Im *Feature Model* wiederum wird die phonologische Ähnlichkeit des Hintergrundschalls grundsätzlich als irrelevant betrachtet: Zunächst erfolgt die Präsentation der relevanten Merkmale des Hintergrundprechens nicht synchron zu den entsprechenden Merkmalen der Gedächtnisitems und außerdem wird stets nur eine Teilmenge der Merkmale des irrelevanten Hintergrundschalls in die Repräsentationen der zu memorierenden Items implementiert. Deswegen wird angenommen, dass bei phonologisch ähnlichem, wie auch unähnlichem Schall eine vergleichbare Anzahl von Merkmalen übernommen wird (Neath, 2000). Ein Between-Stream Phonological Similarity Effect wird demnach bei *keiner* der beiden Aufgaben vermutet.

Die beschriebenen Modelle differieren also hinsichtlich ihrer Vorhersagen bezüglich der Existenz des Between-Stream Similarity Effect, weswegen selbiger sich gut für den Theorievergleich eignet. Diese Operationalisierung ist auch insofern vielversprechend, als dass es abseits modelltheoretischer Aspekte auch zum Phänomen selbst noch offene Fragen gibt (vgl. hierzu Abschnitt 2.2.1).

6.2.1 Methode

6.2.1.1 Teilnehmer

Bei den Teilnehmern der experimentellen Untersuchung handelt es sich um 60 Studierende deutscher Muttersprache der TU Kaiserslautern (27 Frauen, 33 Männer). Sie weisen einen Altersmedian von 23;9 Jahren bei einer Spannweite von 19;7 bis 30;0 Jahren auf. Die Teilnehmer werden mit 7 Euro pro Stunde bar entlohnt.

6.2.1.2 Aufgaben, Stimulusmaterialien, Hintergrundschalle und Apparatur

(i) Aufgaben. Die Versuchsteilnehmer sollen während der Darbietung von irrelevantem Hintergrundschall eine von zwei unterschiedlichen Aufgabentypen bearbeiten (Zwischensubjektfaktor): Entweder die *serielle Behaltensaufgabe*, bei welcher die serielle Abfolge von sieben unverbundenen, bildlich präsentierten Items zu memorieren ist – oder die *phonologische Odd-One-Out-Aufgabe*, bei der dieselben Stimuli hinsichtlich ihres Anlautes zu kategorisieren sind. Weitere Details zu den Aufgaben können Experiment 1 entnommen werden (siehe Abschnitt 4.1.1).

(ii) Stimulusmaterial. Bei den Items handelt es sich um deutsche, einsilbige, phonologisch unähnliche, bildlich gut darstellbare Substantiva mit Konsonant-Vokal-Konsonant-Struktur: Zaun, Zopf, Zahn, Zeh, Kamm, Kuss, Koch, Kopf, Ball, Baum, Bank, Bart, Mann, Maus, Meer, Mohn, Fee Fass, Fisch, Fach, Tal, Tee, Tisch, Topf, Schach, Schaum, Schaf, Schal. Aus diesen Items wird eine Trialliste erstellt, die bei beiden Aufgaben eingesetzt wird.

(iii) Hintergrundschalle. Die Leistung bei der seriellen Behaltensaufgabe bzw. der phonologischen Odd-One-Out-Aufgabe wird unter drei verschiedenen Schallbedingungen erhoben: Ruhe, phonologisch ähnlicher Hintergrundscharll und phonologisch unähnlicher Hintergrundscharll. Dabei kommt der Erstellung des Hintergrundscharlls besondere Aufmerksamkeit zu. Ziel ist es, für jedes Trial Hintergrundscharll mit maximaler phonologischer Ähnlichkeit bzw. Unähnlichkeit zu generieren, den Changing-State-Charakter dabei aber konstant zu halten. Dazu wird wie folgt vorgegangen: Zunächst erfolgt für jedes Trial separat die Auswahl von 8 dazu ähnlichen und 8 unähnlichen Lauten (je 2 Vokale und 6 Konsonanten), aus welchen Pseudowörter konstruiert werden. In der phonologisch ähnlichen Bedingung handelt es sich um die beiden häufigsten Vokale des Trials, um die 4 Anlaute sowie 2 weitere, häufige Konsonanten des Trials. In der phonologisch unähnlichen Bedingung werden Vokale verwendet, die hinsichtlich Vokalqualität und -quantität maximale Unähnlichkeit zu den im Trial vorkommenden Vokalen aufweisen. Bei den Konsonanten wird dies durch die Auswahl von Konsonanten unterschiedlicher Artikulationsart, Stimmhaftigkeit und variierendem Artikulationsort umgesetzt. Aus den gewählten Lauten werden anschließend Pseudowörter mit Konsonant-Vokal-Konsonant-Struktur kreiert (6 phonologisch ähnliche, 6 phonologisch unähnliche; jeweils 3 pro Inlaut). Zur Veranschaulichung des Vorgehens ist Tab. 16 ein Beispiel zu entnehmen.

Die Hintergrundscharlle bestehen aus den Audioaufnahmen einer einzelnen, weiblichen Sprecherin, die die ähnlichen bzw. unähnlichen Pseudowörter in randomisierter Abfolge mit stets wechselndem Inlaut spricht. Pseudowörter mit kurzem Vokal weisen eine Länge von 500ms auf, Pseudowörter mit langem Vokal 600ms. Zwischen zwei Pseudowörtern gibt es 150ms Pause. Die Aufnahmen weisen keinen Nachhall und keine nennenswerten Veränderungen in Lautstärke und Intonation auf. Die durchschnittliche Präsentationslautstärke (L_{eq}) wird nach Messung mit o.g. Apparatur und Vorgehen auf 57 dB(A) festgesetzt (siehe hierzu Abschnitt 4.1.1). In der Ruhebedingung wird keinerlei Hintergrundscharll dargeboten, die Kopfhörer werden aus Gründen der Vergleichbarkeit dennoch getragen.

Tab. 16 Beispiel zur Veranschaulichung des Vorgehens zur Bildung phonologisch ähnlichen bzw. unähnlichen Hintergrundscharlls.

Trial: Kamm – Tee – Schach – Zeh – Schaum – Koch – Zahn		
	phonologisch ähnlich	phonologisch unähnlich
Vokale	[a], [e:]	[i], [u:]
Konsonanten	[k], [ʃ], [ts], [t], [m], [ç]	[b], [d], [f], [l], [p], [v]
Pseudowörter	zach, schack, kach, teem, zeem, scheet	biff, piff, wipp, wuhb, buhl, duhl
Scharll	zach-teem-schack-zeem-kach-scheet-...	biff-wuhb-piff-buhl-wipp-duhl-...

(iv) Apparatur. Die Versuchsapparatur wird aus den vorherigen Experimenten übernommen (siehe hierzu Abschnitt 4.1.1).

6.2.1.3 Versuchsablauf

Die experimentelle Untersuchung fand vom 15. Oktober bis 19. Oktober 2012 in einem ruhig gelegenen Raum der Technischen Universität Kaiserslautern statt. Die Bearbeitung der Aufgaben erfolgte in Vierergruppen.

Das Experiment beginnt mit der Instruktion des Versuchsablaufs, was mit Hilfe eines standardisierten Textes erfolgt. Den Teilnehmern werden im Anschluss alle im Versuch vorkommenden Bilder vorgestellt, um Bedeutungsäquivalenz zu gewährleisten. Anschließend bearbeiten die Teilnehmer entweder die serielle Behaltensaufgabe oder die Odd-One-Out-Aufgabe (phonologisch) unter drei verschiedenen Schallbedingungen (Ruhe, phonologisch ähnlicher Hintergrundscharll, phonologisch unähnlicher Hintergrundscharll). Die Abfolge der Schallarten ist über die Versuchsteilnehmer hinweg blockweise nach dem lateinischen Quadrat ausbalanciert. Dadurch werden Reihenfolge- und Positionseffekte verhindert. Die Variation der Aufgaben erfolgt zwischen den Versuchsteilnehmern. Pro Schallbedingung werden 20 Sequenzreihen bearbeitet – insgesamt also $20 \times 3 = 60$ Folgen.

Weitere, technische Details zum Versuchsablauf der seriellen Behaltensaufgabe bzw. der Odd-One-Out-Aufgabe (phonologisch) mit visueller Itempräsentation (z.B. Präsentationszeit der Stimuli, Antwortdauer, Antwortmodus usw.) sind Abschnitt 4.1.1 zu entnehmen, da das Vorgehen in Experiment 4 dem in Experiment 1 für die Altersgruppe der Erwachsenen entspricht.

6.2.2 Ergebnisse

Im Folgenden wird die Leistung in der seriellen Behaltensaufgabe bzw. der Odd-One-Out-Aufgabe unter den verschiedenen Schallbedingungen statistisch betrachtet, um den Einfluss der verschiedenen Hintergrundbedingungen zu klären. Dies erfolgt zunächst getrennt für beide Aufgabentypen. Anschließend folgt der Vergleich der beiden Aufgaben.

6.2.2.1 Serielle Behaltensaufgabe

Die Anzahl korrekt wiedergegebener Items wird durch Summation der an jeder Position richtig erinnerter Items gebildet. Die mittlere Wiedergabeleistung beträgt dabei unter Ruhe $AM=104.16$ ($SD=24.41$), unter phonologisch ähnlichem Hintergrundscharll $AM=90.71$ ($SD=24.73$) und unter phonologisch unähnlichem Hintergrundscharll $AM=94.58$ ($SD=21.00$). Eine Veranschaulichung der Ergebnisse, unter Berücksichtigung der seriellen Position, ist Abb. 30 zu entnehmen.

Zur inferenzstatistischen Analyse von Schall- und Positionseffekten folgt eine *zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktoren: Schallbedingung, 3-stufig; Position, 7-stufig). Der abhängige Faktor ist die Wiedergabeleistung. Die Auswertung ergibt einen Haupteffekt „Schall“, was auf einen deutlichen Irrelevant Sound Effect schließen lässt ($F(2, 60)=14.38$, $p<.01$, $\eta_p^2=.32$, $f=0.23$). Weiterhin zeigt sich ein, für Aufgaben der seriellen Wiedergabe typischer Haupteffekt „Position“ ($F(6, 180)=33.94$, $p<.01$, $\eta_p^2=.53$, $f=0.31$) aber keine Interaktion ($F(12, 360)=1.99$, $p=.08$).

Der beobachtete Haupteffekt „Schall“ wird mittels dreier *gepaarter t-Tests* weiter aufgeklärt. Dabei werden die mittleren Wiedergabeleistungen der Schallbedingungen paarweise miteinander verglichen.

Dabei führen sowohl phonologisch ähnlicher als auch phonologisch unähnlicher Hintergrundschaal zu einer reliablen Verschlechterung der Wiedergabeleistung im Vergleich zu Ruhe ($t(30)=5.21$, $p<.01$, $d=0.95$; $t(30)=3.84$, $p<.01$, $d=0.70$), wohingegen zwischen dem phonologisch ähnlichen und unähnlichen Schall keine Leistungsunterschiede feststellbar sind ($t(30)=-1.45$, $p=.16$).

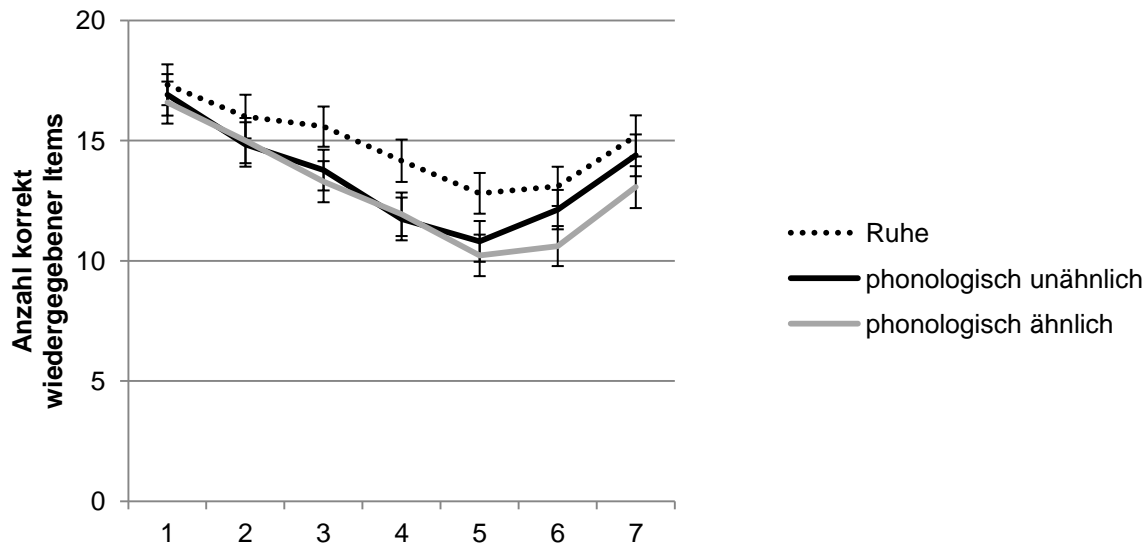


Abb. 30 Wirkung irrelevanter Sprache auf das serielle Behalten visueller Items bei Erwachsenen. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt wiedergegebenen Items in Abhängigkeit der Schallbedingung je Serienposition.

6.2.2.2 Odd-One-Out-Aufgabe (phonologisch)

Die Leistung in der Odd-One-Out-Aufgabe wird durch Summation der korrekt identifizierten „Odd-Ones“ bestimmt. Die mittlere Identifikationsleistung beträgt dabei unter Ruhe $AM=15.62$ ($SD=3.36$), unter phonologisch ähnlichem Hintergrundschaal $AM=13.17$ ($SD=4.23$) und unter phonologisch unähnlichem Hintergrundschaal $AM=13.69$ ($SD=4.35$). Eine Veranschaulichung der Ergebnisse ist Abb. 31 zu entnehmen.

Zur inferenzstatistischen Analyse von Schalleffekten folgt eine *einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktor: Schallbedingung, 3-stufig). Der abhängige Faktor ist die Identifikationsleistung. Die Auswertung ergibt einen Haupteffekt „Schall“, was auf einen Irrelevant Sound Effect schließen lässt ($F(2, 56)=6.74$, $p<.01$, $\eta_p^2=.19$, $f=0.27$). Dieser Haupteffekt wird mittels dreier *gepaarter t-Tests* weiter aufgeklärt. Dabei werden die mittleren Wiedergabeleistungen der Schallbedingungen paarweise miteinander verglichen. Dabei führen sowohl phonologisch ähnlicher als auch phonologisch unähnlicher Hintergrundschaal zu einer reliablen Verschlechterung der Wiedergabeleistung im Vergleich zu Ruhe ($t(28)=4.19$, $p<.01$, $d=0.79$; $t(28)=2.79$, $p<.05$, $d=0.53$), wohingegen zwischen dem phonologisch ähnlichen und unähnlichen Schall keine Leistungsunterschiede feststellbar sind ($t(28)=-0.64$, $p=.53$).

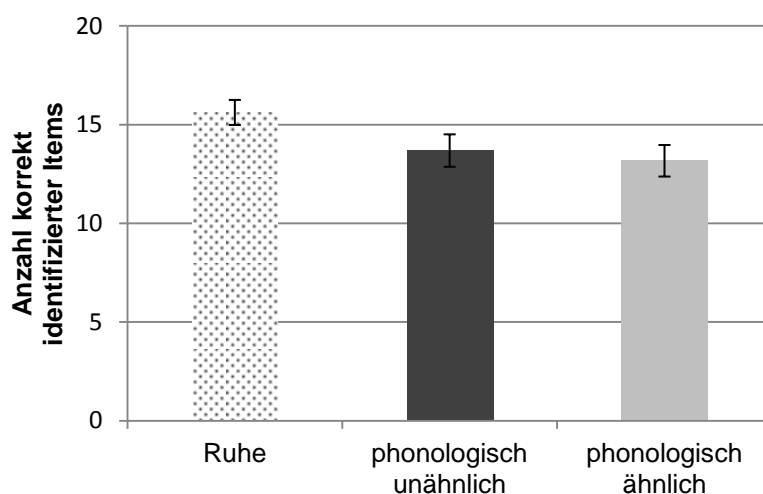


Abb. 31 Wirkung irrelevanter Sprache auf die Odd-One-Out-Aufgabe bei Erwachsenen. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der korrekt identifizierten Items in Abhängigkeit der Schallbedingung je Serienposition.

6.2.2.3 Aufgabenvergleich

Im letzten Analyseschritt wird geprüft, ob es zwischen den beiden Aufgabentypen serielle Behaltensaufgabe und Odd-One-Out-Aufgabe (phonologisch) unterschiedliche Befundmuster zu verzeichnen gibt oder ob sie gleichermaßen sensitiv gegenüber der Störwirkung durch Hintergrundschall sind. Dazu werden die Leistungen in den verschiedenen Aufgaben gemäß dem in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Verfahren standardisiert. Die durchschnittliche Ruheleistung wird dabei in beiden Aufgabentypen auf $AM=0.00$ ($SD=1.00$) festgelegt. Die Leistungsver schlechterung unter Hintergrundschall kann dadurch in Einheiten der Standardabweichung angegeben werden, was die Vergleichbarkeit der Daten über die Aufgaben hinweg erlaubt. In der seriellen Behaltensaufgabe verschlechtern sich die Teilnehmer unter dem phonologisch ähnlichen Hintergrundschall im Mittel um $AM=0.55$ ($SD=1.01$) gegenüber der Ruheleistung, unter dem phonologisch unähnlichen Hintergrundschall im Mittel um $AM=0.39$ ($SD=0.86$). In der Odd-One-Out-Aufgabe verschlechtern sich die Teilnehmer unter dem phonologisch ähnlichen Hintergrundschall im Mittel um $AM=0.73$ ($SD=1.26$) gegenüber der Ruheleistung, unter dem phonologisch unähnlichen Hintergrundschall im Mittel um $AM=0.58$ ($SD=1.30$). Veranschaulicht wird dies in Abb. 32.

Anschließend wird zur inferenzstatistischen Analyse eine *zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktor: Schall, 3-stufig; Zwischensubjektfaktor: Aufgabe, 2-stufig) durchgeführt. Der abhängige Faktor ist die Leistungsver schlechterung gegenüber Ruhe (in SD). Wie zu erwarten war, ergibt sich ein Haupteffekt „Schall“ ($F(2, 116)=15.62$, $p<.01$, $\eta_p^2=.21$, $f=0.24$). Es kann aber kein Haupteffekt „Aufgabe“ ($F(1, 58)=0.13$, $p=.72$) festgestellt werden. Ebenso gibt es keine signifikante Interaktion „Aufgabe*Schall“ ($F(2, 116)=0.42$, $p=.66$) – der Irrelevant Sound Effect scheint somit in beiden Aufgabentypen in vergleichbarem Ausmaß vorzuliegen. Dieses Resultat ist jedoch nicht auf mangelnde Teststärke zurückzuführen: Eine *Teststärkeanalyse* mit einer als inhaltlich

relevant erachteten, geschätzten Effektgröße von $f=0.25$ (mittlerer Effekt) ergibt eine Teststärke von $(1-\beta)=.99$.

Da aufgrund heterogener Varianzen (angezeigt durch einen signifikanten Levene-Test) die Gültigkeit des *F*-Tests jedoch in Frage zu stellen ist, wird zur Analyse des Faktors „Aufgabe“ zusätzlich der *Kruskal-Wallis-Test* eingesetzt, welcher aber das berichtete Befundmuster bestätigt (Ruhe: $\chi^2(1)=0.01$, $p=.91$; phonologisch ähnlicher Schall: $\chi^2(1)=0.01$ $p=.94$; phonologisch unähnlicher Schall: $\chi^2(1)=0.02$, $p=.89$). Der Faktor „Schall“ wurde bereits in nach Aufgaben getrennten Analysen näher betrachtet.

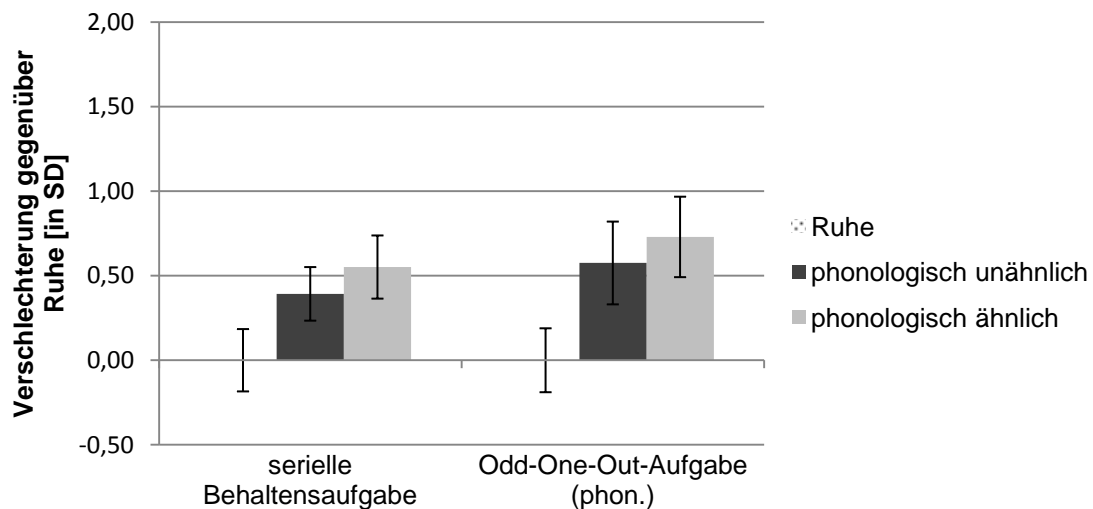


Abb. 32 Mittlere Leistungsverschlechterung und Standardfehler bei Hintergrundlärm gegenüber der Ruheleistung [in Standardabweichungen] in Abhängigkeit des Aufgabentyps und des Hintergrundschalls.

6.2.3 Diskussion

Experiment 4 soll die, dem Irrelevant Sound Effect bei der seriellen Behaltensaufgabe und der phonologischen Odd-One-Out-Aufgabe zugrundeliegenden Wirkmechanismen näher untersuchen. Während das *Working Memory Model* und das *Feature Model* bei beiden Aufgaben gleichermaßen auf ähnlichkeitsbasierte Interferenz rekurren, nimmt das *Prinzip der spezifischen Interferenz* zwei qualitativ verschiedene, prozessbasierte Störmechanismen für die Aufgaben an. Der Theorievergleich erfolgt mithilfe des *Between-Stream Phonological Similarity Effect*, da die beschriebenen Arbeitsgedächtnismodelle diesbezüglich unterschiedliche Annahmen treffen: Das Working Memory Model vermutet einen Between-Stream Phonological Similarity Effect in beiden Aufgabentypen, das Prinzip der spezifischen Interferenz nur bei der Odd-One-Out-Aufgabe und das Feature Model in keiner der beiden Aufgaben.

Folgende Ergebnisse können berichtet werden: (i) In beiden Aufgaben ist ein vergleichbarer Irrelevant Sound Effect zu beobachten: Die Hintergrundschalle bewirken ähnliche Leistungsminderungen gegenüber Ruhe. (ii) Der Between-Stream Phonological Similarity Effect, also eine stärkere Störwirkung des phonologisch ähnlichen im Vergleich zum phonologisch unähnlichen Hintergrundschaall, konnte jedoch in keiner der beiden Aufgaben festgestellt werden.

In den kommenden Abschnitten erfolgt zunächst eine Einordnung der Befunde in den bisherigen Forschungsstand, anschließend werden die modelltheoretischen Implikationen diskutiert.

(i) Vergleichbarer Irrelevant Sound Effect in beiden Aufgaben. Zunächst ist festzuhalten, dass erneut keine signifikanten Unterschiede im Befundmuster zwischen der seriellen Behaltensaufgabe und der lautanalytischen Odd-One-Out-Aufgabe festzustellen waren (vgl. Experiment 1). Da dieses Resultat nicht auf mangelnde Teststärke zurückzuführen ist, ist davon auszugehen, dass Hintergrundschall auf beide Aufgabentypen in analoger Weise wirkt. Dies bevorzugt das Working Memory Model sowie das Feature Model, die zur Erklärung der Störwirkung des Hintergrundschalls bei beiden Aufgabentypen auf ein und denselben Wirkmechanismus rekurren. Die Annahme zweier qualitativ unterschiedlicher Störmechanismen, wie es das Prinzip der spezifischen Interferenz vorschlägt, erscheint eher unwahrscheinlich und ist, nicht zuletzt aus wissenschaftstheoretischen Gründen, in Frage zu stellen (vgl. hierzu Abschnitt 6.1.3).

(ii) Kein feststellbarer Between-Stream Phonological Similarity Effect. Das Experiment reiht sich in die lange Liste von Studien ein, die – im Gegensatz zu Salamé und Baddeley (1982) sowie Eagan und Chein (2012) – keinen Between-Stream Phonological Similarity Effect bei der *seriellen Behaltensaufgabe* feststellen konnten (Bell et al., 2010b; Bridges & Jones, 1996; Buchner et al., 1996; Graf et al., 2002; Hughes & Jones, 2005; Jones & Macken, 1995a; Larsen et al., 2000; LeCompte & Shaibe, 1997; Marsh et al., 2008). Wie ist diese Befundlage zu interpretieren? Im Grunde genommen gibt es nur zwei Deutungsmöglichkeiten: Entweder sind gewisse methodische Aspekte der Experimente, die keinen Nachweis erbringen konnten, für den Nulleffekt verantwortlich – oder die Existenz des Between-Stream Phonological Similarity Effect ist in Frage zu stellen.

Zunächst zu möglichen methodischen Ursachen. Eagan und Chein (2012) zufolge ist der zumeist absente Effekt der Wahl des Stimulusmaterials geschuldet: Sie argumentieren, das Problem vieler Studien sei nicht, dass die „phonologisch ähnlich“-Bedingungen nicht ähnlich genug wären – sondern vielmehr, dass die „unähnlich“-Bedingung nicht verschieden genug seien. Darüber hinaus reiche es nicht aus, nur die Beziehung zwischen den zeitgleich präsentierten zu erinnernden und zu ignorierenden Stimuli zu beachten. Da Rehearsalprozesse Wechselwirkungen zwischen allen Items bedingen könnten, sei die phonologische Ähnlichkeit bzw. Unähnlichkeit auf Basis der gesamten Listen zu beurteilen. Derartige Überlegungen werden in der aktuellen Studie jedoch berücksichtigt: Für jedes Trial wurde ein eigens dazu phonologisch ähnlicher bzw. unähnlicher Hintergrundschall konstruiert. Der unähnliche Hintergrundschall setzt sich aus Pseudowörtern zusammen, deren Vokale hinsichtlich Vokalqualität und -quantität maximale Unähnlichkeit zu den im gesamten Trial verwendeten aufweisen. Bei der Auswahl der Konsonanten wurde auf möglichst unterschiedliche Artikulationsart, Stimmhaftigkeit und einen variierenden Artikulationsort geachtet. Diese Methode ist mit der von Eagan und Chein (2012) vergleichbar. Das in der aktuellen Studie genutzte Stimulusmaterial sollte demnach „unähnlich“ genug sein, um einen Between-Stream Phonological Similarity Effect – sollte er existieren – nachzuweisen.

Als weitere potentielle Ursache für den absenten Between-Stream Phonological Similarity Effect bisheriger Studien ist die verwendete Listenlänge anzuführen. Bereits mehrfach konnte eine

Wechselwirkung zwischen der Listenlänge und dem phonologischen Ähnlichkeitseffekt (verminderte Behaltensleistung bei phonologisch ähnlichem Material; vgl. Abschnitt 1.2.1) nachgewiesen werden: Während sich das Phänomen bei Listen von 5 bis 7 Items deutlich zeigt, ist dies bei Listenlängen über 8 nicht der Fall (Baddeley, 1966b, 1986; Larsen & Baddeley, 2003; vgl. auch Baddeley, 2000b; Gisselgard et al., 2004). Ursächlich ist wohl ein Strategiewechsel: Wenn Teilnehmer dauerhaft Probleme bei der korrekten Wiedergabe haben (z.B. weil die Sequenzlänge die Gedächtnisspanne deutlich übersteigt), verwerfen sie phonologische Memorierungsstrategien zugunsten alternativer, „langlebigerer“ Merktechniken, z.B. semantischer Art (vgl. Baddeley, 2000b). Wenn aber bei längeren Sequenzen *innerhalb* einer Liste kein Effekt der phonologischen Ähnlichkeit mehr auftritt (phonologischer Ähnlichkeitseffekt), dann sicherlich auch nicht *zwischen* den Listen (Between-Stream Phonological Similarity Effect). Für die aktuelle Studie ist dieser Ansatzpunkt doch ebenfalls unzutreffend: Zunächst wurde eine Sequenzlänge von nur 7 Items verwendet und darüber hinaus liegt die Ruheleistung der Teilnehmer bei 78.10% (Odd-One-Out-Aufgabe) bzw. bei 74.40% (serielle Behaltensaufgabe) – also weit von einem Bodeneffekt, der zum Strategiewechsel anregen würde, entfernt.

Welche weiteren methodischen Erklärungsmöglichkeiten gibt es? Eagan und Chein (2012) verwendeten als Distraktormaterial, ebenso sowie Salamé und Baddeley (1982), Wörter – keine Pseudowörter, wie die vorliegende Arbeit. Da beim Between-Stream Phonological Similarity Effect aber phonologische und nicht lexikalische Aspekte im Vordergrund stehen, sollte dieser Umstand keinen Einfluss nehmen.

Methodische Aspekte scheinen daher eher nicht für den absenten Between-Stream Phonological Similarity Effect der aktuellen Studie verantwortlich zu sein. Doch auch testtheoretische Argumente sind unwahrscheinlich: An der aktuellen Studie nahmen zwar weniger Probanden teil als in den beiden Experimenten von Eagan und Chein (2012) (N=31 bei der seriellen Behaltensaufgabe – im Vergleich zu N=40 in Exp. 1 bzw. N=32 in Exp. 2), dafür bearbeiteten sie in der aktuellen Studie die deutlich höhere Anzahl an Trials (20 Trials/Schall – im Vergleich zu 4 Trials/Schall in Exp. 1 bzw. 8 Trials/Schall in Exp.2). Zur Aufdeckung eines Effekts in der von Eagan und Chein (2012) berichteten Größenordnung (gewichtetes durchschnittliches $d=0.75$) ist die aktuelle Teststärke mit $(1-\beta)=.98$ aber sicher ausreichend. Somit ist die Existenz des Between-Stream Phonological Similarity Effect bei der seriellen Behaltensaufgabe grundsätzlich in Frage zu stellen. Möglicherweise reflektieren die beiden Studien, die das Phänomen nachweisen konnten (Eagan & Chein, 2012; Salamé & Baddeley, 1982), einen Fehler 1. Art? Bemerkenswert ist jedenfalls, dass Jones und Macken (1995a, Exp. 2) sowie LeCompte und Shaibe (1997, Exp. 5) den Effekt nicht replizieren konnten, obwohl sie dasselbe Stimulusmaterial wie Salamé und Baddeley (1982) verwendeten. Insgesamt spricht das Befundmuster somit dafür, die Existenz des Between-Stream Phonological Similarity Effect bei der seriellen Behaltensaufgabe eher zu negieren.

Bei der lautanalytischen *Odd-One-Out-Aufgabe* ergibt sich ein analoges Bild: Auch bei dieser Aufgabe scheint die phonologische Ähnlichkeit zwischen Hintergrundschaall und Itemliste keinen Einfluss auf die Störwirkung zu nehmen. Die Einordnung des Ergebnisses in den bisherigen Forschungsstand muss an dieser Stelle jedoch entfallen: Soweit bekannt gibt es bislang keine weiteren Studien, die den

Between-Stream Phonological Similarity Effect bei Aufgaben mit phonologischen Anforderungen (z.B. Reimaufgaben, Buchstaben-Ziffern-Folge-Aufgabe o.Ä.) untersucht hätten. Weitere Forschung in diesem Bereich ist daher wünschenswert – nicht zuletzt um das eigene Resultat besser einschätzen zu können. Derzeit sprechen die Ergebnisse aber gegen einen Between-Stream Similarity Effect bei der Odd-One-Out-Aufgabe.

Ob methodische Aspekte für das Ergebnis verantwortlich sind kann aufgrund des mangelnden Vergleichs mit ähnlichen Studien nicht ausgeschlossen werden. Da aber davon auszugehen ist, dass bei der Operationalisierung ähnliche Punkte zu berücksichtigen sind wie bei der seriellen Behaltensaufgabe, ist dies eher unwahrscheinlich – schließlich sind die Triallisten und Hintergrundschalle dieselben, die auch in der seriellen Behaltensaufgabe eingesetzt wurden.

Nun zu den modelltheoretischen Implikationen der Resultate. Wie eingangs beschrieben, sollte die Erhöhung der phonologischen Ähnlichkeit zwischen dem zu ignorierenden und dem zu memorierenden Material gemäß dem *Working Memory Model* (Salamé & Baddeley, 1982, 1986, 1987) in *beiden* Aufgabenvarianten mit einer erhöhten Störwirkung einhergehen. Dies fußt auf der Schlüsselannahme des Modells, dass die Repräsentationen innerhalb des phonologischen Speichers als Funktion ihrer Ähnlichkeit miteinander interferieren. Die Abwesenheit eines Between-Stream Phonological Similarity Effect in beiden Aufgabentypen ist daher problematisch für den Ansatz. Bestrebungen, das Working Memory Model mit dem absenten Ähnlichkeitseffekt kompatibel zu machen, mündeten in folgenden beiden Überlegungen (vgl. Larsen & Baddeley, 2003): Zunächst könnte die Störwirkung – wie von Neath (2000) vorgeschlagen – auf der Ebene von Features anstelle der Items selbst stattfinden, aber angenommen werden, dass solche Features auf Phonem- oder Silbenebene operieren. Welche Auswirkungen hätte dies? Gesetzt den Fall, es ist eine phonologisch ähnliche Sequenz (z.B. g, b, c, d, ...) zu memorieren während Reimwörter als Hintergrundschall präsentiert werden (z.B. Tee, Fee, Klee, See usw.). Die zu erwartende Störwirkung wäre vergleichsweise klein, da die phonemspezifische Interferenz am redundanten Vokal ansetzen würde (Larsen & Baddeley, 2003). Alternativ könnte von separaten Item- und Ordnungsmechanismen in der phonologischen Schleife ausgegangen werden (Baddeley, 2003b): Irrelevante Sprache könnte dann die Repräsentationen beeinflussen, die die Reihenfolge des Eintreffens im phonologischen Speicher codieren – nicht die Itemspuren selbst (Larsen et al., 2000, zit. nach Eagan & Chein, 2012). Dadurch wäre der Irrelevant Sound Effect aber, ähnlich wie im Object-Oriented Episodic Record Model, Resultat gestörter Reihenfolgeinformationen (Little et al., 2010). Es kann festgehalten werden, dass sich die Arbeitsgruppe um Baddeley zwar des modelltheoretischen Problems bewusst ist, das der absente Between-Stream Phonological Similarity Effect mit sich bringt und selbiges auch eine kritische Auseinandersetzung mit dem eigenen Modell bewirkt hat. Bislang konnten Baddeley und Kollegen meines Wissens aber keine überzeugende Argumentationslinie darlegen, wie der Befund schlüssig in ihren Ansatz integriert werden könnte – was, zugegebenermaßen nicht allzu sehr verwundert – sind doch Schlüsselannahmen betroffen. Folglich wird der absente Between-Stream Phonological Similarity Effect aber nach wie vor als Beleg gegen das Working Memory Model verstanden (Little et al., 2010).

Das *Prinzip der spezifischen Interferenz* geht von einer Wechselwirkung zwischen der Primäraufgabe und den potentiell störenden Schallen aus. Die Absenz des Between-Stream Phonological Similarity Effect bei der seriellen Behaltensaufgabe ist daher modellkonform: Da bei der seriellen Behaltensaufgabe die Aufrechterhaltung von Reihenfolgeinformationen zentral ist, bildet der temporal-spektrale Verlauf des Hintergrundschalls die entscheidende Größe. Der Changing-State-Gehalt der in der Studie verwendeten phonologisch ähnlichen und der phonologisch unähnlichen Hintergrundbedingung ist jedoch vergleichbar. Dementsprechend werden auch ähnliche Behaltensleistungen erwartet. Doch wie sind die Ergebnisse der Odd-One-Out-Aufgabe zu interpretieren? In diesem Zusammenhang ist zunächst einmal auf einen Kritikpunkt des Prinzips der spezifischen Interferenz hinzuweisen – es birgt die Gefahr von Zirkelargumentationen: Bewirkt ein gewisser Schall bei einer bestimmten Aufgabe Leistungsminderungen, wird auf die Beanspruchung ähnlicher Verarbeitungsprozesse rekurriert; stört ebendieser Schall nicht, war die Ähnlichkeit der von Schall und Aufgabe benötigten Verarbeitungsprozesse wohl nicht weitreichend genug. Die Theorie ist so kaum falsifizierbar. Umso wertvoller sind die Ergebnisse der Odd-One-Out-Aufgabe: Die Notwendigkeit phonologischer Prozesse bei der lautanalytischen Aufgabe ist unbestritten – ohne die Beteiligung des phonologischen Vergleichs ist sie schlicht nicht lösbar. Darüber hinaus konnte in Experiment 4 nachgewiesen werden, dass vermutlich phonologische Prozesse selbst (nicht etwaige serielle Behaltensstrategien) die Lärmsensitivität bewirken. Bei der lautanalytischen Aufgabe nehmen phonologische Prozesse demnach eine entscheidende Rolle ein, weswegen phonologische Parameter des Hintergrundschalls ausschlaggebend für den Irrelevant Sound Effect sein sollten – und einen Between-Stream Phonological Similarity Effect bewirken müssten. Dies konnte jedoch nicht beobachtet werden. Auch bei der Odd-One-Out-Aufgabe konnte kein Einfluss der phonologischen Ähnlichkeit des Hintergrundschalls festgestellt werden, was gegen das Prinzip der spezifischen Interferenz spricht.

Das *Feature Model* (Nairne, 2002; Neath, 2000; Neath & Nairne, 1995) wird dem aktuellen Befundmuster hingegen gerecht: Im Modell wird die phonologische Ähnlichkeit zwischen zu memorierenden und zu ignorierenden Sequenzen grundsätzlich als irrelevant betrachtet, da die Präsentation der relevanten Merkmale des Hintergrundsprechens nicht synchron zu den entsprechenden Merkmalen der Gedächtnisitems erfolgt und stets nur eine Teilmenge der Merkmale des irrelevanten Hintergrundschalls in die Repräsentationen der zu memorierenden Items implementiert wird. Deswegen wird bei phonologisch ähnlichem, wie auch unähnlichem Schall eine vergleichbare Anzahl von Merkmalen übernommen (Neath, 2000) und folglich – unabhängig von der konkreten Aufgabe – kein Between-Stream Phonological Similarity Effect erwartet. Dies entspricht exakt dem im aktuellen Experiment beobachteten Ergebnismuster. Kritisch ist jedoch anzumerken, dass die modelltheoretische Ursache für den absenten Between-Stream Phonological Similarity Effect – die mangelnde „zeitlichen Passung“ beider Ströme – kaum experimentell geprüft werden kann, da diese durch Rehearsalprozesse verfälscht wird (Jones & Tremblay, 2000). Auf diesen Einwand hin betonen Neath und Kollegen (2003) aber, dass das Feature Model schon allein deswegen keinen Between-Stream Phonological Similarity Effect vermuten würde, weil die Interferenz zwischen Hintergrundsprache und den zu memorierenden Stimuli auf der Ebene von Features – und nicht auf der Ebene von Phonemen – stattfinden würde.

Experiment 4 zielte auf einen unmittelbaren Vergleich der drei Arbeitsgedächtnismodelle ab, die die bisherigen Befundmuster (Exp. 1 und Exp. 3) am besten abbilden konnten. Da sich das *Embedded Processes Model* im Vorfeld als weniger geeignet erwiesen hat, wurde es nicht in den Theorievergleich mit einbezogen. An dieser Stelle muss jedoch erwähnt werden, dass es das aktuelle Resultat gut bewältigen kann: Das Modell führt die Störwirkung irrelevanten, variablen Hintergrundschalls auf dessen Potential zurück, automatische Orientierungsreaktionen zu provozieren, was mit einer Minderung der Aufmerksamkeitsressourcen einher geht, die zur eigentlichen Aufgabenbearbeitung zur Verfügung stehen. Die Höhe des Irrelevant Sound Effect wird demnach durch das Ausmaß der Abweichung der einzelnen aufeinanderfolgenden Wahrnehmungsereignisse bestimmt, da diese die Stärke der Orientierungsreaktion und damit den Grad an Aufmerksamkeitsablenkung moderieren. Andere Schallparameter, wie beispielsweise die phonologische Ähnlichkeit zu den zu memorierenden Items, sind demnach als irrelevant einzustufen. Da diese Konzeption auch keine Einschränkung bezüglich potentiell lärmsensitiver Aufgaben trifft, ist der in beiden Aufgabentypen absente Between-Stream Phonological Similarity Effect des aktuellen Experiments modellkonform.

Zusammenfassung modelltheoretischer Implikationen. Die Ergebnisse bevorzugen ein Modell, das die leistungsmindernde Wirkung irrelevanten Hintergrundprechens bei beiden Aufgabentypen auf einen gemeinsamen Störmechanismus zurückführt und keinen Between-Stream Phonological Similarity Effect erwarten würde. Das auf ähnlichkeitsbasierte Interferenz rekurrierende Feature Model vermag dies am besten zu leisten. Um aber die Passung des Feature Model nicht einzig durch einen absenten Between-Stream Phonological Similarity Effect zu begründen, soll ein weiteres Experiment stattfinden: Hauptcharakteristikum des Feature Model ist die modelltheoretische Differenzierung der Störwirkung sprachlicher und nichtsprachlicher Hintergrundschalle. Daher soll in Experiment 5 die Bedeutung der Sprachhaltigkeit geklärt werden.

6.3 Experiment 5: Der „Irrelevant Sound Effect“ bei der Odd-One-Out-Aufgabe – nur bei Sprache oder auch bei Nichtsprache?¹⁴

Die bisherige Experimentalserie konnte den Irrelevant Sound Effect nicht nur bei der klassischen seriellen Behaltensaufgabe, sondern auch bei einer lautanalytischen Aufgabe nachweisen (Exp. 1, 3, 4). Folgeexperimente bekräftigen, dass die phonologische Anforderung per se lärmsensitiv zu sein scheint (Exp. 3). Interessanterweise wirkt Hintergrundschall auf beide Aufgabentypen aber in vergleichbarer Weise (Exp. 1, 4). Dies bevorzugt Ansätze, die einen gemeinsamen Wirkmechanismus annehmen und die auf ähnlichkeitsbasierte Interferenzen zwischen phonologischen Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis rekurrieren. Da außerdem kein Einfluss der phonologischen Ähnlichkeit zwischen dem zu memorierenden und dem zu ignorierenden Material festzustellen war (Exp. 4),

¹⁴ Herzlichen Dank an Corinna Christmann für die Erstellung der nicht-sprachlichen Hintergrundschalle.

spricht das Befundmuster insgesamt für das Feature Model – es vermochte das bisherige Befundmuster am besten abzubilden. Zentral in dieser Konzeption ist aber die modelltheoretische Differenzierung der Störwirkung sprachlicher und nichtsprachlicher Hintergrundschalle.

In Experiment 5 soll daher die Wirkung eines sprachlichen Hintergrundschalls mit dem eines nichtsprachlichen verglichen werden. Wird ein Unterschied festgestellt, ist dies ein weiteres Indiz, das für das Feature Model spricht. Darüber hinaus stellt die Untersuchung von Schallparametern, die kritisch für die Entstehung des Irrelevant Sound Effect sind, grundsätzlich eine Möglichkeit dar, um mehr über die Qualität der Störwirkung zu erfahren. Als Primäraufgabe wird daher die noch nicht so umfassend erforschte Odd-One-Out-Aufgabe verwendet.

Besonderes Augenmerk gilt der Auswahl des nichtsprachlichen Geräuschs: Wie in Abschnitt 1.2.1 beschrieben, werden üblicherweise Sinustöne (Hadlington, Brides, & Darby, 2004; Klatte et al., 1995; Jones et al., 1993; Jones et al., 1999; LeCompte et al., 1997), Instrumentalmusik (Ellermeier & Hellbrück, 1998; Klatte et al., 1995; Nittono, 1997) oder Rauschsignale mit variabler Klangcharakteristik (Klatte et al., 1995; Tremblay et al., 2001) verwendet. Da aber eine Konfundierung zwischen der Komplexität, dem Changing-State-Gehalt und der Sprachhaltigkeit des Hintergrundschalls umgangen werden soll, wird in Experiment 4 spektral rotierte Sprache als nichtsprachliches Geräusch verwendet (vgl. hierzu auch Bergström et al., 2012.; Sörqvist et al., 2012; zur Methode der spektralen Rotation siehe: Azadpour et al., 2008; Davids et al.; Scott et al., 2000; Scott & Wise, 2004).

6.3.1 Methode

6.3.1.1 Teilnehmer

Am Experiment nehmen 24 Studierende der TU Kaiserslautern (15 Frauen, 9 Männer) teil. Die Teilnehmer haben einen Altersmedian von 22;10 Jahren, der jüngste Teilnehmer ist 21;0 Jahre, der älteste 28;3 Jahre alt. Alle geben an, Deutsch als Muttersprache zu sprechen und noch nie spektral rotierte Sprache gehört zu haben. Die Teilnehmer werden mit 7 Euro pro Stunde bar entlohnt.

6.3.1.2 Aufgabe, Stimulusmaterial, Hintergrundschalle und Apparatur

(i) Aufgabe. In diesem Experiment wird die phonologische Variante der Odd-One-Out-Aufgabe verwendet (vgl. Experiment 1, Experiment 3).

(ii) Stimulusmaterial. Die zu memorierenden Items (visuelle Stimuli) werden aus Experiment 3 übernommen.

(iii) Hintergrundschalle. Die Leistung in der phonologischen Odd-One-Out-Aufgabe wird unter drei verschiedenen Schallbedingungen erhoben: Ruhe, Sprache (einzelner, männlicher, koreanischer Sprecher aus Exp. 1) und Nicht-Sprache. Beim nichtsprachlichen Geräusch handelt es sich um spektral rotierte Sprache. Dazu wird der ebenfalls als Hintergrundschall verwendete Sprachschall bei

3000Hz horizontal gespiegelt („spektral rotiert“). Die Festlegung der Rotationsachse erfolgt in Hinblick auf das koreanische Formantensystem: Die ersten beiden Formanten liegen bei Männern durchschnittlich innerhalb des Frequenzbereichs von 338Hz bis 2219Hz (Yang, 1992). Eine Rotationsachse bei 3000Hz gewährleistet, dass die Formanten nach der Rotation nicht mehr an ihrem üblichen Frequenzbereich angesiedelt sind. Dadurch wird der sprachliche Charakter des Hintergrundschalls zerstört – nicht aber dessen temporal-spektralen Eigenschaften oder dessen Komplexität (Davids et al.; Scott et al., 2000). Veranschaulicht wird dies in Abb. 33. Die durchschnittliche Präsentationslautstärke (L_{eq}) der Hintergrundschalle beträgt 57 dB(A).

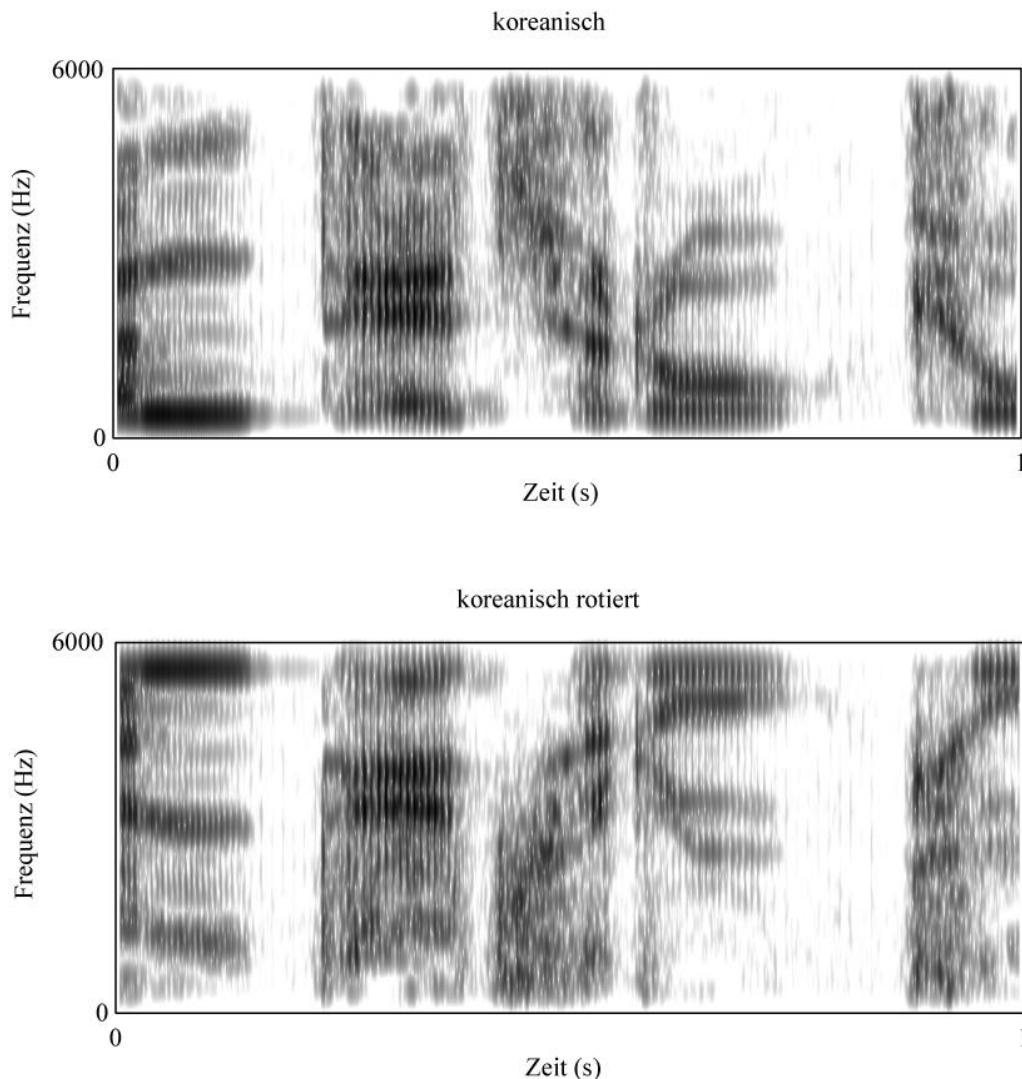


Abb. 33 Spektrogramme der verwendeten Hintergrundschalle (Ausschnitte). Das obere Panel zeigt einen Ausschnitt der Originalversion des fremdsprachlichen Hintergrundsprechens, das untere zeigt den entsprechenden Ausschnitt der rotierten Version.

(iv) Apparatur. Die Versuchsanordnung wird aus den vorherigen Experimenten übernommen (siehe hierzu Abschnitt 4.1.1).

6.3.1.3 Versuchsablauf

Die experimentelle Untersuchung fand vom 31. Januar bis 10. Februar 2012 in ruhig gelegenen Räumen der Technischen Universität Kaiserslautern statt. Die Bearbeitung der Aufgaben erfolgte in Vierergruppen.

Das Experiment beginnt mit der Instruktion des Versuchsablaufs, was mit Hilfe eines standardisierten Textes erfolgt. Den Teilnehmern werden im Anschluss alle im Versuch vorkommenden Bilder vorgestellt, um Bedeutungsäquivalenz zu gewährleisten. Anschließend bearbeiten die Teilnehmer die Odd-One-Out-Aufgabe (phonologisch) unter drei Schallbedingungen (Ruhe, Sprache, Nicht-Sprache). Die Abfolge der Schallbedingungen ist über die Versuchsteilnehmer hinweg blockweise nach dem lateinischen Quadrat ausbalanciert, was Reihenfolge- und Positionseffekte verhindert. Pro Schallbedingung werden 8 Sequenzreihen bearbeitet – insgesamt also $8 \times 3 = 24$ Folgen.

Weitere, technische Details zum Versuchsablauf der phonologischen Odd-One-Out-Aufgabe mit visueller Itempräsentation (Präsentationszeit der Stimuli, Antwortdauer, Antwortmodus usw.) sind Abschnitt 4.1.1 zu entnehmen, da das aktuelle Vorgehen dem in Experiment 1 entspricht.

6.3.2 Ergebnisse

Die Leistung in der Odd-One-Out-Aufgabe wird durch Summation der korrekt identifizierten „Odd-Ones“ bestimmt. Unter Ruhe erreichen die Teilnehmer durchschnittlich $AM=6.29$ ($SD=1.14$) Items, unter Sprache $AM=5.33$ ($SD=1.49$) und unter Nicht-Sprache $AM=6.00$ ($SD=1.47$). Abb. 34 veranschaulicht die mittleren Wiedergabeleistungen (in Rohwertpunkten) der Teilnehmer in Abhängigkeit der Schallbedingungen.

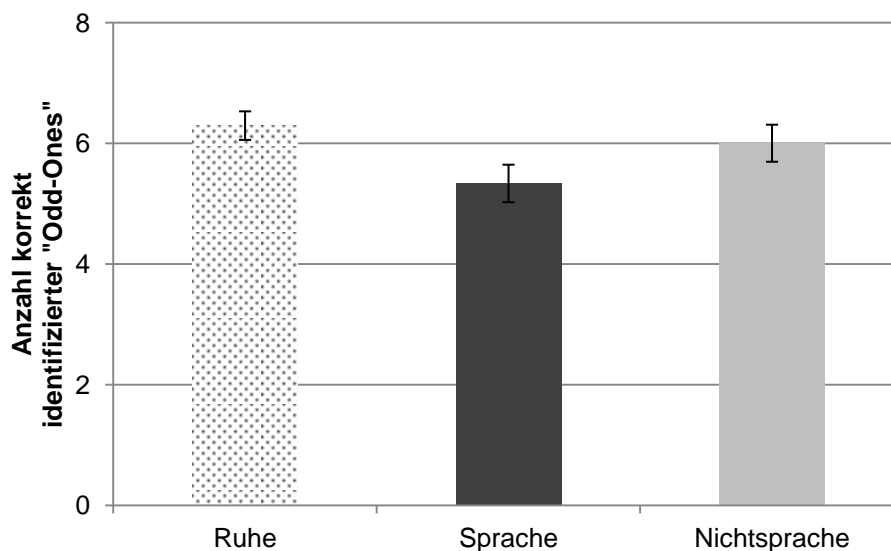


Abb. 34 Mittlere Identifikationsleistung [in Rohwertpunkten; maximal erreichbar: 8] und Standardfehler in der Odd-One-Out-Aufgabe (phonologisch) in Abhängigkeit der Schallbedingungen.

Zur inferenzstatistischen Analyse wird eine *einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung* (Innersubjektfaktor: Schallbedingung, 3-stufig) durchgeführt, gefolgt von *t-Tests für abhängige Stichproben*. Dabei ergibt sich ein Haupteffekt „Schall“ ($F(2, 46)=4.51$, $p<.05$, $\eta_p^2=.16$ $f=0.29$), was auf

einen Irrelevant Sound Effect schließen lässt. Wie auch in Experiment 1 und 3 verursacht das Hintergrundsprechen eine reliable Verschlechterung der Identifikationsleistung gegenüber Ruhe ($t(23)=2.79$, $p<.05$, $d=0.57$), während Nicht-Sprache die Leistung unbeeinflusst lässt ($t(23)=0.98$, $p=.34$). Zwischen Sprache und Nicht-Sprache wird die Signifikanzgrenze hingegen knapp verfehlt ($t(23)=-1.97$, $p=.06$).

6.3.3 Diskussion

In Experiment 5 tritt der Irrelevant Sound Effect in der lautanalytischen Aufgabe ausschließlich beim Hintergrundsprechen auf – nicht aber beim dazu temporal-spektral identischen, nicht-sprachlichen Hintergrundgeräusch. Die Schlussfolgerung, der sprachliche Charakter des Hintergrundschalls sei der wesentliche Störparameter, darf jedoch aufgrund der knapp verfehlten Signifikanz zwischen Sprache und Nichtsprache nicht gezogen werden. Dies macht das Befundmuster schwierig zu interpretieren. Nimmt Sprachschall nun eine Sonderstellung ein oder nicht? Die Vergleiche der Schalle zur Ruheleistung sprechen für eine exponierte Rolle; Der Paarvergleich der Schalle untereinander lässt dies jedoch fraglich erscheinen. Damit spiegelt das Experiment im Speziellen die ebenso wenig eindeutige Befundlage der Literatur im Allgemeinen wider.

Die Frage, ob Sprache und Nichtsprache funktional äquivalent wirken oder nicht, ist seit langem Gegenstand intensiver Forschung – und nach wie vor nicht abschließend geklärt (vgl. Abschnitt 1.2.1). In manchen Studien provozieren beide Schallarten Leistungsbeeinträchtigungen vergleichbaren Ausmaßes (Jones & Macken, 1993; Neath et al., 1998), oder die Befundmuster sprechen dafür, dass sich beide in ihrer Wirkweise ähneln (Chein & Fiez, 2010; Ellermeier & Hellbrück, 1998; Jones et al., 2000; Tremblay & Jones, 1998). Andere Studien wiederum zeigen, dass das Ausmaß des Irrelevant Sound Effect bei sprachlichen Schallen unübertroffen bleibt (Buchner et al., 2008; Hall & Gathercole, 2011; Klatte et al., 1995; LeCompte et al., 1997; Little et al., 2010; Salamé & Baddeley, 1989; Schlittmeier et al., 2012; Tremblay et al., 2000; Viswanathan et al., 2013). Wie sind diese divergierenden Befunde zu erklären? Zunächst ist die Gruppe der „nichtsprachlichen Geräusche“ sehr heterogen – sie umfasst einfache Sinustöne ebenso wie Verkehrslärm, Instrumentalmusik oder synthetisch hergestellte Rauschsignale. In Anbetracht dieser Vielfalt ist grundsätzlich die Frage zu stellen, ob überhaupt globale Aussagen zur Wirkung „nichtsprachlicher Geräusche“ möglich sind. Folglich gestaltet sich aber auch der Vergleich zwischen Sprache und Nichtsprache schwierig, zumal sich die Geräusche nicht nur hinsichtlich ihrer Sprachhaltigkeit, sondern auch hinsichtlich anderer Parameter, wie etwa ihrer Komplexität oder der Variabilität, unterscheiden. Erschwerend kommt hinzu, dass die Studien auch unterschiedliche Primäraufgaben verwendet haben – von seriellen Behaltensaufgaben bis hin zu Aufgaben aus dem sprachlichen Bereich. Die heterogene Befundlage ist daher möglicherweise auf die konkrete Wahl der verwendeten nichtsprachlichen Hintergrundgeräusche sowie der Aufgaben zurückzuführen.

Besonderes Augenmerk ist deswegen der Studie von Sörqvist und Kollegen (2012) zuzumessen. Sie weist eine ähnliche Operationalisierung auf wie die der aktuellen Studie, da sie ebenfalls die Wirkung von Sprache und spektral rotierter Sprache bei einem Aufgabentyp aus dem sprachlichen Bereich untersucht. Die Autoren konnten zeigen, dass das Verfassen kurzer Texte durch irrelevante Hintergrundsprache gestört wird, nicht jedoch durch spektral rotierte Sprache, was sich mit dem

aktuell vorliegenden Befundmuster deckt. Offensichtlich sind bei der Entstehung des Irrelevant Sound Effect über den physikalischen Verlauf hinausgehende Parameter zu berücksichtigen: Sprachschall scheint Merkmale aufzuweisen, die den Irrelevant Sound Effect robuster auftreten lassen als bei spektral-temporal identischer Nichtsprache. Sörqvist und Kollegen (2012) schlussfolgerten, dass der semantische Gehalt ausschlaggebend für das höhere Störpotential des sprachlichen Hintergrundschalls sei. Allerdings wurde in deren Studie nur ein sprachliches Geräusch, nämlich Muttersprache verwendet. Möglicherweise hätte fremdsprachliches Sprechen eine ähnliche Wirkung, womit nicht – wie von Sörqvist und Kollegen (2012) angenommen – der semantische Gehalt die kritische Größe wäre, sondern möglicherweise die Sprachhaltigkeit des Schalls an sich – also der phonologische Gehalt.

Derartige Überlegungen treffen Bergström und Kollegen (2012): In deren Studie wird das serielle Behalten durch Sprache signifikant mehr beeinträchtigt als durch spektral rotierte Sprache. Sie schlagen daher vor, den Irrelevant Sound Effect als Funktion des phonetischen Gehalts des Hintergrundschalls zu modellieren. Ebenfalls eine stärkere Störwirkung von Sprache im Vergleich zu einem ähnlich komplexen, nichtsprachlichen Pendant berichten auch Little und Kollegen (2010) (Sprache vs. signal correlated noise) sowie Viswanathan und Kollegen (2013) (sprachähnlicher Schall vs. Schall mit zerstörter Formantenstruktur).

Doch wie ist der deutlichere Irrelevant Sound Effect bei Sprache zu erklären? Little und Kollegen (2010) führen an, dass das Sprachverstehen hierarchisch organisiert sei, wobei durch die phonologische Verarbeitung höhere, lexikalische und semantische Prozesse angestoßen werden würden (vgl. Davis & Johnsrude, 2003). Sie vermuten daher, dass der robustere Irrelevant Sound Effect bei Sprachschall möglicherweise auf die zusätzlich ablaufenden, höheren Prozesse zurückzuführen ist, die die linguistische Interpretierbarkeit des Schalls mit sich bringt: So könnten diese zusätzlichen Prozesse beispielsweise die Repräsentationen irrelevanter Sprache im Arbeitsgedächtnis salienter machen oder die für die Primäraufgabe verfügbaren Aufmerksamkeitsressourcen mindern. Eine ähnliche Argumentationslinie zeigt sich bei Viswanathan und Kollegen (2013): Auch sie vermuten, dass Sprachschall wohl aufgrund seiner Beschaffenheit ganz besonderes Potential aufweist, Aufmerksamkeit an sich zu binden und automatischen, obligatorischen Zugang zum Arbeitsgedächtnis zu erlangen (vgl. Schlittmeier et al., 2012; Weisz & Schlittmeier, 2006). Der Grund dafür liegt vermutlich in der sequentiellen Natur der Sprache (Schlittmeier et al., 2012): Um übergeordnete Prozesse, wie etwa die Bedeutungsentnahme, leisten zu können, sei schließlich die temporäre Speicherung des Signals nötig (vgl. Davis & Johnsrude, 2007). Folglich wäre es nur vernünftig, wenn Menschen sich gesprochener Sprache nicht entziehen könnten – und der Irrelevant Sound Effect bei Sprache ausgeprägter bzw. robuster auftrete als bei Nichtsprache.

Welche modelltheoretischen Implikationen ergeben sich aus den Ergebnissen? Grundsätzlich lässt sich der robustere Irrelevant Sound Effect bei Sprache im Vergleich zu Nichtsprache in fast alle vorgestellten Modelle integrieren – wenngleich auf unterschiedlichen Annahmen fußend.

Von besonderem Interesse in der aktuellen Untersuchung war das *Feature Model*, da es die Befunde der bisherigen Experimente (1, 3, und 4) am besten modellieren konnte. Doch auch das aktuelle Ergebnis weiß es zu bewältigen: Im Feature Model ist die modelltheoretische Differenzierung der

Störwirkung sprachlicher und nichtsprachlicher Distraktoren zentral. Während die Störwirkung sprachlicher Schalle in erster Linie auf das Prinzip der Merkmalsübernahme (Feature Adoption) zurückgeführt wird, bewirken nichtsprachliche Schalle eine Leistungsminderung, weil ihr Ignorieren Aufmerksamkeitsressourcen bindet, die zur Bearbeitung der Primäraufgabe nicht mehr zur Verfügung stehen. Es werden also zwei getrennte Störmechanismen angenommen. Eine unterschiedlich starke Beeinträchtigung durch sprachliche und nichtsprachliche Hintergrundschalle ist daher (unabhängig von der Primäraufgabe) wahrscheinlich – und der robustere Irrelevant Sound Effect bei Sprachschalle daher durchaus modellkompatibel. Überraschend ist jedoch der Nulleffekt bei Nichtsprache (vgl. hierzu auch Sörqvist et al., 2012): Spektral rotierte Sprache sollte aufgrund der variablen Struktur eigentlich in der Lage sein, Aufmerksamkeitsressourcen an sich zu binden und einen Irrelevant Sound Effect hervorrufen können.

Im *Embedded Processes Model* wird die leistungsmindernde Wirkung irrelevanter Sprache wie Nichtsprache auf einen gemeinsamen Mechanismus zurückgeführt: Beide vermögen Aufmerksamkeitsressourcen an sich zu binden, die folglich zur eigentlichen Aufgabenbearbeitung (unabhängig des konkreten Aufgabentyps) nicht mehr zur Verfügung stehen. Das Ausmaß des Irrelevant Sound Effect wird durch die Höhe der Orientierungsreaktionen bestimmt, die durch die Schallereignisse provoziert werden. Da Sprachschalle wohl besonderes aufmerksamkeitsbindend wirkt (vgl. Schlittmeier et al., 2012; Weisz & Schlittmeier, 2006), ist der stärkere Leistungseinbruch bei selbigem als logische Konsequenz der Modellannahmen einzustufen. Irritierend ist aber, wie im Rahmen des Feature Model bereits angedeutet, warum spektral rotierte Sprache im aktuellen Experiment keinen Irrelevant Sound Effect provozieren konnte: Aufgrund ihres Changing-State-Charakters sollte sie Orientierungsreaktionen bewirken und somit einen Irrelevant Sound Effect verursachen können.

Im klassischen *Object-Oriented Episodic Record Model* gilt die Variation der Schallstruktur des Hintergrundgeräuschs als wesentliche Bestimmungsgröße für den Irrelevant Sound Effect. Sprache und Nichtsprache sollten demnach eine äquivalente Wirkung haben, falls ihr Changing-State-Gehalt vergleichbar ist (Tremblay et al., 2000). Auf den ersten Blick mag das aktuelle Befundmuster dem Modell also widersprechen. Nach dem *Prinzip der spezifischen Interferenz* (Banbury et al., 2001; Jones & Tremblay, 2000; Marsh et al., 2008) ist jedoch der Charakter der zu bearbeitenden Aufgabe bei der Beurteilung potentiell störender Hintergrundschalle mit einzubeziehen: Das Ausmaß der Störwirkung beruht auf der Ähnlichkeit zwischen den zur Aufgabenbearbeitung nötigen und den zur Verarbeitung der Umweltereignisse erforderlichen kognitiven Prozessen (interference by process) (vgl. Abschnitt 2.4.2.2). Somit sollte bei Aufgaben, die eine tiefere sprachliche Verarbeitung erfordern, die Sprachhaltigkeit – nicht mehr die Variabilität – des Hintergrundschalls auch die entscheidende Komponente darstellen. Demzufolge ist die Leistungsbeeinträchtigung durch Hintergrundsprechen, nicht aber bei Nichtsprache in der lautanalytischen Odd-One-Out-Aufgabe modellkonform. Die Ergebnisse von Bergström und Kollegen (2012) bereiten dem Modell jedoch Schwierigkeiten: Bei der klassischen seriellen Behaltensaufgabe sollte allein der Changing-State-Charakter des Schalls ausschlaggebend für dessen Störwirkung sein – der phonologische Gehalt sollte keinen Einfluss nehmen, was den Ergebnissen jedoch widerspricht.

Im *Working Memory Model* kam sprachlichen Schallen lange Zeit eine Sonderstellung bei der Entstehung des Irrelevant Sound Effect zu: Das Modell wurde in erster Linie zur Erklärung der leistungsmindernden Wirkung sprachlicher bzw. sprachähnlicher Schalle konzipiert. Dabei wurde die Existenz eines sprachsensitiven Filtermechanismus´ angenommen, der es ausschließlich sprachlichen Hintergrundschallen ermöglichen sollte, im phonologischen Speicher encodiert zu werden und so einen Irrelevant Sound Effect hervorzurufen. Aufgrund der erdrückenden Befundlage zur Störwirkung auch nicht-sprachlicher Schalle (siehe Abschnitt 1.2.1) weiteten Salamé und Baddeley (1989) die Durchlässigkeit des Filters zunächst auf „sprachähnliche Schalle“ aus – und gingen schließlich zu einem eher akustischen Verarbeitungsformat über, das auch eine Störung nicht-sprachlicher Schalle einzubeziehen vermag (Baddeley, 2000a, 2003a). Da der Irrelevant Sound Effect aber nach wie vor im phonologischen Speicher angesiedelt wird – einer Speicherkomponente, die „phonologischen“ Repräsentationen gewidmet ist – scheinen die Effekte spektral rotierter Sprache zwangsläufig einen anderen Ursprung haben zu müssen. Eine Möglichkeit wäre, eine Doppelbelastung der übergeordneten, zentralen Exekutive anzunehmen (vgl. Chein & Fiez, 2010) – eine genaue Beschreibung, wie die Störung beschaffen sein könnte, bleibt das Modell allerdings schuldig.

Resümierend bleibt festzuhalten, dass Studien, die die Komplexität und Variabilität des Schalls kontrolliert haben, eher für eine Sonderrolle sprachlicher Hintergrundgeräusche bei der Entstehung des Irrelevant Sound Effect sprechen. In diesen Konsens reiht sich auch das aktuelle Experiment ein, welches nur bei Sprachschall eine signifikante Leistungsminderung feststellen konnte. Sprachschall scheint somit über den physikalischen Verlauf hinausgehende Merkmale aufzuweisen, die einen additiven Effekt bieten, wodurch das Phänomen robuster auftritt als bei Nichtsprache. Diesen Aspekt vermögen alle vorgestellten Arbeitsgedächtnismodelle jedoch gut zu bewältigen.

7. Zusammenfassung der Erwachsenenexperimente & Ausblick

Der Irrelevant Sound Effect besteht in einer Beeinträchtigung der seriellen Wiedergabeleistung für visuell präsentierte Folgen sprachlicher Items durch aufgabenirrelevante Hintergrundgeräusche (z.B. Sprache, Tonfolgen, Musik). Inzwischen liegen zur Erklärung des Phänomens mehrere alternative Ansätze vor, die von sehr unterschiedlichen Grundannahmen bezüglich der Struktur des Arbeitsgedächtnisses ausgehen. Entsprechend unterschiedlich sind die Ideen der dem Irrelevant Sound Effect zugrundeliegenden Störmechanismen sowie – im Speziellen – die Annahmen bezüglich potentiell lärmsensitiver Aufgaben: Im klassischen *Object-Oriented Episodic Record Model* wird der Irrelevant Sound Effect auf eine Interferenz von Reihenfolgeinformationen zurückgeführt, weswegen das Phänomen nur bei Aufgaben auftreten sollte, die serielles Behalten erfordern. Das *Working Memory Model* sowie das *Feature Model* beziehen hingegen modalitätsspezifische Interferenzen phonologischer Repräsentationen mit ein (interference by content). Hiernach sollte der Irrelevant Sound Effect auch bei nicht-seriellen phonologischen Aufgaben auftreten. Das *Embedded Processes Model* liefert hingegen einen rein aufmerksamkeitsbasierten Erklärungsansatz des Phänomens und trifft folglich keinerlei aufgabenbezogene Einschränkungen. In Anbetracht dieses modelltheoretischen Hintergrunds erfahren die Ergebnisse aus Experiment 1 eine gewisse Brisanz: Selbiges konnte den Irrelevant Sound Effect nicht nur bei der klassischen seriellen Behaltensaufgabe, sondern überraschenderweise auch bei einer lautanalytischen Aufgabe („Odd-One-Out-Aufgabe“) feststellen. Aufgrund der modelltheoretischen Bedeutung dieses Resultats wurde der Irrelevant Sound Effect in einer zweiten, auf Erwachsene beschränkten Experimentalreihe daher in Abhängigkeit von Aufgaben- und Schallcharakteristika weiter analysiert.

Die wesentlichen Erkenntnisse der zweiten Experimentalreihe können wie folgt zusammengefasst werden: Zunächst konnte der Irrelevant Sound Effect bei der lautanalytischen Aufgabe repliziert werden. Unterschiede zum Phänomen im Standardparadigma (serielles Behalten) konnten dabei erneut nicht festgestellt werden. Die Leistungsminderung in der lautanalytischen Aufgabe ist vermutlich auf die phonologische Anforderung per se zurückzuführen, da der Effekt aufgehoben wird, wenn anstelle der phonologischen Analyse eine semantische gefordert wird (Experiment 3). Der phonologische Charakter ist jedoch nicht nur bei der Aufgabenstellung eine kritische Größe, sondern auch beim Hintergrundschall: Während Hintergrundsprechen einen Irrelevant Sound Effect provoziert, vermag Nichtsprache vergleichbarer Komplexität (spektral rotierte Sprache) dies nicht zu leisten (Experiment 5). Dies ist als Indiz dafür zu werten, dass über den temporal-spektralen Verlauf hinausgehende Parameter existieren müssen, die den Irrelevant Sound Effect modellieren. Die phonologische Ähnlichkeit zwischen den Stimuli der Primäraufgabe und den Distraktoren (Between-Stream Phonological Similarity Effect) scheint hingegen keinen Einfluss zu nehmen (Experiment 4).

Der Irrelevant Sound Effect tritt also auch bei nicht-seriellen, phonologischen Aufgaben auf und ist bei sprachlichen Hintergrundgeräuschen ausgeprägter als bei nichtsprachlichen. Dies bevorzugt Modelle, die zur Erklärung des Phänomens auf modalitätsspezifische Interferenzen mit phonologischen Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis rekurren. Phonologischen Prozessen ist bei der Entstehung des Phänomens demnach mehr Bedeutung zuzumessen. Eine ausführliche Diskussion in Hinblick auf

das Working Memory Model, das Object-Oriented Episodic Record Model, das Embedded Processes Model und das Feature Model erfolgte bereits in den Abschnitten 6.1.3, 6.2.3 und 6.3.3 und soll an dieser Stelle nicht wiederholt werden. Stattdessen sollen ein Ausblick für die weitere Forschung gegeben und praktische Implikationen aufgezeigt werden.

Grundsätzlich stellt der Irrelevant Sound Effect ein gut und intensiv umforschtes Phänomen des Arbeitsgedächtnisses dar. Kernaspekte, wie beispielsweise die Bedeutung der temporal-spektralen Struktur des Hintergrundschalls oder die besondere Lärmsensitivität serieller Aufgaben, sind mittlerweile allgemein akzeptiert und anerkannt. Der Einfluss darüber hinausgehender aufgaben- und schallspezifischer Parameter ist indes oft noch nicht abschließend geklärt. Ursächlich ist wohl, dass selbige – wenn überhaupt – deutlich kleinere, weniger robuste Auswirkungen auf das Befundmuster nehmen. Gibt es einen Between-Stream Phonological Similarity Effect? Hat Sprache – bei kontrollierter Komplexität – ein höheres Störpotential als Nichtsprache? Gibt es eine Interdependenz zwischen der Primäraufgabe und den potentiell störenden Schallen? Verschiedene Arbeitsgruppen berichten diesbezüglich unterschiedliche Ergebnisse. Dabei bleibt aber oft unklar, ob kleine Unterschiede im Experimentalaufbau (Stimuli, Primäraufgabe, Wiedergabemodus, zeitliche Taktung usw.) die divergierenden Ergebnisse bedingen oder ob diese auf testtheoretische Aspekte zurückzuführen sind. Mehr arbeitsgruppenübergreifende Replikationen wären daher – insbesondere zu diesen kritischen, modelltheoretisch bedeutsamen Punkten – wünschenswert.

Zu begrüßen sind auch die Bestrebungen der letzten Jahre, die Untersuchungen zum Irrelevant Sound Effect über das Standardparadigma des seriellen Erinnerns hinaus auf andere Aufgabentypen weiter auszudehnen. Dieser Schritt ist nicht nur von phänomenspezifischem und modelltheoretischem Interesse – sondern auch von praktischer Relevanz: Viele Aufgaben des (Berufs-)Alltags sind dem sprachlichen Bereich zuzuordnen (z.B. Lesen, Verstehen, Erinnern und/oder Schreiben von Texten) – entsprechende experimentelle Untersuchungen bergen demnach unmittelbare Implikationen für die akustische Gestaltung von Arbeitsplätzen.

Deren Notwendigkeit wird in Befragungen offenkundig, in welchen Lärm als häufigster oder mit als häufigster Belastungsfaktor am Arbeitsplatz genannt wird (Kjellberg, Landstroem, Tesarz, & Soederberg, 1996; Nemecek & Grandjean, 1973; Sundstrom, Town, Rice, & Osborn, 1994). Zwar führte der Gesetzgeber im Rahmen der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) Richtlinien zum Lärmschutz am Arbeitsplatz ein – gewisse Schallpegel dürfen nicht überschritten werden. Allerdings stellt die alleinige Betrachtung des objektiven Lärmpegels eine Vereinfachung des Problems „Lärm“ dar: Experimentelle Studien, wie auch die vorliegende, zeigen, dass der Irrelevant Sound Effect weitgehend unabhängig von der Lautstärke des Hintergrundschalls ist. Vielmehr sind qualitative Aspekte des Schalls, wie etwa der temporal-spektrale Verlauf oder die Sprachhaltigkeit entscheidend. Lärmschutzmaßnahmen, die auf eine Pegelreduktion abzielen (z.B. bauliche Maßnahmen, Einsatz leiser Bürogeräte), sind zwar zu begrüßen, greifen isoliert angewandt jedoch zu kurz. Darüber hinaus gilt es zu bedenken, dass nicht nur die Auswirkungen von Lärm auf die kognitive Leistungsfähigkeit beachtet werden muss: In diesem Zusammenhang sollte das subjektive Gefühl des Gestörtwerdens stärker berücksichtigt werden. Schallpegelmessungen geben oft nur einen groben Anhaltspunkt für den Grad der Belästigung; Die empfundene Störwirkung hängt vielmehr von einer Reihe weiterer

Faktoren ab, wie z.B. der Vorhersagbarkeit und Kontrollierbarkeit des Schalls, der Einstellung zur Geräuschquelle (Sörensen, 1970), ihrer vermuteten Funktionalität (Bradley, 1993; Molino, 1979) oder ihrer geschätzten Reduzierbarkeit (Jonah, Bradley, & Dawson, 1981). Entscheidend für Gestaltungsvorschläge in Büroumgebungen sollten nicht pauschale Lärmpegelschwellen sein, man sollte vielmehr darum bemüht sein, insbesondere die Lärmquellen zu eliminieren, die zu hohem subjektiven Unbehagen führen.

Die Notwendigkeit der Lärmwirkungsforschung ergibt sich bei einem Blick auf die akustischen Auswüchse moderner Büroplanung, die sich nicht mehr an den Bedürfnissen der Arbeitnehmer orientiert – vielmehr stehen der Zeitgeist der Flexibilität und missverstandene Transparenz im Vordergrund (Kurtz, 2005). Keine Barrieren, keine Wände – die Krux dabei: Augen kann man schließen, Ohren nicht.

8. Literaturverzeichnis

- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2006). Verbal and visuospatial short-term and working memory in children: Are they separable? *Child Development*, *77*(6), 1698–1716.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Willis, C. D., & Adams, A. M. (2004). A structural analysis of working memory and related cognitive skills in early childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, *87*, 85–106.
- Anderson, M., Bucks, R. S., Bayliss, D. M., & Della Sala, S. (2011). Effect of age on dual-task performance in children and adults. *Memory & Cognition*, *39*(7), 1241–1252.
- Anderson, V. A., Anderson, P., Northam, E., Jacobs, R., & Catroppa, C. (2001). Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Developmental Neuropsychology*, *20*(1), 385–406.
- Asato, M. R., Sweeney, J. A., & Luna, B. (2006). Cognitive processes in the development of TOL performance. *Neuropsychologia*, *44*(12), 2259–2269.
- Aslan, A., & Bäuml, K.-H. T. (2010). Retrieval-induced forgetting in young children. *Psychonomic Bulletin & Review*, *17*(5), 704–709.
- Azadpour, M., Balaban, E., & Sporns, O. (2008). Phonological representations are unconsciously used when processing complex, non-speech signals. *PLoS ONE*, *3*(4), e1966.
- Baars, B. J. (1988). *A cognitive theory of consciousness*. New York: Cambridge University Press.
- Baddeley, A. D. (1966a). Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic and formal similarity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *18*(4), 362–365.
- Baddeley, A. D. (1966b). The influence of acoustic and semantic similarity on long-term memory for word sequences. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *18*, 302–309.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1996). The concept of working memory. In S. E. Gathercole (Ed.), *Models of short-term memory* (pp. 1–27). Hove, UK: Psychology Press.
- Baddeley, A. D. (1998). The central executive: A concept and some misconceptions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *4*, 523–526.
- Baddeley, A. D. (2000a). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(11), 417–423.
- Baddeley, A. D. (2000b). The phonological loop and the Irrelevant Speech Effect: Some comments on Neath (2000). *Psychonomic Bulletin & Review*, *7*(3), 5444–5549.
- Baddeley, A. D. (2002). Is working memory still working? *European Psychologist*, *7*(2), 85–97.
- Baddeley, A. D. (2003a). Working memory and language: An overview. *Journal of Communication Disorders*, *36*(3), 189–208.
- Baddeley, A. D. (2003b). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*(10), 829–839.
- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought, and action*. Oxford: OUP.
- Baddeley, A. D. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, *63*(1), 1–29.
- Baddeley, A. D., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2011). Binding in visual working memory: The role of the episodic buffer. *Neuropsychologia*, *49*(6), 1393–1400.
- Baddeley, A. D., Della Sala, S., & Robbins, T. W. (1996). Working memory and executive control. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *351*, 1397–1404.
- Baddeley, A. D., Eldridge, M., & Lewis, V. (1981). The role of subvocalisation in reading. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *33*(4), 439–454.
- Baddeley, A. D., Emslie, H., Kolodny, J., & Duncan, J. (1998). Random generation and the executive control of working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *51*(4), 819–852.
- Baddeley, A. D., & Gathercole, S. E. (1993). *Working memory and language*. Hove, UK: Lawrence Erlbaum.

- Baddeley, A. D., Gathercole, S., & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychological Review*, *105*(1), 158–173.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation* (pp. 47–90). New York: Academic Press Inc.
- Baddeley, A. D., Hitch, G. J., & Allen, R. J. (2009). Working memory and binding in sentence recall. *Journal of Memory and Language*, *61*(3), 438–456.
- 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). Cambridge: Cambridge University Press.
- Baddeley, A. D., & Salamé, P. (1986). The Unattended Speech Effect: Perception or memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *12*(4), 525–529.
- 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.
- Banbury, S., & Berry, D. C. (1997). Habituation and dishabituation to speech and office noise. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *3*(3), 181–195.
- Banbury, S., & Berry, D. C. (1998). Disruption of office-related tasks by speech and office noise. *British Journal of Psychology*, *89*(3), 499–517.
- Banbury, S., Jones, D. M., & Emery, L. (1999). Extending the "Irrelevant Sound Effect": The effects of extraneous speech on aviation-related tasks. In D. Harris (Ed.), *Engineering psychology and cognitive ergonomics* (pp. 199–206). Aldershot: Ashgate & Town.
- Banbury, S., Macken, W. J., Tremblay, S., & Jones, D. M. (2001). Auditory distraction and short-term memory: Phenomena and practical implications. *Human Factors*, *43*(1), 12–29.
- Barrouillet, P., Gavens, N., Vergauwe, E., Gaillard, V., & Camos, V. (2009). Working memory span development: A time-based resource-sharing model account. *Developmental Psychology*, *45*(2), 477–490.
- Bartgis, J., Lilly, A. R., & Thomas, D. G. (2003). Event-Related Potential and behavioral measures of attention in 5-, 7-, and 9-year-olds. *The Journal of General Psychology*, *130*(3), 311–335.
- Bartgis, J., Thomas, D. G., Lefler, E. K., & Hartung, C. M. (2008). The development of attention and response inhibition in early childhood. *Infant and Child Development*, *17*(5), 491–502.
- Bayliss, D. M., Jarrold, C., Baddeley, A. D., Gunn, D. M., & Leigh, E. (2005). Mapping the developmental constraints on working memory span performance. *Developmental Psychology*, *41*(4), 579–597.
- Beaman, C. P. (2005b). Irrelevant sound effects amongst younger and older adults: Objective findings and subjective insights. *European Journal of Cognitive Psychology*, *17*(2), 241–265.
- Beaman, C. P. (2004). The irrelevant sound phenomenon revisited: What role for working memory capacity? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *30*(5), 1106–1118.
- Beaman, C. P., & Jones, D. M. (1997). Role of serial order in the Irrelevant Speech Effect: Tests of the Changing-State Hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *23*, 459–471.
- Beaman, C. P., & Jones, D. M. (1998). Irrelevant sound disrupts order information in free recall as in serial recall. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *51 A*(3), 615–636.
- Becker, M. G., Isaac, W., & Hynd, G. W. (1987). Neuropsychological development of nonverbal behaviors attributed to "frontal lobe" functioning. *Developmental Neuropsychology*, *3*(3-4), 275–298.
- Bell, R., & Buchner, A. (2007). Equivalent irrelevant-sound effects for old and young adults. *Memory & Cognition*, *35*(2), 352–364.
- Bell, R., Buchner, A., & Mund, I. (2008). Age-related differences in Irrelevant Speech Effects. *Psychology and Aging*, *23*(2), 377–391.
- Bell, R., Dentale, S., Buchner, A., & Mayr, S. (2010a). ERP correlates of the Irrelevant Sound Effect. *Psychophysiology*, *47*, 1182–1191.
- Bell, R., Mund, I., & Buchner, A. (2010b). Disruption of short-term memory by distractor speech: Does content matter? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *64*(1), 146–168.
- Bell, R., Röer, J. P., Dentale, S., & Buchner, A. (2012). Habituation of the Irrelevant Sound Effect: Evidence for an attentional theory of short-term memory disruption. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *38*(6), 1542–1557.

- Belleville, S., Rouleau, N., van der Linden, M., & Collette, F. (2003). Effect of manipulation and irrelevant noise on working memory capacity of patients with Alzheimer's dementia. *Neuropsychology*, 17(1), 69–81.
- Bergström, K., Klatte, M., & Lachmann, T. (2010). *Detrimental effects of irrelevant speech on serial retention: The role of phonological coding*. Poster session presented at The fifth European Working Memory Symposium, Civita Castellana, Italy.
- Bergström, K., Lachmann, T., & Klatte, M. (2012). Wann stört Lärm das geistige Arbeiten? Einfluss von Aufgaben- und Geräuschcharakteristiken bei der Wirkung moderaten Lärms auf Arbeitsgedächtnisleistungen. In: *Fortschritte der Akustik*. Beiträge zur 38. Jahrestagung für Akustik, DAGA, Darmstadt. Berlin: DEGA.
- Berman, S., & Friedman, D. (1995). The development of selective attention as reflected by event-related brain potentials. *Journal of Experimental Child Psychology*, 59(1), 1–31.
- Berti, S. (2010). Arbeitsgedächtnis: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft eines theoretischen Konstruktes. *Psychologische Rundschau*, 61(1), 3–9.
- Berti, S., & Schröger, E. (2003). Working memory controls involuntary attention switching: Evidence from an auditory distraction paradigm. *European Journal of Neuroscience*, 17(5), 1119–1122.
- Bireta, T. J., Fry, S. E., Jalbert, A., Neath, I., Surprenant, A. M., Tehan, G., & Tolan, G. A. (2010). Backward recall and benchmark effects of working memory. *Memory & Cognition*, 38(3), 279–291.
- Bishop, D. V. M. (1997). Cognitive neuropsychology and developmental disorders: Uncomfortable bedfellows. *Quarterly Journal of Experimental Psychology. Section A: Human Experimental Psychology*, 50A, 899–923.
- Bjorklund, D. F., & Harnishfeger, K. K. (1990). The resources construct in cognitive development: Diverse sources of evidence and a theory of inefficient inhibition. *Developmental Review*, 10, 48–71.
- Blesser, B. (1972). Speech perception under conditions of spectral transformation: I. Phonetic characteristics. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 15, 5–41.
- Boman, E., Enmarker, I., & Hygge, S. (2005). Strength of noise effects on memory as a function of noise source and age. *Noise and Health*, 7(27), 11.
- Boyle, R., & Coltheart, V. (1996). Effects of irrelevant sounds on phonological coding in reading comprehension and short term memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 49A(2), 398–416.
- Bradley, J. S. (1993). Disturbance caused by residential air conditioner noise. *Journal of Acoustical Society of America*, 93(4), 1978–1986.
- Bradley, L., & Bryant, P. E. (1983). Categorizing sounds and learning to read. A causal connection. *Nature*, 301, 419–421.
- Bregman, A. S. (1990). *Auditory scene analysis: The perceptual organization of sound*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Bregman, A. S., & Campbell, J. (1971). Primary auditory stream segregation and perception of order in rapid sequences of tones. *Journal of Experimental Psychology*, 89(2), 244–249.
- Bregman, A. S., & Dannenbring, G. L. (1973). The effect of continuity on auditory stream segregation. *Perception & Psychophysics*, 13(2), 308–312.
- Bridges, A. M., & Jones, D. M. (1996). Word dose in the disruption of serial recall by irrelevant speech: Phonological confusions or changing state? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 49(4), 919–939.
- Broadbent, D. E. (1975). The magic number seven after fifteen years. In A. Kennedy & A. Wilkes (Eds.), *Studies in long-term memory* (pp. 3–18). New York: Wiley.
- Broadbent, D. E. (1979). Human performance and noise. In C. M. Harris (Ed.), *Handbook of noise control* (2nd ed.). New York: McGraw Hill.
- Buchner, A., & Erdfelder, E. (2005). Word frequency of irrelevant speech distractors affects serial recall. *Memory & Cognition*, 33(1), 86–97.
- Buchner, A., Bell, R., Rothermund, K., & Wentura, D. (2008). Sound source location modulates the Irrelevant Sound Effect. *Memory & Cognition*, 36(3), 617–628.
- Buchner, A., Irmen, L., & Erdfelder, E. (1996). On the irrelevance of semantic information for the "Irrelevant Speech" Effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology. Section A: Human Experimental Psychology*, 49(3), 765–779.

- Buchner, A., Mehl, B., Rothermund, K., & Wentura, D. (2006). Artificially induced valence of distractor words increases the effects of irrelevant speech on serial recall. *Memory & Cognition*, *34*(5), 1055–1062.
- Buchner, A., Rothermund, K., Wentura, D., & Mehl, B. (2004). Valence of distractor words increases the effects of irrelevant speech on serial recall. *Memory & Cognition*, *32*(5), 722–731.
- Buchner, A., Steffens, M. C., Irmen, L., & Wender, K. F. (1998). Irrelevant auditory material affects counting. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *24*(1), 48–67.
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*, *19*(3), 273–293.
- Buschke, H. (1963). Relative retention in immediate memory determined by the missing scan method. *Nature*, *200*, 1129–1130.
- Campbell, T., Beaman, C. P., & Berry, D. C. (2002). Auditory memory and the Irrelevant Sound Effect: Further evidence for changing-state disruption. *Memory*, *10*(3), 199–214.
- Campbell, T., Winkler, I., & Kujala, T. (2007). N1 and the mismatch negativity are spatiotemporally distinct ERP components: Disruption of immediate memory by auditory distraction can be related to N1. *Psychophysiology*, *44*(4), 530–540.
- Campbell, T., Winkler, I., Kujala, T., & Näätänen, R. (2003). The N1 hypothesis and irrelevant sound: evidence from token set size effects. *Cognitive Brain Research*, *18*(1), 39–47.
- Carretti, B., Belacchi, C., & Cornoldi, C. (2010). Difficulties in working memory updating in individuals with intellectual disability. *Journal of Intellectual Disability Research*, *54*(4), 337–345.
- Case, R., Kurland, D. M., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, *33*, 386–404.
- Chein, J. M., & Fiez, J. A. (2010). Evaluating models of working memory through the effects of concurrent irrelevant information. *Journal of Experimental Psychology: General*, *139*(1), 117–137.
- Chi, M. T. H. (1978). Knowledge structures and memory development. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: what develops?* Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Clark, C., & Sörqvist, P. (2012). A 3 year update on the influence of noise on performance and behaviour. *Noise & Health*, *14*, 292–296.
- Colle, H. A. (1980). Auditory encoding in visual short-term recall: Effects of noise intensity and spatial location. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, *19*, 722–735.
- Colle, H. A., & Welsh, A. (1976). Acoustic masking in primary memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *15*(1), 17–31.
- Coltheart, V. (1993). Effects of phonological similarity and concurrent irrelevant articulation on short-term memory recall of repeated and novel word lists. *Memory & Cognition*, *21*(4), 539–545.
- Conrad, R. (1964). Acoustic confusions in immediate memory. *British Journal of Psychology*, *55*, 75–84.
- Conrad, R. (1971). The chronology of the development of covert speech in children. *Developmental Psychology*, *5*, 398–405.
- Conrad, R., & Hull, A. J. (1964). Information, acoustic confusion and memory span. *British Journal of Psychology*, *55*(4), 429–432.
- Conrad, R., & Hull, A. J. (1968). Input modality and the serial position curve in short-term memory. *Psychonomic Science*, *10*, 135–136.
- Conway, A. R. A., Cowan, N., & Bunting, M. F. (2001). The Cocktail Party Phenomenon revisited: The importance of working memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*(2), 331–335.
- Courage, M., & Cowan, N. (2009). *The development of memory in infancy and childhood* (2nd ed.). *Studies in developmental psychology*. Hove, New York: Psychology Press.
- Courchesne, E. (1990). Chronology of postnatal human brain development: Event-related potential, positron emission tomography, myelinogenesis, and synaptogenesis studies. In J. W. Rohrbaugh, R. Raruraman, & R. Johnson (Eds.), *Event-related potentials. Basic issues and applications* (pp. 210–241). New York: Oxford University Press.
- Cowan, N. (1984). On short and long auditory stores. *Psychological Bulletin*, *96*, 341–370.
- Cowan, N. (1988). Evolving concepts of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information processing system. *Psychological Bulletin*, *104*, 163–191.

- Cowan, N. (1992). Verbal memory span and the timing of spoken recall. *Journal of Memory and Language*, 31, 668–684.
- Cowan, N. (1995). *Attention and memory. An integrated framework*. New York: Oxford University Press.
- Cowan, N. (1997). The development of working memory. In N. Cowan (Ed.), *The development of memory in children* (pp. 163–199). Hove, UK: Psychology Press.
- 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). Cambridge: Cambridge University Press.
- Cowan, N. (2000). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 87–185.
- Cowan, N., & Barron, A. (1987). Cross-modal, auditory-visual Stroop interference and possible implications for speech memory. *Perception & Psychophysics*, 41(5), 393–401.
- Cowan, N., Day, L., Saults, J. S., 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, 1–17.
- Cowan, N., Keller, T. A., Hulme, C., Roodenrys, S., McDougall, S., & Rack, J. (1994). Verbal memory span in children: Speech timing clues to the mechanisms underlying age and word length effects. *Journal of Memory and Language*, 33, 234–250.
- Cowan, N., Naveh-Benjamin, M., Kilb, A., & Saults, J. S. (2006). Life-span development of visual working memory: When is feature binding difficult? *Developmental Psychology*, 42(6), 1089–1102.
- Cowan, N., Nugent, L. D., Elliott, E. M., Ponomarev, I., & Saults, J. S. (1999). The role of attention in the development of short-term memory: Age differences in the verbal span of apprehension. *Child Development*, 70, 1082–1097.
- Cowan, N., Nugent, L. D., Elliott, E. M., & Saults, J. S. (2000). Persistence of memory for ignored lists of digits: Areas of developmental constancy and change. *Journal of Experimental Child Psychology*, 76(2), 151–172.
- Cowan, N., Saults, J. S., & Elliott, E. M. (2002). Some methods to examine the development of basic parameters of working memory. In R. Kail & H. Reese (Eds.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 29, pp. 1–49). San Diego, CA: Academic Press.
- Cowan, N., Scott, S. J., Nugent, L. D., & Elliott, E. M. (1999). The microanalysis of memory span and its development in childhood. *International Journal of Psychology*, 34(5-6), 353–358.
- Cowan, N., Wood, N. L., Wood, P. K., Keller, T. A., Nugent, L. D., & Keller, C. V. (1998). Two separate verbal processing rates contributing to short-term memory span. *Journal of Experimental Psychology: General*, 127(2), 141–160.
- Cramer, P. (1967). The Stroop effect in preschool aged children: A preliminary study. *Journal of Genetic Psychology*, 111, 9–12.
- Cureton, E. E. (1971). The stability coefficient. *Educational and Psychological Measurement*, 31(1), 45–55.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450–466.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1983). Individual differences in integrating information between and within sentences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 9, 561–584.
- Darling, S., Della Sala, S., & Logie, R. H. (2007). Behavioural evidence for separating components within visuo-spatial working memory. *Cognitive Processing*, 8(3), 175–181.
- Darwin, C. J., Turvey, M. T., & Crowder, R. G. (1972). An auditory analogue of the Sperling partial report procedure: Evidence for brief auditory storage. *Cognitive Psychology*, 3, 255–267.
- Davids, N., Segers, E., Brink, D. van der, Mitterer, H., van der Balkom, H., Hagoort, P., & Verhoeven, L. (2010). The nature of auditory discrimination problems in children with specific language impairment: An MMN study. *Neuropsychologia*.
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037–2078.
- Davis, M. H., & Johnsrude, I. S. (2003). Hierarchical processing in spoken language comprehension. *The Journal of Neuroscience*, 23, 3423–3431.

- Davis, M. H., & Johnsruide, I. S. (2007). Hearing speech sounds: Top-down influences on the interface between audition and speech perception. *Hearing Research*, 229(1-2), 132–147.
- Dempster, R. N. (1981). Memory span: Sources of individual and developmental differences. *Psychological Bulletin*, 89, 63–100.
- Diana, R. A., & Reder, L. M. (2006). The low-frequency encoding disadvantage: Word frequency affects processing demands. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(4), 805–815.
- Divin, W., Coyle, K., & James, D. T. (2001). The effects of irrelevant speech and articulatory suppression on the serial recall of silently presented lipread digits. *British Journal of Psychology*, 92, 593–616.
- Donchin, E., Kramer, A. F., & Wickens, C. (1986). Applications of brain event-related potentials to problems in engineering psychology. In M. G. Coles, E. Donchin, & S. W. Porges (Eds.), *Psychophysiology: Systems, processes, and applications* (pp. 702–718). New York: Guilford Press.
- Downs, D. W. (1982). Effects of hearing aid use on speech discrimination and listening effort. *Journal of Speech & Hearing Disorders*, 47(2), 189–193.
- Drewnowski, A. (1980). Attributes and priorities in short-term recall: A new model of memory span. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(2), 208–250.
- Eagan, D. E., & Chein, J. M. (2012). Overlap of phonetic features as a determinant of the Between-Stream Phonological Similarity Effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 38(2), 473–481.
- Eisenberg, L. S., Shannon, R. V., Martinez, A. S., Wygonski, J., & Boothroyd, A. (2000). Speech recognition with reduced spectral cues as a function of age. *Journal of Acoustical Society of America*, 107(5), 2704–2710.
- Ellermeier, W., & Hellbrück, J. (1998). Is level irrelevant in "irrelevant speech"? Effects of loudness, signal-to-noise ratio, and binaural unmasking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(5), 1406–1414.
- Ellermeier, W., & Zimmer, K. (1997). Individual differences in susceptibility to the "Irrelevant Speech Effect". *Journal of Acoustical Society of America*, 102(4), 2191–2199.
- Elliott, E. M. (2002). The Irrelevant Speech Effect and children: Theoretical implications of developmental change. *Memory and Cognition*, 30, 478–487.
- Elliott, E. M., Bhagat, S. P., & Lynn, S. D. (2007). Can children with (central) auditory processing disorders ignore irrelevant sounds? *Research in Developmental Disabilities*, 28(5), 506–517.
- Elliott, E. M., & Briganti, A. M. (2012). Investigating the role of attentional resources in the Irrelevant Speech Effect. *Acta Psychologica*, 140, 64–74.
- Elliott, E. M., & Cowan, N. (2001). Habituation to auditory distractors in a cross-modal, color–word interference task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27(3), 654–667.
- Elliott, E. M., & Cowan, N. (2005). Coherence of the Irrelevant Sound Effect: Individual profiles of short-term memory and susceptibility to task-irrelevant materials. *Memory & Cognition*, 33(4), 664–675.
- Elliott, E. M., Cowan, N., & Valle-Inclan, F. (1998). The nature of cross-modal color-word interference effects. *Perception & Psychophysics*, 60(5), 761–767.
- Elliott, L. L. (1979). Performance of children aged 9 to 17 years on a test of speech intelligibility in noise using sentence material with controlled word predictability. *Journal of Acoustical Society of America*, 66, 651–653.
- Engle, R. W., Carullo, J. J., & Collins, K. W. (1991). Individual differences in working memory for comprehension and following directions. *Journal of Educational Research*, 84, 253–262.
- Engle, R. W., Conway, A. R., Tuholski, S. W., & Shisler, R. J. (1995). A resource account of inhibition. *Psychological Science*, 6(2), 122–125.
- Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 103–134). Cambridge: Cambridge University Press.
- Enmarker, I. (2004). The effects of meaningful irrelevant speech and road traffic noise on teachers' attention, episodic and semantic memory. *Scandinavian Journal of Psychology*, 45, 393–405.

- Enns, J. T., & Akhtar, N. (1989). A developmental study of filtering in visual attention. *Child Development, 60*(5), 1188–1199.
- Enns, J. T., & Cameron, S. (1987). Selective attention in young children. *Journal of Experimental Child Psychology, 44*(44), 38–63.
- Ericsson, K. A. (1985). Memory skill. *Canadian Journal of Psychology, 39*, 188–231.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics, 16*(1), 143–149.
- Escera, C., Alho, K., Winkler, I., & Näätänen, R. (1998). Neural mechanisms of involuntary attention to acoustic novelty and change. *Journal of Cognitive Neuroscience, 10*(5), 590–604.
- Escera, C., Yago, E., & Alho, K. (2001). Electrical responses reveal the temporal dynamics of brain events during involuntary attention switching. *European Journal of Neuroscience, 14*(5), 877–883.
- Evans, G. W., & Maxwell, L. (1997). Chronic noise exposure and reading deficits: The mediating effects of language acquisition. *Environment and Behavior, 29*(5), 638–656.
- Fabiani, M., Gratton, G., & Coles, M. G. (2000). Event-related brain potentials: Methods, theory, and applications. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinari, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 53–84). New York: Cambridge University Press.
- Fallon, A. B., Groves, K., & Tehan, G. (1999). Phonological similarity and trace degradation in the serial recall task: When CAT helps RAT, but not MAN. *International Journal of Psychology, 34*(5/6), 301–307.
- Farley, L. A., Neath, I., Allbritton, D. W., & Suprenant, A. M. (2007). Irrelevant Speech Effects and sequence learning. *Memory & Cognition, 35*, 156–165.
- Farrand, R., & Jones, D. M. (1996). Direction of report in spatial and verbal serial short-term memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 49A*(1), 140–158.
- Ferguson, A. N., & Bowey, J. A. (2005). Global processing speed as a mediator of developmental changes in children's auditory memory span. *Journal of Experimental Child Psychology, 91*(2), 89–112.
- Ferguson, A. N., Bowey, J. A., & Tilley, A. (2002). The association between auditory memory span and speech rate in children from kindergarten to sixth grade. *Journal of Experimental Child Psychology, 81*(2), 141–156.
- Flavell, J. H., Beach, D. R., & Chinsky, J. M. (1966). Spontaneous verbal rehearsal in a memory task as a function of age. *Child Development, 37*, 283–299.
- Friedman, D., Cycowicz, Y. M., & Gaeta, H. (2001). The novelty P3: An event-related brain potential (ERP) sign of the brain's evaluation of novelty. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 25*, 355–373.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General, 137*(2), 201–225.
- Garavan, H. (1998). Serial attention within working memory. *Memory & Cognition, 26*, 263–276.
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin, 134*(1), 31–60.
- Gathercole, S. E. (1995). Is nonword repetition a test of phonological memory or long-term knowledge? It all depends on the nonwords. *Memory & Cognition, 23*(1), 83–94.
- Gathercole, S. E. (1998). The development of memory. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 39*(1), 3–27.
- Gathercole, S. E. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in Cognitive Sciences, 3*(11), 410–419.
- Gathercole, S. E. (2006). Nonword repetition and word learning: The nature of the relationship. *Applied Psycholinguistics, 27*, 513–543.
- Gathercole, S. E., & Adams, A. M. (1993). Phonological working memory in very young children. *Developmental Psychology, 29*, 770–778.
- Gathercole, S. E., Adams, A. M., & Hitch, G. J. (1994). Do young children rehearse? An individual-differences analysis. *Memory & Cognition, 22*, 201–207.
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1993). *Working memory and language*. Hove, UK: Lawrence Erlbaum.

- Gathercole, S. E., Frankish, C. R., Pickering, S. J., & Peaker, S. H. (1999). Phonotactic influences on short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 25, 1–13.
- Gathercole, S. E., Gardiner, J. M., & Gregg, V. H. (1982). Modality and phonological similarity effects in serial recall: Does one's own voice play a role? *Memory & Cognition*, 10(2), 176–180.
- Gathercole, S. E., & Hitch, G. J. (1993). Developmental changes in short-term memory: A revised working memory perspective. In A. Collins, S. E. Gathercole, A. Conway, & P. E. Morris (Eds.), *Theories of memory* (pp. 189–210). Hove, UK: Erlbaum.
- Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2000). Assessment of working memory in six- and seven-year-old children. *Journal of Educational Psychology*, 92(2), 377–390.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177–190.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Hall, M., & Peaker, S. M. (2001). Dissociable lexical and phonological influences on serial recognition and serial recall. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 54(1), 1–30.
- Gathercole, S. E., Willis, C., Emslie, H., & Baddeley, A. D. (1991). The influences of number of syllables and wordlikeness on children's repetition of nonwords. *Applied Psycholinguistics*, 12(03), 349.
- Gisselgard, J., Petersson, K. M., & Ingvar, M. (2004). The Irrelevant Speech Effect and working memory load. *NeuroImage*, 22, 1107–1116.
- Glanzer, M., & Razel, M. (1974). The size of the unit in short-term storage. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 13(1), 114–131.
- Gomes, H., Molholm, S., Christodoulou, C., Ritter, W., & Cowan, N. (2000). The development of auditory attention in children. *Frontiers in Bioscience*, 5, 108–120.
- Graf, R., Braun, M., Jacobs, A. M., & Hellbrück, J. (2002). Language processing and short-term memory: The gradual Phonological Similarity Effect and irrelevant speech. *Psychologische Beiträge*, 44(2), 203–222.
- 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.
- Guttentag, R. E. (1984). The mental effort requirement of cumulative rehearsal: A developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 37(1), 92–106.
- Hadlington, L., Brides, A. M., & Darby, R. J. (2004). Auditory location in the Irrelevant Sound Effect: The effects of presenting auditory stimuli to either the left ear, right ear or both ears. *Brain & Cognition*, 55(3), 545–557.
- Halford, G. S., & Wilson, W. H. (1980). A category theory approach to cognitive development. *Cognitive Psychology*, 12(3), 356–411.
- Halford, G. S., Maybery, M. T., & Bain, J. D. (1988). Set-size effects in primary memory: An age-related capacity limitation? *Memory & Cognition*, 16, 480–487.
- Hall, D., & Gathercole, S. E. (2011). Serial recall of rhythms and verbal sequences: Impacts of concurrent tasks and irrelevant sound. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(8), 1580–1592.
- Hamilton, C., Coates, R., & Heffernan, T. (2003). What develops in visuo-spatial working memory development? *European Journal of Cognitive Psychology*, 15(1), 43–69.
- Hanley, J. R., & Bakopoulou, E. (2003). Irrelevant speech, articulatory suppression, and phonological similarity: A test of the phonological loop model and the feature model. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10(2), 435–444.
- Hanley, J. R., & Broadbent, C. (1987). The effect of unattended speech on serial recall following auditory presentation. *British Journal of Psychology*, 78, 287–297.
- Hansen, J. C., & Hillyard, S. A. (1980). Endogenous brain potentials associated with selective auditory attention. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 49, 277–290.
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (pp. 193–225). San Diego, CA: Academic Press Inc.
- Hasselhorn, M., & Grube, D. (2003). Das Arbeitsgedächtnis: Funktionsweise, Entwicklung und Bedeutung für kognitive Leistungsstörungen. *Sprache · Stimme · Gehör*, 27(1), 31–37.

- Hasselhorn, M., & Werner, I. (2000). Zur Bedeutung des phonologischen Arbeitsgedächtnisses für die Sprachentwicklung. In H. Grimm (Ed.), *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C: Theorie und Forschung, Serie III Sprache: Vol. 3. Sprachentwicklung* (pp. 363–378). Göttingen: Hogrefe.
- Hasselhorn, M., Schumann-Hengsteler, R., Gronauer, J., Grube, D., Mähler, C., Schmid, I., ... (2012). *Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren (AGTB 5-12)*. Göttingen: Hogrefe.
- Hazan, V., & Barrett, S. (2000). The development of phonemic categorization in children aged 6–12. *Journal of Phonetics*, 28(4), 377–396.
- Hecker, R. (1994). Lärmbelastung in der Schule. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 48, 90–98.
- Hedges, L. V. (1981). Theory for Glass's Estimator of effect size and related estimators. *Journal of Educational Statistics*, 6, 107–128.
- Heinrich, A., Schneider, B. A., & Craik, F. I. M. (2008). Investigating the influence of continuous babble on auditory short-term memory performance. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(5), 735–751.
- Hellbrück, J., Kuwano, S., & Namba, S. (1996). Irrelevant background speech and human performance: Is there long-term habituation? *Journal of Acoustical Society of Japan*, 17, 239–247.
- Henry, L. A. (1991a). The development of auditory memory span: The role of rehearsal. *British Journal of Developmental Psychology*, 9(4), 493–511.
- Henry, L. A. (1991b). The effects of word length and phonemic similarity in young children's short-term memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 43(1), 35–52.
- Henry, L. A. (1994). The relationship between speech rate and memory span in children. *International Journal of Behavioral Development*, 17(1), 37–56.
- Henry, L. A. (2001). How does the severity of a learning disability affect working memory performance? *Memory*, 9, 233–247.
- Henry, L. A. (2012). *The development of working memory in children*. London: Sage.
- Henry, L. A., & Millar, S. (1991). Memory span increase with age: A test of two hypotheses. *Journal of Experimental Child Psychology*, 51(3), 459–484.
- Henry, L. A., & Millar, S. (1993). Why does memory span improve with age? A review of the evidence for two current hypotheses. *European Journal of Cognitive Psychology*, 5(3), 241–287.
- Henson, R. N. A., Burgess, N., & Hitch, G. J. *Factors relevant to the Irrelevant Sound Effect*. Unpublished manuscript, Department of Psychology, University College, London.
- Henson, R. N. A., Norris, D., Page, M. P. A., & Baddeley, A. D. (1996). Unchained memory: Error patterns rule out chaining models of immediate serial recall. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A(1), 80–115.
- Hillyard, S. A., & Hansen, J. C. (1986). Attention and electrophysiological approaches. In M. G. Coles, E. Donchin, & S. W. Porges (Eds.), *Psychophysiology: Systems, processes, and applications* (pp. 227–245). New York: Guilford Press.
- Hitch, G. J. (1990). Developmental fractionation of working memory. In G. Vallar & T. Shallice (Eds.), *Neuropsychological impairments of short-term memory* (pp. 221–246). Cambridge: Cambridge University Press.
- Hitch, G. J., Halliday, M. S., Dodd, A., & Littler, J. E. (1989). Development of rehearsal in short-term memory: Differences between pictorial and spoken stimuli. *British Journal of Developmental Psychology*, 7(4), 347–362.
- Hitch, G. J., Halliday, M. S., Hulme, C., Voi, M. E. L., Routh, D. A., & Conway, A. (1983). Working memory in children. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 302(1110), 325–340.
- Hitch, G. J., Halliday, M. S., & Littler, J. E. (1989). Item identification time and rehearsal rate as predictors of memory span in children. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 41(2), 321–337.
- Hitch, G. J., Halliday, M. S., & Littler, J. E. (1993). Development of memory span for spoken words: The role of rehearsal and item identification processes. *British Journal of Developmental Psychology*, 11(2), 159–169.
- Hitch, G. J., Halliday, M. S., Schaafstal, A. M., & Heffernan, T. M. (1991). Speech, "inner speech," and the development of short-term memory: Effects of picture-labeling on recall. *Journal of Experimental Child Psychology*, 51(2), 220–234.
- Hitch, G. J., Halliday, M. S., Schaafstal, A. M., & Schraagen, J. M. C. (1988). Visual working memory in young children. *Memory & Cognition*, 16(2), 120–132.

- Huang-Pollock, C. L., Carr, T. H., & Nigg, J. T. (2002). Development of selective attention: Perceptual load influences early versus late attentional selection in children and adults. *Developmental Psychology, 38*(3), 363–375.
- Huber, L., Kahlert, J., & Klatt, M. (2002). Ganz Ohr sein können. Vorüberlegungen zur akustischen Gestaltung von Schulen. In L. Huber, J. Kahlert, & M. Klatt (Eds.), *Edition Zuhören: Vol. 3. Die akustisch gestaltete Schule. Auf der Suche nach dem guten Ton* (pp. 9–16). Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht.
- Hughes, C. (1998). Executive function in preschoolers: Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology, 16*(2), 233–253.
- Hughes, R. W., Hurlstone, M. J., Marsh, J. E., Vachon, F., & Jones, D. M. (2012). Cognitive control of auditory distraction: Impact of task difficulty, foreknowledge, and working memory capacity supports duplex-mechanism account. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 39*(2), 539–553.
- Hughes, R. W., & Jones, D. M. (2001). The intrusiveness of sound: Laboratory findings and their implications for noise abatement. *Noise & Health, 4*(13), 51–70.
- Hughes, R. W., & Jones, D. M. (2005). The impact of order incongruence between a task-irrelevant auditory sequence and a task-relevant visual sequence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 31*(2), 316–327.
- Hughes, R. W., Vachon, F., & Jones, D. M. (2005). Auditory attentional capture during serial recall: Violations at encoding of an algorithm-based neural model? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 31*(4), 736–749.
- Hughes, R. W., Vachon, F., & Jones, D. M. (2007). Disruption of short-term memory by changing and deviant sounds: Support for a duplex-mechanism account of auditory distraction. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 33*(6), 1050–1061.
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia, 44*(11), 2017–2036.
- Hulme, C., Maughan, S., & Brown, G. D. A. (1991). Memory for familiar and unfamiliar words: Evidence for a long-term memory contribution to short-term memory span. *Journal of Memory and Language, 30*(6), 685–701.
- Hulme, C., Roodenrys, S., Schweickert, R., Brown, G. D. A., Martin, S., & Stuart, G. (1997). Word-frequency effects on short-term memory tasks: Evidence for a reintegration process in immediate serial recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 23*(5), 1217–1232.
- Hulme, C., Thomson, N., Muir, C., & Lawrence, A. (1984). Speech rate and the development of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology, 38*(2), 241–253.
- Hulme, C., & Tordoff, V. (1989). Working memory development: The effects of speech rate, word length, and acoustic similarity on serial recall. *Journal of Experimental Child Psychology, 47*(1), 72–87.
- Hygge, S., Boman, E., & Enmarker, I. (2003). The effects of road traffic noise and meaningful irrelevant speech on different memory systems. *Scandinavian Journal of Psychology, 44*(1), 13–21.
- Im-Bolter, N., Johnson, J., & Pascual-Leone, J. (2006). Processing limitations in children with Specific Language Impairment: The role of executive function. *Child Development, 77*(6), 1822–1841.
- Isaacs, E. B., & Vargha-Khadem, F. (1989). Differential course of development of spatial and verbal memory span: A normative study. *British Journal of Developmental Psychology, 7*(4), 377–380.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Johnson, C. E. (2000). Children's phoneme identification in reverberation and noise. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 43*, 144–157.
- Johnston, R. S., Johnson, C., & Gray, C. (1987). The emergence of the word length effect in young children: The effects of overt and covert rehearsal. *British Journal of Developmental Psychology, 5*(3), 243–248.
- Johnstone, S. J., Dimoska, A., Smith, J. L., Barry, R. J., Pleffer, C. B., Chiswick, D., & Clarke, A. R. (2007). The development of stop-signal and Go/Nogo response inhibition in children aged 7–12 years: Performance and event-related potential indices. *International Journal of Psychophysiology, 63*(1), 25–38.
- Jonah, B. A., Bradley, J. S., & Dawson, N. E. (1981). Predicting individual subjective responses to traffic noise. *Journal of Applied Psychology, 66*, 490–501.

- Jones, D. M. (1993). Objects, streams and threads of auditory attention. In A. D. Baddeley & L. Weiskrantz (Eds.), *Attention: Selection, Awareness and Control: A tribute to Donald Broadbent* (pp. 87–104). Oxford: Clarendon Press.
- Jones, D. M. (1995). The fate of the unattended stimulus: Irrelevant speech and cognition. *Applied Cognitive Psychology*, 9, 23–38.
- Jones, D. M., Alford, D., Bridges, A., Tremblay, S., & Macken, B. (1999). Organizational factors in selective attention: The interplay of acoustic distinctiveness and auditory streaming in the Irrelevant Sound Effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(2), 464–473.
- Jones, D. M., Alford, D., Macken, W. J., Banbury, S., & Tremblay, S. (2000). Interference from degraded auditory stimuli: Linear effects of changing-state in the irrelevant sequence. *Journal of the Acoustical Society of America*, 108, 1082–1088.
- Jones, D. M., Beaman, C. P., & Macken, W. J. (1996). The object-oriented episodic record model. In S. E. Gathercole (Ed.), *Models of short-term memory* (pp. 209–237). Hove, UK: Psychology Press.
- Jones, D. M., Farrand, P., Stuart, G., & Morris, N. (1995). Functional equivalence of verbal and spatial information in serial short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 1008–1018.
- Jones, D. M., Hughes, R. W., & Macken, W. J. (2010). Auditory distraction and serial memory: The avoidable and the ineluctable. *Noise and Health*, 12(49), 201–209.
- Jones, D. M., & Macken, W. J. (1993). Irrelevant tones produce an Irrelevant Speech Effect: Implications for phonological coding in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 369–381.
- Jones, D. M., & Macken, W. J. (1995a). Phonological similarity in the Irrelevant Speech Effect: Within- or between-stream similarity? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 21(1), 103–115.
- Jones, D. M., & Macken, W. J. (1995b). Auditory babble and cognitive efficiency: Role of number of voices and their location. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 1(3), 216–226.
- Jones, D. M., & Macken, W. J. (1995c). Organizational factors in the effect of irrelevant speech: The role of spatial location and timing. *Memory & Cognition*, 23(2), 192–200.
- Jones, D. M., Macken, W. J., & Mosdell, N. M. (1997). The role of habituation in the disruption of recall performance by irrelevant sound. *British Journal of Psychology*, 88(4), 549–564.
- Jones, D. M., Macken, W. J., & Murray, A. C. (1993). Disruption of visual short-term memory by changing-state auditory stimuli: The role of segmentation. *Memory & Cognition*, 21(3), 318–328.
- Jones, D. M., Macken, W. J., & Nicholls, A. P. (2004). The phonological store of working memory: Is it phonological and is it a store? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(3), 656–674.
- Jones, D. M., Madden, C., & Miles, C. (1992). Privileged access by irrelevant speech to short-term memory: The role of changing state. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A: Human Experimental Psychology*, 44(4), 645–669.
- Jones, D. M., Marsh, J. E., & Hughes, R. W. (2012). Retrieval from memory: Vulnerable or inviolable? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 38(4), 905–922.
- Jones, D. M., Miles, C., & Page, J. (1990). Disruption of reading by irrelevant speech: Effects of attention, arousal or memory? *Journal of Applied Cognitive Psychology*, 4, 89–108.
- Jones, D. M., Saint-Aubin, J., & Tremblay, S. (1999). Modulation of the Irrelevant Sound Effect by organizational factors: Further evidence from streaming by location. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 52(3), 545–554.
- Jones, D. M., & Tremblay, S. (2000). Interference in memory by process or content? A reply to Neath (2000). *Psychonomic Bulletin & Review*, 7(3), 550–558.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(1), 47–70.
- Karlsen, P. J., Allen, R. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2010). Binding across space and time in visual working memory. *Memory & Cognition*, 38(3), 292–303.
- Karmiloff-Smith, A. (1998). Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(10), 389–398.

- Kemps, E., Rammelaere, S. de, & Desmet, T. (2000). The development of working memory: Exploring the complementarity of two models. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77, 89–109.
- Kilcher, H., & Hellbrück, J. (1996). The irrelevant babble effect: Disruption of serial recall by background voices. In J. Hoffmann & A. Sebald (Eds.), *Proceedings of the Ninth Conference of the European Society for Cognitive Psychology* (p. 122). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- King, J., & Just, M. A. (1991). Individual differences in syntactic processing: The role of working memory. *Journal of Memory and Language*, 30, 580–602.
- Kjellberg, A., Landstroem, U., Tesarz, M., & Soederberg, L. (1996). The effects of nonphysical noise characteristics, ongoing task and noise sensitivity on annoyance and distraction due to noise at work. *Journal of Environmental Psychology*, 16(2), 123–136.
- Kjellberg, A., Ljung, R., & Hallman, D. (2008). Recall of words heard in noise. *Applied Cognitive Psychology*, 22(8), 1088–1098.
- Klatte, M. (1996). *Struktur und Prozesse des Arbeitsgedächtnisses: Theoretische Modelle und experimentelle Untersuchungen*. Hamburg: Dr. Kovac.
- Klatte, M., Bergström, K., & Lachmann, T. (2013). Does noise affect learning? A short review on noise effects on cognitive performance in children. *Frontiers in Psychology*, 4.
- Klatte, M., & Hellbrück, J. (1993). Der "Irrelevant Speech Effect": Wirkungen von Hintergrundschaall auf das Arbeitsgedächtnis. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 40, 91–98.
- Klatte, M., & Hellbrück, J. (1997). Effects of irrelevant speech on serial recall of verbal and spatial materials. In A. Schick & M. Klatte (Eds.), *Contributions to Psychological Acoustics: Results of the 7th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics* (pp. 531–538). Oldenburg: BIS.
- Klatte, M., Hellbrück, J., Seidel, J., & Leistner, P. (2010c). Effects of classroom acoustics on performance and well-being in elementary school children: A field study. *Environment and Behavior*, 42(5), 659–692.
- Klatte, M., & Lachmann, T. (2009). Viel Lärm ums Lernen: Akustische Bedingungen in Klassenräumen und ihre Bedeutung für den Unterricht. In R. Arnold (Ed.), *Grundlagen der Berufs- und Erwachsenenbildung: Vol. 63. Grenzgänge(r) der Pädagogik* (pp. 141–156). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Klatte, M., Lachmann, T., & Meis, M. (2010a). Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting. *Noise and Health*, 12(49), 270.
- Klatte, M., Lachmann, T., Schlittmeier, S., & Hellbrück, J. (2010b). The Irrelevant Sound Effect in short-term memory: Is there developmental change? *European Journal of Cognitive Psychology*, 22(8), 1168–1191.
- Klatte, M., Lee, N., & Hellbrück, J. (2002). Effects of irrelevant speech and articulatory suppression on serial recall of heard and read materials. *Psychologische Beiträge*, 44(2), 166–186.
- Klatte, M., Kilcher, H., & Hellbrück, J. (1995). Wirkungen der zeitlichen Struktur von Hintergrundschaall auf das Arbeitsgedächtnis und ihre theoretischen und praktischen Implikationen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 42, 517–544.
- Klatte, M., Meis, M., Sukowski, H., & Schick, A. (2007). Effects of irrelevant speech and traffic noise on speech perception and cognitive performance in elementary school children. *Noise & Health*, 9, 64–74.
- Klenberg, L., Korkman, M., & Lahti-Nuutila, P. (2001). Differential development of attention and executive functions in 3- to 12-year-old Finnish children. *Developmental Neuropsychology*, 20(1), 407–428.
- Knez, I., & Hygge, S. (2002). Irrelevant speech and indoor lighting: Effects on cognitive performance and self-reported affect. *Applied Cognitive Psychology*, 16(6), 709–718.
- Korkman, M., Kemp, S. L., & Kirk, U. (2001). Effects of age on neurocognitive measures of children ages 5 to 12: A cross-sectional study on 800 children from the United States. *Developmental Neuropsychology*, 20(1), 331–354.
- Krause, J. von, Drenckberg, K., Ludwig, S., & Seßlen, K. *Gesundes Arbeiten in Kindertagesstätten: Gesundheitsförderung für Erzieherinnen*. München.
- Kray, J., & Schneider, W. (2012). Kognitive Kontrolle, Selbstregulation und Metakognition. In W. Schneider & U. Lindenberger (Eds.), *Entwicklungspsychologie. Vormalis Oerter & Montada. Mit Online-Materialien* (7th ed., pp. 457–476). Weinheim, Basel: Beltz.

- Kujala, T., Shtyrov, Y., Winkler, I., Saher, M., Tervaniemi, M., Sallinen, M., ... (2004). Long-term exposure to noise impairs cortical sound processing and attention control. *Psychophysiology*, 41(6), 875–881.
- Kurtz, P. (2005). Büroarbeit ohne Lärmstress. *Magazin der Europäischen Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz*, 8, 26–28.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?! *Intelligence*, 14, 389–433.
- Lachmann, T. (2002). Reading disability as a deficit in functional coordination and information integration. In E. Witruk, A. D. Friederici, & T. Lachmann (Eds.), *Basic functions of language, reading and reading disability* (pp. 165–198). Boston: Kluwer/Springer.
- Lane, D. M., & Pearson, D. A. (1982). The development of selective attention. *Merrill-Palmer Quarterly*, 28(3), 317–337.
- Lange, E. (2005). Disruption of attention by irrelevant stimuli in serial recall. *Journal of Memory and Language*, 53, 513–531.
- Larsen, J. D., & Baddeley, A. D. (2003). Disruption of verbal STM by irrelevant speech, articulatory suppression, and manual tapping: do they have a common source? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 56A(8), 1249–1268.
- Larsen, J. D., Baddeley, A. D., & Andrade, J. (2000). Phonological similarity and the Irrelevant Speech Effect: Implications for models of short-term verbal memory. *Memory*, 8(3), 145–157.
- Leather, C. V., & Henry, L. A. (1994). Working memory span and phonological awareness tasks as predictors of early reading ability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 58(1), 88–111.
- LeCompte, D. C. (1994). Extending the Irrelevant Speech Effect beyond serial recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 20, 1396–1408.
- LeCompte, D. C. (1996). Irrelevant speech, serial rehearsal, and temporal distinctiveness: A new approach to the Irrelevant Speech Effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(5), 1154–1165.
- LeCompte, D. C., Neely, C. B., & Wilson, J. R. (1997). Irrelevant speech and irrelevant tones: The relative importance of speech to the Irrelevant Speech Effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 23(2), 472–483.
- LeCompte, D. C., & Shaibe, D. M. (1997). On the irrelevance of phonological similarity to the Irrelevant Speech Effect. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A: Human Experimental Psychology*, 50A(1), 100–118.
- Lee, N. (1999). *The temporal capacity of verbal short-term memory: An empirical study exploring the phonological loop by means of the irrelevant speech effect*. Hamburg: Dr. Kovac.
- Lehmann, M., & Hasselhorn, M. (2007). Variable memory strategy use in children's adaptive intratask learning behavior: Developmental changes and working memory influences in free recall. *Child Development*, 78(4), 1068–1082.
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21(1), 59–80.
- Lian, A., Karlse, P. J., & Eriksen, T. B. (2004). Opposing effects of phonological similarity on item and order memory of words and nonwords in the serial recall task. *Memory*, 12(3), 314–337.
- Liebl, A. (2006). *Auswirkungen von Hintergrundschall auf das Lesen und Verstehen von Texten* (Inaugural-Dissertation). Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Eichstätt.
- Little, J. S., Martin, F. H., & Thomson, R. H. S. (2010). Speech versus non-speech as irrelevant sound: Controlling acoustic variation. *Biological Psychology*, 85, 62–70.
- Lloyd, M. E., Doydum, A. O., & Newcombe, N. S. (2009). Memory binding in early childhood: Evidence for a retrieval deficit. *Child Development*, 80, 1321–1328.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove, UK: Erlbaum.
- Logie, R. H., & Baddeley, A. D. (1987). Cognitive processes in counting. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(2), 310–326.
- Logie, R. H., & Pearson, D. G. (1997). The inner eye and the inner scribe of visuo-spatial working memory: Evidence from developmental fractionation. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9(3), 241–257.
- Long, D., & Allen, G. A. (1973). Relative effects of acoustic and semantic relatedness on clustering in free-recall. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 1, 316–318.

- Lorch, E. P., Anderson, D. R., & Well, A. D. (1984). Effects of irrelevant information on speeded classification tasks: Interference is reduced by habituation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10(6), 850–864.
- MacDonald, M. C., Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). Working memory constraints on the processing of syntactic ambiguity. *Cognitive Psychology*, 24, 56–98.
- Macken, W. J., & Jones, D. M. (1995). Functional characteristics of the inner voice and the inner ear: Single or double agency? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 21(2), 436–448.
- Macken, W. J., Mosdell, N., & Jones, D. M. (1999). Explaining the Irrelevant Sound Effect: Temporal distinctiveness or changing state? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(3), 810–814.
- Macken, W. J., Phelps, F. G., & Jones, D. M. (2009). What causes auditory distraction? *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(1), 139–144.
- Macken, W. J., Tremblay, S., Alford, D., & Jones, D. M. (1999). Attentional selectivity in short-term memory: Similarity of process, not similarity of content, determines disruption. *International Journal of Psychology*, 34(5/6), 322–327.
- Macken, W. J., Tremblay, S., Houghton, R. J., Nicholls, A. P., & Jones, D. M. (2003). Does auditory streaming require attention? Evidence from attentional selectivity in short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(1), 43–51.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop Effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2), 163–203.
- MacLeod, C. M., & Gorfein, D. S. (Eds.). (2007). *Inhibition in cognition*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Madigna, S. A. (1971). Modality and recall order interactions in short-term memory for serial order. *Journal of Experimental Psychology*, 87(2), 294–296.
- Manly, T., Robertson, I. H., Anderson, V., & Nimmo-Smith, I. (1999). *The Test of Everyday Attention for Children (TEA-Ch)*. Bury St Edmunds, UK: Thames Valley Test Company.
- Marsh, J. E., Hughes, R. W., & Jones, D. M. (2008). Auditory distraction in semantic memory: A process-based approach. *Journal of Memory and Language*, 58(3), 682–700.
- Marsh, J. E., Hughes, R. W., & Jones, D. M. (2009). Interference by process, not content, determines semantic auditory distraction. *Cognition*, 110(1), 23–38.
- Marsh, J. E., & Jones, D. M. (2010). Cross-modal distraction by background speech: What role for meaning? *Noise & Health*, 12, 210–216.
- Marsh, J. E., Vachon, F., & Jones, D. M. (2008). When does between-sequence phonological similarity promote irrelevant sound disruption? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34(1), 243–248.
- Martin, R. C., Wogalter, M. S., & Forlano, J. G. (1988). Reading comprehension in the presence of unattended speech and music. *Journal of Memory and Language*, 27, 382–398.
- Maxwell, L., & Evans, G. (2000). The effects of noise on pre-school children's pre-reading skills. *Journal of Environmental Psychology*, 20, 91–97.
- McCormack, T., Brown, G. D. A., Vousden, J. I., & Henson, R. N. A. (2000). Children's serial recall errors: Implications for theories of short-term memory development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 76(3), 222–252.
- McCoy, S. L., Tun, P. A., Clarke Cox, L., Colangelo, M., Stewart, R. A., & Wingfield, A. (2005). Hearing loss and perceptual effort: Downstream effects on older adults' memory for speech. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 58(1), 22–33.
- McElree, B. (2001). Working memory and focal attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 27, 817–835.
- McGilly, K., & Siegler, R. S. (1989). How children choose among serial recall strategies. *Child Development*, 60, 172–182.
- Metsala, J. L. (1997). An examination of word frequency and neighborhood density in the development of spoken-word recognition. *Memory & Cognition*, 25, 47–56.
- Miles, C., & Jones, D. M. (1989). The fallacy of the cross-modal Stroop effect: A rejoinder to Cowan (1989). *Perception & Psychophysics*, 45(1), 85–86.
- Miles, C., Jones, D. M., & Madden, C. (1991). Locus of the Irrelevant Speech Effect in short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 17(3), 578–584.

- Miles, C., Madden, C., & Jones, D. M. (1988). Levels of interference by irrelevant speech: One, some or many? In A. M. Colley & J. R. Beech (Eds.), *Cognition and action in skilled behaviour* (pp. 349–359). North-Holland: Elsevier.
- Miles, C., Madden, C., & Jones, D. M. (1989). Cross-modal, auditory visual Stroop interference: A reply to Cowan and Barron. *Perception and Psychophysics*, *45*, 77–81.
- Miles, C., Morgan, M. J., Milne, A. B., & Morris, E. D. M. (1996). Developmental and individual differences in visual memory span. *Current Psychology*, *15*(1), 53–67.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits to our capacity for processing information. *Psychological Review*, *63*, 81–97.
- Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. *British Medical Bulletin*, *27*(3), 272–277.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (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.
- Miyake, A., & Shah, P. (Eds.). (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Molino, J. A. (1979). Annoyance and noise. In C. M. Harris (Ed.), *Handbook of noise control* (2nd ed.). New York: McGraw Hill.
- Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: affective cues and the influence of instructions. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *11*, 56–60.
- Morra, S. (1994). Issues in working memory measurement: Testing for M capacity. *International Journal of Behavioral Development*, *17*(1), 143–159.
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990a). Habituation to irrelevant speech: Effects on a visual short-term memory task. *Perception and Psychophysics*, *47*, 291–297.
- Morris, N., Jones, D. M., & Quayle, A. J. (1989). Memory disruption by background speech and singing. In E. D. Megan (Ed.), *Contemporary ergonomics* (pp. 494–499). London: Taylor & Francis.
- Mummery, C. J., Ashburner, J., Scott, S. K., & Wise, R. J. S. (1999). Functional neuroimaging of speech perception in six normal and two aphasic subjects. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *106*(1), 449.
- Murdock, B. B. (1968). Modality effects in short-term memory: Storage or retrieval? *Journal of Experimental Psychology*, *77*(1), 79–86.
- Murphy, D. R., Craik, F. I. M., Li, K. Z. H., & Schmid, A. (2000). Comparing the effects of aging and background noise of short-term memory performance. *Psychology and Aging*, *15*(2), 323–334.
- Nairne, J. S. (1988). A framework for interpreting recency effects in immediate serial recall. *Memory & Cognition*, *16*, 343–352.
- Nairne, J. S. (1990). A feature model of immediate memory. *Memory and Cognition*, *18*(251-269).
- Nairne, J. S. (2001). A functional analysis of primary memory. In H. L. Roediger, J. S. Nairne, & A. M. Surprenant (Eds.), *The nature of remembering: Essays in honor of Robert G. Crowder* (pp. 283–297). London: American Psychological Association.
- Nairne, J. S. (2002). Remembering over the short-term: The case against the standard model. *Annual Review of Psychology*, *53*, 53–81.
- Naveh-Benjamin, M., & Jonides, J. (1984). Maintenance rehearsal: A two-component analysis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *10*(369-385).
- Neath, I. (1999). Modelling the disruptive effects of irrelevant speech on order information. *International Journal of Psychology*, *34*, 410–418.
- Neath, I. (2000). Modeling the effects of irrelevant speech on memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *7*, 403–423.
- Neath, I., Farley, L. A., & Surprenant, A. M. (2003). Directly assessing the relationship between irrelevant speech and articulatory suppression. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *56A*(8), 1269–1278.
- Neath, I., Guérard, K., Jalbert, A., Bireta, T. J., & Surprenant, A. M. (2009). Irrelevant speech effects and statistical learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62*(8), 1551–1559.

- Neath, I., & Nairne, J. S. (1995). Word-length effects in immediate memory: Overwriting trace decay theory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2, 429–441.
- Neath, I., & Surprenant, A. M. (2001). The Irrelevant Sound Effect is not always the same as the Irrelevant Speech Effect. In H. L. Roediger, J. S. Nairne, & A. M. Surprenant (Eds.), *The nature of remembering: Essays in honor of Robert G. Crowder* (pp. 247–265). London: American Psychological Association.
- Neath, I., & Surprenant, A. M. (2003). *Human memory: An introduction to research, data and theory* (2nd ed.). Belmont, CA: Wadsworth.
- Neath, I., Surprenant, A. M., & LeCompte, D. C. (1998). Irrelevant speech eliminates the Word Length Effect. *Memory & Cognition*, 26(2), 343–354.
- Neely, C. B., & LeCompte, D. C. (1999). The importance of semantic similarity to the Irrelevant Speech Effect. *Memory & Cognition*, 27(1), 37–44.
- Nemecek, J., & Grandjean, E. (1973). Noise in landscaped offices. *Applied Ergonomics*, 4(1), 19–22.
- Neumann, E., & DeSchepper, B. G. (1991). Costs and benefits of target activation and distractor inhibition in selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 17(6), 1136–1145.
- Neuman, A. C., & Hochberg, I. (1983). Children's perception of speech in reverberation. *Journal of Acoustical Society of America*, 73, 2145–2149.
- Neuman, A. C., Wroblewski, M., Hajicek, J., & Rubinstein, A. (2010). Combined effects of noise and reverberation on speech recognition performance of normal-hearing children and adults. *Ear and hearing*, 31, 336–344.
- Nicholls, A. P., & Jones, D. M. (2002). The sandwich effect reassessed: Effects of streaming distraction and modality. *Memory & Cognition*, 30(1), 81–88.
- Nicolson, R. (1981). The relationship between memory span and processing speed. In M. P. Friedman, J. P. Das, & N. O'Connor (Eds.), *Intelligence and learning* (pp. 179–183). New York: Plenum Publishing Corporation.
- Nimmo, L. M., & Roodenrys, S. (2004). Investigating the phonological similarity effect: Syllable structure and the position of common phonemes. *Journal of Memory and Language*, 50, 245–258.
- Nittono, H. (1997). Background instrumental music and serial recall. *Perceptual and Motor Skills*, 84(3), 1307–1313.
- Norris, D., Baddeley, A. D., & Page, M. P. A. (2004). Retroactive effects of irrelevant speech on serial recall from short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(5), 1093–1105.
- Nozza, R. J., Rossman, R. N., Bond, L. C., & Miller, S. L. (1990). Infant speech-sound discrimination in noise. *Journal of Acoustical Society of America*, 87(1), 339–350.
- Ormrod, J. E., & Cochran, K. F. (1988). Relationship of verbal ability and working memory to spelling achievement and learning to spell. *Reading Research and Instruction*, 28, 33–43.
- Ornstein, P. A., Naus, M. J., & Liberty, C. (1975). Rehearsal and organisational processes in children's memory. *Child Development*, 46, 818–830.
- Oswald, C. J. P., Tremblay, S., & Jones, D. M. (2000). Disruption of comprehension by the meaning of irrelevant sound. *Memory*, 8(5), 345–350.
- Page, M. P. A., & Norris, D. G. (2003). The Irrelevant Sound Effect: What needs modelling, and a tentative model. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 56A(8), 1289–1300.
- Palmer, S. (2000). Working memory: A developmental study of phonological recording. *Memory and Cognition*, 8, 179–193.
- Papso, C. F., & Blood, I. M. (1989). Word recognition skills of children and adults in background noise. *Ear and Hearing*, 10(4), 235–236.
- Parmentier, F. B. R. (2008). Towards a cognitive model of distraction by auditory novelty: The role of involuntary attention capture and semantic processing. *Cognition*, 109(3), 345–362.
- Pascual-Leone, J. (1970). A mathematical model for the transition rule in Piaget's developmental stages. *Acta Psychologica*, 32, 301–345.
- Pekkarinen, E., & Viljanen, V. (1991). Acoustic conditions for speech communication in classrooms. *Scandinavian Audiology*, 20(4), 257–263.
- Penney, C. G. (1989). Modality effects and the structure of short-term verbal memory. *Memory & Cognition*, 17(4), 398–422.

- Perham, N., & Banbury, S. (2012). The role of rehearsal in a novel call center-type task. *Noise and Health, 14*(56), 1.
- Perham, N., Banbury, S. P., & Jones, D. M. (2007). Reduction in auditory distraction by retrieval strategy. *Memory, 15*(4), 465–473.
- Pickering, S. J., Gathercole, S. E., Hall, M., & Lloyd, S. A. (2001). Development of memory for pattern and path: Further evidence for the fractionation of visuo-spatial memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A, 54*(2), 397–420.
- Pickering, S. J., Gathercole, S. E., & Peaker, M. (1998). Verbal and visui-spatial short-term memory in children: Evidence for common and distinct mechanisms. *Memory & Cognition, 26*, 1117–1130.
- Poirier, M., & Saint-Aubin, J. (1996). Immediate serial recall, word frequency, item identity and item position. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale, 50*(4), 408–412.
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology, 118*(10), 2128–2148.
- Pollack, I., Johnson, I. B., & Knaff, P. R. (1959). Running memory span. *Journal of Experimental Psychology, 57*, 137–146.
- Rabbitt, P. (1991). Mild hearing loss can cause apparent memory failures which increase with age and reduce with IQ. *Acta Otolaryngol. (Stockh.)*, 476, 167–176.
- Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W., & Naumann, E. (2010). *Quantitative Methoden: Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (3rd ed., Vol. 2). Berlin: Springer.
- Remez, R. E., Rubin, P. E., Pisoni, D. B., & Carrell, T. D. (1981). Speech perception without traditional speech cues. *Science, 212*(4497), 947–950.
- Richardson, J. T. (1984). Developing the theory of working memory. *Memory & Cognition, 12*, 71–83.
- Ricker, T. J., AuBuchon, A. M., & Cowan, N. (2010). Working memory. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 1*, 573–585.
- Ridderinkhof, K. R., & van der Molen, M. W. (1995). A psychophysiological analysis of developmental differences in the ability to resist interference. *Child Development, 66*, 1040–1056.
- Roberts, M. J., & Russo, R. (1999). *A student's guide to analysis of variance*. London: Routledge.
- Röer, J. P. (2011). *Der Einfluss unerwarteter Distraktorwiederholungen auf den Irrelevant Sound-Effekt im Arbeitsgedächtnis* (Inaugural-Dissertation). Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf.
- Röer, J. P., Bell, R., Dentale, S., & Buchner, A. (2011). The role of habituation and attentional orienting in the disruption of short-term memory performance. *Memory & Cognition, 39*(5), 839–850.
- Ronsse, L., & Wang, L. (2010). Effects of noise from building mechanical systems on elementary school student achievement. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Transactions, 116*(2), 347–354.
- Roodenrys, S., Hulme, C., & Brown, G. (1993). The development of short-term memory span: Separable effects of speech rate and long-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology, 56*(3), 431–442.
- Roodenrys, S., Hulme, C., Lethbridge, A., Hinton, M., & Nimmo, L. M. (2002). Word-frequency and phonological-neighborhood effects on verbal short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 28*(6), 1019–1034.
- Rosen, V. M., & Engle, R. W. (1997). Forward and backward serial recall. *Intelligence, 25*(1), 37–47.
- Ross, L. A., Molholm, S., Blanco, D., Gomez-Ramirez, M., Saint-Amour, D., & Foxe, J. J. (2011). The development of multisensory speech perception continues into the late childhood years. *European Journal of Neuroscience, 33*(12), 2329–2337.
- Rouleau, N., & Belleville, S. (1996). Irrelevant Speech Effect in aging: An assessment of inhibitory processes in working memory. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 51*(6), P356.
- Rummelhart, D. (1991). *Connectionist concepts of learning memory and generalization*. Paper presented at the International Conference on Memory, Lancaster University, Langester England.
- Russell, J., Jarrold, C., & Henry, L. A. (1996). Working memory in children with Autism and with moderate learning difficulties. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 37*(6), 673–686.
- Ryan, J. (1969). Grouping and short-term memory: Different means and patterns of groups. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 21*, 137–147.

- Salamé, P., & Baddeley, A. D. (1982). Disruption of short-term memory by unattended speech: Implications for the structure of working memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 21, 150–164.
- Salamé, P., & Baddeley, A. D. (1983). Differential effects of noise and speech on short-term memory. In R. Rossi (Ed.), *Proceedings of the Fourth International congress on Noise as a Public Health Problem* (pp. 751–758). Milan: Edition technique a cura del centre ricerche e studion amplifon.
- 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.
- Salamé, P., & Baddeley, A. D. (1987). Noise, unattended speech and short-term memory. *Ergonomics*, 30(8), 1185–1194.
- Salamé, P., & Baddeley, A. D. (1989). Effects of background music on phonological short-term memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 41A, 107–122.
- Salamé, P., & Baddeley, A. D. (1990). The effects of irrelevant speech on immediate free recall. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 28(6), 540–542.
- Saults, J. S., & Cowan, N. (1996). The development of memory for ignored speech. *Journal of Experimental Child Psychology*, 63(1), 239–261.
- Schick, A., Klatt, M., & Meis, M. (1999). Die Lärmbelastung von Lehrern und Schülern - ein Forschungsstandbericht. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 46(3), 77–87.
- Schlittmeier, S. (2005). *Arbeitsgedächtnis und Hintergrundsall: Gibt es einen Irrelevant Sound Effect bei auditiv präsentierten Items?* Berlin: Logos Verlag.
- Schlittmeier, S., Hellbrück, J., & Klatt, M. (2008a). Can the Irrelevant Speech Effect turn into a Stimulus Suffix Effect? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(5), 665–673.
- Schlittmeier, S., Hellbrück, J., & Klatt, M. (2008b). Does irrelevant music cause an Irrelevant Sound Effect for auditory items? *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(2), 252–271.
- Schlittmeier, S., Hellbrück, J., Thaden, R., & Vorländer, M. (2008c). The impact of background speech varying in intelligibility: Effects on cognitive performance and perceived disturbance. *Ergonomics*, 51(5), 719–736.
- Schlittmeier, S., Weißgerber, T., Kerber, S., Fastl, H., & Hellbrück, J. (2012). Algorithmic modeling of the Irrelevant Sound Effect (ISE) by the hearing sensation fluctuation strength. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(1), 194–203.
- Schlittmeier, S., Weisz, N., & Bertrand, O. (2011). What characterizes changing-state speech in affecting short-term memory? An EEG study on the irrelevant sound effect. *Psychophysiology*, 48(12), 1669–1680.
- Schmid, A., Liebl, A., & Hellbrück, J. (2003). *Effects of environmental noise on basic cognitive functions*: Poster präsentiert auf der 5. Tagung der Fachgruppe Umweltpsychologie der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (DGPs) in Eindhoven (NL).
- Schönwälder, H., Berndt, J., Ströver, F., & Tiesler, G. (2004). *Lärm in Bildungsstätten: Ursachen und Minderung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund: Forschungsbericht Fb 1030*. Bremerhaven: NW Wirtschaftsverlag.
- Schroeder, M. R. (1968). Reference signal for signal quality studies. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 44(6), 1735.
- Schröger, E., & Wolff, C. (1998). Behavioral and electrophysiological effects of task-irrelevant sound change: a new distraction paradigm. *Cognitive Brain Research*, 7(1), 71–87.
- Schweickert, R. (1993). A multinomial processing tree model for degradation and reintegration in immediate recall. *Memory & Cognition*, 21(2), 168–175.
- Schweickert, R., Guentert, L., & Hersberger, L. (1990). Phonological similarity, pronunciation rate, and memory span. *Psychological Science*, 1(1), 74–77.
- Scott, S. K., Blank, C. C., Rosen, S., & Wise, R. J. (2000). Identification of a pathway for intelligible speech in the left temporal lobe. *Brain*, 123, 2400–2406.
- Scott, S. K., & Wise, R. J. S. (2004). The functional neuroanatomy of prelexical processing in speech perception. *Cognition*, 92(1-2), 13–45.
- Shelton, J. T., Elliott, E. M., Eaves, S. D., & Exner, A. L. (2009). The distracting effects of a ringing cell phone: An investigation of the laboratory and the classroom setting. *Journal of Environmental Psychology*, 29(4), 513–521.
- Shepard, R. N. (1987). Toward a universal law of generalization for psychological science. *Science*, 237, 1317–1323.

- Shield, B., & Dockrell, J. (2004). External and internal noise surveys of London primary schools. *Journal of Acoustical Society of America*, 115, 730–738.
- Shield, B., & Dockrell, J. (2008). The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123(1), 133–144.
- Shing, Y. L., Werkle-Bergner, M., Brehmer, Y., Müller, V., Li, S.-C., & Lindenberger, U. (2010). Episodic memory across the lifespan: The contributions of associative and strategic components. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(7), 1080–1091.
- Shing, Y. L., Werkle-Bergner, M., Li, S.-C., & Lindenberger, U. (2008). Associative and strategic components of episodic memory: A life-span dissociation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(3), 495–513.
- Siegel, L. S. (1994). Working memory and reading: A life-span perspective. *International Journal of Behavioral Development*, 17(1), 109–124.
- Siegel, L. S., & Ryan, E. B. (1989). The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development*, 60, 973–980.
- Sluzenski, J., Newcombe, N. S., & Kovacs, S. L. (2006). Binding, relational memory, and recall of naturalistic events: A developmental perspective. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(1), 89–100.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1997). Working memory: A view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, 33, 5–42.
- Smith, J. D., Wilson, M., & Reisberg, D. (1995). The role of subvocalization in auditory imagery. *Neuropsychologia*, 33(11), 1433–1454.
- Sokolov, E. N. (1963). *Perception and the conditional reflex*. Oxford: Pergamon.
- Sommers, M. S., & Lewis, B. P. (1999). Who really lives next door: Creating false memories with phonological neighbors. *Journal of Memory and Language*, 40, 83–108.
- Sörensen, S. (1970). On the possibilities of changing the annoyance reaction to noise by changing the attitudes to the source of annoyance. *Nordisk hygienisk tidskrift. Supplement*, 1, 5–76.
- Sörqvist, P. (2010). High working memory capacity attenuates the deviation effect but not the Changing-State Effect: Further support for the duplex-mechanism account of auditory distraction. *Memory & Cognition*, 38(5), 651–658.
- Sörqvist, P., Marsh, J. E., & Nöstl, A. (2013). High working memory capacity does not always attenuate distraction: Bayesian evidence in support of the null hypothesis. *Psychonomic Bulletin & Review*.
- Sörqvist, P., Nöstl, A., & Halin, N. (2012). Disruption of writing processes by the semanticity of background speech. *Scandinavian Journal of Psychology*, 53(2), 97–102.
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs*, 74(11, Whole No. 498), 1–29.
- St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(4), 745–759.
- Steinbrink, C., & Klatt, M. (2008). Phonological working memory in German children with poor reading and spelling abilities. *Dyslexia*, 14(4), 271–290.
- Stock, C., Marx, P., & Schneider, W. (2004). *Basiskompetenzen für Lese-/Rechtschreibleistungen. Ein Test zur Erfassung der phonologischen Bewusstheit vom ersten bis vierten Grundschuljahr*. Göttingen: Hogrefe.
- Stokes, K. A., & Arnell, K. M. (2012). New considerations for the cognitive locus of impairment in the irrelevant-sound effect. *Memory & Cognition*, 40, 918–931.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 634–662.
- Stuart, A. (2005). Development of auditory temporal resolution in school-age children revealed by word recognition in continuous and interrupted noise. *Ear and Hearing*, 26, 78–88.
- Sundstrom, E., Town, J. P., Rice, R. W., & Osborn, D. P. (1994). Office noise, satisfaction, and performance. *Environment and Behavior*, 26(2), 195–222.
- Surprenant, A. M. (1999). The effect of noise on memory for spoken syllables. *International Journal of Psychology*, 34(5/6), 328–333.

- Surprenant, A. M. (2007). Effects of noise on identification and serial recall of nonsensesyllables in older and younger adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 14, 126–143.
- Surprenant, A. M., LeCompte, D. C., & Neath, I. (2000). Manipulations of irrelevant information: Suffix effects with articulatory suppression and irrelevant speech. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 53A(2), 325–348.
- Surprenant, A. M., Neath, I., & LeCompte, D. C. (1999). Irrelevant Speech, phonological similarity, and presentation modality. *Memory*, 7(4), 405–420.
- Swanson, H. L. (1999). What develops in working memory? A life span perspective. *Developmental Psychology*, 35(4), 986–1000.
- Swanson, H. L. (2008). Working memory and intelligence in children: What develops? *Journal of Educational Psychology*, 100(3), 581–602.
- Talarico, M., Abdilla, G., Aliferis, M., Balazic, I., Giaprakis, I., Stefanakis, T., ... (2007). Effect of age and cognition on childhood speech in noise perception abilities. *Audiology and Neurotology*, 12(1), 13–19.
- Tam, H., Jarrold, C., Baddeley, A. D., & Sabatos-DeVito, M. (2010). The development of memory maintenance: Children's use of phonological rehearsal and attentional refreshment in working memory tasks. *Journal of Experimental Child Psychology*, 107(3), 306–324.
- Thackray, R. I., & Jones, K. N. (1971). Level of arousal during stroop performance: Effects of speed stress and "distraction". *Psychonomic Science*, 23(2), 133–135.
- Thackray, R. I., Jones, K. N., & Touchstone, R. M. (1972). The color-word interference test and its relation to performance impairment under auditory distraction. *Psychonomic Science*, 28, 225–227.
- Thomson, J. M., Richardson, U., & Goswami, U. (2005). Phonological similarity neighborhoods and children's short-term memory: Typical development and dyslexia. *Memory & Cognition*, 33(7), 1210–1219.
- Tolan, G. A., & Tehan, G. (2002). Testing feature interaction: Between-stream Irrelevant Speech Effects in immediate recall. *Journal of Memory and Language*, 46(3), 562–585.
- Tremblay, S., & Jones, D. M. (1998). Role of habituation in the Irrelevant Sound Effect: Evidence from the effects of token set size and rate of transition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24, 659–671.
- Tremblay, S., & Jones, D. M. (1999). Change of intensity fails to produce an irrelevant sound effect: Implications for the representation of unattended sound. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(4), 1004–1015.
- Tremblay, S., Macken, W. J., & Jones, D. M. (2001). The impact of broadband noise on serial memory: Changes in band-pass frequency increase disruption. *Memory*, 9(4-6), 323–331.
- Tremblay, S., Nicholls, A. P., Alford, D., & Jones, D. M. (2000). The Irrelevant Sound Effect: Does speech play a special role? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(6), 1750–1754.
- Trick, L. M., & Pylyshyn, Z. W. (1993). What enumeration studies can show us about spatial attention: Evidence for limited capacity preattentive processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 331–351.
- Tulving, E. (1989). Memory: Performance, knowledge and experience. *European Journal of Cognitive Psychology*, 1(1), 3–26.
- Turner, J. E., Henry, L. A., & Smith, P. T. (2000). The development of the use of long-term knowledge to assist short-term recall. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 53(2), 457–478.
- Turner, J. E., Henry, L. A., Smith, P. T., & Brown, P. (2004). Redintegration and lexicality effects in children: Do they depend upon the demands of the memory task. *Memory & Cognition*, 32, 501–510.
- Valtonen, J., May, P., Mäkinen, V., & Tiitinen, H. (2003). Visual short-term memory load affects sensory processing of irrelevant sounds in human auditory cortex. *Cognitive Brain Research*, 17(2), 358–367.
- van der Molen, M. W. (2000). Developmental changes in inhibitory processing: Evidence from psychophysiological measures. *Biological Psychology*, 54, 207–239.
- van Gerven, P. W. M., Meijer, W. A., Vermeeren, A., Vuurman, E. F., & Jolles, J. (2007). The Irrelevant Speech Effect and the level of interference in aging. *Experimental Aging Research*, 33(3), 323–339.

- Verhaeghen, P., & Basak, C. (2005). Aging and switching of the focus of attention in working memory: Results from a modified N-Back task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 58(1), 134–154.
- Viswanathan, N., Dorsi, J., & George, S. (2013). The role of speech-specific properties of the background in the Irrelevant Sound Effect. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1–9.
- Vouloumanos, A., & Werker, J. F. (2004). Tuned to the signal: The privileged status of speech for young infants. *Developmental Science*, 7, 270–276.
- Warren, R. M., & Obusek, C. J. (1972). Identification of temporal order within auditory sequences. *Perception and Psychophysics*, 12, 86–90.
- Warren, R. M., Obusek, C. J., Farmer, R. M., & Warren, R. P. (1969). Auditory sequence: Confusion of patterns other than speech or music. *Science*, 164(3879), 586–587.
- Waters, W. F., McDonald, D. G., & Koresko, R. L. (1977). Habituation of the orienting response: A gating mechanism subserving selective attention. *Psychophysiology*, 14(3), 228–236.
- Watkins, M. J. (1977). The intricacy of memory span. *Memory & Cognition*, 5(5), 529–534.
- Watkins, M. J., Watkins, O. C., & Crowder, R. G. (1974). The modality effect in free and serial recall as a function of phonological similarity. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 13(3), 319–348.
- Watkins, O. C., & Watkins, M. J. (1977). Serial recall and the modality effect: Effects of word frequency. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 3(6), 712–718.
- Waugh, N. C., & Norman, D. A. (1965). Primary memory. *Psychological Review*, 72, 89–104.
- Weinstein, N. D. (1974). Effect of noise on intellectual performance. *Journal of Applied Psychology*, 59(5), 548–554.
- Weinstein, N. D. (1977). Noise and intellectual performance: A confirmation and extension. *Journal of Applied Psychology*, 62(1), 104–107.
- Weisz, N., & Schlittmeier, S. (2006). Detrimental effects of irrelevant speech on serial recall of visual items are reflected in reduced visual N1 and reduced theta activity. *Cerebral Cortex*, 16(8), 1097–1105.
- Wetzel, N., & Schröger, E. (2007). Cognitive control of involuntary attention and distraction in children and adolescents. *Brain Research*, 1155(134–146).
- White, S. H. (1970). Some general outlines of the matrix of developmental changes between five and seven years. *Bulletin of the Orton Society*, 20(1), 41–57.
- Whiteley, H., & Walker, P. (1991). The role of articulation in the parsing and retention of letter strings in tachistoscopic free recall. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 45(1), 75–82.
- Wickelgren, W. A. (1964). Size of rehearsal group and short-term memory. *Journal of Experimental Psychology*, 68, 413–419.
- Wickelgren, W. A. (1965). Short-term memory for phonemically similar lists. *The American Journal of Psychology*, 78(4), 567–574.
- Wijker, W. (1991). *ERP ontogenesis in childhood*. Unpublished doctoral thesis. University of Amsterdam, Netherlands.
- Williamson, V. J., Mitchell, T., Hitch, G. J., & Baddeley, A. D. (2010). Musicians' memory for verbal and tonal materials under conditions of irrelevant sound. *Psychology of Music*, 38(3), 331–350.
- Willis, C. S., & Gathercole, S. E. (2001). Phonological short-term memory contributions to sentence processing in young children. *Memory*, 9(4–6), 349–363.
- Wilson, J. T. L., Scott, J. H., & Power, K. G. (1987). Developmental differences in the span of visual memory for pattern. *British Journal of Developmental Psychology*, 5(3), 249–255.
- Wilson, R. H., Farmer, N. M., Gandhi, A., Shelburne, E., & Weaver, J. (2010). Normative data for the Words-in-Noise Test for 6- to 12-year-old children. *Journal of speech, language, and hearing research : JSLHR*, 53(5), 1111–1121.
- Woodhead, M. M. (1964). The effect of bursts of noise on an arithmetic task. *The American Journal of Psychology*, 77(4), 627–633.
- Yang, B. (1992). An acoustical study of Korean monophthongs produced by male and female speakers. *Journal of Acoustical Society of America*, 91, 2280–2283.
- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18, 459–482.

- Yuzawa, M. (2001). Effects of word length on young children's memory performance. *Memory & Cognition*, 29(4), 557–564.
- Zhang, G., & Simon, H. A. (1985). STM capacity for Chinese words and idioms: Chunking and acoustical loop hypotheses. *Memory & Cognition*, 13(3), 193–201.

Curriculum Vitae

■ PERSÖNLICHE DATEN

Vorname, Name: Andrea Prölb, geb. Menauer

■ PROMOTION & STUDIUM

07/2011 – 07/2014 Promotionsstudium an der TU Kaiserslautern im Fachbereich Sozialwissenschaften, Fachgebiet Kognitive und Entwicklungspsychologie

04/2007 – 07/2011 Erweiterungsstudium "Qualifikation zur Beratungslehrkraft" an der KU Eichstätt-Ingolstadt

10/2007 – 07/2011 Studium der Psychologie mit schulpsychologischem Schwerpunkt und der Mathematik für das Lehramt an Gymnasien an der KU Eichstätt-Ingolstadt

■ STIPENDIEN

09/2011 – 07/2014 Promotionsstipendiatin der Studienstiftung des deutschen Volkes

07/2011 – 09/2011 Promotionsstipendiatin der TU Kaiserslautern

10/2008 – 07/2011 Stipendiatin der Studienstiftung des deutschen Volkes

04/2008 – 07/2011 Stipendiatin des Max-Weber-Programms Bayern