

Der Einfluss
unerwarteter Distraktorwiederholungen
auf den *Irrelevant Sound*-Effekt
im Arbeitsgedächtnis

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Jan Philipp Röer

aus Essen

Mai 2011

Aus dem Institut für Experimentelle Psychologie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Gedruckt mit Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Referent: Prof. Dr. Axel Buchner

Korreferent: Prof. Dr. Martin Heil

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Juni 2011

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
Abstract	7
1 Der Irrelevant Sound-Effekt	8
1.1 Beschreibung des Phänomens	8
1.2 Empirische Befundlage	8
1.3 Der Changing State-Befund	10
1.4 Einordnung des Phänomens	11
2 Arbeitsgedächtnismodelle	12
2.1 Das Modulare Arbeitsgedächtnismodell.....	13
2.1.1 Beschreibung des Modells	13
2.1.2 Erklärung des Irrelevant Sound-Effekts	15
2.2 Das Object-Oriented Episodic Record-Modell.....	18
2.2.1 Beschreibung des Modells	18
2.2.2 Erklärung des Irrelevant Sound-Effekts	19
2.3 Das Feature-Modell	22
2.3.1 Beschreibung des Modells	22
2.3.2 Erklärung des Irrelevant Sound-Effekts	23
2.4 Das Embedded Processes-Modell	26
2.4.1 Beschreibung des Modells	26
2.4.2 Erklärung des Irrelevant Sound-Effekts	27
2.5 Klassifizierung der Arbeitsgedächtnismodelle	30
3 Der Einfluss von Aufmerksamkeit.....	31
3.1 Semantische Distraktoreigenschaften	31
3.2 Habituation des Irrelevant Sound-Effekts.....	33
3.3 Abweichende auditive Distraktoren	37
3.4 Fazit	39
4 Unerwartete Distraktorwiederholungen	41
5 Experiment 1	43
5.1 Methode.....	43
5.1.1 Stichprobe.....	43
5.1.2 Material.....	43
5.1.3 Versuchsdurchführung	44

5.1.4 Versuchsplan	46
5.2 Ergebnisse	46
5.2.1 Serielle Position	47
5.2.2 Zeitlicher Verlauf	48
5.3 Diskussion	49
6 Experiment 2.....	53
6.1 Methode.....	53
6.1.1 Stichprobe	53
6.1.2 Material.....	53
6.1.3 Versuchsdurchführung und Versuchsplan	54
6.2 Ergebnisse	54
6.2.1 Serielle Position	54
6.2.2 Zeitlicher Verlauf	55
6.3 Diskussion.....	56
7 Experiment 3	60
7.1 Methode.....	60
7.1.1 Stichprobe	60
7.1.2 Material.....	60
7.1.3 Versuchsdurchführung	60
7.1.4 Versuchsplan	61
7.2 Ergebnisse	62
7.2.1 Serielle Position	62
7.2.2 Zeitlicher Verlauf	64
7.3 Diskussion	66
8 Experiment 4	68
8.1 Methode.....	68
8.1.1 Stichprobe	68
8.1.2 Material.....	68
8.1.3 Versuchsdurchführung	68
8.1.4 Versuchsplan	68
8.2 Ergebnisse	68
8.2.1 Serielle Position	68
8.2.2 Zeitlicher Verlauf	69
8.3 Diskussion.....	70

9 Allgemeine Diskussion	72
9.1 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	72
9.2 Modelltheoretische Einordnung der Befunde	73
9.2.1 Das Modulare Arbeitsgedächtnismodell.....	73
9.2.2 Das Object-Oriented Episodic Record-Modell.....	75
9.2.3 Das Feature-Modell	76
9.2.4 Das Embedded Processes-Modell	77
9.3 Konklusion	79
9.4 Ausblick	80
10 Literatur	83
Anhang: Stimulusmaterial	94

Zusammenfassung

Als *Irrelevant Sound*-Effekt wird die Beeinträchtigung der seriellen Reproduktionsleistung bezeichnet, wenn während der Präsentation zu erinnernder Items oder in einem kurzen Retentionsintervall aufgabenirrelevante Störgeräusche zu ignorieren sind. Modelle des menschlichen Arbeitsgedächtnisses müssen diesen Effekt erklären und lassen sich diesbezüglich in zwei Klassen unterteilen. In einer ersten Klasse wird die Störwirkung auf eine Interferenz in Folge der präattentiven Distraktorverarbeitung zurückgeführt, in einer zweiten auf eine Aufmerksamkeitsablenkung, welche die Aufrechterhaltung zu erinnernder Items stört. In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, welchen Einfluss unerwartete Distraktorwiederholungen auf das Ausmaß haben, in dem die serielle Reproduktionsleistung beeinträchtigt wird. Hierzu lassen sich aus den Modellklassen gegenläufige Vorhersagen ableiten. Während in der ersten Klasse Distraktorwiederholungen immer weniger stören müssen als eine Abfolge verschiedener Distraktoren, sollten in der zweiten Klasse unerwartete Veränderungen innerhalb der Distraktorsequenz eine besonders hohe Beeinträchtigung hervorrufen. Übereinstimmend mit den Vorhersagen der zweiten Klasse von Modellen zeigte Experiment 1, dass Melodien, die unerwartet in eine Tonwiederholung übergingen, eine höhere Störwirkung verursachten als erwartungskonform abgespielte vollständige Melodien. In Experiment 2 und 3 konnte dieses Befundmuster mit Sätzen, die in eine Wortwiederholung übergingen, repliziert werden. Dass die erhöhte Störwirkung auch Bestand hatte, wenn die unerwarteten Distraktorwiederholungen erst in einem Retentionsintervall präsentiert wurden, ist ein Beleg dafür, dass die Aufrechterhaltung zu erinnernder Items beeinträchtigt wurde und nicht nur Enkodierungsprozesse. Experiment 4 zeigte, dass Sätze mit Wortwiederholung nur dann mehr stören, wenn sie eine unerwartete Veränderung gegenüber zuvor präsentierten Sätzen darstellen. Insgesamt ist das Befundmuster nur mit Modellen vereinbar, denen zufolge Aufmerksamkeitsprozesse an der kurzfristigen Aufrechterhaltung im Arbeitsgedächtnis beteiligt sind. Implikationen für jene Modelle, die solch eine Beteiligung ausschließen, werden diskutiert.

Abstract

The irrelevant sound effect refers to the reduction in serial recall of a list of items when task-irrelevant background sound is played during list presentation or subsequently in a retention interval. Theories of working memory fall into one of two categories, depending on whether they assume that the effect is caused by automatic interference or by attentional recruitment away from the maintenance of the items. A series of experiments examined the impact of unexpected distractor repetitions on the disruption of serial recall performance. According to theories claiming that the irrelevant sound effect is caused by automatic interference, a sequence of different distractors must always impair serial recall more than a sequence of repeated distractors. By contrast, theories that include a role for attention predict that unexpected changes in the distractor sequence should be particularly disruptive. Consistent with the latter assumption, performance in Experiment 1 was worse for melodies which changed unexpectedly into a tone repetition than for intact melodies which were played in line with expectations. The results of Experiment 2 and 3 conceptually replicated those of Experiment 1 using speech distractors. The disruptive effect of the unexpected distractor repetitions persisted when they were played in a retention interval, indicating that the impairment concerned the maintenance of the to-be-remembered items as opposed to encoding processes. Experiment 4 showed that the distractor repetitions solely caused more disruption when they violate a previously built up expectation. The results are consistent with those theories of working memory that allow for attention to play a role in the maintenance of information. Implications for theoretical accounts that exclude such a role are discussed.

1 Der *Irrelevant Sound*-Effekt

Im Zentrum der vorliegenden Arbeit steht ein klassischerweise als Arbeitsgedächtnisphänomen verstandener Effekt, der sogenannte „*Irrelevant Sound*-Effekt“. Es handelt sich hierbei um die Beeinträchtigung der seriellen Reproduktionsleistung im Vergleich zu einer Ruhebedingung, wenn während der Präsentation zu erinnernder Items oder in einem nachfolgenden Retentionsintervall aufgabenirrelevanter Hintergrundschall zu ignorieren ist.

1.1 Beschreibung des Phänomens

Erstmals berichtet wurde ein *Irrelevant Sound*-Effekt von Colle und Welsh (1976). Die Autoren ließen Probanden zufällige Abfolgen von acht seriell auf dem Computerbildschirm präsentierten Konsonanten lernen und kurz darauf in der richtigen Reihenfolge wiedergeben. Während der Präsentation zu erinnernder Items und im nachfolgenden Retentionsintervall wurde in manchen Durchgängen über Kopfhörer fremdsprachlicher Text abgespielt. Obwohl die Probanden angewiesen wurden, den für die Bearbeitung der Aufgabe irrelevanten Hintergrundschall zu ignorieren, war die Reproduktionsleistung im Vergleich zu einer Ruhebedingung beeinträchtigt.

Eingang in die Fachliteratur fand das Phänomen zunächst unter der Bezeichnung „*Unattended Speech*-Effekt“ (Salamé & Baddeley, 1982, 1987). Diese Nomenklatur enthält jedoch die inzwischen als widerlegt geltende Annahme, dass nur *sprachhaltiger* Hintergrundschall eine Beeinträchtigung der seriellen Reproduktionsleistung verursacht. Außerdem legt die Bezeichnung nahe, dass die auditiven Distraktoren unbeachtet bleiben, was im Widerspruch zu den Annahmen einiger Erklärungsansätze zum Phänomen steht (vgl. Kapitel 2.1.3 und 2.1.4). Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit der allgemeine, von Beaman und Jones (1997) vorgeschlagene Begriff „*Irrelevant Sound*-Effekt“ verwendet.

1.2 Empirische Befundlage

Das große Interesse am *Irrelevant Sound*-Effekt erklärt sich aus der Annahme, dass dieser ein geeignetes Instrument zur Differenzierung der Funktionsweise des menschlichen Arbeitsgedächtnisses darstellt (vgl. Kapitel 1.4). Basierend auf zahlreichen Untersuchungen konnte bislang eine Reihe zentraler Merkmale des Phänomens aufgezeigt werden.

Die Bedeutungshaltigkeit auditiver Distraktoren ist keine notwendige Voraussetzung für das Zustandekommen einer Störwirkung. Eine Beeinträchtigung der seriellen Reproduktionslei-

tung zeigte sich auch bei Verwendung von fremdsprachlichen Distraktoren (Colle, 1980; Colle & Welsh, 1976; Macken & Jones, 1995; Salamé & Baddeley, 1986, 1987, 1989), rückwärts dargebotener Sprache (Jones, Miles & Page, 1990; LeCompte, Neely & Wilson, 1997) und bedeutungslosen Wörtern (Buchner, Irmen & Erdfelder, 1996; Buchner, Mehl, Rothermund & Wentura, 2006; LeCompte, 1996; LeCompte & Shaibe, 1997). Vor dem Hintergrund vergleichbarer Störwirkungen von bedeutungshaltigen und bedeutungslosen (Buchner et al., 1996; LeCompte & Shaibe, 1997; Salamé & Baddeley, 1982) sowie mutter- und fremdsprachlichen Distraktoren (Jones et al., 1990) wurde zunächst vermutet, dass semantische Eigenschaften des Hintergrundschalls überhaupt keinen Einfluss auf die Größe des *Irrelevant Sound*-Effekt ausüben. Dies gilt jedoch inzwischen als widerlegt. So konnte gezeigt werden, dass unter anderem die Häufigkeit (Buchner & Erdfelder, 2005) und Valenz (Buchner et al., 2006; Buchner, Rothermund, Wentura & Mehl, 2004) von Distraktorwörtern die Größe des Effekts mitbestimmen können (vgl. Kapitel 3.1).

Entgegen der ursprünglichen Annahme, dass ausschließlich sprachhaltiger Hintergrundschaall im Stande ist, eine Beeinträchtigung hervorzurufen (Salamé & Baddeley, 1982, 1987), konnte in der Zwischenzeit gezeigt werden, dass auch *nicht*sprachliche Distraktoren die serielle Reproduktionsleistung im Vergleich zu einer Ruhebedingung reduzieren, darunter Sinustonfolgen (Jones, Alford, Bridges, Tremblay & Macken, 1999; Jones & Macken, 1993), Instrumentalmusik (Ellermeier & Hellbrück, 1998; Salamé & Baddeley, 1989) und Umweltgeräusche (Buchner, Bell, Rothermund & Wentura, 2008). In der Regel ist dabei der *Irrelevant Sound*-Effekt im Vergleich zu sprachhaltigen Distraktoren weniger stark ausgeprägt (Buchner et al., 2008; LeCompte et al., 1997; Salamé & Baddeley, 1989; siehe aber auch Tremblay, Nicholls, Alford & Jones, 2000). In einigen Erklärungsansätzen zum Phänomen wird daher der Sprachhaltigkeit des Distraktormaterials eine besondere Rolle eingeräumt (vgl. Kapitel 2.1.1 und 2.1.3).

Ein weiteres zentrales Merkmal des Phänomens ist die Unabhängigkeit vom Schalldruckpegel (Colle, 1980; Ellermeier & Hellbrück, 1998). Dies konnte für sprachliche und nichtsprachliche Distraktoren im Intensitätsbereich von 40 bis 79 dB(A) nachgewiesen werden. Auch Pegelveränderungen innerhalb eines Durchgangs hatten keinen leistungsmindernden Effekt auf die serielle Reproduktion (Tremblay & Jones, 1999). Diese Befunde sind nicht vereinbar mit einer Konzeptualisierung des *Irrelevant Sound*-Effekts als *Arousal*-Phänomen sensu Yerkes und Dodson (1908), wonach ein umgekehrt U-förmiger Zusammenhang zwischen dem

Schalldruckpegel der auditiven Distraktoren und der seriellen Reproduktionsleistung zu erwarten wäre.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass auch die Reproduktion von auditiv dargebotenen Items gestört wird (Jones, Macken & Nicholls, 2004; Klatter, Lee & Hellbrück, 2002; LeCompte, 1996; Schlittmeier, Hellbrück & Klatter, 2008; Surprenant, Neath & LeCompte, 1999). Außerdem beeinträchtigt Hintergrundschall eine Vielzahl anderer kognitiver Aufgaben, darunter die freie Reproduktion (Banbury & Berry, 1997; Beaman & Jones, 1998; Bell, Buchner & Mund, 2008; LeCompte, 1994), das Korrekturlesen (Jones et al., 1990), das Textverständnis (Martin, Wogalter & Forlano, 1988), das Paarassoziationslernen (LeCompte, 1994), die Ausführung mentaler Rechenaufgaben (Banbury & Berry, 1998), das Abzählen visuell präsentierter Punkte (Buchner, Steffens, Irmen & Wender, 1998), das statistische Lernen (Neath, Guerard, Jalbert, Bireta & Surprenant, 2009) sowie die Identifizierung eines in einer bekannten Menge fehlenden Items (*Missing Item*-Aufgabe; Beaman & Jones, 1997; LeCompte, 1996). Da umstritten ist, ob hierbei der leistungsmindernde Einfluss auf dieselben Mechanismen zurückzuführen ist wie die Beeinträchtigung der seriellen Reproduktion (vgl. Kapitel 2.2), wird in der vorliegenden Arbeit nur letztere als *Irrelevant Sound*-Effekt bezeichnet.

1.3 Der *Changing State*-Befund

Als notwendige Voraussetzung für das Auftreten eines *Irrelevant Sound*-Effekts gelten abrupte Zustandsveränderungen in Frequenz oder Amplitude, welche in der englischsprachigen Literatur als *Changing States* bezeichnet werden. Sogenannte *Steady State*-Sequenzen, die keine solche Veränderungen aufweisen, beeinträchtigen die serielle Reproduktionsleistung nur in sehr geringem Maße. So stören zum Beispiel Distraktorsequenzen aus verschiedenen Konsonanten (z.B. F, J, R, B, L, K, Q, M) wesentlich mehr als die wiederholte Darbietung eines einzelnen Konsonanten (z.B. J, J, J, J, J, J, J; LeCompte, 1995; siehe auch Jones, Madden & Miles, 1992). Dieses Befundmuster konnte mit Sequenzen aus verschiedenen und wiederholten einsilbigen Wörtern (Bell, Dentale, Buchner & Mayr, 2010) sowie Sinustönen unterschiedlicher und gleicher Frequenz repliziert werden (Jones, Alford et al., 1999; Tremblay & Jones, 1998). Auch kontinuierlich präsentierte Vokale (LeCompte, 1995) und 1/f-Rauschen¹ (Salamé & Baddeley, 1989; Schlittmeier et al., 2008) beeinträchtigen die serielle Reproduktionsleistung nur unwesentlich.

¹ Der Begriff „1/f-Rauschen“ (auch „rosa Rauschen“) bezeichnet ein Rauschen, bei dem die Amplitudenverteilung mit der Frequenz abnimmt.

Bereits zwei abwechselnd dargebotene Distraktoren reichen aus, um einen *Irrelevant Sound*-Effekt hervorzurufen (z.B. Tremblay & Jones, 1998). Inwieweit eine höhere Anzahl verschiedener Distraktoren mit einer größeren Störwirkung einher geht, ist derzeit noch umstritten. Während Tremblay und Jones (1998) vergleichbare Beeinträchtigungen durch zwei, drei, fünf und sieben unterschiedliche Distraktoren fanden, berichteten Campbell, Beaman und Berry (2002) eine steigende Störwirkung mit zunehmender Distraktoranzahl (vgl. Kapitel 3.2).

1.4 Einordnung des Phänomens

Es gilt als gesichert, dass die auditiven Distraktoren in erster Linie die kurzfristige Aufrechterhaltung von Informationen im Arbeitsgedächtnis beeinträchtigen. Miles, Jones und Madden (1991) boten Probanden aufgabenirrelevanten Prosatext zu drei verschiedenen Zeitpunkten innerhalb einer seriellen Reproduktionsaufgabe dar: 1) zeitgleich mit der Präsentation zu erinnernder Items, 2) während eines nachfolgenden Retentionsintervalls oder 3) in der anschließenden Abrufphase. Wurden dieselben Distraktoren während der Präsentation der Items oder im Retentionsintervall abgespielt, wurde durch beide Arten der Distraktorpräsentation eine vergleichbare Störwirkung erzielt. Die Darbietung in der Abrufphase dagegen hatte keine nennenswerte Leistungsminderung zur Folge. Dies ist ein Beleg dafür, dass die Beeinträchtigung in erster Linie die kurzfristige Aufrechterhaltung der Items betrifft und nicht die im Retentionsintervall bereits abgeschlossene Enkodierung. Diese Befunde wurden inzwischen von einer Vielzahl nachfolgender Studien bestätigt (Buchner et al., 2008; Buchner et al., 2004; Hughes, Vachon & Jones, 2007; Macken, Mosdell & Jones, 1999; Norris, Baddeley & Page, 2004).

Aus diesem Grund müssen Modelle des menschlichen Arbeitsgedächtnisses eine Erklärung für das Phänomen aufzeigen. Es lassen sich hierbei zwei Klassen von Erklärungen und damit auch zwei Klassen von Arbeitsgedächtnismodellen unterscheiden – eine erste, deren Modelle den *Irrelevant Sound*-Effekt auf automatische Interferenz zurückführen und eine zweite, in welcher das Phänomen als Folge einer Aufmerksamkeitsablenkung konzeptualisiert wird.

2 Arbeitsgedächtnismodelle

Seitdem der Begriff von Miller, Galanter und Pribram (1960) in Anlehnung an den Arbeitsspeicher eines Computers eingeführt wurde, haben sich unzählige Forschungsarbeiten mit dem theoretischen Konstrukt „Arbeitsgedächtnis“ befasst. Trotz einer Vielzahl von Veröffentlichungen zum Thema ist jedoch die Frage nach den Gemeinsamkeiten innerhalb der Arbeitsgedächtnisforschung nicht ganz einfach zu beantworten. Die vorgeschlagenen Definitionen reichen von mehreren modalitätsspezifischen Komponenten (Baddeley & Hitch, 1974; vgl. Kapitel 2.1) bis hin zur Annahme, dass das Arbeitsgedächtnis sämtliche Prozesse umfasse, die Informationen in einem hochgradig verfügbaren Zustand halten (Cowan, 1999; vgl. Kapitel 2.4). Aus diesem Grund schlagen Miyake und Shah (1999) der Einfachheit halber den Konsens unter den Modellen als Definition vor. Demzufolge umfasst das Arbeitsgedächtnis „die Gesamtheit der Prozesse und Strukturen, die an der Kontrolle, Regulierung und aktiven Aufrechterhaltung von aufgabenrelevanten Informationen beteiligt sind“. Aufgrund des heterogenen Verständnisses davon, wie das System aufgebaut ist und was es eigentlich ausmacht, ist es mitunter schwierig, die Annahmen der einzelnen Modelle miteinander zu vergleichen (z.B. Berti, 2010). Für deren kritische Beurteilung ist es aber immanent notwendig, dass sich aus ihnen empirisch nachprüfbarere Voraussagen ableiten lassen.

Der *Irrelevant Sound*-Effekt stellt ein geeignetes Instrument für solch eine Theorieprüfung dar. Anhand der Annahmen zum Phänomen lassen sich sehr gut grundsätzliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Arbeitsgedächtnismodellen aufzeigen. Nach Elliott (2002; siehe auch Buchner et al. 2008; Buchner et al. 2006; Buchner et al., 2004; Chein & Fiez, 2009; Lange, 2005) lassen sich zwei Klassen von Erklärungen zum *Irrelevant Sound*-Effekt und damit auch zwei Klassen von Arbeitsgedächtnismodellen unterscheiden. Innerhalb der ersten Klasse von Modellen – zu der das *Modulare* Arbeitsgedächtnismodell (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999) und das *Object-Oriented Episodic Record*-Modell (Jones, 1993; Jones, Beaman & Macken, 1996) gehören – wird der *Irrelevant Sound*-Effekt mit automatischer Interferenz erklärt, welche durch die präattentive Verarbeitung der Distraktordinformationen ausgelöst wird. Innerhalb der zweiten Klasse von Modellen – zu der das *Feature-Modell*² (Nairne, 1990; Neath, 2000b) und das *Embedded-Processes*-Modell (Cowan, 1995,

² Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das *Feature*-Modell nach Ansicht der Autoren kein Arbeitsgedächtnismodell darstellt (siehe Neath [2000] für eine ausführliche Erläuterung). Wird es in der vorliegenden Arbeit dennoch als solches bezeichnet, geschieht dies lediglich seinem Anspruch gerecht werdend den *Irrelevant Sound*-Effekt erklären zu können, und ohne, dass darüber hinaus mit dieser Bezeichnung eine inhaltliche Aussage verknüpft ist.

1999) gehören – wird der Effekt auf eine Aufmerksamkeitsablenkung zurückgeführt, welche die Aufrechterhaltung der zu erinnernden Items im Arbeitsgedächtnis stört. In den folgenden Abschnitten werden die Modelle mit einem Hauptaugenmerk auf ihre Erklärungen des *Irrelevant Sound*-Effekts erläutert.

2.1 Das *Modulare* Arbeitsgedächtnismodell

Nach dem *Modularen* Arbeitsgedächtnismodell (Baddeley, 1986; Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999) setzt sich das Arbeitsgedächtnis aus mehreren spezialisierten Komponenten zusammen. Einer zentralen Exekutive sind dabei zwei kapazitätsbegrenzte modalitätsspezifische Subsysteme untergeordnet: die phonologische Schleife und der visuell-räumliche Notizblock. Der *Irrelevant Sound*-Effekt wird mit Interferenz von irrelevanten und relevanten Informationen in der phonologischen Schleife erklärt. Die für die Aufmerksamkeitssteuerung zuständige zentrale Exekutive ist daran nicht beteiligt.

2.1.1 Beschreibung des Modells

Eng verknüpft ist die Konzeption des Arbeitsgedächtnisses als ein System aus mehreren spezialisierten Komponenten mit Befunden aus dem *Dual Task*-Paradigma, wonach ähnlich gute Leistungen in visuellen und verbalen Aufgaben beobachtet werden konnten, wenn diese gleichzeitig oder nacheinander ausgeführt wurden (Baddeley & Hitch, 1974). Die Annahme modalitätsspezifischer Subsysteme stellte dabei eine wesentliche Weiterentwicklung gegenüber unitären Kurzzeitgedächtnismodellen dar, welche diese Art von Befunden nicht integrieren konnten. Zunächst wurden zwei Subsysteme postuliert.

Das erste dieser Systeme ist die phonologische Schleife, in welcher sprachbasierte Informationen kurzfristig aufrecht erhalten und verarbeitet werden. Diese setzt sich mit dem phonologischen Speicher und dem artikulatorischen Kontrollprozess aus zwei Komponenten zusammen. Der phonologische Speicher wird als passives Speichersystem verstanden, welches Informationen in einem phonologischen Format für kurze Zeit aufrecht erhält. Diese Informationen unterliegen zeitlichem Zerfall und können nur für bis zu zwei Sekunden aufrecht erhalten werden (Baddeley, 1996). Dem Informationsverlust kann dabei mithilfe des artikulatorischen Kontrollprozesses entgegengewirkt werden. Die bewusste Wiederholung (*Rehearsal*) von Inhalten durch subvokale Artikulation (inneres Sprechen) führt dazu, dass diese erneut in den phonologischen Speicher eingelesen werden. Die Geschwindigkeit des artikulatorischen Kontrollprozesses ist begrenzt und kann mit der Geschwindigkeit offener Artikulation verglichen werden (Baddeley, 1996). Während gesprochene Informationen automatischen Zugang

zum phonologischen Speicher besitzen, müssen geschriebene Informationen, um eingelesen werden zu können, erst mithilfe des artikulatorischen Kontrollprozesses in ein phonologisches Format übersetzt werden.

Das zweite Subsystem ist der visuell-räumliche Notizblock, dessen Aufgabe die Verarbeitung und kurzfristige Aufrechterhaltung von visuellen und räumlichen Informationen darstellt. Dies erfolgt in zwei voneinander getrennten Komponenten, einem passiven visuellen Speicher (*Visual Cache*) und einem aktiven System zur Verarbeitung räumlicher Informationen (*Inner Scribe*; Baddeley & Logie, 1999; für einen Überblick siehe Logie, 1995). In der aktuellen Fassung wurde das Modell mit dem episodischen Zwischenspeicher (*Episodic Buffer*) um ein drittes Subsystem erweitert (Baddeley, 2000, 2001, 2003). Dieses wird als ein multimodales, passives Speichersystem mit begrenzter Kapazität verstanden, in welchem Informationen aus der phonologischen Schleife und dem visuell-räumlichen Notizblock mit Langzeitgedächtnisinhalten zusammengeführt werden. Auf den episodischen Zwischenspeicher und den visuell-räumlichen Notizblock wird in der vorliegenden Arbeit nicht näher eingegangen, weil diese bei der Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts keine Rolle spielen.

Die Steuerung der Subsysteme obliegt der zentralen Exekutive, welche ein übergeordnetes Aufmerksamkeits- und Kontrollsystem mit begrenzter Verarbeitungskapazität darstellt. Ihr werden eine Reihe von exekutiven Funktionen zugeschrieben, darunter die Fokussierung und der Wechsel von Aufmerksamkeit, die Auswahl und Anwendung von Strategien und die Bereitstellung von Langzeitgedächtnisinhalten. Als System ohne eigene Speicherkapazität ist sie dabei nicht an der kurzfristigen Aufrechterhaltung von Informationen beteiligt (Baddeley & Logie, 1999). Die zentrale Exekutive und die ihr untergeordneten Subsysteme sind in Abbildung 1 dargestellt.

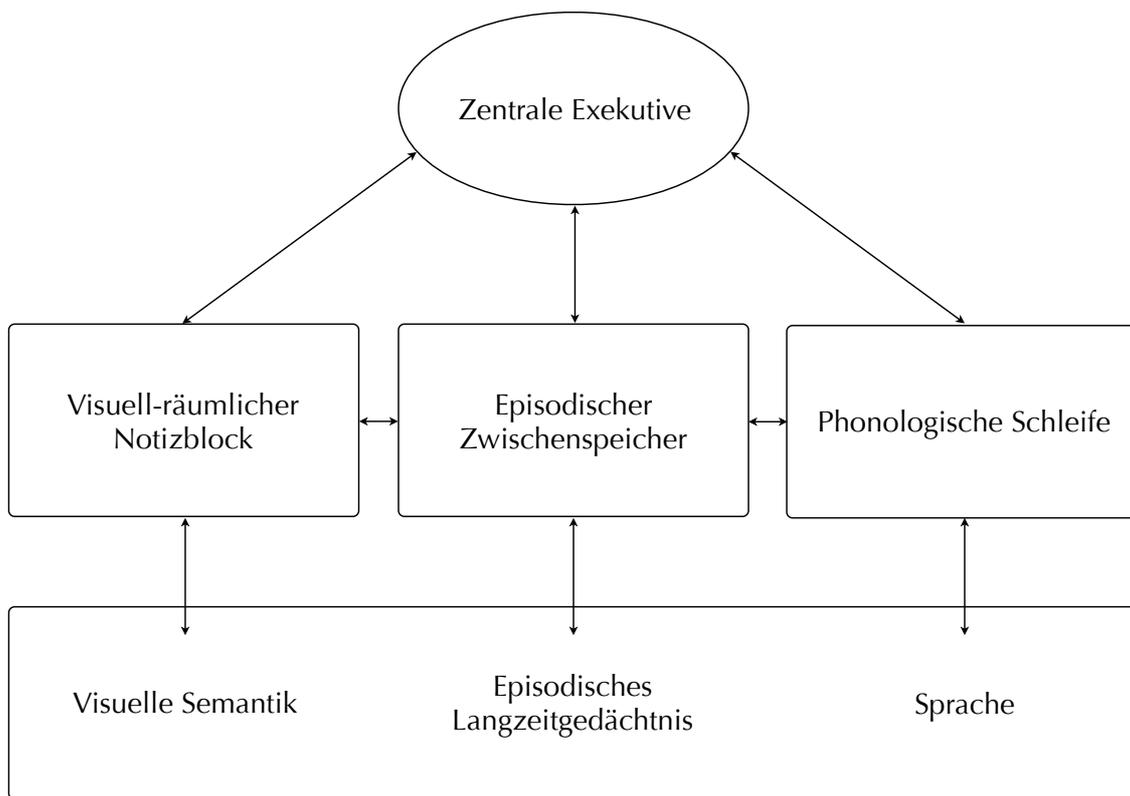


Abbildung 1: Darstellung des Modulare Arbeitsgedächtnismodells (nach Baddeley, 2002; eigene Übersetzung). Die abgebildeten Komponenten werden im Text erläutert.

2.1.2 Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts

Die Beeinträchtigung durch auditive Distraktoren wird dem *Modularen* Arbeitsgedächtnismodell zufolge mit deren automatischem Zugang zur phonologischen Schleife erklärt, in welcher sie mit den Repräsentationen zu erinnernder Items interferieren, die dort aufrecht erhalten werden.

Bei der seriellen Reproduktion besteht die Aufgabe für Probanden darin, Itemfolgen zum Zwecke des späteren Abrufs für eine kurze Zeit aufrecht zu erhalten. Dies geschieht im phonologischen Speicher. Bevor allerdings visuell präsentierte Items in diese Struktur eingelesen werden können, müssen sie zunächst mithilfe des artikulatorischen Kontrollprozesses in ein phonologisches Format übersetzt werden. Da Gedächtnisinhalte im phonologischen Speicher bereits nach kurzer Zeit zerfallen, müssen die Repräsentationen zu erinnernder Items fortwährend mithilfe des artikulatorischen Kontrollprozesses subvokal wiederholt werden.

Bei der Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts spielt die Sprachhaltigkeit des auditiven Distraktormaterials eine entscheidende Rolle. Sprachhaltige Distraktoren liegen bereits in phonologischem Format vor und besitzen daher direkten Zugang zum phonologischen Speicher, in welchem sie auf die Repräsentationen der zu erinnernden Items treffen. Infolgedes-

sen kommt es automatisch zu Interferenz von relevanten und irrelevanten Gedächtnisinhalten und damit zu einer Reduzierung der seriellen Reproduktionsleistung. Während vor dem Hintergrund ausbleibender Störwirkungen durch weißes Rauschen und wiederholte Rauschimpulse zunächst vermutet wurde, dass ausschließlich sprachhaltige auditive Distraktoren die serielle Reproduktion beeinträchtigen (Salamé & Baddeley, 1982, 1987), wurde diese Annahme nach Leistungsminderungen durch Instrumentalmusik um sprachähnliche Distraktoren erweitert (Salamé & Baddeley, 1989). Dazu musste die Modellvorstellung des ursprünglich postulierten, der phonologischen Schleife vorgeschalteten Filters, welcher nur für sprachhaltige Inhalte durchlässig ist, entsprechend modifiziert werden, so dass dieser nun auch der menschlichen Sprache ähnliches Stimulusmaterial passieren lässt. Die der Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts zu Grunde liegenden Prozesse innerhalb der phonologischen Schleife sind in Abbildung 2 dargestellt.

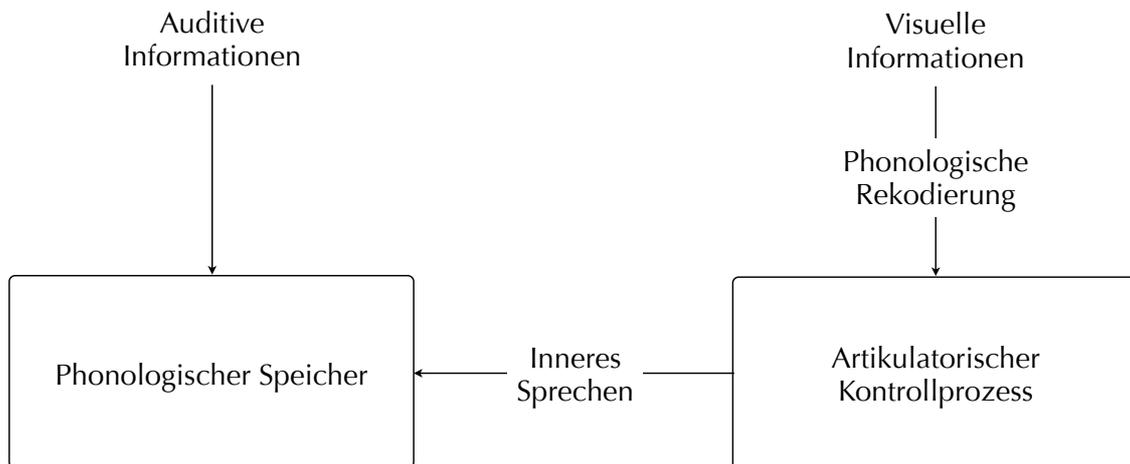


Abbildung 2: Darstellung der phonologischen Schleife (nach Baddeley, 2003; eigene Übersetzung). Während visuell präsentierte Informationen erst mithilfe des artikulatorischen Kontrollprozesses übersetzt werden müssen, um in den phonologischen Speicher eingelesen werden zu können, besitzen sprachliche und sprachähnliche Schalle automatischen Zugang.

Eine Besonderheit des *Modularen Arbeitsgedächtnismodells* ist, dass es den Einfluss auditiver Distraktoren auf eine Reihe von Phänomenen bei der seriellen Reproduktion erklärt, welche ebenso wie der *Irrelevant Sound*-Effekt innerhalb der phonologischen Schleife konzeptualisiert werden. Das erste dieser Phänomene ist der artikulatorische Unterdrückungseffekt, der die Beeinträchtigung der seriellen Reproduktionsleistung bezeichnet, wenn während der visuellen Darbietung zu erinnernder Items kontinuierlich ein aufgabenirrelevantes Wort auszusprechen ist (zum Beispiel „the, the, the usw.“; Murray, 1968). Die gleichzeitige Darbietung auditiver Distraktoren verursacht dabei in der Regel keine zusätzliche Leistungsminderung (Jones et al., 2004; Klatt et al., 2002; Salamé & Baddeley, 1987). Dies wird mit der Unterdrückung der subvokalen Artikulation durch die kontinuierliche Wortwiederholung erklärt,

welche verhindert, dass die zu erinnernde Itemsequenz in den phonologischen Speicher eingelesen wird. Dadurch kann es nicht zur Interferenz von Item- und Distraktorrepräsentationen und folglich nicht zu einem *Irrelevant Sound*-Effekt kommen. Das zweite Phänomen ist die als Wortlängeneffekt bezeichnete verminderte Reproduktionsleistung für mehrsilbige gegenüber einsilbigen Wörtern (Baddeley, Thomson & Buchanan, 1975), welche bei gleichzeitiger Darbietung von auditiven Distraktoren Bestand hat (Beaman & Röer, 2009; Longoni, Richardson & Aiello, 1993; Tremblay, Macken & Jones, 2000; siehe aber Neath, Surprenant & LeCompte, 1998), aber bei artikulatorischer Unterdrückung verschwindet (Longoni et al., 1993). Der Wortlängeneffekt wird mit der begrenzten Geschwindigkeit des artikulatorischen Kontrollprozesses erklärt. Je länger es dauert, die zu erinnernden Items subvokal auszusprechen, desto weniger dieser Items können im phonologischen Speicher aufrecht erhalten werden. Es wird angenommen, dass das aktive Aussprechen eines irrelevanten Wortes die subvokale Artikulation unterdrückt, während die passive Darbietung auditiver Distraktoren darauf keinen Einfluss hat. Das dritte Phänomen, welches mit Hilfe der phonologischen Schleife erklärt wird, ist der phonologische Ähnlichkeitseffekt, der die geringere serielle Reproduktionsleistung für phonologisch ähnliche gegenüber phonologisch unähnlichen Items beschreibt (Baddeley, 1966; Conrad & Hull, 1964). Dieses Befundmuster wird üblicherweise als Beleg dafür gewertet, dass im phonologischen Speicher Gedächtnisinhalte in phonologischem Format repräsentiert werden (z.B. Baddeley, 2007). Es wird angenommen, dass die geringe Reproduktionsleistung für phonologisch ähnliche Items darauf beruht, dass deren Repräsentationen im Vergleich zu denen unähnlicher Items schwieriger zu unterscheiden sind (Baddeley & Salamé, 1986; Salamé & Baddeley, 1986). Problematisch für solch eine Annahme sind allerdings Befunde, nach denen der phonologische Ähnlichkeitseffekt bei gleichzeitiger Darbietung von auditiven Distraktoren verschwindet (Neath & Surprenant, 2001; Surprenant et al., 1999; siehe aber Larsen, Baddeley & Andrade, 2000)

Auch die Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekt als Folge einer ähnlichkeitsbasierten Interferenz im phonologischen Speicher ist umstritten (Jones et al., 1996; Neath, 2000a). Nach dem *Modularen* Arbeitsgedächtnismodell sollten auditive Distraktoren, welche eine hohe phonologische Ähnlichkeit zu den zu erinnernden Items aufweisen, eine entsprechend größere Störwirkung verursachen als phonologisch unähnliche Distraktoren. Zwar berichteten Salamé und Baddeley (1982) ursprünglich ein solches Befundmuster, jedoch konnte dies in einer Reihe von nachfolgenden Studien nicht bestätigt werden (Bridges & Jones, 1996; Larsen et al., 2000; LeCompte & Shaibe, 1997).

2.2 Das *Object-Oriented Episodic Record*-Modell

Innerhalb des *Object-Oriented Episodic Record*-Modells (Jones, 1993, 1999; Jones et al., 1996) wird das Arbeitsgedächtnis als einheitliches Speichersystem konzeptualisiert, in welchem Wahrnehmungsereignisse über einen Seriationsprozess zu Objektströmen verknüpft werden. Die Leistungseinbuße durch auditive Distraktoren wird mit deren präattentiven Segmentierung in einen irrelevanten Objektstrom erklärt, welcher mit dem relevanten Objektstrom zu erinnernder Items um den Seriationsprozess konkurriert. Eine Beteiligung von Aufmerksamkeitsprozessen wird explizit ausgeschlossen.

2.2.1 Beschreibung des Modells

Die Entwicklung des *Object-Oriented Episodic Record*-Modells ist eng mit einer Reihe von Forschungsarbeiten zum *Irrelevant Sound*-Effekt verknüpft, insbesondere die Spezifizierung der für das Auftreten des Phänomens erforderlichen akustischen Merkmale betreffend. Im Gegensatz zum *Modularen* Arbeitsgedächtnismodell wird das Arbeitsgedächtnis als einheitliches, modalitätsunspezifisches Speichersystem verstanden.

Zur Veranschaulichung dieses Speichers wird das Bild einer Schreibtafel (*Blackboard*) verwendet, auf der Gedächtnisinhalte in Form von Objekten vorliegen, die amodale, abstrakte Repräsentationen von Wahrnehmungsereignissen darstellen. Zusammengehörige Ereignissequenzen können über einen Seriationsprozess zu Objektströmen verknüpft werden, indem jedes Objekt einen episodischen Verweis (*Episodic Pointer*) erhält, der das folgende Objekt einer Sequenz anzeigt. Da Objekte auf der Schreibtafel als dauerhaft angesehen werden, episodische Verweise aber zeitabhängigem Zerfall unterliegen, besteht die größte Herausforderung bei einer seriellen Reproduktionsaufgabe, die Reihenfolgeinformationen zu erinnernder Items aufrecht zu erhalten (und nicht etwa die mentalen Repräsentationen der Items selbst). Dem zeitabhängigen Zerfall der episodischen Verweise kann dabei mit Hilfe des Seriationsprozesses entgegengewirkt werden. Während visuelle Ereignissequenzen auf diese Weise bewusst durch *Rehearsal* zu Objektströmen verknüpft werden müssen, nehmen auditive Sequenzen automatisch den Seriationsprozess in Anspruch. Die Segmentierung erfolgt hierbei präattentiv und ausschließlich auf Basis unmaskierter, abrupter Amplituden- und Frequenzunterschiede (*Changing States*). Während die Darbietung von Sequenzen, die solche Veränderungen enthalten, zu der Bildung eines Objektstroms mit entsprechenden episodischen Verweisen führt, werden kontinuierliche und wiederholte auditive Ereignisse (*Steady States*) lediglich als einzelnes Objekt mit Selbstverweis repräsentiert.

2.2.2 Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts

Dem *Object-Oriented Episodic Record*-Modell (Jones, 1993, 1999; Jones et al., 1996) zufolge wird der *Irrelevant Sound*-Effekt auf einen Konflikt relevanter und irrelevanter Reihenfolgeinformationen zurückgeführt, welcher darauf beruht, dass sowohl die bewusste Aufrechterhaltung der Itemsequenz als auch die präattentive Segmentierung des auditiven Distraktormaterials den Seriationsprozess in Anspruch nimmt.

Bei der Bearbeitung einer seriellen Reproduktionsaufgabe werden Repräsentationen der zu erinnernden Items in Form von Objekten auf der Schreibtafel angelegt und aufrecht erhalten. Die Reihenfolgeinformationen der Itemsequenz werden durch episodische Verweise angezeigt, mithilfe derer die Itemrepräsentationen zu Objektströmen verknüpft werden. Um dies zu veranschaulichen wird im *Object-Oriented Episodic Record*-Modell das Bild eines Bindfadens (*Thread*) verwendet, auf welchen die einzelnen Objekte aufgezogen werden (Jones, 1993). Die Aufrechterhaltung der Reihenfolgeinformation von Itemsequenzen erfolgt über den Seriationsprozess durch bewusstes *Rehearsal*.

Auditive Distraktorsequenzen werden dagegen automatisch und präattentiv als Objektströme auf der Schreibtafel angelegt. Da dies ebenfalls über den Seriationsprozess erfolgt, kommt es in der Folge zu einem Konflikt von relevanten und irrelevanten Reihenfolgeinformationen auf der Schreibtafel. Die Stärke der Beeinträchtigung richtet sich dabei nach der Anzahl an *Changing States* innerhalb einer Distraktorsequenz, gemäß derer Objekte mit entsprechenden episodischen Verweisen auf der Schreibtafel repräsentiert werden. *Steady State*-Sequenzen dagegen beanspruchen den Seriationsprozess nicht. Da sie nur als einzelnes Objekt repräsentiert werden, kann es nicht zu einem Reihenfolgenkonflikt und folglich auch nicht zu einem *Irrelevant Sound*-Effekt kommen. Siehe Abbildung 3 für die Darstellung von *Changing State*- und *Steady State*-Sequenzen auf der Schreibtafel.

Konsonantenwechsel (z.B. vik, gik, mik) keinen Einfluss auf die Störwirkung ausübte, führte ein Wechsel des Vokals (z.B. vik, vak, vuk) zu einer ähnlich großen Störwirkung wie eine Sequenz aus unterschiedlichen Nichtwörtern (z.B. vik, fuv, zat). 2) Die unter 1) beschriebene Veränderung muss *abrupt* erfolgen. So konnte gezeigt werden, dass *Legato*-Musik – bei welcher Töne gebunden, also ohne Unterbrechung, gespielt werden – weniger stört als *Staccato*-Musik (Klatte & Hellbrück, 1993). Auch *Glissandi*³, die von kurzen Pausen unterbrochen wurden, störten mehr als solche ohne Pausen (Jones, Macken & Murray, 1993). 3) Die unter 1) beschriebene Veränderung muss *unmaskiert* sein. Während zum Beispiel eine einzeln dargebotene Sprachsequenz eine deutliche Beeinträchtigung der seriellen Reproduktionsleistung hervorruft, stören sechs und mehr gleichzeitig abgespielte Sequenzen wesentlich weniger (*Irrelevant Babble*-Effekt; Jones & Macken, 1995a). 4) Die Distraktoren müssen derselben Ereignissequenz zugeordnet werden. Alternierende Tonsequenzen, deren Distraktoren abwechselnd monaural dargeboten werden (z.B. A, B, A, B, A, B; A links, B rechts) stören weniger als binaurale Präsentationen derselben Sequenz (Jones & Macken, 1995b; Jones, Saint-Aubin & Tremblay, 1999). Dies wird mit der perzeptuellen Gruppierung gleicher Distraktoren zu zwei unabhängigen *Steady State*-Sequenzen erklärt, eine Annahme, die auf die *Auditory Scene Analysis* (Bregman, 1990) zurückgeht.

Da innerhalb des *Object-Oriented Episodic Record*-Modells nur die oben beschriebenen Distraktormerkmale die Anzahl der Objekte auf der Schreibtafel und damit die Höhe der Störwirkung bestimmen, wird im Gegensatz zum *Modularen* Arbeitsgedächtnismodell kein grundsätzlicher Unterschied bei der Verarbeitung von sprachlichem und nichtsprachlichem Hintergrundschaall angenommen. Die klassischerweise größere Beeinträchtigung durch zu ignorierende Sprache wird stattdessen mit der Vielzahl darin enthaltender Amplituden- und Frequenzwechsel erklärt (z.B. Jones & Macken, 1993). Problematisch für solch eine Annahme ist allerdings, dass Töne und Wörter, die gleich viele *Changing States* enthalten, nicht immer auch eine ähnlich hohe Störwirkung verursachen (z.B. LeCompte et al., 1997). Kürzlich wurde das *Object-Oriented Episodic Record*-Modell um den *Duplex Mechanism Account* (Hughes, Vachon & Jones, 2005; Hughes et al., 2007) erweitert, welchem zufolge abweichende Distraktoren einen besonders großen *Irrelevant Sound*-Effekt auslösen. Dies wird auf eine Aufmerksamkeitsablenkung zurückgeführt, welche die Enkodierung der Items beeinträchtigt, nicht aber ihre Aufrechterhaltung. Der *Duplex Mechanism Account* wird gesondert in Kapitel 3.3 vorgestellt.

³ Als „Glissando“ bezeichnet man eine kontinuierliche Tonhöhenveränderung.

2.3 Das *Feature*-Modell

Dem *Feature*-Modell (Nairne, 1990; Neath, 2000b) zufolge werden Wahrnehmungsereignisse in Form von Merkmalsvektoren im primären und sekundären Gedächtnis repräsentiert. Bei der Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts wird zwischen sprachlichen und nichtsprachlichen Distraktoren unterschieden. Während es bei sprachlichem Distraktormaterial überwiegend zu ähnlichkeitsbasierter Interferenz von relevanten und irrelevanten Merkmalen im primären Gedächtnis kommt, wird die Beeinträchtigung durch nichtsprachlichen Hintergrundschall auf eine Aufmerksamkeitsablenkung zurückgeführt.

2.3.1 Beschreibung des Modells

Das *Feature*-Modell (Nairne, 1988, 1990) wurde entwickelt, um eine Reihe von Phänomenen bei seriellen Reproduktionsaufgaben mathematisch zu simulieren, darunter den phonologischen Ähnlichkeitseffekt, den artikulatorischen Unterdrückungseffekt und den Wortlängeneffekt (Neath, 2000b; Neath & Nairne, 1995). Inzwischen wurde es von Neath (Neath, 1999, 2000b) um die Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts erweitert.

Gedächtnisinhalte liegen dem *Feature*-Modell zufolge in Form von Merkmalsvektoren vor. Die dem Modell seinen Namen gebenden Merkmale (*Features*) sind Träger kleinster Informationseinheiten, welche die Werte „1“, „-1“ und „0“ annehmen können. Zur Veranschaulichung werden sie mit Bildschirmpixeln eines Schwarz-Weiß-Fernsehgerätes verglichen, welche für sich genommen bedeutungslos sind und erst im Zusammenspiel ein Fernsehbild ergeben (Neath & Surprenant, 2003). Es lassen sich dabei modalitätsabhängige und modalitätsunabhängige Merkmale voneinander unterscheiden. Modalitätsabhängige Merkmale bilden die Präsentationsbedingungen von Wahrnehmungsereignissen im Gedächtnis ab. Das können physikalische Eigenschaften sein, wie die Farbe und Größe visuell präsentierter Items, aber auch darüber hinausgehende Informationen, wie das Geschlecht des Sprechers und die Betonung von zu ignorierenden Wörtern (Neath & Surprenant, 2003). Modalitätsunabhängige Merkmale dagegen repräsentieren den gemeinsamen Anteil an Informationen, der unabhängig von der Darbietungsmodalität aktiviert wird. Dies sind zum Beispiel die Bedeutung eines Wortes und dessen Zuordnung zu einer bestimmten Kategorie. Da durch inneres Sprechen oder bildliche Vorstellung erzeugte interne Gedächtnisinhalte qua Definition keine Modalität besitzen, werden sie entsprechend nur durch modalitätsunabhängige Merkmale repräsentiert (Nairne, 1990).

Innerhalb des *Feature*-Modells wird in Anlehnung an James (1890) zwischen einem primären und einem sekundären Gedächtnis unterschieden. Für jedes Wahrnehmungsereignis wird ein separater Merkmalsvektor in beiden Speichereinheiten angelegt. Während Gedächtnisinhalte im sekundären Gedächtnis als dauerhaft angesehen werden, stellen Inhalte im primären Gedächtnis in der Regel nur eine unvollständige Repräsentation des Ereignisses dar. Dies wird auf retroaktive Interferenz der Merkmalsvektoren zurückgeführt, welche dadurch zu Stande kommt, dass bereits im Speicher vorliegende Merkmale primärer Gedächtnisspuren teilweise durch neu eintreffende Informationen überschrieben werden. Die Merkmalsinterferenz erschwert den Abruf von Informationen, welcher über einen Ähnlichkeitsabgleich der Gedächtnisinhalte erfolgt. Dabei wird einer unvollständigen primären Gedächtnisspur jeweils diejenige sekundäre Gedächtnisspur zugeordnet, welche mit dieser die größte Merkmalsübereinstimmung aufweist. In Abbildung 4 ist der Ähnlichkeitsabgleich von Merkmalsvektoren im primären und sekundären Gedächtnis dargestellt.

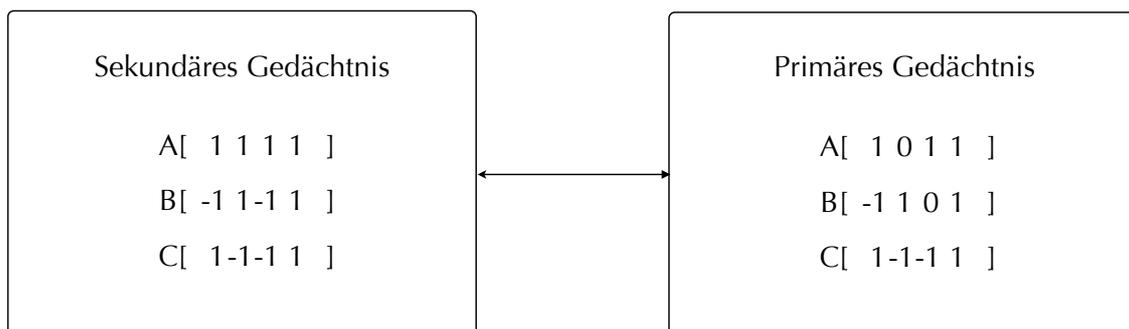


Abbildung 4: Darstellung von Merkmalsvektoren (A, B und C) im *Feature*-Modell (nach Nairne, 1990; eigene Übersetzung). Während die Merkmalsvektoren im sekundären Gedächtnis vollständige Repräsentationen eines Wahrnehmungsereignisses darstellen, sind Merkmale im primären Gedächtnis teilweise überschrieben (gekennzeichnet durch den Wert „0“). Der Pfeil veranschaulicht den Ähnlichkeitsabgleich primärer und sekundärer Gedächtnisspuren beim Informationsabruf.

2.3.2 Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts

Dem *Feature*-Modell zufolge beeinträchtigen auditive Distraktoren die serielle Reproduktionsleistung, weil sie den Abgleich primärer und sekundärer Gedächtnisinhalte erschweren. Die Störwirkung durch sprachlichen und nichtsprachlichen Hintergrundschall wird dabei auf zwei verschiedene Mechanismen zurückgeführt.

Zu erinnernde Items bei einer seriellen Reproduktionsaufgabe werden im *Feature*-Modell als Merkmalsvektoren repräsentiert, welche deren modalitätsabhängigen und modalitätsunabhängigen Eigenschaften abbilden. Für jedes Item wird ein Merkmalsvektor sowohl im primären als auch im sekundären Gedächtnis angelegt. Da Vektoren im primären Gedächtnis in-

folge von ähnlichkeitsbasierter Merkmalsinterferenz nur unvollständige Itemrepräsentationen darstellen, besteht die größte Schwierigkeit bei einer seriellen Reproduktionsaufgabe darin, den primären Gedächtnisspuren die entsprechenden Einträge im sekundären Gedächtnis zuzuordnen. Es wird angenommen, dass diese Zuordnung über einen Ähnlichkeitsabgleich erfolgt, welcher durch folgende Formel beschrieben werden kann:

$$P(SM_j | PM_i) = \frac{s(i, j)}{\sum_{k=1}^n s(i, k)}.$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass einer primären Gedächtnisspur PM_i die sekundäre Gedächtnisspur SM_j zugeordnet wird, entspricht dabei der Ähnlichkeit beider Spuren $s(i, j)$ im Verhältnis zur Summe der Ähnlichkeiten aller miteinander verglichener Spuren $k = 1, 2, \dots, n$. Die Ähnlichkeit zweier Gedächtnisspuren $s(i, j)$ zueinander lässt sich folgendermaßen ausdrücken:

$$s(i, j) = e^{-d_{ij}}.$$

Es wird dabei in Anlehnung an Shepards (1987) Generalisierungsgradienten angenommen, dass die Ähnlichkeit zweier Gedächtnisspuren $s(i, j)$ mit steigender Merkmalsdistanz d_{ij} exponentiell abnimmt. Da die Merkmalsdistanzen keine negativen Werte annehmen können, beträgt die Ähnlichkeit maximal 1 (vollständige Merkmalsübereinstimmung) und geht für hohe Merkmalsdistanzen (keine Merkmalsübereinstimmung) gegen 0. Die Formel zur Berechnung der Merkmalsdistanz d_{ij} lautet:

$$d_{ij} = \frac{a \sum M_k}{N}.$$

Die Merkmalsdistanz zweier Gedächtnisspuren d_{ij} hängt dabei sowohl von der Summe nicht übereinstimmender Merkmale M_k im Verhältnis zur Anzahl aller verglichenen Merkmale N ab als auch von einem Parameter a , welcher der für die serielle Reproduktion zur Verfügung stehenden Aufmerksamkeit entspricht. Mit steigendem a erhöht sich, eine gleichbleibende Anzahl übereinstimmender Merkmale vorausgesetzt, die relative Ähnlichkeit für Spuren mit hoher Merkmalsübereinstimmung und damit die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Spurzuordnung.

Sprachliche und nichtsprachliche auditive Distraktoren beeinträchtigen den oben beschriebenen Ähnlichkeitsabgleich auf unterschiedliche Art und Weise. Die Darbietung zu ignorierender Sprache führt zur Merkmalsübernahme (*feature adoption*), das heißt, relevante Itemrepräsentationen im primären Gedächtnis nehmen modalitätsunabhängige Merkmale der ir-

relevanten Distraktorrepräsentationen an. Dies hat zur Folge, dass die Ähnlichkeit primärer und sekundärer Itemrepräsentationen abnimmt und damit auch die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Spurzuordnung. Die Beeinträchtigung durch nichtsprachlichen Hintergrundschall wird dagegen ausschließlich darauf zurückgeführt, dass das Ignorieren von Störgeräuschen Aufmerksamkeit erfordert, welche von der seriellen Reproduktionsaufgabe abgezogen werden muss. Dies wird durch eine Herabsetzung des a -Parameters implementiert, infolgedessen sich die relative Ähnlichkeit für Spuren mit hoher Merkmalsübereinstimmung und damit die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Zuordnung beim Ähnlichkeitsabgleich reduziert. Obwohl angenommen wird, dass auch das Ignorieren von Sprachschallen Aufmerksamkeit erfordert, beruht deren Beeinträchtigung überwiegend auf einem Merkmalsübernahmeprozess (Neath, 2000b).

Innerhalb des *Feature*-Modells wird eine Reihe weiterer Phänomene bei der seriellen Reproduktion mathematisch modelliert. So wird der artikulatorische Unterdrückungseffekt ebenso wie die Beeinträchtigung durch zu ignorierende Sprache hauptsächlich auf Merkmalsübernahme zurückgeführt. Die größere Störwirkung artikulatorischer Unterdrückung (Salamé & Baddeley, 1982) wird durch eine Erhöhung des a -Parameters simuliert, welche auf der Annahme beruht, dass das Ignorieren auditiver Distraktoren weniger Aufmerksamkeit beansprucht als die kontinuierliche Aussprache eines irrelevanten Wortes. Unveränderte Reproduktionsleistungen in einer artikulatorischen Unterdrückungsaufgabe bei zusätzlicher Darbietung von auditiven Distraktoren (Hanley, 1997) beruhen demnach auf der funktionalen Vergleichbarkeit der Störprozesse (Neath, 2000b). Auch die gegenüber *Steady State*-Sequenzen erhöhte Störwirkung von *Changing State*-Sequenzen wird durch eine Anpassung des a -Parameters implementiert, indem angenommen wird, dass es einfacher fällt, einen einzelnen wiederholten auditiven Distraktor zu ignorieren als eine Abfolge verschiedener Distraktoren. Ein weiteres Phänomen, welches das *Feature*-Modell erklärt, ist der Wortlängeneffekt (Neath & Nairne, 1995). In Anlehnung an Melton (1963) wird dazu angenommen, dass Wörter in Segmenten repräsentiert werden, welche beim Abruf wieder zusammengeführt werden müssen. Bei langen Wörtern, die mehr solcher Segmente enthalten als kurze, kommt es entsprechend häufiger zu Zusammenführungsfehlern (*Segment Assembly Errors*), welche durch eine Überschreibung von modalitätsunabhängigen Merkmalen die korrekte Spurzuordnung erschweren. Das Ausbleiben eines Wortlängeneffekts bei gleichzeitiger Darbietung von zu ignorierender Sprache bei Neath et al. (1998) wird damit erklärt, dass eine Überschreibung bereits durch Merkmalsübernahme veränderter Repräsentationen keine zusätzliche Beeinträchtigung der Spurzuordnung zur Folge hat. Dies erklärt auch, warum bei Darbietung von auf-

gabenirrelevanten Sinustönen – welche keine Merkmalsübernahme hervorrufen – der Wortlängeneffekt Bestand hat (Neath et al., 1998).

Problematisch für eine solche Erklärung sind allerdings Befunde, denen zufolge es auch unter Darbietung von sprachlichem Hintergrundschall zu einem Wortlängeneffekt kommt (Beaman & Röer, 2009; Longoni et al., 1993; Tremblay, Macken et al., 2000). Unvereinbar mit einer Merkmalsübernahme modalitätsunabhängiger Distraktoreigenschaften als Erklärung für die Beeinträchtigung durch Sprachschalle erscheinen zudem Störwirkungen durch Distraktoren, welche sich nur hinsichtlich ihrer modalitätsabhängigen Merkmale voneinander unterscheiden (z.B. Jones & Macken, 1995b).

2.4 Das Embedded Processes-Modell

Dem *Embedded Processes*-Modell (Cowan, 1988, 1995, 1999) zufolge umfasst das Arbeitsgedächtnis sämtliche Prozesse, welche Informationen in einem kurzfristig verfügbaren Zustand halten. Diejenigen Informationen, die bewusst verarbeitet werden, befinden sich dabei im kapazitätsbegrenzten Fokus der Aufmerksamkeit. Der *Irrelevant Sound*-Effekt wird durch Orientierungsreaktionen auf Veränderungen im auditiven Distraktormaterial erklärt, die den Fokus der Aufmerksamkeit von der Aufrechterhaltung zu erinnernder Items ablenken.

2.4.1 Beschreibung des Modells

Der größte Unterschied zu den bereits vorgestellten Modellen besteht darin, dass das Arbeitsgedächtnis innerhalb des *Embedded Processes*-Modells nicht als eigenständige Struktur aufgefasst wird, sondern vielmehr als ein Zustand definiert ist, in welchem sich Informationen befinden können (Cowan, 1999). Eine weitere Besonderheit ist die zentrale Rolle, die Aufmerksamkeitsprozessen bei der Informationsverarbeitung zugeschrieben wird.

Arbeitsgedächtnisinhalte sind dem *Embedded Processes*-Modell zufolge hierarchisch organisiert und entsprechen den vorübergehend aktivierten Bereichen des Langzeitgedächtnisses. Die Aktivierung von Langzeitgedächtnisrepräsentationen kann durch Wahrnehmungseignisse oder interne Prozesse ausgelöst werden und dient dazu, diese für die weitere Informationsverarbeitung verfügbar zu halten. Besonders stark aktivierte Repräsentationen rücken dabei in den Fokus der Aufmerksamkeit, in welchem Inhalte bewusst verarbeitet werden. Während der Aufmerksamkeitsfokus kapazitätsbegrenzt ist, nimmt die Aktivierung von Gedächtnisinhalten mit der Zeit ab (und damit ihre Verfügbarkeit). Daher müssen Informationen, um sie für die Weiterverarbeitung aufrecht zu erhalten, fortwährend in den Fokus der Aufmerk-

samkeit gerückt werden. Sämtliche Prozesse, welche dies über Zuweisung von Aufmerksamkeit steuern, werden unter dem Begriff der „zentralen Exekutive“ zusammengefasst. Allerdings obliegt die Steuerung der Aufmerksamkeit nur teilweise der willkürlichen Kontrolle.

Informationen können dem *Embedded Processes*-Modell zufolge auch durch automatisch ausgelöste Orientierungsreaktionen in den Aufmerksamkeitsfokus gelangen. Es wird dazu angenommen, dass Wahrnehmungereignisse zunächst einen sensorischen Speicher durchlaufen, in welchem ihre physikalischen Eigenschaften für eine kurze Zeit aufrecht erhalten werden. Routinemäßig kommt es dabei zu einem Abgleich der neu eintreffenden Informationen mit den gegenwärtig aktivierten Gedächtnisinhalten. *Abweichende* Informationen, also solche, die eine deutliche Veränderung gegenüber den aktivierten Repräsentationen aufweisen, lösen eine unwillkürliche Orientierungsreaktion aus. Dieser Mechanismus stellt sicher, dass unregelmäßige Veränderungen in der Umwelt (z.B. ein neu einsetzendes Geräusch) registriert werden und im Fokus der Aufmerksamkeit auf ihre Relevanz hin überprüft werden können. Bei regelmäßiger Stimulation kommt es in Anlehnung an Sokolov (1963) allmählich zum Aufbau eines neuronalen Modells und infolgedessen zur Habituation der Orientierungsreaktion. Da erst wieder vom Modell abweichende Informationen automatisch in den Aufmerksamkeitsfokus rücken, erfüllt die Habituation der Orientierungsreaktion im *Embedded Processes*-Modell die Funktion eines passiven Aufmerksamkeitsfilters (Cowan, 1999).

Es wird angenommen, dass auch *bedeutsame* Wahrnehmungereignisse, also Ereignisse, welche ein zuvor als besonders relevant erlerntes Aktivierungsmuster aufweisen, eine Orientierungsreaktion hervorrufen. Als Beispiele hierfür führt Cowan (1995) den eigenen Namen und Stimuli an, auf deren Präsentation zuvor ein elektrischer Schock folgte (siehe auch Gati & Ben-Shakhar, 1990; Öhman, 1979). In Abbildung 5 sind die Aufmerksamkeitszuweisung durch die zentrale Exekutive und die unwillkürliche Ablenkung über eine Orientierungsreaktion grafisch dargestellt.

2.4.2 Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts

Die Beeinträchtigung durch auditive Distraktoren wird im *Embedded Processes*-Modell mit deren automatischen Beanspruchung von Aufmerksamkeit erklärt, welche somit nicht für die Aufrechterhaltung zu erinnernder Items zur Verfügung steht. Es wird angenommen, dass der Grad an Aufmerksamkeitsablenkung die Höhe des *Irrelevant Sound*-Effekts bestimmt.

Zu erinnernde Items bei einer seriellen Reproduktionsaufgabe werden willkürlich über die zentrale Exekutive für die Verarbeitung im Fokus der Aufmerksamkeit ausgewählt. Aufgrund

dessen Kapazitätsbegrenzung auf etwa vier unverbundene Items (siehe Cowan [2000] für eine ausführliche Besprechung) können bei einer größeren Itemmenge nicht alle Items gleichzeitig im Fokus verarbeitet werden. Daher muss eine Itemsequenz fortwährend neu über Aufmerksamkeitszuweisung in den Fokus der Aufmerksamkeit gerückt werden. Da die zuletzt aufrechterhaltenen Items am stärksten aktiviert sind (und nicht etwa die zuletzt dargebotenen), lässt sich von der Verfügbarkeit eines Items nicht auf dessen serielle Position in der Sequenz schließen. Es wird angenommen, dass Verbindungen zwischen den Items einer Sequenz – wie zum Beispiel deren zeitliche Abfolge – im Fokus der Aufmerksamkeit erzeugt und zusätzlich als aktivierter Gedächtniseintrag bereit gehalten werden müssen (Cowan, 1995). Bei der Verbindung von Items im Aufmerksamkeitsfokus kann es zu ähnlichkeitsbasierter Interferenz kommen (Cowan, 1995).

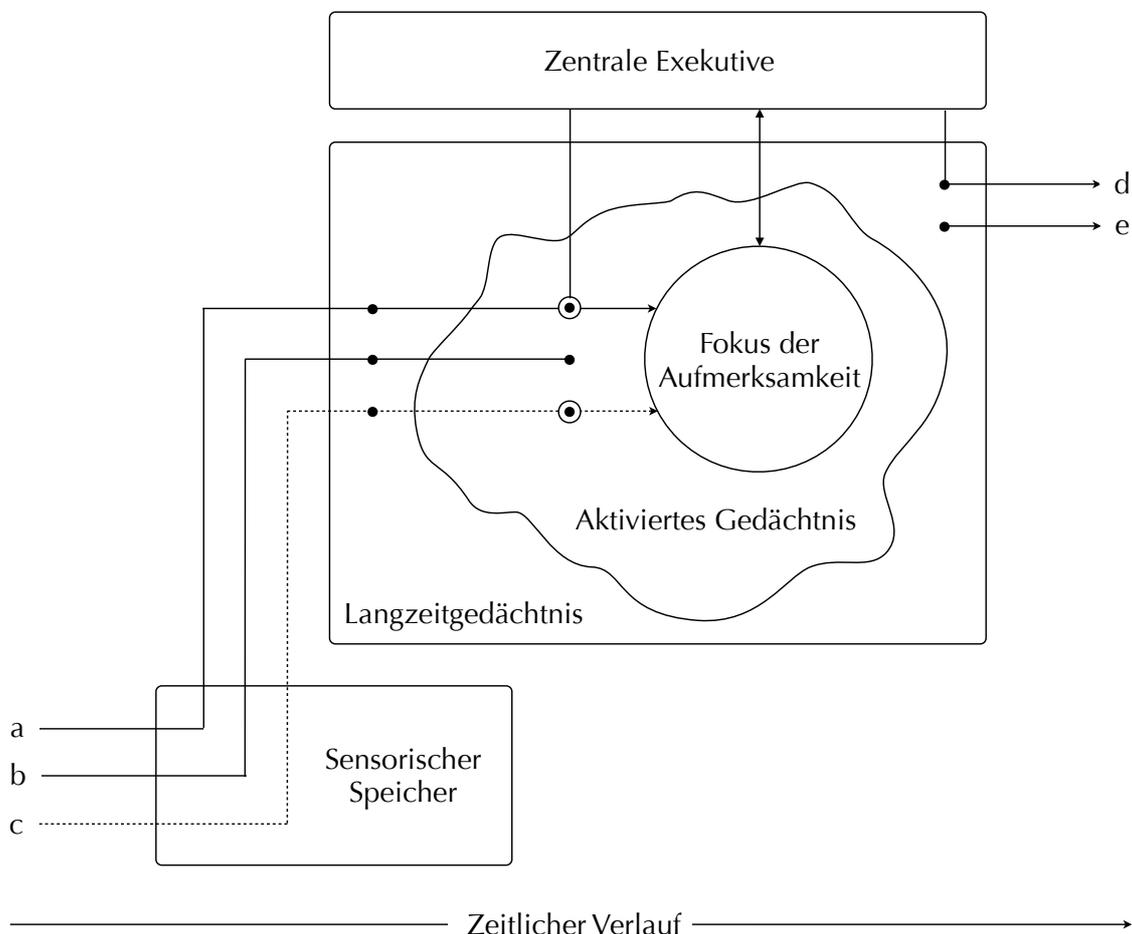


Abbildung 5: Dargestellt ist die Informationsverarbeitung im *Embedded Processes*-Modell (nach Cowan, 1999, eigene Übersetzung). Wahrnehmungsereignisse (a, b, c) durchlaufen zunächst einen sensorischen Speicher, in welchem ihre physikalischen Merkmale für kurze Zeit aufrecht erhalten werden. Zu den Ereignissen a und b existiert bereits ein neuronales Modell. Während a bewusst über die zentrale Exekutive für die Weiterverarbeitung im Fokus der Aufmerksamkeit ausgewählt wird, verbleibt b im aktivierten Gedächtnis. Das neuartige Wahrnehmungsereignis c löst eine Orientierungsreaktion aus und rückt automatisch in den Aufmerksamkeitsfokus. Reaktionen auf Ereignisse erfolgen entweder kontrolliert über die zentrale Exekutive (d) oder automatisch (e).

Der *Irrelevant Sound*-Effekt wird jedoch ausdrücklich nicht mit einer Interferenz erklärt, sondern mit automatischen Orientierungsreaktionen auf die auditiven Distraktoren (Cowan, 1995). Dadurch wird der Aufmerksamkeitsfokus von der Aufrechterhaltung zu erinnernder Items abgelenkt, infolgedessen sich deren Verfügbarkeit und damit die serielle Reproduktionsleistung reduziert. Eine wichtige Rolle bei der Erklärung des Phänomens spielen dabei Veränderungen im auditiven Distraktormaterial. Abweichende Distraktoren rufen eine besonders starke Orientierungsreaktion hervor und somit einen entsprechend großen *Irrelevant Sound*-Effekt. Es wird angenommen, dass bei regelmäßigem Hintergrundschall allmählich ein neuronales Modell der akustischen Umwelt aufgebaut wird, mit welchem neu im sensorischen Speicher eintreffende Distraktoren abgeglichen werden. Weichen diese vom neuronalen Modell ab oder ist ein solches noch nicht vollständig aufgebaut, wird automatisch eine Orientierungsreaktion ausgelöst. Entsprechen sie dagegen dem neuronalen Modell, habituiert die Orientierungsreaktion und eine Aufmerksamkeitsablenkung bleibt aus. Es wird angenommen, dass der Grad an Abweichung zum neuronalen Modell die Stärke der Orientierungsreaktion und damit die Größe des *Irrelevant Sound*-Effekts bestimmt (Cowan, 1995).

Obwohl Veränderungen im auditiven Distraktormaterial bei der Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts sowohl im *Object-Oriented Episodic Record*-Modells als auch im *Embedded Processes*-Modell eine wichtige Rolle spielen, wird die Störwirkung auf verschiedene Mechanismen zurückgeführt. Besonders gut lässt sich dieser Unterschied anhand der Erklärung des *Changing State*-Befunds aufzeigen. Im *Object-Oriented Episodic Record*-Modell stören *Changing State*-Sequenzen die serielle Reproduktion, weil diese, nicht aber *Steady State*-Sequenzen, über einen Seriationsprozess in irrelevante Objektströme segmentiert werden, welcher mit der Aufrechterhaltung der Itemsequenz interferiert (bzw. deren Reihenfolgeinformationen; vgl. Kapitel 2.2.2). Im *Embedded Processes*-Modell hingegen lösen die in einer *Changing State*-Sequenz enthaltenen Frequenz- und Amplitudenunterschiede Orientierungsreaktionen aus, welche den Fokus der Aufmerksamkeit von der Aufrechterhaltung zu erinnernder Items ablenken. Bei *Steady State*-Sequenzen, die keine solche Veränderungen aufweisen, habituiert die Orientierungsreaktion, und ein *Irrelevant Sound*-Effekt bleibt aus. Da für die präattentive Segmentierung des Distraktormaterials in irrelevante Objektströme und die Auslösung Aufmerksamkeit beanspruchender Orientierungsreaktionen gleichermaßen abrupte Veränderungen eine notwendige Voraussetzung sind, ist es schwierig, diese beiden Annahmen gegeneinander zu prüfen (z.B. Cowan, 1995).

2.5 Klassifizierung der Arbeitsgedächtnismodelle

Wie eingangs bereits erwähnt, lassen sich die vorgestellten Arbeitsgedächtnismodelle in zwei Klassen unterteilen in Abhängigkeit davon, ob Aufmerksamkeit bei der Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts eine Rolle spielt oder nicht. In eine erste Klasse, derer zufolge das Phänomen auf eine automatische Interferenz von Gedächtnisinhalten zurückgeführt wird⁴, fallen das *Modulare Arbeitsgedächtnismodell* (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999) und das *Object-Oriented Episodic Record*-Modell (Jones, 1993). In beiden Modellen dürfen nur akustische Distraktoreigenschaften die Höhe der Störwirkung determinieren. Dies sind die phonologische Ähnlichkeit von Items und Distraktoren beziehungsweise die Anzahl abrupter Frequenz- und Amplitudenunterschiede. Eine weitere Gemeinsamkeit ist, dass beide Modelle eine Beteiligung von Aufmerksamkeitsprozessen beim Zustandekommen des *Irrelevant Sound*-Effekts explizit ausschließen. Im Gegensatz dazu führt eine zweite Klasse von Modellen, zu der das *Feature*-Modell (Nairne, 1990; Neath, 2000b) und das *Embedded Processes*-Modell (Cowan, 1995, 1999) gehören, das Phänomen auf eine Aufmerksamkeitsablenkung zurück, welche die Aufrechterhaltung im Arbeitsgedächtnis beeinträchtigt. Im *Feature*-Modell sind es in erster Linie nichtsprachliche Distraktoren, welche die Aufmerksamkeit von der seriellen Reproduktion abziehen, während die Störwirkung von Sprachschallen überwiegend durch einen Merkmalsübernahmeprozess zu Stande kommt. Im *Embedded Processes*-Modell dagegen beruht der *Irrelevant Sound*-Effekt *ausschließlich* auf einer Aufmerksamkeitsablenkung, die durch Orientierungsreaktionen auf Veränderungen im auditiven Distraktormaterial ausgelöst wird.

Diese beiden Arbeitsgedächtnismodellklassen lassen sich anhand der Frage, ob Aufmerksamkeit bei der Entstehung des *Irrelevant Sound*-Effekts eine Rolle spielt, unterscheiden und gegeneinander prüfen. Eine solche Prüfung soll in der vorliegenden Arbeit umgesetzt werden. Sie erlaubt nicht nur eine Beurteilung der Adäquatheit der Modellannahmen, sondern darüber hinaus Rückschlüsse auf die offene empirische Frage, inwieweit Aufmerksamkeitsprozesse an der kurzfristigen Aufrechterhaltung im Arbeitsgedächtnis beteiligt sind.

⁴ Innerhalb des *Object-Oriented Episodic Record*-Modells wird immer wieder betont, dass der *Irrelevant Sound*-Effekt auf einer *prozessualen* Interferenz beruht und nicht auf einer *inhaltlichen* (Jones & Tremblay, 2000; Macken, Tremblay, Alford & Jones, 1999). Wenn dennoch in der vorliegenden Arbeit die Formulierung „Interferenz von Gedächtnisinhalten“ benutzt wird, dann bezieht sich dies, was das *Object-Oriented Episodic Record*-Modell betrifft, lediglich auf die Reihenfolgeinformationen der Item- und Distraktorsequenzen.

3 Der Einfluss von Aufmerksamkeit

3.1 Semantische Distraktoreigenschaften

Bei den bisherigen Untersuchungen zum Einfluss von Aufmerksamkeit auf den *Irrelevant Sound*-Effekt lassen sich im wesentlichen drei verschiedene experimentelle Ansätze unterscheiden. In einer ersten Reihe von Forschungsarbeiten stehen semantische Eigenschaften des Distraktormaterials und deren Einfluss auf die Störwirkung im Mittelpunkt des Interesses. Ausgeschlossen wird ein solcher Einfluss in Arbeitsgedächtnismodellen, die den Effekt auf eine automatische Interferenz zurückführen. Vorliegende empirische Befunde sind insofern konsistent mit dieser Vorhersage, als die Bedeutungshaltigkeit der Distraktoren *per se* keinen Einfluss auf den *Irrelevant Sound*-Effekt ausübt. So ist die Störwirkung unabhängig davon, ob Sprachsequenzen vorwärts oder rückwärts abgespielt werden (Jones et al., 1990) und ob sie aus Wörtern oder Nichtwörtern bestehen (Salamé & Baddeley, 1982). Übereinstimmend dazu hatte auch die semantische Ähnlichkeit zwischen ignorierte akustischer und zu erinnernder visueller Information in einer Reihe von Untersuchungen keinen Effekt (Buchner et al., 1996; Jones et al., 1990; LeCompte et al., 1997; Marsh, Hughes & Jones, 2009). Buchner et al. (1996) zum Beispiel berichteten ähnlich hohe Fehlerraten bei der Reproduktion von Zahlenfolgen, wenn zeitgleich mit deren Präsentation irrelevante Zahlen (z.B. „drei-und-fünfzig“) oder phonologisch vergleichbare Wörter (z.B. „frei-und-künftig“) und Nichtwörter (z.B. „nei-und-drünfzig“) zu ignorieren waren.

Diese Ergebnisse implizieren allerdings nicht, dass semantische Eigenschaften des Distraktormaterials *grundsätzlich* keinen Einfluss auf das Ausmaß haben können, in welchem die serielle Reproduktionsleistung beeinträchtigt wird. So steht den oben beschriebenen Befunden eine Reihe von Forschungsarbeiten gegenüber, in denen eben ein solcher aufgezeigt werden konnte. Neely und LeCompte (1999) berichteten zum Beispiel eine stärkere Beeinträchtigung der Reproduktionsleistung von Wortlisten, wenn Distraktorwörter stark mit diesen assoziiert waren (z.B. „hot“ und „cold“) verglichen mit nichtassozierten Distraktoren (siehe auch Bell, Mund & Buchner, 2011). Hinweise auf einen Einfluss nichtakustischer Distraktoreigenschaften lieferten auch größere Störwirkungen sehr seltener Distraktorwörter verglichen mit sehr häufigen (Buchner & Erdfelder, 2005) und valenter verglichen mit neutralen (Buchner et al., 2004), wobei negativ valente Distraktoren besonders stark beeinträchtigend wirkten. Ein solches Befundmuster konnte auch dann repliziert werden, wenn statt der Verwendung natürlich-sprachlichen Distraktormaterials Valenz künstlich induziert wurde.

Nichtwörter (z.B. „ofomol“), welche in einer vorherigen Aufgabe mit einem virtuellen Punktverlust und einer aversiven Rückmeldung einhergingen, beeinträchtigten die serielle Reproduktionsleistung in höherem Maße als neutrale Nichtwörter (Buchner et al., 2006). Angesichts der Tatsache, dass negativ valente Distraktoren auch dann eine größere Störwirkung verursachten, wenn sie in einem Retentionsintervall, also *nach* der Präsentation zu erinnernder Items, präsentiert wurden (Buchner et al., 2004), lässt sich schlussfolgern, dass in erster Linie die kurzfristige Aufrechterhaltung der Items im Arbeitsgedächtnis beeinträchtigt wurde. Gleiches gilt für auditive Distraktoren aus Richtung der Aufmerksamkeitsorientierung, welche während der Darbietung zu erinnernder Zahlen und in einem nachfolgenden Retentionsintervall mehr störten als Distraktoren aus entgegengesetzter Richtung (Buchner et al., 2008).

Das *Modulare Arbeitsgedächtnismodell* (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999) und das *Object-Oriented Episodic Record-Modell* (Jones, 1993; Jones et al., 1996) können solche Befunde nicht integrieren, weil beiden Modellen zufolge nur akustische Distraktoreigenschaften die Größe des *Irrelevant Sound*-Effekts determinieren dürfen. Besser vereinbar scheinen die Untersuchungsergebnisse dagegen mit Arbeitsgedächtnismodellen, die den Effekt auf eine Aufmerksamkeitsablenkung zurückführen. Im *Embedded Processes-Modell* (Cowan, 1995, 1999) werden zum Beispiel Leistungseinbußen bei einer Stroop-Aufgabe⁵ durch auditiv dargebotene, aufgabenirrelevante Farbwörter (Cowan, 1989a, 1989b; Cowan & Barron, 1987; siehe aber Miles & Jones, 1989; Miles, Madden & Jones, 1989) mit deren zusätzlicher Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit erklärt. Innerhalb von Modellen, denen zufolge der *Irrelevant Sound*-Effekt auf einer Aufmerksamkeitsablenkung beruht, müssen auditive Distraktoren in dem Maße die serielle Reproduktionsaufgabe stören, in welchem sie Aufmerksamkeit von dieser abziehen. So wird zum Beispiel die stärkere Beeinträchtigung negativ valenter Distraktorwörter (Buchner et al., 2006; Buchner et al., 2004) von den Autoren unter Hinweis auf Pratto (1994; siehe auch Pratto & John, 1991) als Folge einer solchen Aufmerksamkeitsablenkung interpretiert. Unklar bleibt jedoch, worauf dies zurückzuführen ist. Vereinbar mit dem *Embedded Processes-Modell* (Cowan, 1995, 1999) erscheinen zwei Mechanismen. Es wird angenommen, dass auditive Ereignisse, die von der vorherigen Stimulation abweichen, automatisch in den Aufmerksamkeitsfokus rücken, in welchem sie hinsicht-

⁵ Bei einer Stroop-Aufgabe (Stroop, 1935; siehe MacLeod, 1991 für einen Überblick) müssen Probanden die Schriftfarbe von Wörtern benennen. Als „Stroop-Effekt“ bezeichnet man den Anstieg der Farbbenennzeit in einer inkongruenten Bedingung, in welcher Schriftfarbe und Wortbedeutung nicht übereinstimmen (z.B. das Wort „rot“ in grüner Schriftfarbe), im Vergleich zu einer neutralen Bedingung, in welcher die Wortbedeutung keine Farbbezeichnung darstellt (z.B. „XXXX“). In einer kongruenten Bedingung dagegen, in welcher Schriftfarbe und Wortbedeutung übereinstimmen (z.B. das Wort „rot“ in roter Schriftfarbe), erfolgt die Benennung der Schriftfarbe klassischerweise schneller als in der neutralen Bedingung.

lich ihrer Relevanz überprüft werden müssen. Einerseits könnte die Aufmerksamkeitsorientierung auf die irrelevanten Inhalte dabei zur Folge haben, dass auch semantische Eigenschaften des Distraktormaterials verarbeitet werden (für eine ähnliche Argumentation, siehe Näätänen, 1990). Andererseits wäre es gleichermaßen modellkonform, dass die Langzeitgedächtnisrepräsentationen negativ valenter Distraktorreize bereits *von vornherein* einen höheren Aktivierungsgrad besitzen und daher stärkere Orientierungsreaktionen und eine dementsprechend größere Aufmerksamkeitsablenkung verursachen.

3.2 Habituation des *Irrelevant Sound*-Effekts

In der zweiten Reihe von Forschungsarbeiten zum Einfluss von Aufmerksamkeit wurde geprüft, inwieweit der *Irrelevant Sound*-Effekt habituiert, also die Störwirkung mit wiederholter Distraktorpräsentation abnimmt. Nicht erwartet wird eine Habituation in Arbeitsgedächtnismodellen, in denen der Effekt auf einer automatischen Interferenz beruht. Innerhalb des *Object-Oriented Episodic Record*-Modells (Jones, 1993; Jones et al., 1996) wird eine auditive Distraktorsequenz auf Basis abrupter Frequenz- und Amplitudenunterschiede in einen irrelevanten Objektstrom segmentiert. Dabei determiniert lediglich die akustische Verschiedenheit zweier direkt aufeinanderfolgender Distraktoren, ob diese über einen Seriationsprozess in separate Objekte segmentiert werden. Aus dieser Annahme folgt, dass, solange Distraktoren einer Sequenz gleichermaßen unterschiedlich sind, die Störwirkung nicht von der Regelmäßigkeit der Stimulation abhängen sollte. Aus dem *Embedded Processes*-Modell lässt sich die entgegengesetzte Vorhersage ableiten (Cowan, 1995). In diesem wird der *Irrelevant Sound*-Effekt mit Orientierungsreaktionen auf Veränderungen im auditiven Distraktormaterial erklärt. Neu eintreffende Informationen werden dazu routinemäßig mit den aktivierten Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis verglichen. Bei regelmäßiger Stimulation wird ein neuronales Modell der akustischen Umwelt aufgebaut, was zur Folge hat, dass die Orientierungsreaktion habituiert und erst wieder bei widersprüchlichen Informationen eine Aufmerksamkeitsablenkung ausgelöst wird.

Ob der *Irrelevant Sound*-Effekt habituiert, wurde bislang mithilfe von drei unterschiedlichen experimentellen Aufbauten überprüft. In der ersten Reihe von Forschungsarbeiten wurde untersucht, inwieweit sich die Größe des Distraktorsets (*token set size*) auf das Ausmaß des *Irrelevant Sound*-Effekts auswirkt. Aus dem *Object-Oriented Episodic Record*-Modell (Jones, 1993; Jones et al., 1996) lässt sich die Vorhersage ableiten, dass, solange aufeinanderfolgende Distraktoren verschieden genug sind, um in zwei separate Objekte segmentiert zu werden, die Anzahl an unterschiedlichen Distraktoren innerhalb einer Sequenz unmaßgeblich

für die Höhe der Störwirkung sein muss. Demzufolge sollte von einer Distraktorsequenz der Setgröße drei (z.B. „A, B, C, A, B, C, A, B, C usw.“) keine höhere Störwirkung ausgehen als von einer Sequenz der Setgröße zwei (z.B. „A, B, A, B, A, B, A, B, A usw.“). Im Gegensatz dazu sollte im *Embedded Processes*-Modell (Cowan, 1995, 1999) die Beeinträchtigung mit jedem weiteren hinreichend verschiedenen Distraktor größer ausfallen, weil die absolute Häufigkeit ihrer Darbietung mit ansteigender Setgröße abnimmt. Mit Ausnahme eines robusten *Changing State*-Befunds (vgl. Kapitel 1.3) sind die Forschungsergebnisse und deren Implikationen jedoch uneindeutig. Einerseits berichten Tremblay und Jones (1998) vergleichbare hohe Störwirkungen durch Distraktorsequenzen der Setgrößen zwei, drei, fünf und sieben sowie Hughes und Jones (2005) dasselbe für die Setgrößen zwei und acht, andererseits stehen diesen Arbeiten Befunde von Campbell, Beaman und Berry (2002) gegenüber, wonach fünf verschiedene Distraktoren mehr stören als zwei und solche von Campbell, Winkler, Kujala und Näätänen (2003) mit eben demselben Ergebnis.

Konsistentere Resultate dagegen liefern Untersuchungen zur durchgangsbezogenen Habituation. Hierbei wird geprüft, ob es im Verlauf eines Experiments zu einer Abnahme der Störwirkung in Durchgängen mit auditiven Distraktoren im Vergleich zu einer Ruhebedingung kommt. Während eine solche Abnahme problematisch wäre für Arbeitsgedächtnismodelle, die den *Irrelevant Sound*-Effekt auf automatische Interferenz zurückführen, erscheint sie gut vereinbar mit Modellen, in denen der Effekt auf einer Aufmerksamkeitsablenkung beruht. So ließe sich eine allmähliche Reduzierung der Störwirkung im Verlauf eines Experiments innerhalb des *Embedded Processes*-Modells (Cowan, 1995, 1999) mit dem Aufbau eines neuronalen Modells der Distraktorsequenz erklären, infolgedessen die Orientierungsreaktion habituiert. Blicke die Störwirkung dagegen auch über eine Vielzahl von Durchgängen hinweg konstant, spräche dies gegen einen solchen Mechanismus. Als deutlicher Hinweis auf letzteres müssen demnach die publizierten Forschungsarbeiten interpretiert werden (Beaman & Rör, 2009; Ellermeier & Zimmer, 1997; Jones, Macken & Mosdell, 1997; Rör, Bell, Dentale & Buchner, in press; Tremblay, 1997). So ließen zum Beispiel Jones et al. (1997) Probanden jeweils 20 Durchgänge in drei verschiedenen Distraktorbedingungen (*Changing State*, *Steady State*, Ruhe) absolvieren, welche randomisiert oder blockweise dargeboten wurden. Obwohl die *Changing State*-Sequenz in allen Durchgängen dieselbe war (z.B. „*pie, hat, cow, nest, pin, boat, top*“), zeigte sich im Verlauf des Experiments keine Abnahme der Störwirkung im Vergleich zu einer Ruhebedingung. Dieses Ergebnismuster konnte mit nichtsprachlichem Distraktormaterial repliziert werden (Tremblay, 1997). Auch zeigte sich keine Reduzierung der Störwirkung, wenn die Distraktorsequenz ununterbrochen, also einschließlich der Abruf-

phase, präsentiert wurde (Jones et al., 1997) und ebenso wenig, wenn nach jedem Durchgang eine Rückmeldung über korrekt und falsch reproduzierte serielle Positionen erfolgte (Beaman & Rörer, 2009). Vor dem Hintergrund unzureichender Stichprobenumfänge in den beschriebenen Untersuchungen verglichen Rörer et al. (in press) in drei Experimenten mit angemessener Teststärke die Reproduktionsleistungen für Zahlenfolgen einer Ruhe- und Distraktorgruppe, wobei letztere zwei abwechselnd präsentierte einsilbige Wörter zu ignorieren hatte (z.B. „Los“ und „Tau“). Da auch nach 1960-facher Wiederholung der Distraktorsequenz die Störwirkung konstant blieb, kann mit einiger Sicherheit konstatiert werden, dass der *Irrelevant Sound*-Effekt keiner durchgangsbezogenen Habituation unterliegt.

Die dritte Reihe von Forschungsarbeiten, in denen Habituation auf auditive Distraktoren untersucht wurde, bilden Experimente mit einer der seriellen Reproduktionsaufgabe vorgeschalteten Habituationsphase, in welcher die später verwendeten Distraktorsequenzen mehrmalig ohne eine weitere Zusatzaufgabe abgespielt werden. Habituation entspräche hierbei einer Abnahme der Leistungsbeeinträchtigung durch die vorherige Distraktorpräsentation. Ein solches Befundmuster würde gegen automatische Interferenz als Erklärung für den *Irrelevant Sound*-Effekt und für eine Aufmerksamkeitsablenkung sprechen. Tatsächlich konnte in den meisten Untersuchungen mit vorheriger Habituationsphase eine Reduzierung der Störwirkung festgestellt werden. So zeigten Morris und Jones (1990), dass die beeinträchtigende Wirkung einer eingesprochenen Passage aus Mozarts „Don Giovanni“ auf die serielle Reproduktion von Buchstabenfolgen verschwand, wenn diese bereits vor der Bearbeitung der Aufgabe über eine Dauer von 20 Minuten abgespielt wurde. Dies war auch der Fall, wenn die Probanden zuvor eine englische Übersetzung oder eine gesummte Version präsentiert bekamen, nicht aber, wenn sie 1/f-Rauschen hörten. Bell, Rörer, Dentale und Buchner (submitted) berichteten vergleichbare Forschungsbefunde. Probanden, welchen in einer 20-minütigen Vorphase die spätere Distraktorsequenz vorgespielt wurde (zwei abwechselnd dargebotene einsilbige Wörter, z.B. „Los“ und „Tau“), machten signifikant weniger Fehler bei der seriellen Reproduktion von Zahlenfolgen als Probanden, die in der Vorphase Ruhe präsentiert bekamen. Darüber hinaus unterschied sich die Leistung in der Habituationsgruppe nicht signifikant von der einer Ruhegruppe, in welcher sowohl in der Vorphase als auch während der Bearbeitung der Reproduktionsaufgabe Ruhe herrschte. In einer Untersuchung mit einem ähnlichen Versuchsaufbau (Jones et al., 1997) konnte zuvor noch keine Habituation festgestellt werden. Allerdings wurde ein solcher Befund maßgeblich durch die randomisierte Darbietung des messwiederholten Faktors Distraktorbedingung (*Changing State, Steady State, Ruhe*) begünstigt, so dass die Studie keinen überzeugenden Beleg gegen eine Reduzierung

der Störwirkung durch eine vorherige Habituationsphase darstellt. Bell et al. (submitted) konnten zudem zeigen, dass nicht nur eine dem eigentlichen Experiment vorgeschaltete 20-minütige Habituationsphase, sondern auch die 45-sekündige Präsentation der späteren Distraktorsequenz unmittelbar vor einem Durchgang eine Abnahme der Störwirkung zur Folge hatte. Insgesamt muss man also zu dem Schluss gelangen, dass eine vorherige Darbietung der späteren Distraktorsequenz den *Irrelevant Sound*-Effekt – übereinstimmend mit anderen modalitätsübergreifenden Interferenzeffekten (Elliott & Cowan, 2001; Shelton, Elliott, Eaves & Exner, 2009) – deutlich reduziert.

Zusammenfassend ergibt sich demnach insgesamt folgendes Bild. Während Untersuchungen zur Größe des Distraktorsets (z.B. Campbell et al., 2002) und solche mit vorheriger Habituationsphase (z.B. Bell et al., submitted) nahelegen, dass an die Distraktorsequenzen habituiert wurde, zeigten sich in sämtlichen Untersuchungen zur durchgangsbezogenen Habituation keine Anzeichen für eine solche Interpretation. In Anbetracht dessen hängt ein Auftreten beziehungsweise Ausbleiben einer Habituation offensichtlich in nicht unerheblicher Weise vom verwendeten Versuchsaufbau ab. Insbesondere die Tatsache, dass an dieselbe Distraktorsequenz (z.B. „Los, Tau, Los, Tau, usw.“) nach Präsentation in einer Vorphase (Bell et al., submitted), nicht aber im Verlauf eines Experiments habituiert wurde (Röer et al., in press), ist ein deutlicher Beleg für eine solche Folgerung. Einerseits muss man also feststellen, dass Habituation an auditive Distraktoren grundsätzlich möglich ist, andererseits geschieht dies offenkundig am zuverlässigsten, wenn die Distraktorsequenz in einer vorherigen Habituationsphase ohne eine weitere Zusatzaufgabe präsentiert wird. Dies legt den Schluss nahe, dass der Aufbau eines neuronalen Modells der akustischen Umwelt kognitive Verarbeitungskapazität beansprucht (vgl. Cowan, 1988, 1995; Öhman, 1979), welche bei der gleichzeitigen Bearbeitung einer seriellen Reproduktionsaufgabe in nicht ausreichendem Maße vorhanden ist. Dass trotz einer ausbleibenden durchgangsbezogenen Habituation ein (rudimentäres) neuronales Modell der auditiven Stimulation existieren muss, belegen größere Störwirkungen durch Distraktoren, die unerwartet von einer zuvor erlernten Regelmäßigkeit abweichen. Dies konnten Röer et al. (in press) zeigen. Ersetzten sie nach 80 Durchgängen die beiden alternierenden auditiven Distraktoren (z.B. „Los“ und „Tau“) durch zwei andere von derselben Stimme eingesprochene (z.B. „Alm“ und „Elch“), führte dies zu einem signifikanten Anstieg der Fehlerrate. Übereinstimmend dazu liefern Untersuchungen mit abweichenden auditiven Distraktoren die deutlichste Evidenz zugunsten einer Aufmerksamkeitsbeteiligung beim Zustandekommen des *Irrelevant Sound*-Effekts.

3.3 Abweichende auditive Distraktoren

Die Fragestellung, ob abweichende Distraktoren einen besonders starken *Irrelevant Sound*-Effekt hervorrufen, ist deshalb ausgesprochen interessant, weil man von abweichenden auditiven Ereignissen weiß (siehe Näätänen, Alho und Schröger [2002] für einen Überblick), dass ihre Verarbeitung ereigniskorrelierte Potentialkomponenten⁶ evoziert, die als elektrophysiologische Korrelate von Aufmerksamkeitsprozessen gelten (z.B. Berti & Schröger, 2003). Hierbei handelt es sich um die MMN (*Mismatch*-Negativität), die P3a und die RON (Reorientierungsnegativität). Die MMN-Komponente ist eine Negativierung, die 100 bis 200 ms nach der Präsentation eines abweichenden Ereignisses auftritt und als präattentive automatische Veränderungsdetektion angesehen wird (Näätänen, 1992; Näätänen, Tervaniemi, Sussman, Paavilainen & Winkler, 2001; Weise, Grimm, Müller & Schröger, 2010). Eine MMN zeigt sich auf Abweichungen eines einzelnen Reizmerkmals, wie der Tonhöhe (Tervaniemi et al., 2009), der Dauer (Jacobsen & Schröger, 2003), der Lokation (Paavilainen, Karlsson, Reinikainen & Näätänen, 1989) und der Lautstärke (Näätänen, Paavilainen, Alho, Reinikainen & Sams, 1987), aber auch auf Abweichungen von komplexen Reizmustern, wie zum Beispiel Tonwiederholungen in einer Sequenz alternierender Töne (Nordby, Roth & Pfefferbaum, 1988; für abweichende Tonpaare siehe auch Paavilainen, Jaramillo, Näätänen & Winkler, 1999; Paavilainen, Simola, Jaramillo, Näätänen & Winkler, 2001) und Veränderungen innerhalb einer kurzen Melodie (Tervaniemi, Rytönen, Schröger, Ilmoniemi & Näätänen, 2001). Während die MMN klassischerweise als „*call for attention*“ verstanden wird (z.B. Schröger & Wolff, 1998), gilt die P3a-Komponente als Ausdruck einer unwillkürlichen Aufmerksamkeitszuwendung (Berti & Schröger, 2003; Escera, Alho, Schröger & Winkler, 2000). Von abweichenden auditiven Reizen, die eine P3a auslösen, ist bekannt, dass sie die Leistung in einer Primäraufgabe mindern, wenn sie als aufgabenirrelevante Distraktoren fungieren. So konnten zum Beispiel Escera, Alho, Winkler und Näätänen (1998) zeigen, dass die auditive Darbietung abweichender Reize zu einem Anstieg der Fehlerraten und Reaktionszeiten bei der Klassifikation visuell präsentierter Buchstaben und Zahlen führte. Nach der Aufmerksamkeitszuwendung in Form einer P3a folgt in der Regel eine RON-Komponente, welche die willkürliche Reorientierung von Aufmerksamkeit auf die Primäraufgabe abbildet und zentralen Steuerungsprozessen des Arbeitsgedächtnisses zugeschrieben wird (z.B. Berti & Schröger, 2003).

⁶ Unter „ereigniskorrelierten Potentialen“ versteht man Veränderungen in der EEG-Aktivität des Gehirns, welche durch ein diskretes Ereignis ausgelöst werden, zum Beispiel der Präsentation eines Stimulus (für einen Überblick siehe Rösler & Heil, 1998). Um diese Veränderungen sichtbar zu machen, müssen die spontanen ereignisunabhängigen Anteile des EEG reduziert werden. Da dies über eine Signalmittelung der neuronalen Antworten erfolgt, ist hierfür eine Vielzahl an Stimuluspräsentationen notwendig.

Aus dieser Perspektive heraus sollten abweichende auditive Distraktoren der Modellklasse zufolge, in der sich die Höhe der Störwirkung nach dem Grad an Aufmerksamkeitsablenkung richtet, einen besonders großen *Irrelevant Sound*-Effekt hervorrufen. Eine differenziertere Vorhersage lässt sich aus dem *Object-Oriented Episodic Record*-Modell (Jones, 1993; Jones et al., 1996) ableiten. Während in einer *Steady State*-Sequenz (z.B. „A, A, A, A, A, A, A, B“) ein abweichender Distraktor (B) immer mehr stören muss als ein regelmäßiger (A), weil ersterer, nicht aber letzterer, zur Bildung eines neuen Objekts auf der Schreibtafel führt (und damit zu einem Reihenfolgenkonflikt; vgl. Kapitel 2.2.2), sollten in einer *Changing State*-Sequenz (z.B. „A, B, A, B, A, B, A, C“) abweichende Distraktoren (C) nicht mehr stören als vergleichbar verschiedene regelmäßige Distraktoren (B), weil in beiden Fällen die gleiche Anzahl an Objekten auf der Schreibtafel angelegt wird.

Der Einfluss abweichender auditiver Distraktoren wurde bislang in vier publizierten Forschungsarbeiten geprüft. Hughes, Vachon et al. (2005) verwendeten dazu *Changing State*- und *Steady State*-Sequenzen, in welchen der fünfte von insgesamt acht Distraktoren eine kurze Zeit (375 ms) später abgespielt wurde als die anderen (z.B. „4, 9, 5, 8, 2,7, 1, 3,“; das doppelte beziehungsweise fehlende Leerzeichen kennzeichnet den veränderten zeitlichen Abstand). Die Autoren konnten zeigen, dass solch eine Verzögerung sowohl in *Changing State*- als auch in *Steady State*-Sequenzen eine Beeinträchtigung der seriellen Reproduktionsleistung zur Folge hatte. Diese hatte gleichermaßen Bestand, wenn die Distraktoren nicht synchron zu den Items, sondern um einige Millisekunden versetzt präsentiert wurden sowie, wenn semantisch mit den Distraktoren unverwandte Buchstaben zu reproduzieren waren. Auch wenn die Abweichung darin bestand, dass einer der Distraktoren innerhalb einer Sequenz von einer anderen Stimme gesprochen wurde (z.B. J, S, Q, K, C, A, G, B, M, S; die Schriftlage kennzeichnet denselben Sprecher) oder, dass in einer ansonsten alternierenden Sequenz eine Distraktorwiederholung implementiert wurde, zeigte sich das gleiche Befundmuster (Hughes, Vachon et al., 2005; siehe auch Lange, 2005). Dies gilt ebenfalls für durchgangsbezogene Abweichungen, also dann, wenn nach mehreren Durchgängen mit derselben Distraktorsequenz diese durch eine andere ersetzt wird (Vachon, Hughes & Jones, 2008). Wurden die auditiven Distraktoren allerdings erst in einem Retentionsintervall abgespielt – also *nach* der Präsentation zu erinnernder Items – verursachten Sequenzen mit und ohne Abweichung vergleichbar hohe Störwirkungen (Hughes, Vachon et al., 2005; siehe aber Kapitel 3.4 für eine kritische Betrachtung der Befunde).

Um den Einfluss abweichender auditiver Distraktoren auf die serielle Reproduktionsleistung zu erklären, wurde mit dem *Duplex-Mechanism Account* (Hughes, Vachon et al., 2005; Hughes et al., 2007) eine Ergänzung des *Object-Oriented Episodic Record*-Modells vorgeschlagen. Darin wird postuliert, dass es sich beim *Irrelevant Sound*-Effekt und bei der Beeinträchtigung durch abweichende auditive Distraktoren um zwei unabhängige Phänomene handele, welche auf einen Reihenfolgenkonflikt (vgl. Kapitel 2.2.2) beziehungsweise auf eine Aufmerksamkeitsablenkung zurückgehen. Eine solche funktionale Trennung wird hauptsächlich damit begründet, dass zu ignorierende abweichende Distraktoren während der Itemdarbietung, nicht aber in einem nachfolgenden Retentionsintervall, zu mehr Fehlern bei der seriellen Reproduktion führen als Standardsequenzen (Hughes, Vachon et al., 2005). Aus diesem Befundmuster schließen die Autoren, dass abweichende auditive Distraktoren nicht die kurzfristige Aufrechterhaltung von Arbeitsgedächtnisinformationen beeinträchtigen, sondern eine frühere Ebene der Informationsverarbeitung.

3.4 Fazit

Inwieweit Aufmerksamkeitsprozesse an der Entstehung des *Irrelevant Sound*-Effekts beteiligt sind, ist deshalb von besonderem Interesse, weil einer Arbeitsgedächtnismodellklasse zufolge, nicht aber einer anderen, eine solche Beteiligung angenommen wird (vgl. Kapitel 2.5). Die publizierten Forschungsarbeiten zeichnen jedoch ein uneinheitliches Bild, so dass ein Schluss zugunsten einer der Modellklassen verfrüht käme.

Von den beschriebenen Versuchsaufbauten scheinen Untersuchungen mit abweichenden auditiven Distraktoren aus mehreren Gründen besonders gut geeignet, um den Einfluss von Aufmerksamkeit auf den *Irrelevant Sound*-Effekt zu untersuchen. Erstens handelt es sich offensichtlich um einen sehr robusten Befund. In allen vier Veröffentlichungen zum Thema verursachten abweichende auditive Distraktoren eine besonders hohe Störwirkung (Hughes, Vachon et al., 2005; Hughes et al., 2007; Lange, 2005; Vachon et al., 2008). Zweitens kann die Beeinträchtigung abweichender auditive Ereignisse zweifelsfrei auf eine unwillkürliche Aufmerksamkeitsablenkung zurückgeführt werden (z.B. Näätänen et al., 2002). Dies stellt einen erheblichen Vorteil gegenüber Untersuchungen zu semantischen Eigenschaften dar, in welchen streng genommen unklar ist, worauf etwa die Störwirkung seltener (Buchner & Erdfelder, 2005) und negativ valenter Distraktoren (Buchner et al., 2006; Buchner et al., 2004) zurückzuführen ist. Drittens scheinen abweichende Distraktoren grundsätzlich besser geeignet, den Aufbau eines neuronalen Modells nachzuweisen als eine Reduzierung der Störwirkung im Vergleich zu einer Ruhebedingung. Dies konnten zum Beispiel Röer et al. (in press)

zeigen. Obwohl die wiederholte Darbietung derselben Distraktorsequenz keine durchgangsbezogene Habituation zur Folge hatte, führte ein unerwarteter Austausch zu einem signifikanten Anstieg der Fehlerrate.

Klärungsbedarf besteht allerdings bezüglich der noch offenen Frage, welche Ebene der Informationsverarbeitung Aufmerksamkeitsablenkungen eigentlich beeinträchtigen. Befunde, nach denen abweichende auditive Distraktoren während der Präsentationsphase, nicht aber in einem nachfolgenden Retentionsintervall, eine besonders hohe Störwirkung verursachen (Hughes, Vachon et al., 2005), stehen im Widerspruch zu Untersuchungen mit negativ valenten (Buchner et al., 2004) und aus Richtung der Aufmerksamkeitsorientierung dargebotenen Distraktoren (Buchner et al., 2008). Im Gegensatz zu Buchner et al. (2008; 2004) manipulierten Hughes, Vachon et al. (2005) allerdings den Präsentationszeitpunkt nicht innerhalb eines Experiments, sondern über zwei Experimente hinweg, welche sich in einem wichtigen Aspekt voneinander unterschieden. Während im ersten Experiment der Abruf unmittelbar nach der Präsentation zu erinnernder Items erfolgte, mussten diese im zweiten für sieben weitere Sekunden aufrecht erhalten werden. Da der verzögerte Abruf den normalerweise vom Präsentationszeitpunkt unabhängigen *Irrelevant Sound*-Effekt (vgl. Kapitel 1.4) bereits deutlich reduzierte, muss davon ausgegangen werden, dass ein Einfluss abweichender Distraktoren noch viel schwerer zu entdecken war. Mit anderen Worten, die Arbeiten von Hughes, Vachon et al. (2005) stellen keinen überzeugenden Beleg dafür dar, dass abweichende auditive Distraktoren nur die Enkodierung zu erinnernder Items erschweren, nicht aber deren Aufrechterhaltung. Unter dem Gesichtspunkt, dass die Beeinträchtigung durch abweichende Distraktoren übereinstimmend auf eine Aufmerksamkeitsablenkung zurückgeführt wird (Hughes et al., 2007; Lange, 2005), überrascht es außerdem, dass die Störwirkung auch nach wiederholter Präsentation konstant blieb.

Insgesamt muss man also zu der Erkenntnis gelangen, dass die empirische Frage, inwieweit Aufmerksamkeitsprozesse an der Entstehung eines *Irrelevant Sound*-Effekts im Arbeitsgedächtnis beteiligt sind, noch nicht eindeutig zu beantworten ist. Um zur Klärung beizutragen, werden in der vorliegenden Arbeit Distraktorsequenzen verwendet, die im Verlauf unerwartet in eine kontinuierliche Distraktorwiederholung übergehen. Hierzu lassen sich aus den vorgestellten Arbeitsgedächtnismodellklassen gegenläufige Vorhersagen ableiten, auf welche im folgenden Kapitel näher eingegangen wird.

4 Unerwartete Distraktorwiederholungen

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die systematische Untersuchung des Einflusses abweichender auditiver Distraktoren auf eine gleichzeitig zu bearbeitende serielle Reproduktionsaufgabe. Um die empirische Adäquatheit menschlicher Arbeitsgedächtnismodelle experimentell zu überprüfen, werden dazu Sequenzen verwendet, die unerwartet in eine Distraktorwiederholung übergehen. Aus den Ergebnissen sollen sich Schlüsse über die Beteiligung von Aufmerksamkeitsprozessen an der kurzfristigen Aufrechterhaltung im Arbeitsgedächtnis ziehen lassen.

In Experiment 1 werden als Distraktoren kurze Klaviermelodien verwendet. Vor jedem Durchgang wird eine zufällig ausgewählte Melodie dreimal ohne jede weitere Zusatzaufgabe abgespielt. Unmittelbar im Anschluss daran folgt die Präsentation einer zu erinnernden Zahlensequenz. Währenddessen wird eine von drei Distraktorbedingungen realisiert. Dies sind eine Ruhebedingung, eine Bedingung, in der die Melodie erwartungsgemäß ein viertes Mal vollständig abgespielt wird und eine Bedingung, in der dieselbe Melodie im Verlauf unerwartet in eine kontinuierliche Tonwiederholung übergeht. Von besonderem Interesse ist der Vergleich der beiden letzten Bedingungen, weil sich hierfür aus den Arbeitsgedächtnismodellklassen unterschiedliche Vorhersagen ergeben.

Innerhalb des *Object-Oriented Episodic Record*-Modells (Jones, 1993; Jones et al., 1996) richtet sich die Höhe der Störwirkung ausschließlich nach der Anzahl an abrupten Frequenz- und Amplitudenunterschieden innerhalb des auditiven Distraktormaterials. Je mehr solcher *Changing States* eine Distraktorsequenz aufweist, desto mehr Objekte mit entsprechenden episodischen Verweisen werden auf der Schreibtafel angelegt, wo sie mit den Reihenfolgeinformationen zu erinnernder Items interferieren. Vollständige Melodien, die eine größere Anzahl *Changing States* enthalten, müssen also mehr stören als Melodien, die eine *Steady State*-Sequenz in Form einer Tonwiederholung beinhalten. Dies gilt nicht zuletzt vor dem Hintergrund, dass innerhalb des *Object-Oriented Episodic Record*-Modells Aufmerksamkeitsprozesse keinen Einfluss auf die Höhe des *Irrelevant Sound*-Effekt ausüben dürfen (z.B. Beaman & Jones, 1997)⁷. Aus dem *Modularen Arbeitsgedächtnismodell* (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999) lässt sich eine ähnliche Vorhersage ableiten. Ob die Verarbeitung bestimmter auditiver Distraktoren in besonderem Maße Aufmerksamkeit beansprucht, sollte

⁷ Mit dem *Duplex Mechanism Account* (Hughes, Vachon et al., 2005; Hughes et al., 2007) wäre grundsätzlich auch ein gegenläufiges Befundmuster vereinbar. Eine Aufmerksamkeitsablenkung sollte allerdings in einem solchen Fall nur die Enkodierung zu erinnernder Items und nicht deren Aufrechterhaltung im Arbeitsgedächtnis beeinträchtigen. Da dieser Aspekt gesondert in Experiment 3 untersucht wird, werden vorerst nur Vorhersagen gegenübergestellt, die sich direkt aus den vorgestellten Arbeitsgedächtnismodellen ergeben.

keinen Einfluss auf die serielle Reproduktionsleistung haben, weil die Aufrechterhaltung zu erinnernder Items in der phonologischen Schleife ohne Beteiligung der für die Aufmerksamkeitssteuerung zuständigen zentralen Exekutive erfolgt. Da die verwendeten Klaviermelodien zudem keine hohe Übereinstimmung mit sprachlichen Schallen aufweisen, sollten beide Distraktorarten nur unwesentlich mit der Aufrechterhaltung im phonologischen Speicher interferieren. Wenn überhaupt angenommen werden kann, dass die Sequenzen sich in der Höhe ihrer Störwirkung unterscheiden, dann müsste diese plausiblerweise bei vollständigen Melodien größer ausfallen, da eine Folge aus Tönen unterschiedlicher Frequenz der menschlichen Sprache ähnlicher ist als eine Wiederholung eines einzelnen Tons.

Während also Arbeitsgedächtnismodellen zufolge, die den *Irrelevant Sound*-Effekt mit automatischer Interferenz erklären, Melodien mit Tonwiederholung eher weniger, auf keinen Fall aber mehr stören sollten als vollständige, lässt sich aus der Klasse von Modellen, die den Effekt auf eine Aufmerksamkeitsablenkung zurückführen, die gegenläufige Vorhersage ableiten. Innerhalb des *Embedded Processes*-Modells (Cowan, 1995, 1999) müssen diejenigen auditive Distraktoren am stärksten die serielle Reproduktion beeinträchtigen, die in besonderem Maße den Aufmerksamkeitsfokus von der Aufrechterhaltung zu erinnernder Items ablenken. Dies trifft maßgeblich auf Störreize zu, welche von einem zuvor aufgebauten neuronalen Modell der akustischen Umwelt abweichen (Cowan, 1995). Melodien, die unerwartet in eine Tonwiederholung übergehen, sollten also einen größeren *Irrelevant Sound*-Effekt auslösen als erwartungskonform präsentierte. Eine ähnliche Vorhersage lässt sich aus dem *Feature*-Modell (Nairne, 1990; Neath, 2000b) ableiten, in welchem das Ignorieren von Störgeräuschen Aufmerksamkeit erfordert, die von der seriellen Reproduktionsaufgabe abgezogen werden muss. Unter der Annahme, dass Melodien mit unerwarteten Tonwiederholungen mehr Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen als vollständige, sollten diese eine entsprechend größere Störwirkung hervorrufen.

5 Experiment 1

5.1 Methode

5.1.1 Stichprobe

Es nahmen 98 Versuchspersonen (70 Frauen, 28 Männer) im Alter von 19 bis 39 Jahren ($M = 24$, $SD = 4$) an der Studie teil. Alle Versuchspersonen berichteten normales Hörvermögen und eine normale oder korrigierte Sehkraft. Voraussetzung für die Teilnahme waren gute Deutschkenntnisse. Die Versuchspersonen wurden über Aushänge an der Universität und persönliche Kontakte rekrutiert.

5.1.2 Material

Zum Schutz vor störenden Umgebungsgeräuschen und zur Präsentation der auditiven Distraktoren trugen die Versuchspersonen während des gesamten Experiments geschlossene Kopfhörer, die direkt mit einem Apple iMac-Computer verbunden waren.

Die zu erinnernden Zahlensequenzen umfassten acht Zahlen, welche zufällig und ohne Zurücklegen aus der Menge ganzer Zahlen von eins bis neun gezogen wurden. Insgesamt wurden für jede Versuchsperson 40 Zahlensequenzen erzeugt, welche in schwarzer Schriftfarbe vor weißem Hintergrund in der Mitte eines 17-Zoll-Monitors präsentiert wurden. Auf die Präsentation einer Zahl (800 ms) folgte ein Poststimulusintervall (200 ms), in welchem ein weißer Bildschirm präsentiert wurde. Um die horizontale Ausdehnung der Zahlen einheitlich zu gestalten, wurde die dicktengleiche Schriftart *Monaco* gewählt. Der Abstand der Versuchspersonen zum Bildschirm betrug ungefähr 45 cm. Die Größe der präsentierten Zahlen entsprach dabei 1.49° (horizontal) und 0.92° (vertikal) Sehwinkel.

In Durchgängen mit auditiven Distraktoren wurde während der Präsentation der Zahlensequenzen eine von insgesamt acht unterschiedlichen Melodien abgespielt. Die Melodien wurden digital mit Hilfe des Musikprogramms GarageBand erstellt und bestanden aus einzelnen Klaviertönen der C-Dur-Tonleiter. Alle Melodien enthielten vier Takte und dauerten acht Sekunden. In der Bedingung mit unerwarteter Tonwiederholung wurde die ausgewählte Melodie nicht vollständig abgespielt, sondern im Verlauf des dritten Taktes durch Abspielen eines einzelnen Tons fortgesetzt. Die Präsentationsdauer dieses Tons entsprach dabei dem durchschnittlichen Notenwert der Originalsequenz, das heißt vollständige Melodien und Melodien mit Tonwiederholung enthielten dieselbe Anzahl an Tönen (siehe Abbildung 6 für eine

vergleichende Darstellung beider Distraktorarten). Eine Auflistung sämtlicher im Experiment verwendeter Melodien im Notensystem ist Tabelle A1 im Anhang zu entnehmen. Die Lautstärke der auditiven Distraktoren betrug durchschnittlich 65 dB(A).

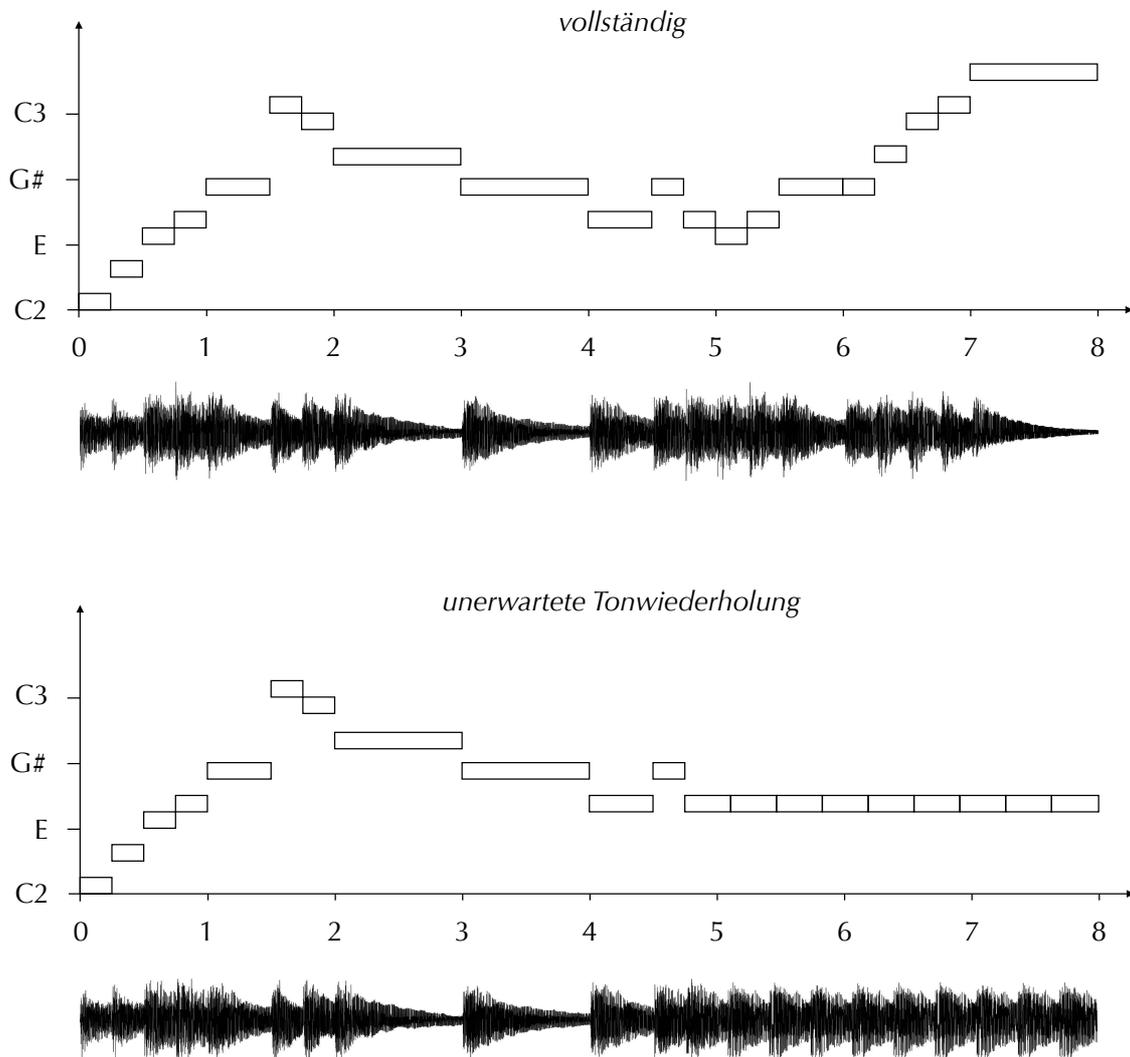


Abbildung 6: Dargestellt sind eine vollständige Melodie und eine Melodie, welche in eine kontinuierliche Tonwiederholung übergeht. In der oberen Hälfte sind die Melodien als Tonrolle notiert. Jeder Ton wird dabei als ein Rechteck dargestellt. Die Breite der Rechtecke zeigt die Länge eines Tons an, die vertikale Position im Raum die Tonhöhe. Darunter ist der Lautstärkeverlauf der Melodien abgetragen.

5.1.3 Versuchsdurchführung

Die Erhebung fand in Einzeltestung in einem ruhigen Experimentalraum statt. Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, die Zahlensequenzen in der Reihenfolge ihrer Darbietung zu memorieren, ohne sie während oder nach der Präsentation laut auszusprechen. Sie wurden angewiesen, alle dabei über die Kopfhörer präsentierten Geräusche zu ignorieren. Bevor das eigentliche Experiment begann, bekamen die Versuchspersonen die Gelegenheit, die serielle

Reproduktionsaufgabe zu üben. Diese Übungsdurchgänge enthielten keine auditiven Distraktoren und flossen nicht mit in die Datenanalyse ein.

Das eigentliche Experiment bestand aus insgesamt 40 Durchgängen, welche in zwei Experimentalblöcke aufgeteilt wurden. Der erste Block (16 Durchgänge) enthielt Durchgänge in den Bedingungen „vollständig“ und „Ruhe“, der zweite Block (24 Durchgänge) Durchgänge aller drei Bedingungen (vollständig, unerwartete Tonwiederholung, Ruhe). Innerhalb eines Blocks wurde für jede der acht Wiederholungen pro Bedingung eine der acht verschiedenen Melodien zufällig ohne Zurücklegen für die Präsentation ausgewählt. Die Abfolge der Durchgänge wurde randomisiert.

Vor jedem Durchgang wurde die ausgewählte Melodie den Versuchspersonen dreimal hintereinander in der vollständigen Version binaural über die Kopfhörer präsentiert. Mit Einsetzen der Melodien erschien auf dem Bildschirm eine rote Ampel, die zwei Sekunden vor Ende der Vorphase zunächst auf gelb und eine Sekunde später auf grün geschaltet wurde, um die Präsentation der Zahlensequenzen anzukündigen. Abhängig von der Distraktorbedingung wurde während der Präsentation der Zahlensequenzen die ausgewählte Melodie ein viertes Mal vollständig oder mit Tonwiederholung abgespielt beziehungsweise Ruhe präsentiert. In Abbildung 7 ist der zeitliche Ablauf eines Durchgangs für alle drei Distraktorbedingungen dargestellt.

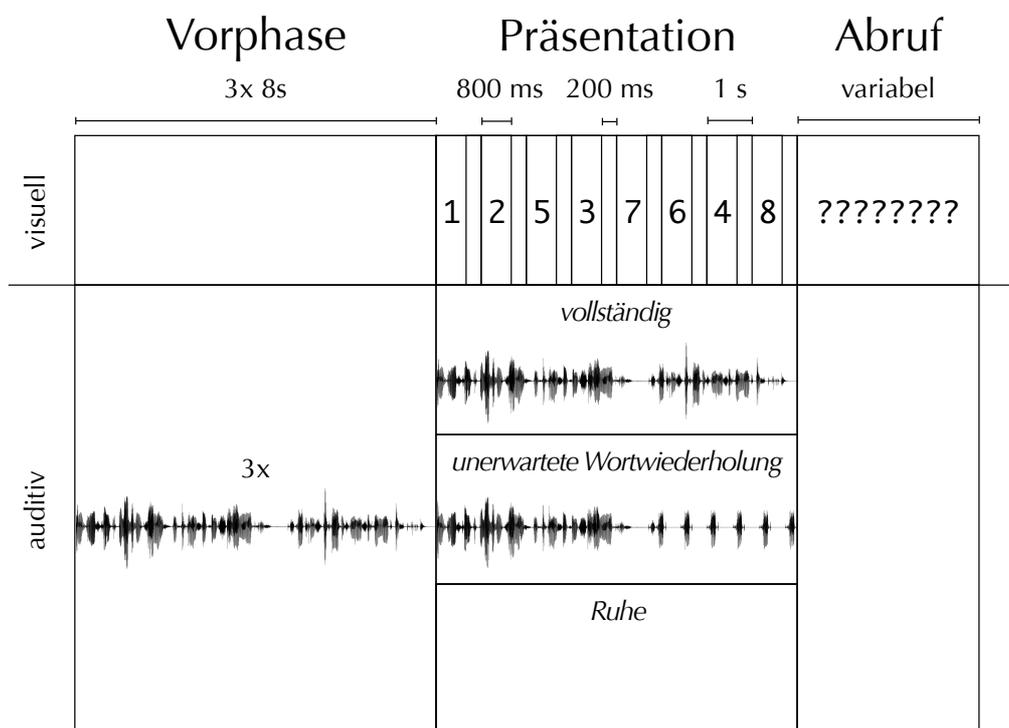


Abbildung 7: Zeitlicher Ablauf eines Durchgangs für die Distraktorbedingungen in Experiment 1.

Nach der vollständigen Präsentation einer Zahlensequenz erschienen acht Fragezeichen auf dem Bildschirm, welche den seriellen Positionen der zu erinnernden Zahlen entsprachen. Mithilfe des Ziffernblocks der Computertastatur wurden nach und nach die Fragezeichen durch die memorierten Zahlen ersetzt. Um eine serielle Position frei zu lassen, drückten die Versuchspersonen die Nulltaste des Ziffernblocks, welche mit „weiß nicht“ beschriftet war. Die Versuchspersonen hatten die Möglichkeit, Antworten nachträglich zu korrigieren, indem sie mit Hilfe der horizontalen Pfeiltasten die Eingabemaske zu einer früheren Position bewegten. Erst wenn alle Fragezeichen ersetzt worden waren, konnte ein neuer Durchgang initiiert werden. Hierzu drückten die Versuchspersonen die mit „weiter“ beschriftete Leertaste der Computertastatur. Die Abrufphase war zeitlich unbegrenzt. Nach jedem Durchgang bekamen die Versuchspersonen eine kurze Rückmeldung über ihre Leistung und den zeitlichen Fortschritt innerhalb des Experiments. Das gesamte Experiment dauerte ungefähr 32 Minuten. Im Anschluss wurden die Versuchspersonen über den Hintergrund der Untersuchung aufgeklärt.

5.1.4 Versuchsplan

Dem Experiment lag ein 3x8-faktorielles Design mit den messwiederholten Faktoren „Distraktorbedingung“ (vollständig, mit Tonwiederholung, Ruhe) und „serielle Position“ (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) zu Grunde. Die abhängige Variable war die relative Anzahl richtig erinnerter Zahlen. Entscheidend für den Vergleich der Arbeitsgedächtnismodellklassen ist der Unterschied zwischen den Distraktorbedingungen „vollständig“ und „unerwartete Tonwiederholung“. Für $\alpha = \beta = .05$ kann man bei diesem Vergleich einen Effekt der Größe $f = 0.25$ mit einer angenommenen Populationskorrelation zwischen den Stufen der Messwiederholung von $\rho = .04$ bei einer Stichprobengröße von $N = 65$ entdecken (berechnet mit G*Power; Faul, Erdfelder, Lang & Buchner, 2007).

5.2 Ergebnisse

Zur statistischen Analyse der Daten wird eine messwiederholte multivariate Varianzanalyse verwendet. Post-hoc-Mittelwertvergleiche werden mit Helmert-Kontrasten berechnet. Der Beurteilung statistischer Signifikanz wird ein Alphafehlerniveau von .05 zu Grunde gelegt. Als Effektstärkemaß wird η^2 verwendet. Es wird auf zwei Stellen nach dem Komma gerundet, mit Ausnahme von Irrtumswahrscheinlichkeiten, welche auf drei Stellen genau angegeben werden. Die tatsächlich erzielte Teststärke für den Vergleich der Distraktorbedingungen „vollständig“ und „unerwartete Tonwiederholung“ betrug $1 - \beta = .99$.

5.2.1 Serielle Position

Abbildung 8 zeigt die Reproduktionsleistung in Abhängigkeit der Distraktorbedingung (vollständig, unerwartete Tonwiederholung, Ruhe) über die acht seriellen Positionen hinweg. Eine 3x8-MANOVA zeigte signifikante Haupteffekte der messwiederholten Faktoren „Distraktorbedingung“, $F(2,96) = 38.80$, $p < .001$, $\eta^2 = .45$, und „serielle Position“, $F(7,91) = 63.85$, $p < .001$, $\eta^2 = .83$. Auch die Interaktion der beiden Faktoren wurde signifikant, $F(14,84) = 3.42$, $p < .001$, $\eta^2 = .36$.

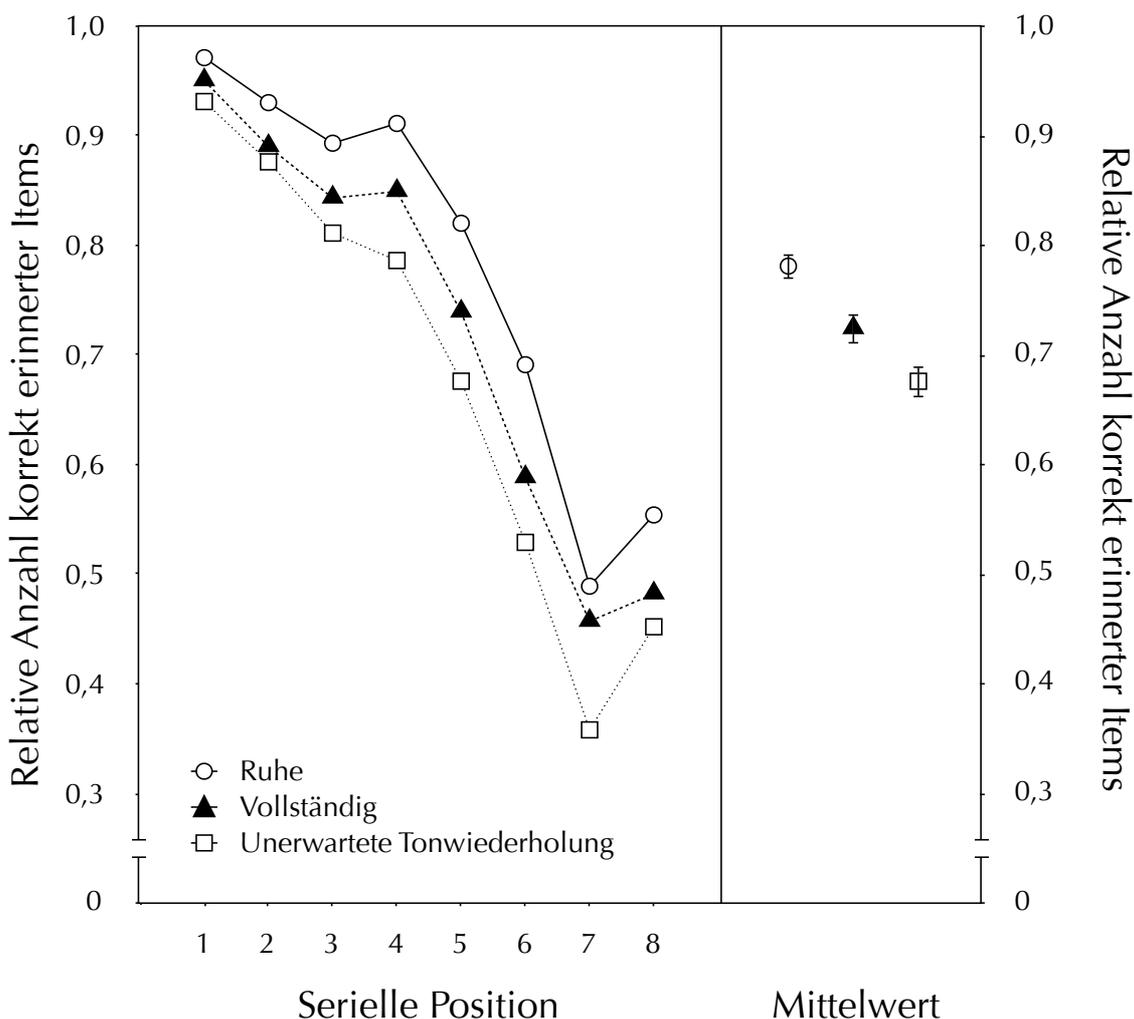


Abbildung 8: Anteil der korrekt erinnerten Items in Abhängigkeit der Distraktorbedingung zu den einzelnen seriellen Positionen und über die seriellen Positionen gemittelt hinweg in Experiment 1. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler der Mittelwerte.

Es zeigte sich der übliche *Irrelevant Sound*-Effekt auf die serielle Reproduktionsleistung, welche in den beiden Distraktorbedingungen mit Melodien im Vergleich zur Ruhebedingung reduziert war, $F(1,97) = 68.14$, $p < .001$, $\eta^2 = .41$. Besonders interessant ist, dass im Vergleich zu vollständigen Melodien signifikant weniger Items korrekt erinnert werden konnten, wenn

Melodien zu ignorieren waren, die unerwartet in eine kontinuierliche Tonwiederholung übergingen, $F(1,97) = 16.17, p < .001, \eta^2 = .14$.

5.2.2 Zeitlicher Verlauf

Abbildung 9 veranschaulicht die Reproduktionsleistung in Abhängigkeit der Distraktorbedingung (vollständig, unerwartete Tonwiederholung, Ruhe) über die acht Wiederholungen im Experiment hinweg.

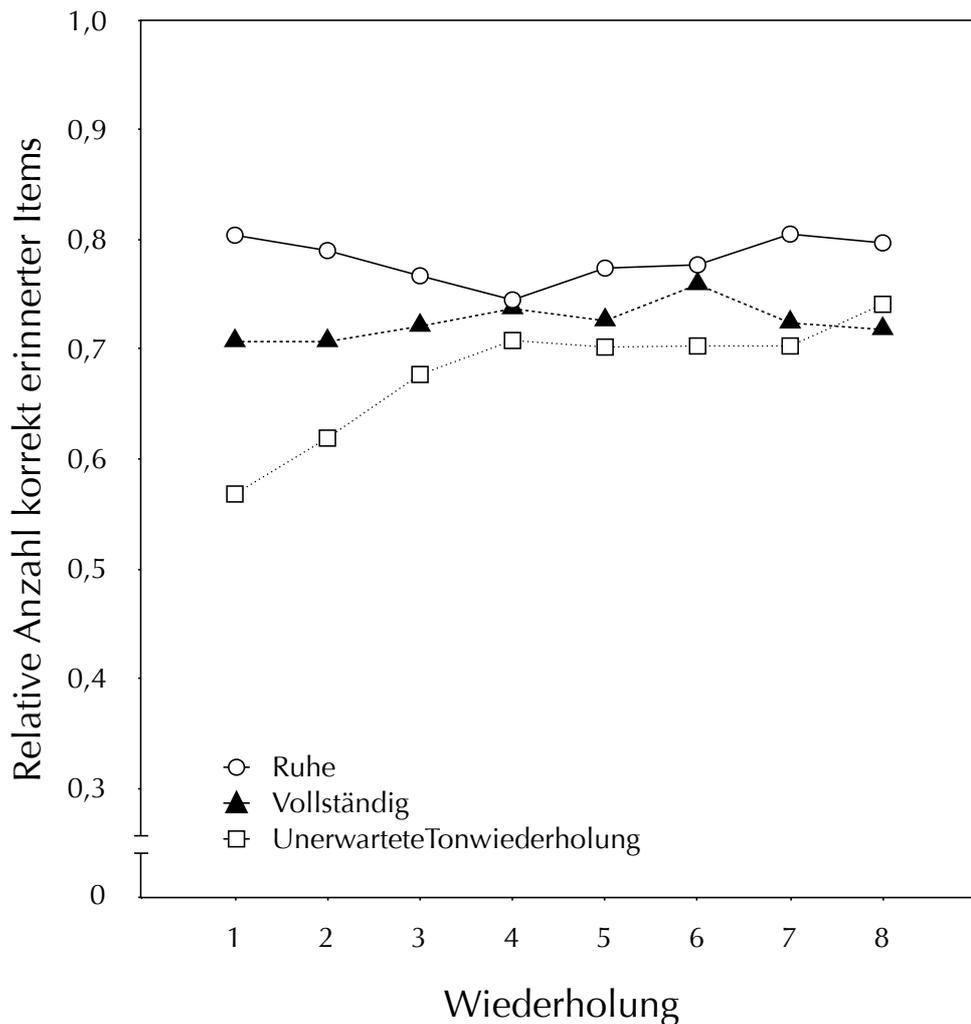


Abbildung 9: Anteil der korrekt erinnerten Items in Abhängigkeit der Distraktorbedingung über die Wiederholungen hinweg in Experiment 1.

Eine 2x8-MANOVA zeigte eine Interaktion des Faktors „Wiederholung“ mit dem Faktor „Distraktorbedingung“ für den Vergleich der beiden Ausprägungen „Ruhe“ und „unerwartete Tonwiederholung“, $F(7,91) = 7.30, p < .001, \eta^2 = .36$, nicht aber für den Vergleich „Ruhe“ und „vollständig“, $F(7,91) = 1.48, p = .182, \eta^2 = .10$. Die deskriptiv besonders hohe Störwirkung von Melodien, die zum ersten Mal in eine Tonwiederholung übergehen, drückt sich sta-

tistisch in einer signifikanten Interaktion der beiden Ausprägungen „Ruhe“ und „unerwartete Tonwiederholung“ aus, wenn die erste Wiederholung gegenüber den darauffolgenden kontrastiert wird, $F(1,97) = 27.23$, $p < .001$, $\eta^2 = .22$.

5.3 Diskussion

Konsistent mit der einschlägigen Fachliteratur zeigte sich in Experiment 1 ein *Irrelevant Sound*-Effekt in Form einer reduzierten seriellen Reproduktionsleistung im Vergleich zur Ruhebedingung, wenn während der Darbietung zu erinnernder Zahlenfolgen aufgabenirrelevante Klaviermelodien zu ignorieren waren. Die Positionskurve entspricht dabei dem typischen Verlauf bei einer seriellen Reproduktionsaufgabe (z.B. Madigan, 1980) mit einem ausgeprägten Reproduktionsvorteil für Items zu Beginn der Liste (*Primacy*-Effekt) und für das zuletzt präsentierte Item (*Recency*-Effekt). Die Interaktion der Faktoren „Distraktorbedingung“ und „serielle Position“ ist offensichtlich darauf zurückzuführen, dass die Leistungsunterschiede für die ersten Items geringer ausfallen. Ein reduzierter *Irrelevant Sound*-Effekt für anfängliche Listenpositionen wurde schon häufiger beobachtet (z.B. Jones & Macken, 1995c) und kann als Deckeneffekt interpretiert werden⁸.

Der hauptsächlich interessierende Vergleich von vollständigen Melodien mit solchen, die im Verlauf in eine Tonwiederholung übergingen, zeigte, dass letztere die serielle Reproduktionsleistung in stärkerem Maße beeinträchtigen. Dies ist insbesondere deshalb bemerkenswert, weil sie gegenüber vollständigen Melodien deutlich weniger abrupte Amplituden- und Frequenzunterschiede enthalten, von denen man weiß, dass sie normalerweise einen maßgeblichen Einfluss auf die Störwirkung haben (*Token Dose*-Effekt; siehe Bridges & Jones, 1996). Zugespitzt formuliert konnte zum ersten Mal überhaupt gezeigt werden, dass von einer *Steady State*-Sequenz eine größere Beeinträchtigung ausgeht als von einer *Changing State*-Sequenz.

Problematisch ist ein solches Befundmuster für Arbeitsgedächtnismodelle, denen zufolge lediglich akustische Distraktoreigenschaften die Höhe des *Irrelevant Sound*-Effekts determinieren dürfen. So sagt das *Object-Oriented Episodic Record*-Modell (Jones, 1993; Jones et al., 1996) eindeutig vorher, dass vollständige Melodien stärker die serielle Reproduktion stören sollten als Melodien mit Tonwiederholung. Das muss so sein, weil vollständige Melodien

⁸ Auch die Reproduktionsleistungen von vollständigen Melodien und solchen mit Tonwiederholung weisen auf den ersten seriellen Positionen geringere Unterschiede auf. Dies ist sehr wahrscheinlich dadurch bedingt, dass die beiden Distraktorarten sich erst im Verlauf ihrer Präsentation unterschieden haben.

mehr *Changing States* enthalten und demnach in eine größere Anzahl an Objekten mit entsprechenden episodischen Verweisen segmentiert werden. Auch das *Modulare* Arbeitsgedächtnismodell (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999) kann die höhere Störwirkung durch Melodien mit Tonwiederholungen nicht erklären. Erstens schließt es ebenso wie das *Oriented Episodic Record*-Modell eine Beteiligung von Aufmerksamkeit an der kurzfristigen Aufrechterhaltung zu erinnernder Items aus (und somit die Möglichkeit einer Ablenkung durch in besonderem Maße Aufmerksamkeit beanspruchende Distraktoren). Zweitens sollten Melodien mit Tonwiederholung aufgrund ihrer geringeren Sprachähnlichkeit – sofern auf dieser Basis überhaupt eine Vorhersage möglich ist – eher weniger, keinesfalls aber mehr stören als vollständige Melodien.

Gut vereinbar dagegen ist das Befundmuster mit der Klasse von Arbeitsgedächtnismodellen, in welcher eine Beteiligung von Aufmerksamkeitsprozessen beim Zustandekommen des *Irrelevant Sound*-Effekts angenommen wird. Nach dem *Embedded Processes*-Modell (Cowan, 1995, 1999) lenken auditive Distraktoren, die von einem zuvor aufgebauten neuronalen Modell der akustischen Umwelt abweichen, den Fokus der Aufmerksamkeit in besonderem Maße von der Aufrechterhaltung der Itemsequenz ab. Da der Grad der Aufmerksamkeitsablenkung die Höhe der Störwirkung bestimmt, sollten Melodien, welche unerwartet in eine kontinuierliche Tonwiederholung übergehen, die serielle Reproduktion in stärkerem Maße beeinträchtigen als Melodien mit erwartungskonformen Verlauf. Eine ähnliche Vorhersage lässt sich aus dem *Feature*-Modell (Nairne, 1990; Neath, 2000b) ableiten, in welchem angenommen wird, dass das Ignorieren von Störreizen Aufmerksamkeit beansprucht, die für den Vergleich primärer und sekundärer Gedächtnisinhalte benötigt wird. Distraktoren, welche besonders viel Aufmerksamkeit von der seriellen Reproduktionsaufgabe abziehen, sollten dementsprechend einen größeren *Irrelevant Sound*-Effekt hervorrufen. Unter der Annahme, dass Melodien mit unerwarteter Tonwiederholung zu dieser Klasse von Distraktoren gehören, sollten sie die serielle Reproduktion also stärker beeinträchtigen als vollständige Melodien.

Dass die größere Störwirkung von Melodien mit Tonwiederholung als Folge einer Aufmerksamkeitsablenkung interpretiert werden muss, verdeutlicht die Tatsache, dass sie mit wiederholter Distraktordarbietung abnahm. Da man argumentieren kann, dass die Tonwiederholung im strengen Sinne nur bei erstmaliger Präsentation „unerwartet“ erfolgte, verwundert es nicht, dass der aufmerksamkeitsablenkende Effekt bei der ersten Wiederholung am stärksten ausfiel. Vor dem Hintergrund, dass jede der acht Melodien nur einmal in eine kontinuierliche Tonwiederholung übergang, stellt die Reduzierung der Störwirkung im Vergleich zur Ruhebedin-

gung keine Habituation auf eine *spezifische* Distraktorsequenz dar, sondern ist vielmehr Ausdruck einer *allgemeinen* Anpassung an die neuartige Regelmäßigkeit innerhalb der akustischen Umwelt („manchmal münden Melodien in eine kontinuierliche Tonwiederholung“). Ein ähnliches Befundmuster konnten Röer et al. (in press) aufzeigen. Wenn nach wiederholter Darbietung derselben Distraktorsequenz diese unerwartet durch eine andere ersetzt wurde, fiel die serielle Reproduktionsleistung im ersten Durchgang ab, stieg in den darauffolgenden Durchgängen aber wieder an, obwohl jedes Mal eine neue Distraktorsequenz abgespielt wurde.

Bevor allerdings auf Basis dieses Befunds allein eine Entscheidung über die Adäquatheit von Arbeitsgedächtnismodellklassen getroffen werden kann, sind weitere Untersuchungen notwendig. In einem ersten Schritt soll zunächst überprüft werden, ob sich die Resultate mit sprachlichem Distraktormaterial replizieren lassen. Dazu werden anstelle der Melodien kurze Sätze verwendet, welche entweder der Vorphase entsprechend vollständig abgespielt werden (z.B. „Am Dienstag überwiegend sonnig, nur vereinzelt sind Schauer möglich. Es weht ein schwacher bis mäßiger Nordostwind“) oder im Verlauf unerwartet in eine kontinuierliche Wiederholung eines einsilbigen Wortes übergehen (z.B. „Am Dienstag überwiegend sonnig, nur vereinzelt sind Schauer möglich. Es weht weht weht weht weht weht“)⁹.

Dies ist in besonderem Maße theoretisch relevant, weil zwei der Arbeitsgedächtnismodelle der Sprachhaltigkeit des auditiven Distraktormaterials eine besondere Rolle einräumen. Hierbei handelt es sich um das *Modulare* Arbeitsgedächtnismodell (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999) und das *Feature*-Modell (Nairne, 1990; Neath, 2000b). Im Erstgenannten sollte die Störwirkung durch sprachliche Distraktoren zwar generell größer ausfallen, weil diese automatischen Zugang zum phonologischen Speicher besitzen, wo sie mit den Itemrepräsentationen interferieren, für den hauptsächlich interessierenden Vergleich zwischen vollständigen Sätzen und solchen mit Wortwiederholung ergibt sich jedoch die gleiche Vorhersage wie zu Experiment 1. Wenn überhaupt ein Unterschied angenommen werden kann, dann sollten vollständige Sätze stärker stören als Sätze mit einer mehrfachen Wortwiederholung, weil eine solche sehr selten in der natürlichen Sprache vorkommt. Auch aus dem *Object-Oriented Episodic Record*-Modell (Jones, 1993; Jones et al., 1996) lässt sich aufgrund

⁹ Eine andere Möglichkeit bestünde in der Wiederholung einer einzelnen Silbe eines mehrsilbigen Wortes (z.B. „Am Dienstag überwiegend sonnig, nur vereinzelt sind Schauer möglich. Es weht ein schwa schwa schwa schwa schwa schwa schwa schwa“). Dies hätte allerdings zur Folge, dass durch das Schneiden ein Nichtwort entsteht, welches unter Umständen zusätzlich Aufmerksamkeit beansprucht. So berichten zum Beispiel Buchner und Erdfelder (2005) größere *Irrelevant Sound*-Effekte für seltene Distraktoren. Die Verwendung einer *Wortwiederholung* gewährleistet, dass eine potentielle Aufmerksamkeitsablenkung tatsächlich auf die Abweichung von der vorherigen Stimulation zurückgeführt werden kann.

der postulierten Äquipotenz sprachlicher und nichtsprachlicher Schalle dieselbe Vorhersage ableiten. Sätze, die in eine kontinuierliche Wortwiederholung münden, sollten die serielle Reproduktion weniger stark beeinträchtigen als vollständige Sätze, weil bei einer Wortwiederholung keine Reihenfolgeinformationen abgespeichert werden und es somit nicht zu einem Konflikt mit der Seriation zu erinnernder Items kommen kann.

Während also aus der Klasse von Arbeitsgedächtnismodellen, welche den *Irrelevant Sound*-Effekt auf eine automatische Interferenz zurückführen, dieselben Vorhersagen wie zu Experiment 1 abgeleitet werden können, ist dies in Modellen, in denen der Effekt auf einer Aufmerksamkeitsablenkung beruht, nur beim *Embedded Processes*-Modell (Cowan, 1995, 1999) der Fall. Dieses sagt erneut vorher, dass Distraktorsequenzen, welche von einem zuvor aufgebauten neuronalen Modell abweichen, den Aufmerksamkeitsfokus in besonderem Maße von der Aufrechterhaltung zu erinnernder Items ablenken müssen. Obwohl auch im *Feature*-Modell (Nairne, 1990; Neath, 2000b) angenommen wird, dass das Ignorieren von auditiven Distraktoren Aufmerksamkeit beansprucht, sollte sich dies nur unwesentlich auf die Höhe auswirken, in welcher sprachliche Distraktorsequenzen die serielle Reproduktion beeinträchtigen. Anders als bei nichtsprachlichen Distraktoren, deren Störwirkung ausschließlich auf einer Aufmerksamkeitsablenkung beruht, wird die Störwirkung sprachlicher Distraktoren überwiegend auf eine Merkmalsübernahme zurückgeführt (Neath, 2000b). Hierbei nehmen Itemrepräsentationen modalitätsunabhängige Merkmale der Distraktorrepräsentationen an und der Ähnlichkeitsabgleich primärer und sekundärer Gedächtnispuren wird erschwert. Da dieser Prozess unabhängig von einer Aufmerksamkeitsablenkung erfolgt, sollte eine solche bei sprachlichen Distraktoren einen sehr viel geringeren Einfluss haben als bei nichtsprachlichen.

6 Experiment 2

6.1 Methode

6.1.1 Stichprobe

Es nahmen 59 Versuchspersonen (44 Frauen, 15 Männer) im Alter von 19 bis 47 Jahren ($M = 24$, $SD = 6$) an der Studie teil. Alle Versuchspersonen berichteten ein normales Hörvermögen und eine normale oder korrigierte Sehkraft. Voraussetzung für die Teilnahme an der Studie waren gute Deutschkenntnisse. Die Versuchspersonen wurden über Aushänge an der Universität und persönliche Kontakte rekrutiert.

6.1.2 Material

Der experimentelle Aufbau und die serielle Reproduktionsaufgabe waren identisch zu Experiment 1, lediglich die Melodien wurden durch sprachliche Distraktoren ausgetauscht. Parallel zu Experiment 1 wurden insgesamt acht unterschiedliche auditive Distraktorsequenzen verwendet. Dazu wurden kurze deutsche Sätze von einer männlichen Stimme gesprochen und digital mit einer Auflösung von 44.1 kHz und einer Enkodierung von 16 Bit aufgenommen. Die Sätze wurden auf 8 s geschnitten und normalisiert, um Amplitudendifferenzen auszugleichen. In der Bedingung mit Wortwiederholung wurde der ausgewählte Satz nicht vollständig abgespielt, sondern im Verlauf durch Wiederholung eines einzelnen einsilbigen Wortes fortgesetzt. Die Anzahl der Wortwiederholungen entsprach dabei der Anzahl an Wörtern in der vollständigen Sequenz (eine grafische Darstellung findet sich in Abbildung 10). Eine Auflistung sämtlicher im Experiment verwendeter Sätze ist Tabelle A2 im Anhang zu entnehmen. Die Lautstärke der auditiven Distraktoren betrug durchschnittlich 63 dB(A).

vollständig

Am Dienstag überwiegend sonnig, nur vereinzelt sind Schauer möglich. Es weht ein schwacher bis mäßiger Nordwestwind.

*unerwartete Wortwiederholung*

Am Dienstag überwiegend sonnig, nur vereinzelt sind Schauer möglich. Es weht weht weht weht weht weht.



Abbildung 10: Abgebildet sind die Lautstärkeverläufe für einen vollständigen Satz und einen Satz, der in eine kontinuierliche Wortwiederholung übergeht.

6.1.3 Versuchsdurchführung und Versuchsplan

Die Versuchsdurchführung und der Versuchsplan entsprachen denen von Experiment 1. Das gesamte Experiment dauerte ungefähr 32 Minuten. Im Anschluss wurden die Versuchspersonen über den Hintergrund der Untersuchung aufgeklärt.

6.2 Ergebnisse

Die tatsächlich erzielte Teststärke für den Vergleich der Distraktorbedingungen „vollständig“ und „unerwartete Wortwiederholung“ betrug $1 - \beta = .93$.

6.2.1 Serielle Position

Abbildung 11 zeigt die Reproduktionsleistung in Abhängigkeit der Distraktorbedingung (vollständig, unerwartete Wortwiederholung, Ruhe) über die acht seriellen Positionen hinweg. Eine 3x8-MANOVA zeigte signifikante Haupteffekte der messwiederholten Faktoren „Distraktorbedingung“, $F(2,57) = 33.22$, $p < .001$, $\eta^2 = .54$, und „serielle Position“, $F(7,52) = 38.23$, $p < .001$, $\eta^2 = .84$. Die Interaktion der beiden Faktoren wurde nicht signifikant, $F(14,45) = 1.65$, $p = .102$, $\eta^2 = .34$.

Es zeigte sich ein *Irrelevant Sound*-Effekt auf die serielle Reproduktionsleistung, welche bei gleichzeitiger Darbietung zu ignorierender Sprache im Vergleich zur Ruhebedingung redu-

ziert war, $F(1,58) = 56.27$, $p < .001$, $\eta^2 = .49$. Der hauptsächlich interessierende Vergleich der beiden Distraktorarten ergab, dass die serielle Reproduktion signifikant stärker durch Sätze beeinträchtigt wurde, die unerwartet in eine kontinuierliche Wortwiederholung übergingen, $F(1,58) = 11.95$, $p = .001$, $\eta^2 = .17$.

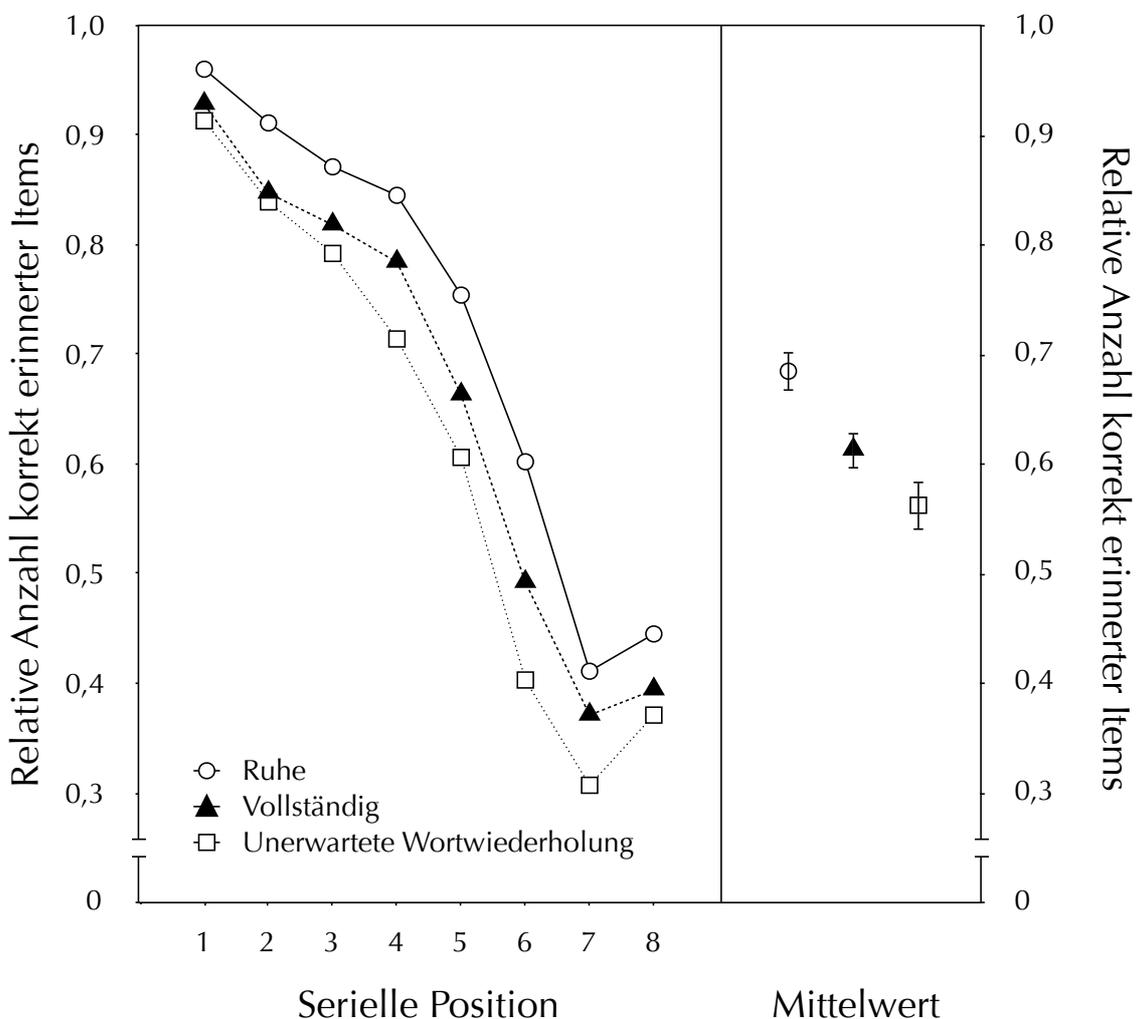


Abbildung 11: Anteil der korrekt erinnerten Items in Abhängigkeit der Distraktorbedingung zu den einzelnen seriellen Positionen und über die seriellen Positionen gemittelt hinweg in Experiment 2. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler der Mittelwerte.

6.2.2 Zeitlicher Verlauf

Abbildung 12 veranschaulicht die Reproduktionsleistung in Abhängigkeit der Distraktorbedingung (vollständig, unerwartete Wortwiederholung, Ruhe) über die acht Wiederholungen im Experiment hinweg. Eine 2x8-MANOVA zeigte keine Interaktion des Faktors „Wiederholung“ mit dem Faktor „Distraktorbedingung“ für den Vergleich der beiden Ausprägungen „Ruhe“ und „vollständig“, $F(7,52) = 1.33$, $p = .254$, $\eta^2 = .15$, und für den Vergleich „Ruhe“ und „unerwartete Wortwiederholung“, $F(7,52) = 1.99$, $p = .075$, $\eta^2 = .21$. Allerdings zeigte

sich konsistent mit Experiment 1 eine Interaktion der beiden Ausprägungen „Ruhe“ und „unerwartete Wortwiederholung“, wenn man die erste Wiederholung mit den darauffolgenden kontrastiert, $F(1,58) = 10.96$, $p = .002$, $\eta^2 = .16$.

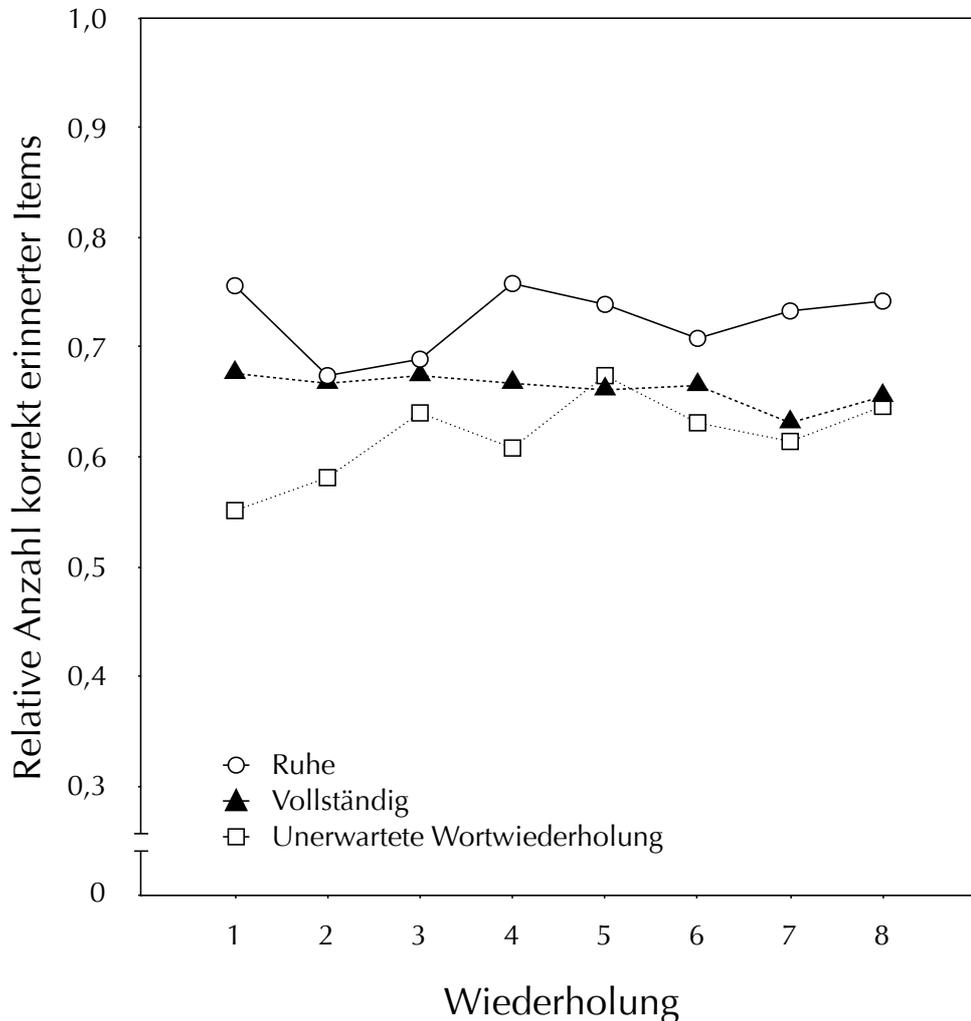


Abbildung 12: Anteil der korrekt erinnerten Items in Abhängigkeit der Distraktorbedingung über die Wiederholungen hinweg in Experiment 2.

6.3 Diskussion

In Experiment 2 konnten die wichtigsten Befunde aus Experiment 1 repliziert werden. Übereinstimmend zeigte sich 1) ein *Irrelevant Sound*-Effekt, wenn auditive Distraktoren zu ignorieren waren, 2) eine stärkere Störwirkung für Sequenzen mit unerwarteter Distraktorwiederholung und 3) eine Abnahme der Störwirkung im Verlauf des Experiments.

In zwei Punkten wichen die Ergebnisse allerdings von denen aus Experiment 1 ab. Der erste Unterschied betrifft die Interaktion der Faktoren „Distraktorbedingung“ und „serielle Position“, welche in Experiment 1 signifikant wurde, nicht aber in Experiment 2. Bei Betrachtung

der Positionskurvenverläufe fällt auf, das die Leistungsunterschiede auf der ersten Listenposition in Experiment 1 geringer ausfielen als in Experiment 2. Dies könnte auf eine veränderte Reproduktionsstrategie hinweisen, von welcher man weiß, dass sie unter anderem von der Schwierigkeit der Aufgabe abhängt (z.B. Beaman & Jones, 1998). So zeigte sich übereinstimmend mit der *Irrelevant Sound*-Literatur (Buchner et al., 2008; LeCompte et al., 1997; Salamé & Baddeley, 1989; siehe aber auch Tremblay, Nicholls et al., 2000) auch in der vorliegenden Arbeit ein größerer Effekt für sprachliche Distraktoren ($\eta^2 = .17$) als für nichtsprachliche ($\eta^2 = .14$). Der zweite Unterschied bestand darin, dass im Gegensatz zu Experiment 1 die Interaktion des Faktors „Wiederholung“ mit dem Faktor „Distraktorbedingung“ für den Vergleich der beiden Ausprägungen „Ruhe“ und „unerwartete Wortwiederholung“ nicht signifikant wurde. Da allerdings das Signifikanzniveau nur knapp verfehlt wurde ($p = .075$) und die Interaktion übereinstimmend mit Experiment 1 signifikant wird, wenn die erste Wiederholung mit den darauffolgenden kontrastiert wird, könnte das Befundmuster auch Ausdruck dessen sein, dass der aufmerksamkeitsablenkende Effekt am größten ist, wenn die Distraktorwiederholung noch hinreichend *unerwartet* erfolgt.

Aufgrund der konzeptuellen Replikation der Ergebnisse gilt im wesentlichen dasselbe wie für Experiment 1. Das Befundmuster ist problematisch für diejenige Klasse von Arbeitsgedächtnismodellen, welche den *Irrelevant Sound*-Effekt auf eine automatische Interferenz von Gedächtnisinhalten zurückführt. Weder mit einem Reihenfolgenkonflikt auf der Schreibtafel (*Object-Oriented-Episodic Record*-Modell; Jones, 1993; Jones et al., 1996), noch mit Interferenz in der phonologischen Schleife (*Modulares Arbeitsgedächtnismodell*; Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999), lässt sich die höhere Störwirkung von Sätzen mit Wortwiederholungen erklären. Gut vereinbar hingegen ist das Befundmuster wiederum mit der Klasse von Modellen, die den Effekt auf eine Aufmerksamkeitsablenkung zurückführen. Während dies uneingeschränkt für das *Embedded Processes*-Modell (Cowan, 1995, 1999) gilt, ist es beim *Feature*-Modell (Nairne, 1990; Neath, 2000b) nur mit Abstrichen der Fall. Gemein haben beide Modelle, dass auditive Distraktorsequenzen, welche ein hohes Maß an Aufmerksamkeit beanspruchen, die serielle Aufrechterhaltung zu erinnernder Items in besonderem Maße stören. Im *Embedded Processes*-Modell betrifft dies in erster Linie Störreize, welche von einem zuvor aufgebauten neuronalen Modell der akustischen Umwelt abweichen. Da eine solche Annahme gleichermaßen für sprachliche und nichtsprachliche Distraktoren Gültigkeit besitzt (Cowan, 1995), ist sie konsistent mit dem vorgefundenen Ergebnismuster. Im *Feature*-Modell dagegen sollte eine Aufmerksamkeitsablenkung auf unerwartet abweichende Sätze nur einen geringen Einfluss auf das Ausmaß des *Irrelevant Sound*-Effekts haben, weil

dieser bei sprachlichen Distraktoren überwiegend auf Merkmalsübernahme und damit einem von Aufmerksamkeit unabhängigen Prozess beruht (Neath, 2000b). Die vergleichbaren Störwirkungen¹⁰ für unerwartet abweichenden Melodien und Sprachsequenzen stehen daher im Widerspruch zu dieser Annahme.

Zusammenfassend kann man also festhalten, dass die Ergebnisse der Experimente 1 und 2 deutliche Hinweise darauf liefern, dass in besonderem Maße Aufmerksamkeit beanspruchende auditive Distraktoren selbst dann eine größere Störwirkung verursachen, wenn sie akustisch weniger komplex sind. Bevor allerdings auf Basis dieser Befunde eine Entscheidung zugunsten einer aufmerksamkeitsbasierten Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts getroffen werden kann, muss zunächst nachgewiesen werden, dass die abweichenden Distraktorsequenzen tatsächlich Arbeitsgedächtnisleistungen beeinträchtigen und nicht bloß Wahrnehmungsprozesse. Eine mögliche Alternativerklärung für das Ergebnismuster wäre nämlich, dass die in eine Distraktorwiederholung übergehenden Melodien und Sätze die Enkodierung der zu erinnernden Items erschwert haben und nicht, wie in *Irrelevant Sound*-Experimenten eigentlich der Fall (z.B. Miles et al., 1991), deren kurzfristige Aufrechterhaltung. Im Rahmen des *Duplex Mechanism Accounts* (Hughes, Vachon et al., 2005; Hughes et al., 2007) wird eben eine solche Annahme gemacht. Diese beruht auf dem Befund, wonach die größere Störwirkung abweichender Distraktoren verschwindet, wenn sie erst in einem Retentionsintervall dargeboten werden. Allerdings wurde bei Hughes, Vachon et al. (2005) der Präsentationszeitpunkt nicht innerhalb eines Experiments, sondern über zwei Experimente hinweg manipuliert, von welchen jedoch nur eines ein Retentionsintervall enthielt. Es ist gut möglich, dass ein aufmerksamkeitsablenkender Einfluss auf die serielle Reproduktionsleistung mit zunehmender Dauer, über welche die zu erinnernden Items aufrecht erhalten werden, weniger stark ins Gewicht fällt. Es kann also nicht ausgeschlossen werden, dass bereits durch die Hinzunahme eines siebensekündigen Retentionsintervalls, die Wahrscheinlichkeit, eine Leistungsminde- rung durch einen abweichenden Distraktor zu detektieren, drastisch reduziert wurde. Hinzu kommt, dass der normalerweise vom Präsentationszeitpunkt unabhängige *Irrelevant Sound*-Effekt durch den verzögerten Abruf bereits deutlich abgeschwächt wurde, so dass die Arbeiten von Hughes et al. (2005) keinen überzeugenden Beleg dafür darstellen, dass abweichende auditive Distraktoren nur die Enkodierung zu erinnernder Items, nicht aber deren Aufrechterhaltung beeinträchtigen. Mit anderen Worten, es ist noch völlig unklar, inwieweit

¹⁰ Streng genommen müsste ein solcher Nachweis erst noch erbracht werden, weil die Sprachhaltigkeit nur über zwei Experimente hinweg manipuliert wurde. Die übereinstimmenden Ergebnismuster legen jedoch vergleichbare Wirkungsweisen mehr als nahe.

Aufmerksamkeitsablenkungen auf abweichende auditive Distraktoren Arbeitsgedächtnisprozesse beeinträchtigen können.

Dies soll in Experiment 3 überprüft werden. Dazu werden zwei Experimentalbedingungen miteinander verglichen, welche sich hinsichtlich des Zeitpunktes der Aufmerksamkeitsablenkung unterscheiden. In der Präsentationsbedingung erfolgt die Distraktorwiederholung während der Präsentation der Items, in der Retentionsbedingung im darauffolgenden Retentionsintervall. Da, wie oben erläutert, unklar ist, ob der aufmerksamkeitsablenkende Einfluss mit steigender Aufrechterhaltungsdauer abnimmt, wird durch eine schnellere Darbietung der zu erlernenden Zahlensequenzen gewährleistet, dass der zeitliche Abstand zwischen Präsentation des ersten Items und Reproduktionsbeginn unverändert bleibt (nämlich 8 s). Durch diese Maßnahme wird zudem die Verwendung desselben auditiven Distraktormaterials wie in Experiment 2 ermöglicht.

Nach Arbeitsgedächtnismodellen, in welchen Informationen ohne Beteiligung von Aufmerksamkeitsprozessen aufrecht erhalten werden, kann eine Aufmerksamkeitsablenkung nach abgeschlossener Enkodierung der Items keinen leistungsmindernden Einfluss auf die serielle Reproduktion ausüben. Demzufolge dürfen in der Retentionsbedingung Sätze mit unerwarteter Wortwiederholung nicht mehr stören als solche mit erwartungskonformem Verlauf. Zeigt sich eine höhere Störwirkung allerdings nur in der Präsentationsbedingung, müsste angenommen werden, dass abweichenden auditive Distraktoren in erster Linie die Enkodierung zu erinnernder Items beeinträchtigen. Ein solches Ergebnismuster entspräche exakt den Vorhersagen, welche sich aus dem *Duplex Mechanism Account* (Hughes, Vachon et al., 2005; Hughes et al., 2007) ergeben. Dieser ist zwar als Ergänzung zum *Object-Oriented Episodic Record*-Modell (Jones, 1993; Jones et al., 1996) konzipiert, eine Störung von Wahrnehmungsprozessen in Folge einer Aufmerksamkeitsablenkung erscheint grundsätzlich aber auch mit dem *Modularen Arbeitsgedächtnismodell* (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999) vereinbar. Nach Modellen hingegen, in denen die kurzfristige Aufrechterhaltung im Arbeitsgedächtnis Aufmerksamkeit beansprucht, sollten Sätze, welche in eine unerwartete Wortwiederholung münden, auch in der Retentionsbedingung ihr Störpotential beibehalten.

7 Experiment 3

7.1 Methode

7.1.1 Stichprobe

Es nahmen 69 Versuchspersonen (44 Frauen, 25 Männer) im Alter von 18 bis 55 Jahren ($M = 24$, $SD = 6$) an der Studie teil. Alle Versuchspersonen berichteten ein normales Hörvermögen und eine normale oder korrigierte Sehkraft. Voraussetzung für die Teilnahme an der Studie waren gute Deutschkenntnisse. Die Versuchspersonen wurden über Aushänge an der Universität und persönliche Kontakte rekrutiert.

7.1.2 Material

Es wurden dieselben Sprachsequenzen verwendet wie in Experiment 2. Die serielle Reproduktionsaufgabe war weitgehend identisch mit Experiment 1 und 2, mit dem einzigen Unterschied, dass die zu erlernenden Zahlensequenzen um den Faktor 1.6 schneller präsentiert wurden. Das Verhältnis der Präsentationsdauer (500 ms) zur Länge des Poststimulusintervalls (125 ms) wurde nicht verändert, so dass die vollständige Darbietung einer Sequenz 5 s dauerte. Dadurch entstand zwischen der Darbietung der letzten zu erinnernden Zahl einer Sequenz und dem Beginn der Abrufphase ein Retentionsintervall von 3 s, welches, in Abhängigkeit von der Experimentalgruppe, mit auditiven Distraktoren oder Ruhe gefüllt war.

7.1.3 Versuchsdurchführung

Wenn nicht anders angeführt, entsprach die Versuchsdurchführung der Versuchsdurchführung in Experiment 2. Vor Beginn des Experiments wurden die Versuchspersonen zufällig einer von zwei Experimentalgruppen (Präsentation, Retention) zugeordnet. In der Präsentationsgruppe war das Retentionsintervall unabhängig von der Distraktorbedingung mit Ruhe gefüllt. Im Übrigen war der Ablauf eines Durchgangs identisch mit Experiment 2. In der Retentionsgruppe dagegen setzte die Präsentation des ausgewählten Satzes 3 s später ein als in der Präsentationsgruppe, so dass sich vollständige Durchgänge und solche mit unerwarteter Wortwiederholung erst im Retentionsintervall voneinander unterschieden. In Abbildung 13 ist der zeitliche Ablauf eines Durchgangs für die drei Distraktorbedingungen (vollständig, unerwartete Wortwiederholung, Ruhe) zu beiden Darbietungszeitpunkten (Präsentation, Retention) dargestellt. Das gesamte Experiment dauerte ungefähr 35 Minuten. Im Anschluss wurden die Versuchspersonen über den Hintergrund der Untersuchung aufgeklärt.

7.1.4 Versuchsplan

Dem Experiment lag ein 2x3x8-faktorielles Design mit dem Gruppenfaktor „Darbietungszeitpunkt“ (Präsentation, Retention) und den messwiederholten Faktoren „Distraktorbedingung“ (vollständig, mit Wortwiederholung, Ruhe) und „serielle Position“ (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) zu Grunde.

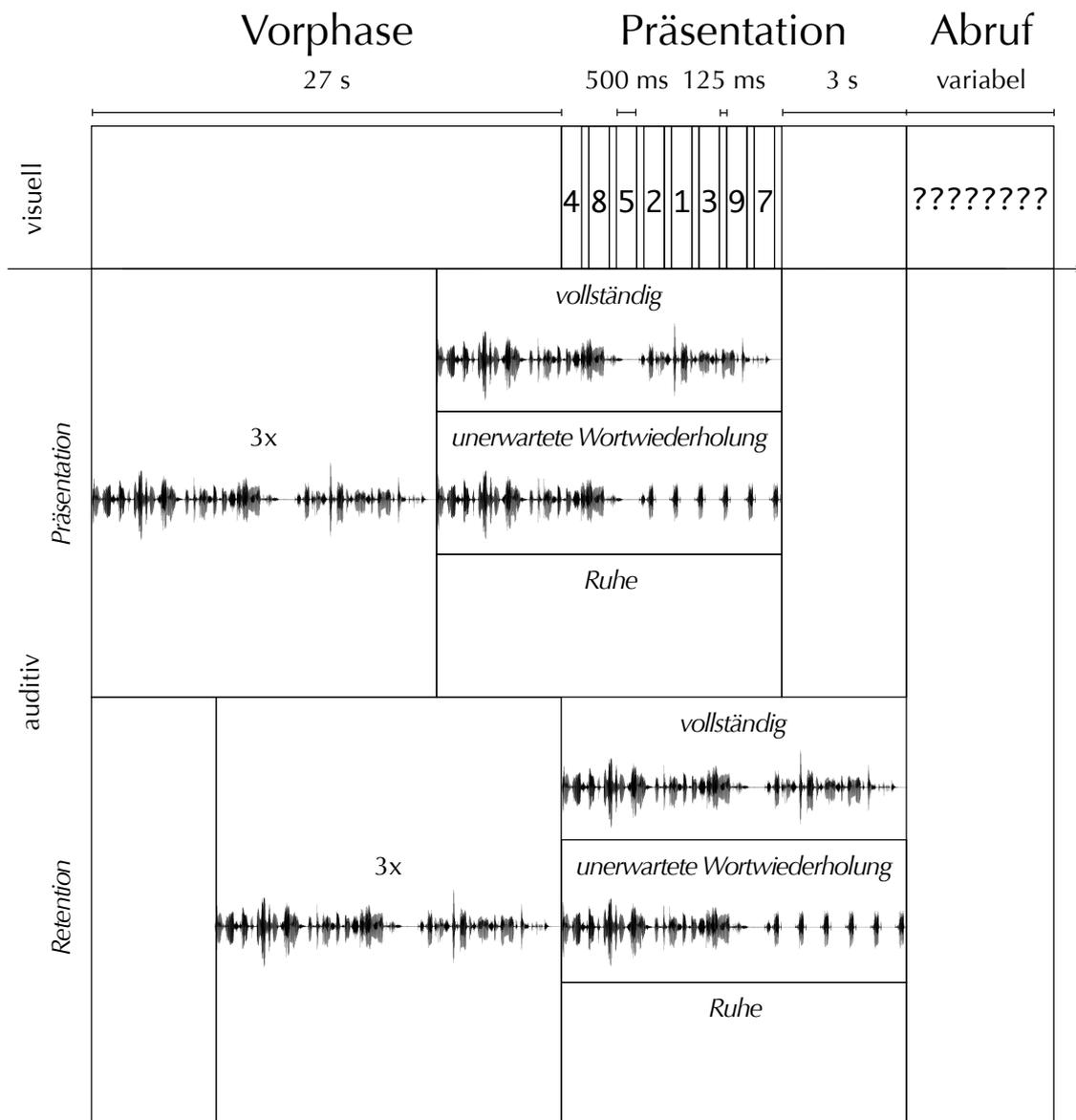


Abbildung 13: Zeitlicher Verlauf eines Durchgangs für die drei Distraktorbedingungen und die beiden Darbietungszeitpunkte in Experiment 3.

Die abhängige Variable war die relative Anzahl richtig erinnelter Wörter. Statistisch geprüft werden soll wieder der Unterschied zwischen den Stufen „vollständig“ und „unerwartete Wortwiederholung“ des messwiederholten Faktors „Distraktorbedingung“ zu beiden Darbietungszeitpunkten. Für $\alpha = \beta = .05$ kann man bei diesem Vergleich einen Effekt der Größe $f = 0.25$ mit einer angenommenen Populationskorrelation zwischen den Stufen der Messwieder-

holung von $\rho = .04$ bei einer Stichprobengröße von $N = 66$ entdecken (berechnet mit G*Power; Faul et al., 2007).

7.2 Ergebnisse

Es wurden 3 Versuchspersonen von der statistischen Auswertung ausgeschlossen, weil sie die zu erinnernden Zahlen laut mitsprachen oder während des Experiments den Kopfhörer abgenommen haben. Die tatsächlich erzielte Teststärke für den Vergleich der Distraktorbedingungen „vollständig“ und „unerwartete Wortwiederholung“ betrug $1 - \beta = .95$.

7.2.1 Serielle Position

Eine 2x3x8-MANOVA mit „Darbietungszeitpunkt“ (Präsentation, Retention) als Gruppenfaktor und den messwiederholten Faktoren „Distraktorbedingung“ und „serielle Position“ zeigte signifikante Haupteffekte der Faktoren „Distraktorbedingung“, $F(2,66) = 52.13$, $p < .001$, $\eta^2 = .61$, und „serielle Position“, $F(7,61) = 26.99$, $p < .001$, $\eta^2 = .76$. Auch die Interaktion dieser beiden Faktoren wurde signifikant, $F(14,54) = 2.44$, $p = .010$, $\eta^2 = .39$. Es zeigte sich kein Haupteffekt für den Gruppenfaktor „Darbietungszeitpunkt“, $F(1,67) = 0.23$, $p = .631$, $\eta^2 < .01$, und auch die Interaktionen mit den Faktoren „Distraktorbedingung“, $F(2,66) = 0.139$, $p = .870$, $\eta^2 < .01$, und „serielle Position“, $F(7,61) = 1.62$, $p = .147$, $\eta^2 = .16$, sowie die Interaktion aller drei Faktoren, $F(14,54) = 1.68$, $p = .087$, $\eta^2 = .30$, wurden nicht signifikant.

Abbildung 14 veranschaulicht die serielle Reproduktionsleistung in Abhängigkeit der Distraktorbedingung für die Präsentations- (obere Hälfte) und Retentionsgruppe (untere Hälfte). Für die Präsentationsgruppe ergab eine 3x8-MANOVA signifikante Haupteffekte der messwiederholten Faktoren „Distraktorbedingung“, $F(2,33) = 22.14$, $p < .001$, $\eta^2 = .57$, und „serielle Position“, $F(7,28) = 16.33$, $p < .001$, $\eta^2 = .80$. Die Interaktion der beiden Faktoren wurde ebenfalls signifikant, $F(14,21) = 2.52$, $p = .027$, $\eta^2 = .63$. Beim Vergleich der beiden Bedingungen mit Distraktoren und der Ruhebedingung zeigte sich erneut ein *Irrelevant Sound*-Effekt, $F(1,34) = 40.66$, $p < .001$, $\eta^2 = .55$. Übereinstimmend mit Experiment 2 störten Sätze, die in eine Wortwiederholung übergingen, signifikant mehr als vollständige Sätze, $F(1,34) = 5.01$, $p = .032$, $\eta^2 = .13$.

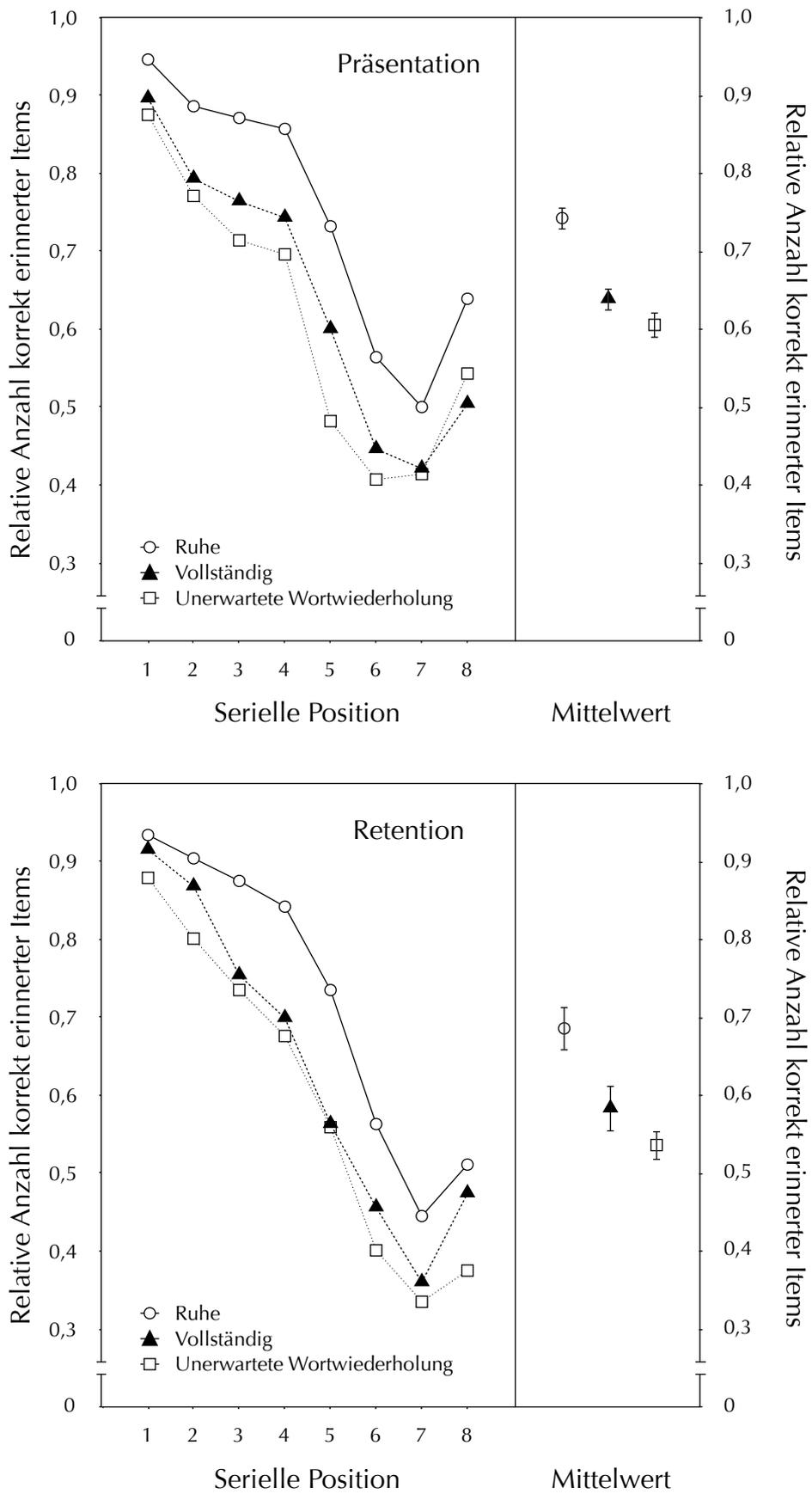


Abbildung 14: Anteil der korrekt erinnerten Items in Abhängigkeit der Distraktorbedingung zu den einzelnen seriellen Positionen und über die seriellen Positionen gemittelt hinweg für die Präsentations- und Retentionsgruppe in Experiment 3. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler der Mittelwerte.

Für die Retentionsgruppe zeigte sich ein ähnliches Befundmuster. Eine 3x8-MANOVA ergab signifikante Haupteffekte der Faktoren „Distraktorbedingung“, $F(2,32) = 32.16$, $p < .001$, $\eta^2 = .67$, und „serielle Position“, $F(7,27) = 13.11$, $p < .001$, $\eta^2 = .77$. Die Interaktion der beiden Faktoren wurde nicht signifikant, $F(14,20) = 2.18$, $p = .054$, $\eta^2 = .60$. Wieder zeigte sich ein *Irrelevant Sound*-Effekt, $F(1,33) = 59.06$, $p < .001$, $\eta^2 = .64$, und wieder störten Sätze mit Wortwiederholung mehr als vollständige, $F(1,33) = 5.98$, $p = .020$, $\eta^2 = .15$.

7.2.2 Zeitlicher Verlauf

Eine 2x3x8-MANOVA mit „Darbietungszeitpunkt“ (Präsentation, Retention) als Gruppenfaktor und den messwiederholten Faktoren „Distraktorbedingung“ und „Wiederholung“ ergab signifikante Haupteffekte der messwiederholten Faktoren „Distraktorbedingung“ (vgl. Kapitel 7.2.1) und „Wiederholung“, $F(7,61) = 2.90$, $p = .011$, $\eta^2 = .25$. Die Interaktionen der Faktoren „Darbietungszeitpunkt“ und „Wiederholung“, $F(7,61) = 3.05$, $p = .008$, $\eta^2 = .26$, sowie „Distraktorbedingung“ und „Wiederholung“, $F(14,54) = 2.33$, $p = .013$, $\eta^2 = .38$, wurden ebenfalls signifikant. Es zeigte sich kein Haupteffekt für den Gruppenfaktor „Darbietungszeitpunkt“ (vgl. Kapitel 7.2.1) und auch die Interaktion der Faktoren „Darbietungszeitpunkt“ und „Distraktorbedingung“ (vgl. Kapitel 7.2.1) sowie die Interaktion aller drei Faktoren wurde nicht signifikant, $F(14,54) = 1.05$, $p = .425$, $\eta^2 = .21$.

Abbildung 15 veranschaulicht die Reproduktionsleistung für die Präsentations- (obere Hälfte) und Retentionsgruppe (untere Hälfte) in Abhängigkeit der Distraktorbedingung (vollständig, unerwartete Wortwiederholung, Ruhe) über die acht Wiederholungen des Experiments hinweg. Eine 2x8-MANOVA zeigte eine Interaktion des Faktors „Wiederholung“ mit dem Faktor „Distraktorbedingung“ für den Vergleich der beiden Ausprägungen „Ruhe“ und „unerwartete Wortwiederholung“, $F(7,28) = 2.40$, $p = .047$, $\eta^2 = .38$, nicht aber für die Bedingungen „Ruhe“ und „vollständig“, $F(7,28) = 0.95$, $p = .483$, $\eta^2 = .19$. Konsistent mit Experiment 1 und 2 zeigte sich eine Interaktion der beiden Ausprägungen „Ruhe“ und „unerwartete Wortwiederholung“, wenn man die erste Wiederholung mit den darauffolgenden kontrastierte, $F(1,34) = 7.60$, $p = .009$, $\eta^2 = .18$.

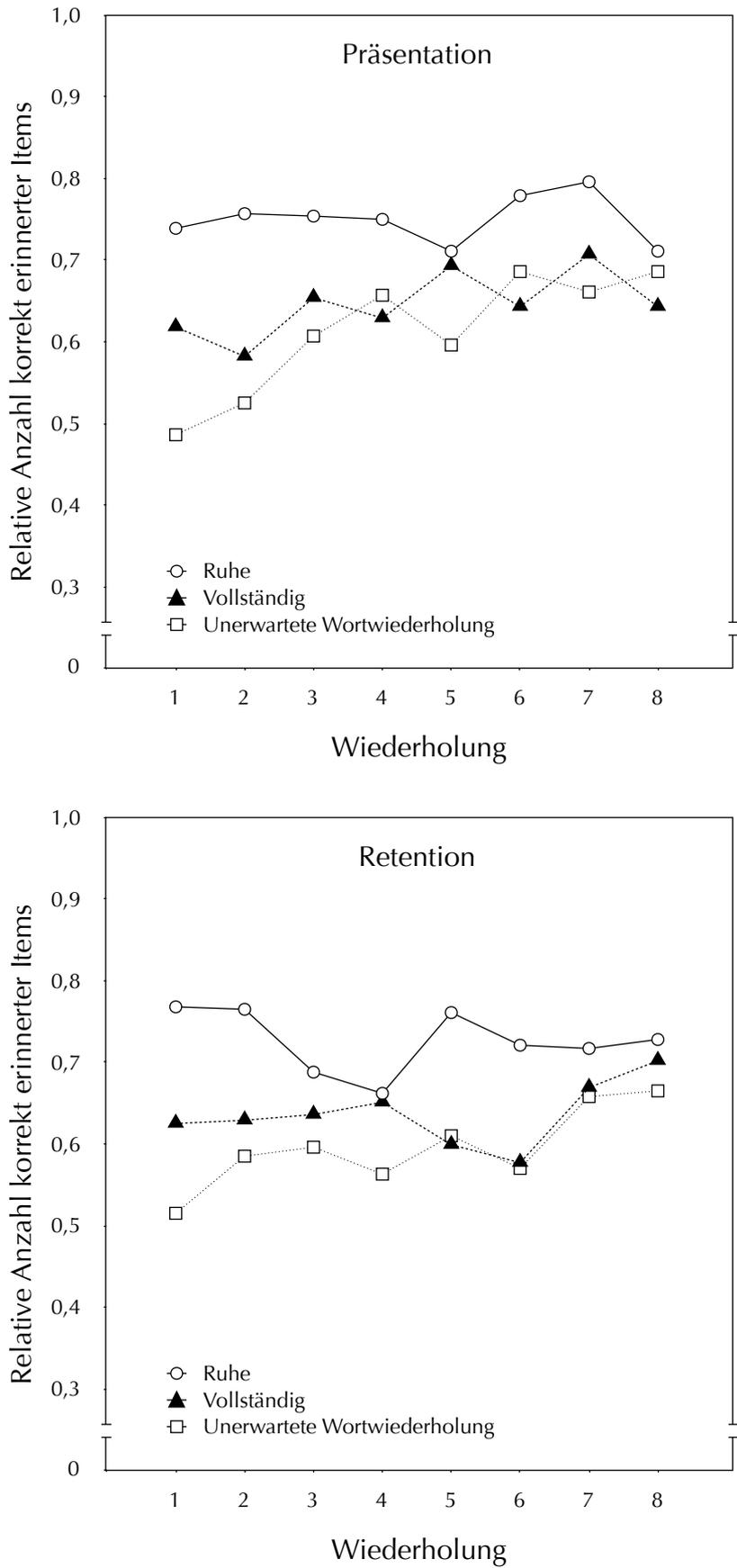


Abbildung 15: Anteil der korrekt erinnerten Items in Abhängigkeit der Distraktorbedingung über die Wiederholungen im Verlauf des Experiments hinweg für die Präsentations- und Retentionsgruppe in Experiment 3.

Für die Retentionsgruppe zeigte sich dasselbe Befundmuster. Die Interaktion des Faktors „Wiederholung“ mit dem Faktor „Distraktorbedingung“ wurde für den Vergleich der beiden Ausprägungen „Ruhe“ und „unerwartete Wortwiederholung“ signifikant, $F(7,27) = 2.82$, $p = .024$, $\eta^2 = .42$, nicht aber für den Vergleich „Ruhe“ und „vollständig“, $F(7,27) = 2.00$, $p = .093$, $\eta^2 = .34$. Es zeigte sich erneut eine Interaktion der beiden Ausprägungen „Ruhe“ und „unerwartete Wortwiederholung“, wenn die erste Wiederholung mit den darauffolgenden kontrastiert wird, $F(1,33) = 6.22$, $p = .018$, $\eta^2 = .16$.

7.3 Diskussion

Übereinstimmend mit Experiment 2 zeigte sich für beide Experimentalgruppen ein 1) *Irrelevant Sound*-Effekt in Durchgängen mit auditiven Distraktoren, 2) eine stärkere Störwirkung für Sätze mit unerwarteter Wortwiederholung und 3) eine allmähliche Abnahme der Störwirkung im Verlauf des Experiments.

Die beiden Experimentalgruppen unterschieden sich auf statistischer Ebene lediglich in einem Aspekt voneinander. In der Darbietungsgruppe, nicht aber in der Retentionsgruppe, zeigte sich eine Interaktion der Faktoren „Distraktorbedingung“ und „serielle Position“. Einen Einfluss auf dieses Ergebnismuster könnte die Tatsache gehabt haben, dass der *Irrelevant Sound*-Effekt in der Präsentationsgruppe geringer ausfiel ($\eta^2 = .55$) als in der Retentionsgruppe ($\eta^2 = .64$). Das ist insofern nicht sonderlich überraschend, als das Retentionsintervall in der Präsentationsgruppe auch in Durchgängen mit auditiven Distraktoren mit Ruhe gefüllt war¹¹. Dass dieser Aspekt allerdings nicht überbewertet werden sollte, zeigt die nicht signifikante Dreifach-Interaktion der Faktoren „Darbietungszeitpunkt“, „Distraktorbedingung“ und „serielle Position“.

Mit der erhöhten Störwirkung von Wortwiederholungen im Retentionsintervall konnte zum ersten Mal gezeigt werden, dass abweichende auditive Distraktoren im Stande sind, die Aufrechterhaltung im Arbeitsgedächtnis zu beeinträchtigen. Dies steht im Widerspruch zu den Arbeiten von Hughes, Vachon et al. (2005), was aber nicht ungewöhnlich ist, da in diesen, wie bereits an früherer Stelle ausgeführt, die Wahrscheinlichkeit, ein solches Ergebnis zu finden, von vornherein stark reduziert war. Das vorgefundene Ergebnismuster ist problematisch für die Klasse von Modellen, in welcher bei der kurzfristigen Aufrechterhaltung von Arbeitsgedächtnisinhalten Aufmerksamkeit keine Rolle spielt. Könnte ein leistungsmindernder Ein-

¹¹ Das war notwendig, um in den Experimentalgruppen dasselbe Distraktormaterial verwenden zu können (vgl. Kapitel 7.1.3).

fluss abweichender auditiver Distraktoren in der Präsentationsgruppe theoretisch noch mit einer Störung von Wahrnehmungsprozessen erklärt werden, muss dieser in der Retentionsgruppe auf eine Störung der kurzfristigen Aufrechterhaltung beruhen, da sich vollständige Sätze und solche mit Wortwiederholung erst *nach* der Präsentation der Items unterscheiden. Damit konnte eine Annahme innerhalb des *Duplex Mechanism Accounts* (Hughes, Vachon et al., 2005; Hughes et al., 2007) widerlegt werden, wonach abweichende Distraktoren nur die Enkodierung, nicht aber die Aufrechterhaltung zu erinnernder Items beeinträchtigen sollten. Gut vereinbar ist das Befundmuster dagegen einmal mehr mit der Modellklasse, in welcher die kurzfristige Aufrechterhaltung von Arbeitsgedächtnisinhalten Aufmerksamkeit beansprucht.

Ein für die Theorieprüfung wichtiger Aspekt, der bislang noch nicht untersucht wurde, ist, inwieweit die höhere Störwirkung durch Sätze, welche in eine Wortwiederholung münden, tatsächlich dadurch zu Stande kommt, dass diese unerwartet von den in der Vorphase präsentierten Sätzen abweichen. Dies ist besonders relevant für das *Embedded Processes*-Modell (Cowan, 1995, 1999), weil hierin angenommen wird, dass vor allem solche auditive Distraktoren den Fokus der Aufmerksamkeit von der Aufrechterhaltung zu erinnernder Items ablenken, die von einem zuvor aufgebauten neuronalen Modell der akustischen Umwelt abweichen. Dies wird auf eine unwillkürliche Aufmerksamkeitsablenkung zurückgeführt, welche sicherstellt, dass Veränderungen in der Umwelt registriert werden und somit auf ihre Relevanz hin überprüft werden können. Ein kritischer Test für solch eine Annahme ist es, ob die Störwirkung von Sätzen mit Wortwiederholung ausbleibt, wenn diese zuvor nicht in der vollständigen Version präsentiert werden¹².

Dies soll in Experiment 4 überprüft werden. Dazu werden gegenüber Experiment 2 zwei Veränderungen vorgenommen. Erstens fällt die Vorphase weg, in der bislang dreimal die vollständigen Sätze präsentiert wurden. Zweitens wird in jedem Durchgang ein neuer Distraktorsatz verwendet. Sätze, die in eine Wortwiederholung übergehen, werden also zuvor nicht in der vollständigen Version präsentiert.

¹² Die hier formulierte Vorhersage stellt eine sehr strenge Auslegung der Annahmen des *Embedded Processes*-Modells (Cowan, 1995, 1999) dar. Vor dem Hintergrund, dass Wortwiederholungen normalerweise nicht in der natürlichen Sprache vorkommen, könnte man argumentieren, dass Sätze, die eine solche enthalten, grundsätzlich als *abweichende* Distraktoren anzusehen sind. Unter diesem Gesichtspunkt wäre also auch das entgegengesetzte Ergebnismuster mit den Modellannahmen vereinbar.

8 Experiment 4

8.1 Methode

8.1.1 Stichprobe

Es nahmen 67 Versuchspersonen (53 Frauen, 14 Männer) im Alter von 18 bis 40 Jahren ($M = 23$, $SD = 4$) an der Studie teil. Alle Versuchspersonen berichteten ein normales Hörvermögen und eine normale oder korrigierte Sehkraft. Voraussetzung für die Teilnahme an der Studie waren gute Deutschkenntnisse. Die Versuchspersonen wurden über Aushänge an der Universität und persönliche Kontakte rekrutiert.

8.1.2 Material

Da in Experiment 4 zuvor nicht präsentierte Sätze in eine Wortwiederholung übergehen sollten, wurden insgesamt 24 verschiedene Sätze aufgenommen. Eine Auflistung sämtlicher im Experiment verwendeter Sätze findet sich in Anhang unter Tabelle A3. Die Lautstärke der auditiven Distraktoren betrug durchschnittlich 63 dB(A).

8.1.3 Versuchsdurchführung

In Experiment 4 fiel die Vorphase weg. Ansonsten entsprach die Versuchsdurchführung der aus Experiment 1 und 2. Das gesamte Experiment dauerte ungefähr 23 Minuten. Im Anschluss wurden die Versuchspersonen über den Hintergrund der Untersuchung aufgeklärt.

8.1.4 Versuchsplan

Der Versuchsplan entsprach dem Versuchsplan aus Experiment 1 und 2.

8.2 Ergebnisse

Die tatsächlich erzielte Teststärke für den Vergleich der Distraktorbedingungen „vollständig“ und „unerwartete Wortwiederholung“ betrug $1 - \beta = .96$.

8.2.1 Serielle Position

Abbildung 16 zeigt die Reproduktionsleistung in Abhängigkeit der Distraktorbedingung (vollständig, unerwartete Wortwiederholung, Ruhe) über die acht seriellen Positionen hinweg. Eine 3x8-MANOVA ergab signifikante Haupteffekte der messwiederholten Faktoren „Distraktorbedingung“, $F(2,65) = 65.40$, $p < .001$, $\eta^2 = .67$, und „serielle Position“, $F(7,60) =$

47.81, $p < .001$, $\eta^2 = .85$. Auch die Interaktion der beiden Faktoren wurde signifikant, $F(14,53) = 1.65$, $p < .001$, $\eta^2 = .53$.

Es zeigte sich ein *Irrelevant Sound*-Effekt auf die serielle Reproduktionsleistung, welche bei gleichzeitiger Darbietung zu ignorierender Sprache im Vergleich zur Ruhebedingung reduziert war, $F(1,66) = 122.04$, $p < .001$, $\eta^2 = .65$. Der hauptsächlich interessierende Vergleich der Distraktorarten ergab ein umgekehrtes Befundmuster zu den Experimenten 1, 2 und 3. Die serielle Reproduktionsleistung war signifikant *weniger* beeinträchtigt, wenn Sätze zu ignorieren waren, die in eine kontinuierliche Wortwiederholung übergingen, $F(1,66) = 16.77$, $p < .001$, $\eta^2 = .20$.

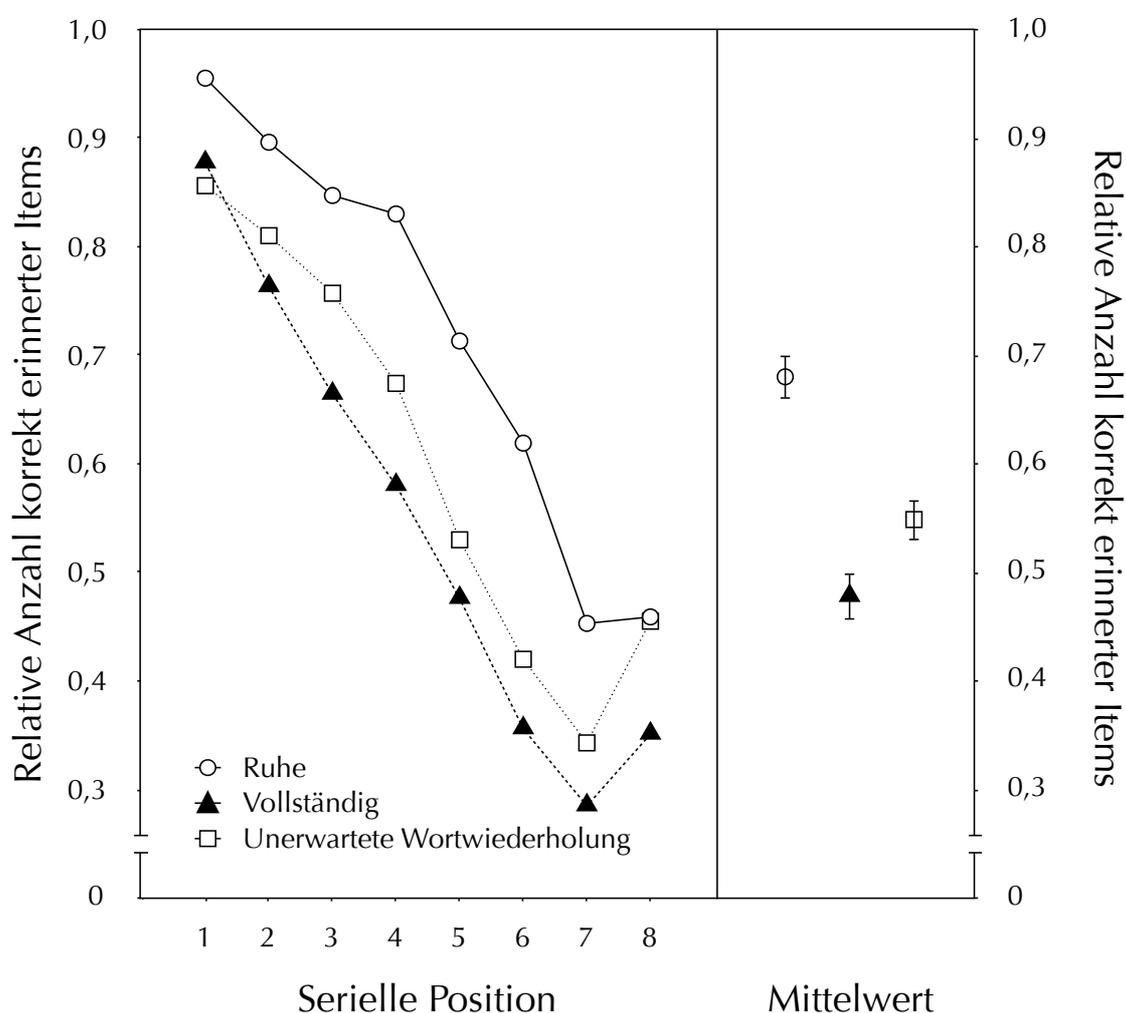


Abbildung 16: Anteil der korrekt erinnerten Items in Abhängigkeit der Distraktorbedingung zu den einzelnen seriellen Positionen und über die seriellen Positionen gemittelt hinweg in Experiment 4. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler der Mittelwerte.

8.2.2 Zeitlicher Verlauf

Abbildung 17 zeigt die Reproduktionsleistung in Abhängigkeit der Distraktorbedingung (vollständig, unerwartete Wortwiederholung, Ruhe) über die acht Wiederholungen im Verlauf

des Experiments hinweg. Eine 2x8-MANOVA zeigte eine Interaktion des Faktors „Wiederholung“ mit dem Faktor „Distraktorbedingung“ für den Vergleich der beiden Ausprägungen „Ruhe“ und „unerwartete Wortwiederholung“, $F(7,60) = 1.62$, $p = .009$, $\eta^2 = .26$, nicht aber für „Ruhe“ und „vollständig“, $F(7,60) = 1.62$, $p = .148$, $\eta^2 = .16$. Konsistent mit den Experimenten 1, 2 und 3 zeigte sich eine Interaktion der beiden Ausprägungen „Ruhe“ und „unerwartete Wortwiederholung“, wenn man die erste Wiederholung mit den darauffolgenden kontrastiert, $F(1,66) = 8.00$, $p = .006$, $\eta^2 = .11$.

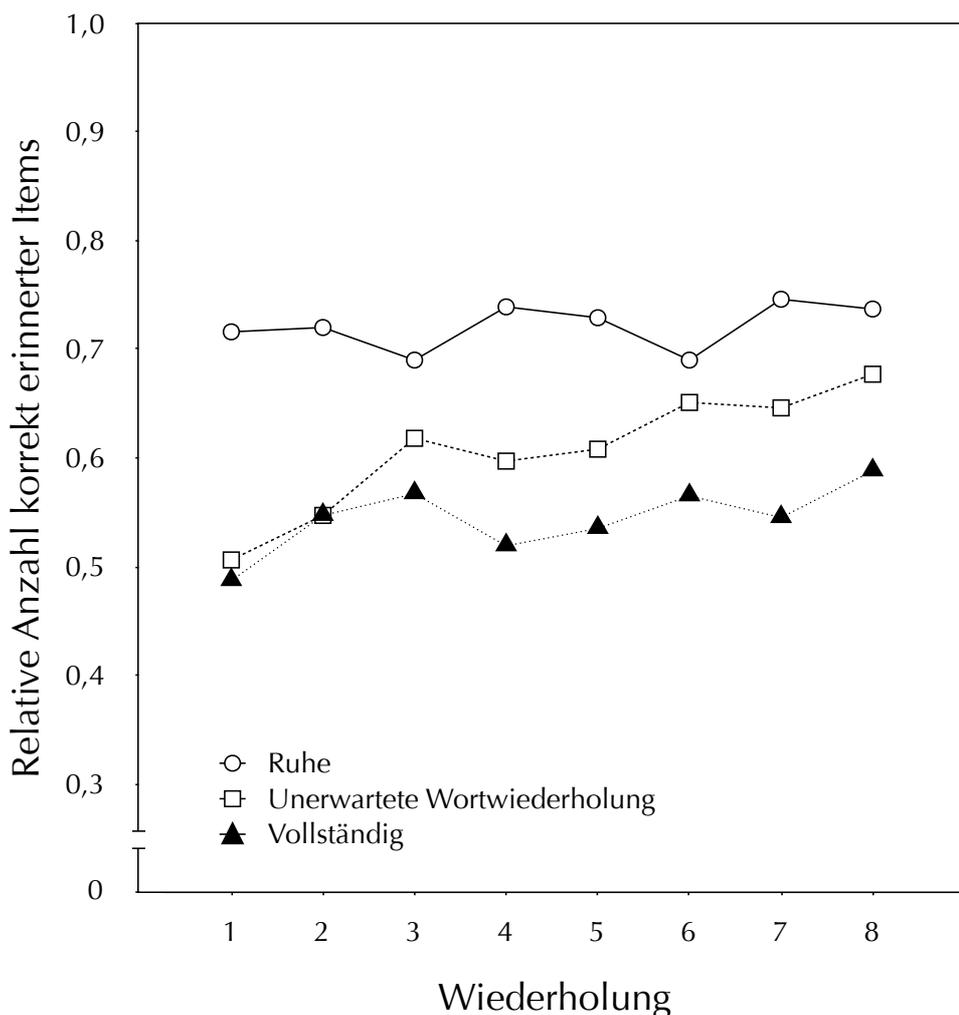


Abbildung 17: Anteil der korrekt erinnerten Items in Abhängigkeit der Distraktorbedingung über die Wiederholungen hinweg in Experiment 4.

8.3 Diskussion

In Experiment 4 zeigte sich ein gegenläufiges Befundmuster zu den vorherigen Untersuchungen. Werden die Sätze mit unerwarteter Wortwiederholung zuvor nicht in der vollständigen Version abgespielt, stören sie die serielle Reproduktion nicht nur nicht mehr als vollständige Sätze, sondern sogar weniger.

Nichtsdestotrotz nimmt die Störwirkung von Sätzen mit Wortwiederholung im Verlauf des Experiments im Vergleich zu einer Ruhebedingung ab. Was zunächst widersprüchlich erscheint, kann damit erklärt werden, dass Sätze, die eine kontinuierliche Wortwiederholung enthalten, noch immer abweichende Distraktoren darstellen, weil eine solche normalerweise nicht in der natürlichen Sprache vorkommt. Dass die Aufmerksamkeitsablenkung Bestand hatte, nicht aber der erhöhte *Irrelevant Sound*-Effekt, muss zu einem gewissen Maße auch darauf zurückgeführt werden, dass die Reproduktionsleistung in der Bedingung mit vollständigen Sätzen im Vergleich zu Experiment 2 und 3 reduziert war. Dies ist insofern nicht überraschend, weil in Experiment 4 die Vorphase wegfiel und man aus Untersuchungen mit Habituationsphasen weiß, dass die vorherige Präsentation der späteren Distraktorsequenz klassischerweise eine Reduzierung der Störwirkung zur Folge hat (z.B. Bell et al., submitted).

Insgesamt muss man also zu der Erkenntnis gelangen, dass, wenn die Distraktorsequenz nicht einem zuvor aufgebauten neuronalen Modell entsprechen oder von diesem abweichen kann, die Höhe des *Irrelevant Sound*-Effekts maßgeblich durch die Anzahl an abrupten Frequenz- und Amplitudenunterschieden bestimmt wird. Dieses Ergebnismuster entspricht exakt den Vorhersagen des *Object-Oriented Episodic Record*-Modells (Jones, 1993; Jones et al., 1996), ist aber grundsätzlich mit allen vorgestellten Arbeitsgedächtnismodellen vereinbar.

9 Allgemeine Diskussion

9.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das vorgefundene Ergebnismuster belegt einmal mehr, dass der *Irrelevant Sound*-Effekt zu Recht als robustes und leicht zu replizierendes Phänomen gilt. In allen vier Experimenten war die serielle Reproduktionsleistung im Vergleich zu einer Ruhebedingung beeinträchtigt, wenn auditive Distraktoren zu ignorieren waren. Die seriellen Positionskurven entsprachen dabei dem typischen Verlauf mit Reproduktionsvorteilen für Items zu Beginn der Liste und für das zuletzt präsentierte Item (siehe z.B. Madigan, 1980). Außerdem konnten in der vorliegenden Arbeit zwei zentrale Befunde zum *Irrelevant Sound*-Effekt bestätigt werden: zum einen, dass sowohl nichtsprachlicher als auch sprachlicher Hintergrundschall im Stande ist, die serielle Reproduktion zu beeinträchtigen (siehe z.B. Jones & Macken, 1993), zum anderen, dass die Störwirkung in erster Linie die kurzfristige Aufrechterhaltung im Arbeitsgedächtnis betrifft (siehe z.B. Miles et al., 1991).

In Experiment 1 zeigte sich, dass Melodien, welche abweichend zu in der Vorphase präsentierten Melodien in eine kontinuierliche Tonwiederholung übergehen, die serielle Reproduktion stärker stören als solche mit erwartungskonformem Verlauf. Dies ist bemerkenswert, weil Distraktorwiederholungen in der Regel nur einen unwesentlichen Einfluss auf die Höhe der Störwirkung haben sollten (*Changing State*-Befund; vgl. Kapitel 1.3). Die Habituation auf die Melodien mit Tonwiederholung belegt dabei, dass der erhöhte *Irrelevant Sound*-Effekt auf einer Aufmerksamkeitsablenkung beruht. In Experiment 2 konnte das Befundmuster mit Sätzen, die in eine Wortwiederholung übergehen, repliziert werden. Das dritte Experiment diente der Überprüfung, auf welche Verarbeitungsebene sich der leistungsmindernde Einfluss abweichender Distraktorsequenzen auswirkt. Aus der Tatsache, dass die höhere Störwirkung auch Bestand hatte, wenn die Sätze erst nach der Präsentation zu erinnernder Items unerwartet in eine Wortwiederholung übergingen, muss geschlossen werden, dass die abweichenden auditiven Distraktoren die Aufrechterhaltung im Arbeitsgedächtnis beeinträchtigt haben. Mit Experiment 4 konnte der Nachweis erbracht werden, dass dies hauptsächlich auf die Abweichung von einem zuvor aufgebauten neuronalen Modell zurückzuführen ist. Wurden Sätze, die in eine Wortwiederholung mündeten, vorher nicht in der vollständigen Version abgespielt, drehte sich das Ergebnismuster um, so dass Sätze mit Wortwiederholung weniger störten als vollständige.

Zusammenfassend kann man also festhalten, dass sprachliche und nichtsprachliche Sequenzen, die von in einer Vorphase präsentierten Sequenzen abweichen, indem sie in eine kontinuierliche Distraktorwiederholung übergehen, die Aufrechterhaltung von Items im Arbeitsgedächtnis stärker stören als erwartungskonforme Sequenzen, dass diese Störwirkung aber mit zunehmender Wiederholung geringer ausfällt sowie ganz ausbleibt, wenn keine Abweichung zu einer zuvor präsentierten Sequenz besteht. Die sich daraus ergebenden Implikationen für die vorgestellten Arbeitsgedächtnismodelle werden im folgenden Abschnitt diskutiert.

9.2 Modelltheoretische Einordnung der Befunde

Den zu Beginn von Kapitel 2 geäußerten Gedanken aufgreifend, erscheinen Modelle des menschlichen Arbeitsgedächtnisses auf den ersten Blick in gewisser Hinsicht inkommensurabel. Die vorgeschlagenen Definitionen reichen von mehreren modalitätsspezifischen Komponenten (Baddeley & Hitch, 1974; vgl. Kapitel 2.1) bis hin zur Annahme, dass das Arbeitsgedächtnis sämtliche Prozesse umfasse, die Informationen in einem hochgradig verfügbaren Zustand halten (Cowan, 1999; vgl. Kapitel 2.4). Für eine kritische Beurteilung der Modelle ist es daher notwendig, dass sich aus ihnen empirisch nachprüfbarere Voraussagen ableiten lassen. Eine solche Prüfung wurde in der vorliegenden Arbeit mithilfe von Sequenzen umgesetzt, die unerwartet in eine Distraktorwiederholung übergingen. Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse von der jeweiligen Perspektive der Arbeitsgedächtnismodelle aus betrachtet und diesbezüglich kritisch eingeordnet.

9.2.1 Das *Modulare* Arbeitsgedächtnismodell

Im *Modularen* Arbeitsgedächtnismodell spielt bei der Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts die Sprachhaltigkeit auditiver Distraktoren eine wichtige Rolle. Sprachliche und sprachähnliche auditive Distraktoren besitzen automatischen Zugang zur phonologischen Schleife, in welcher sie mit den dort aufrecht erhaltenen Repräsentationen zu erinnernder Items interferieren. Demzufolge müssen Distraktorsequenzen, welche eine hohe Übereinstimmung mit menschlicher Sprache aufweisen, die serielle Reproduktion stärker stören als sprachunähnliche Sequenzen. Ob auditiven Distraktorsequenzen von der vorherigen Stimulation abweichen, darf dabei keinen Einfluss auf die serielle Reproduktionsleistung ausüben, da die für die Aufmerksamkeitssteuerung zuständige zentrale Exekutive nicht an der Aufrechterhaltung von Arbeitsgedächtnisinhalten beteiligt ist (Baddeley & Logie, 1999). Somit steht das vorgefundene Ergebnismuster im Widerspruch zu den Vorhersagen, welche sich aus dem *Modularen* Arbeitsgedächtnismodell ableiten lassen. Einzig die Ergebnisse von Experiment 4, in wel-

chem keine Abweichung zu einer vorher präsentierten Sequenz besteht, scheinen mit den Modellannahmen kompatibel.

Um das Befundmuster in das *Modulare* Arbeitsgedächtnismodell integrieren zu können, müssten die Modellannahmen also entsprechend angepasst werden. Eine Möglichkeit dies zu tun, bestünde darin, anzunehmen, dass in einer Vorphase wiederholt präsentierte Sequenzen als Episode im episodischen Zwischenspeicher abgelegt werden. So wäre es grundsätzlich vorstellbar, dass auditive Distraktorsequenzen, welcher dieser Episode entsprechen, leichter von den phonologisch rekodierten Items zu unterscheiden sind und daher weniger Interferenz verursachen als von der Episode abweichende Sequenzen. Mit einer solchen Zusatzannahme könnte allerdings immer noch nicht erklärt werden, warum die Störwirkung mit wiederholter Präsentation abweichender Distraktorsequenzen abnimmt. Entsprechendes gilt für größere *Irrelevant Sound*-Effekte durch seltene (Buchner & Erdfelder, 2005) und negativ valente Distraktoren (Buchner et al., 2006; Buchner et al., 2004). Hierzu wären tiefer gehende Veränderungen der Modellannahmen notwendig, wie zum Beispiel die Annahme, dass die Aufrechterhaltung von Itemrepräsentationen im phonologischen Speicher Aufmerksamkeit erfordert, deren Verfügbarkeit durch die Darbietung auditiver Distraktoren reduziert ist. In dieser Richtung wurde ein interessanter Ansatz von Page und Norris (2003) unternommen, welche mit dem *Primacy*-Modell (1998) ein mathematisches Modell der phonologischen Schleife vorgelegt haben. Darin wird angenommen, dass sich die Aktivierung zu erinnernder Items mit ansteigender Listenposition reduziert, wodurch ein so genannter „*Primacy*-Gradient“ entsteht. Zunächst nur konzipiert um Einflüsse der Wortlänge und phonologischen Ähnlichkeit zu simulieren, wurde das Modell später um Erklärungen des artikulatorischen Unterdrückungseffekts und des *Irrelevant Sound*-Effekts erweitert (Page & Norris, 2003). Es wird hierbei angenommen, dass die Darbietung von aufgabenirrelevantem Hintergrundschall zur Bildung eines zweiten *Primacy*-Gradienten führt, in welchem die zeitliche Abfolge der Distraktoren repräsentiert wird. Der leistungsmindernde Einfluss wird hierbei nicht auf eine ähnlichkeitsbasierte Interferenz zurückgeführt, sondern auf die zusätzliche Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit durch den Distraktorgradienten. Diese Annahme wird durch eine Herabsetzung des Aktivierungsgrades der Itemrepräsentationen implementiert, was gleichbedeutend mit einer höheren Anzahl Reihenfolgen- und Verwechslungsfehler ist (Page & Norris, 2003). Obwohl angenommen wird, dass für *Steady State*-Sequenzen kein *Primacy*-Gradient angelegt wird, könnte die höhere Störwirkung durch unerwartete Distraktorwiederholungen mit einer Aufmerksamkeitsablenkung von der Aufrechterhaltung der Itemgradienten erklärt werden. Während also das *Modulare* Arbeitsgedächtnismodell in seiner gegenwärtigen Fas-

sung das vorgefundene Ergebnismuster nicht integrieren kann, existiert mit dem *Primacy-Modell* ein viel versprechender Ansatz, welcher das Konzept der phonologischen Schleife um die Möglichkeit einer Aufmerksamkeitsablenkung erweitert.

9.2.2 Das *Object-Oriented Episodic Record-Modell*

Dem *Object-Oriented Episodic Record-Modell* (Jones, 1993; Jones et al., 1996) zufolge werden zu erinnernde Items und zu ignorierende auditive Distraktoren gemeinsam in Form von Objektströmen auf der Schreibtafel repräsentiert. Da sowohl die Aufrechterhaltung der Items als auch die automatische Segmentierung der Distraktorsequenzen über den Seriationsprozess erfolgt, kommt es zu einem Reihenfolgenkonflikt. Das Ausmaß der Beeinträchtigung ist dabei eine einfache Funktion der Variabilität der auditiven Distraktoren. Je mehr abrupte Amplituden- und Frequenzunterschiede diese enthalten, desto mehr Objekte mit interferierenden Reihenfolgeinformationen werden auf der Schreibtafel angelegt. Aus dieser Annahme ergibt sich die eindeutige Vorhersage, dass von zwei Distraktorsequenzen immer diejenige mehr stören muss, welche die größere Anzahl an *Changing States* enthält. Die Ergebnisse aus Experiment 1 und 2 stehen klar im Widerspruch zu dieser Vorhersage. Auch die Habituation an die unerwarteten Distraktorwiederholungen lässt sich nicht mit einer automatischen und präattentiven Interferenz von Reihenfolgeinformationen in Einklang bringen. Eine Möglichkeit, das Befundmuster dennoch ins *Object-Oriented Episodic Record-Modell* zu integrieren wird innerhalb des *Duplex-Mechanism Accounts* (Hughes, Vachon et al., 2005; Hughes et al., 2007) aufgezeigt. Darin wird angenommen, dass abweichende auditive Distraktoren die serielle Reproduktionsleistung stören, indem sie die Aufmerksamkeit von der Enkodierung zu erinnernder Items ablenken. Da jedoch Experiment 3 zeigt, dass unerwartete Wortwiederholungen auch im Retentionsintervall einen größeren *Irrelevant Sound*-Effekt auslösen als erwartungskonforme Sequenzverläufe, ist eine solche Erklärung obsolet. Die Tatsache, dass in Experiment 4 vollständige Sätze mehr störten als Sätze mit Wortwiederholung, verdeutlicht, dass die erhöhte Störwirkung tatsächlich auf die unerwartete Abweichung zurückgeführt werden muss und, dass, wenn diese wegfällt, die Größe des *Irrelevant Sound*-Effekts modellkonform mit der Anzahl an *Changing States* im Distraktormaterial steigt.

Unvereinbar mit dem *Object-Oriented Episodic Record-Modell* erscheint das Befundmuster vor allem in zwei Aspekten. Erstens besitzt die zentrale Annahme, dass *Changing State*-Sequenzen grundsätzlich mehr stören müssen als *Steady State*-Sequenzen, offenkundig nicht immer Gültigkeit und zweitens stören die unerwartet abweichenden Distraktoren in erster Linie Arbeitsgedächtnisleistungen und nicht nur Wahrnehmungsprozesse. Vor diesem Hinter-

grund scheint es unbedingt erforderlich die Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts um die Möglichkeit einer Aufmerksamkeitsablenkung zu erweitern. Zwar wurde mit dem *Duplex Mechanism Account* (Hughes, Vachon et al., 2005; Hughes et al., 2007) ein erster Schritt in diese Richtung unternommen, aber die Annahme, abweichende auditive Distraktoren stören nur die Enkodierung, ist vor dem Hintergrund der Befunde aus Experiment 3 (siehe auch Buchner et al., 2008; Buchner et al., 2004) nicht haltbar. Eine Modifizierung, welche mühelos in das Modell integriert werden kann, bestünde in der Zusatzannahme, dass die Aufrechterhaltung von Reihenfolgeinformationen zu erinnernder Items über den Seriationsprozess Aufmerksamkeit erfordert, die zum Beispiel durch abweichende auditive Distraktoren abgelenkt werden kann. Bis eine solche Anpassung vorgenommen wird, bleiben größere Störwirkungen durch in besonderem Maße Aufmerksamkeit beanspruchende Distraktoren für das *Object-Oriented Episodic Record*-Modell problematisch.

9.2.3 Das *Feature*-Modell

Im *Feature*-Modell werden zu erinnernde Items und auditive Distraktoren in Form von Merkmalsvektoren im primären und sekundären Gedächtnis repräsentiert. Bei der Erklärung des *Irrelevant Sound*-Effekts wird davon ausgegangen, dass die Störwirkung von sprachlichem und nichtsprachlichem Hintergrundschall durch zwei verschiedene Mechanismen zu Stande kommt. Während die Beeinträchtigung bei sprachlichen Distraktoren überwiegend auf Merkmalsübernahme beruht – Itemrepräsentationen im primären Gedächtnis nehmen modalitätsunabhängige Merkmale von Distraktorrepräsentationen an – wird sie bei nichtsprachlichem Distraktoren ausschließlich darauf zurückgeführt, dass das Ignorieren von Störgeräuschen Aufmerksamkeit erfordert, welche von der seriellen Reproduktionsaufgabe abgezogen werden muss. Unter der Prämisse, dass unerwartet in eine Tonwiederholung übergehende Melodien eine Aufmerksamkeitsablenkung verursachen, sollte demnach die serielle Reproduktionsleistung gegenüber erwartungskonformen Melodien reduziert sein.

Die Ergebnisse aus Experiment 1, welche eben dieses Befundmuster aufweisen, entsprechen also exakt den Vorhersagen des *Feature*-Modells. Auch die Habituation auf die Tonwiederholungen stimmt gut mit einer aufmerksambasierten Erklärung überein. Dass allerdings in Experiment 2 das Befundmuster mit vollständigen Sätzen und solchen, die unerwartet in eine kontinuierliche Wortwiederholung übergehen, eins zu eins repliziert werden konnte, wurde so nicht erwartet. Da bei sprachlichen Distraktoren die Störwirkung hauptsächlich auf Merkmalsübernahme beruht (und damit einem von der zur Verfügung stehenden Aufmerksamkeit unabhängigen Prozess), muss hierbei der Einfluss von Aufmerksamkeitsablenkungen plausib-

lerweise sehr viel geringer ausfallen als bei nichtsprachlichen Distraktoren. Mit anderen Worten, unerwartete Wortwiederholungen sollten im Vergleich zu Tonwiederholungen eigentlich die serielle Reproduktion weniger stark stören.

Um das *Feature*-Modell dahingehend zu modifizieren, dass es auf das vorgefundene Ergebnismuster passt, sind keine tiefgreifenden Veränderungen notwendig. Es genügt anzunehmen, dass Aufmerksamkeitsablenkungen durch sprachliche und nichtsprachliche Distraktoren einen vergleichbaren Einfluss auf die serielle Reproduktion ausüben können. Diese Möglichkeit besteht bereits durch die Anpassung des a -Parameters in der Formel zur Berechnung der Merkmalsdistanz (vgl. Kapitel 2.3.2), welcher die für die Aufgabenbearbeitung zur Verfügung stehende Aufmerksamkeit abbildet. Unter der Annahme, dass der aufmerksamkeitsablenkende Einfluss mit der Anzahl an „unerwarteten“ Distraktorwiederholungen abnimmt, könnte man zum Beispiel über eine durchgangsbezogene Erhöhung von a die vorgefundene allmähliche Reduzierung der Störwirkung im Verlauf des Experiments simulieren. Je höher dabei a gewählt ist, desto größer wird der leistungsmindernde Einfluss einer Reduzierung der relativen Ähnlichkeiten von Gedächtnisspuren durch eine Merkmalsübernahme. Um das vorgefundene Ergebnismuster mit dem *Feature*-Modell zu erklären, reicht es also aus, die zur Verfügung stehende Aufmerksamkeit in den Durchgängen mit Distraktorwiederholungen soweit herabzusetzen, dass der Merkmalsübernahmeprozess bei sprachlichen Distraktoren nur noch einen sehr geringen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Spurzuordnung ausübt (und damit auf die Höhe des *Irrelevant Sound*-Effekts). Da nicht genau spezifiziert wird, wonach sich der Parameterwert richtet, erscheint eine solche Anpassung grundsätzlich zulässig. Inwieweit es vor dem Hintergrund vergleichbarer leistungsmindernder Einflüsse durch sprachliche und nichtsprachliche Distraktorsequenzen (Beaman & Röer, 2009; Longoni, Richardson & Aiello, 1993; Tremblay, Macken & Jones, 2000, siehe aber Neath, Surprenant & LeCompte, 1998) überhaupt sinnvoll ist, das Zustandekommen eines *Irrelevant Sound*-Effekts auf zwei sehr unterschiedliche Prozesse zurückzuführen, ist eine andere Frage, keine allerdings, welche allein auf Basis ähnlich großer Störwirkungen von Ton- und Wortwiederholungen beantwortet werden kann.

9.2.4 Das *Embedded Processes*-Modell

Dem *Embedded Processes*-Modell (Cowan, 1995, 1999) zufolge werden zu erinnernde Items aufrecht erhalten, indem sie fortwährend neu in den kapazitätsbegrenzten Fokus der Aufmerksamkeit gerückt werden. Die Störwirkung auditiver Distraktoren wird auf automatische Orientierungsreaktionen zurückgeführt, welche den Aufmerksamkeitsfokus von der Aufrecht-

erhaltung der Items ablenken. Hierbei spielen unregelmäßige Veränderungen im Distraktormaterial eine wichtige Rolle. Es wird angenommen, dass mit dem Grad der Abweichung von der vorherigen Stimulation, die Höhe der Aufmerksamkeitsablenkung und damit des *Irrelevant Sound*-Effekts ansteigt (vgl. Kapitel 2.4.2). Demzufolge sollten Sequenzen, welche unerwartet in eine kontinuierliche Distraktorwiederholung übergehen, die serielle Reproduktion stärker beeinträchtigen als solche mit erwartungskonformen Verlauf. Die Ergebnisse von Experiment 1 und 2, welche eben dieses Befundmuster aufweisen, entsprechen also exakt den Vorhersagen des *Embedded Processes*-Modells. Dass die Störwirkung am größten ist, wenn die Distraktorwiederholung das erste Mal präsentiert wird und im Verlauf des Experiments allmählich abnimmt, kann mit einer Anpassung an die neuartige Regelmäßigkeit innerhalb der akustischen Umwelt erklärt werden. Auch die Ergebnisse von Experiment 3, welchen zufolge in erster Linie die Aufrechterhaltung zu erinnernder Items durch die Aufmerksamkeitsablenkung gestört wird, sind gut mit dem *Embedded Processes*-Modell vereinbar. Dass die höhere Störwirkung von Sequenzen mit Distraktorwiederholungen gegenüber vollständigen sich ins Gegenteil verkehrt, wenn erstere nicht mehr von der vorherigen Stimulation abweichen, wird ebenfalls so vorhersagt. Die ungeachtet dessen vorgefundene Habituation auf die Distraktorwiederholungen kann damit erklärt werden, dass noch ein gewisser Grad an Abweichung zur natürlichen Sprache bestand, in welcher Sätze normalerweise nicht in die kontinuierliche Wiederholung desselben Wortes übergehen.

Das *Embedded Processes*-Modell ist sicherlich dasjenige der Arbeitsgedächtnismodelle, welches am besten im Stande ist das vorgefundene Ergebnismuster zu erklären. Dass eine Aufmerksamkeitsablenkung Einfluss auf die Höhe des *Irrelevant Sound*-Effekts nehmen kann, heißt allerdings noch lange nicht, dass die Störwirkung ausschließlich auf solch einen Mechanismus zurückgeführt werden muss. Diesen Aspekt betreffend sind die Annahmen des *Embedded Processes*-Modells und des *Object-Oriented Episodic Record*-Modells schwierig gegeneinander zu prüfen, weil für die präattentive Segmentierung des Distraktormaterials in irrelevante Objektströme und die Auslösung Aufmerksamkeit beanspruchender Orientierungsreaktionen gleichermaßen abrupte Distraktorveränderungen eine notwendige Voraussetzung sind (z.B. Cowan, 1995). Aus diesem Grund wurde der Versuch unternommen, mithilfe psychophysiologischer Untersuchungen Aufschluss über den für die Störwirkung verantwortlichen Mechanismus zu erlangen. Leider zeichnen die Resultate bislang ein sehr uneinheitliches Bild (Campbell, Winkler & Kujala, 2007; Campbell et al., 2003; Chein & Fiez, 2009; Kopp, Schröger & Lipka, 2004, 2006; Martin-Loeches & Sommer, 1998; Weisz & Schlittmeier, 2006). Während, um ein Beispiel zu geben, Bell et al. (2010) zeigen konnten,

dass der leistungsmindernde Einfluss einer sprachlichen *Changing State*-Sequenz mit einem Anstieg der klassischerweise als Ausdruck einer unwillkürlichen Aufmerksamkeitszuwendung angesehenen P3a-Komponente einher ging, wurde in zwei Forschungsarbeiten von Campbell et al. (2007; 2003) die Abwesenheit eben dieser Komponente als Evidenz gegen eine Aufmerksamkeitsablenkung interpretiert. Eingedenk der Tatsache, dass die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit gut mit den Vorhersagen des *Embedded Processes*-Modells vereinbar erscheinen, besteht bezüglich der darin postulierten Annahme, der *Irrelevant Sound*-Effekt beruhe *ausschließlich* auf einer Aufmerksamkeitsablenkung, also noch Klärungsbedarf.

9.3 Konklusion

Die vorgestellte Abfolge von Experimenten diente der systematischen Überprüfung des Einflusses abweichender auditiver Distraktoren auf den *Irrelevant Sound*-Effekt im Arbeitsgedächtnis. Darin konnte gezeigt werden, dass Distraktorwiederholungen die serielle Reproduktion mehr stören als eine Abfolge unterschiedlicher Distraktoren, wenn dies im Widerspruch zur vorherigen Stimulation steht. Das vorgefundene Ergebnismuster liefert eine Reihe von neuen Erkenntnissen, welche im Wesentlichen in drei Punkten zusammengefasst werden können.

Der erste dieser Punkte betrifft die Höhe der Störwirkung, die abweichende auditive Distraktoren hervorrufen. In Anbetracht der Tatsache, dass unerwartete Abweichungen im Stande sind, den *Changing State*-Befund (vgl. Kapitel 1.3) ins Gegenteil zu verkehren, muss der Schluss gezogen werden, dass Aufmerksamkeitsablenkungen eine potentiell wichtige Determinante – manchmal sogar *die* wichtigste Determinante – für das Ausmaß darstellen, in welchem die serielle Reproduktionsleistung beeinträchtigt wird. Dieser Befund ist insofern besonders überraschend, weil einer Klasse von Arbeitsgedächtnismodellen zufolge Aufmerksamkeitsablenkungen überhaupt gar keinen Einfluss auf den *Irrelevant Sound*-Effekt haben dürften. Der zweite Punkt bezieht sich auf die Ebene der Informationsverarbeitung, auf die sich die Störung auswirkt. In Experiment 3 konnte der Nachweis erbracht werden, dass die unerwarteten Distraktorwiederholungen in erster Linie die Aufrechterhaltung zu erinnernder Items erschweren. Damit konnte ein wichtiger Beitrag zur Klärung der empirischen Frage geleistet werden, inwieweit Aufmerksamkeit an der kurzfristigen Aufrechterhaltung im Arbeitsgedächtnis beteiligt ist. Der leistungsmindernde Einfluss durch Sätze, die erst nach der Präsentation zu erinnernder Items in einer Wortwiederholung übergangen, stellt dabei jene Arbeitsgedächtnismodellklasse vor Probleme, in welcher solch eine Beteiligung ausgeschlossen wird. Der dritte Punkt betrifft die Voraussetzungen, welche erfüllt sein müssen, damit abwei-

chende auditive Distraktoren überhaupt eine erhöhte Störwirkung verursachen. Es konnte gezeigt werden, dass Sätze mit Wortwiederholung nur dann mehr stören, wenn sie eine Abweichung gegenüber in der Vorphase präsentierten Sätzen darstellen. Die Veränderung muss außerdem hinreichend *unerwartet* erfolgen. In sämtlichen Experimenten war die Störwirkung durch Distraktorwiederholungen bei erstmaliger Präsentation am größten und reduzierte sich im Verlauf des Experiments. Dies deutet darauf hin, dass ein neuronales Modell der Abweichung existieren muss. Die Höhe der Störwirkung beziehungsweise der Grad an Aufmerksamkeitsablenkung kann dabei als Indikator angesehen werden, wie weit fortgeschritten der Aufbau eines solchen Modells ist.

Diese drei Punkte sind nur mit Modellen vereinbar, in welchen das Arbeitsgedächtnis als System aufgefasst wird, das eine gewisse Durchlässigkeit für (akustische) Veränderungen besitzt. Eine solche Konzeption beinhaltet zum Beispiel das *Embedded Processes*-Modell (Cowan, 1995, 1999), welchem zufolge automatische Orientierungsreaktionen auf von der vorherigen Stimulation abweichende Wahrnehmungsereignisse gewährleisten, dass Veränderungen in der Umwelt registriert werden und auf ihre Relevanz hin im Fokus der Aufmerksamkeit überprüft werden können. Der Gültigkeitsanspruch von Arbeitsgedächtnismodellen dagegen, welche keine solche Durchlässigkeit ermöglichen, weil sie einen Einfluss von Aufmerksamkeitsablenkungen auf die kurzfristige Informationsaufrechterhaltung explizit ausschließen, kann angesichts der Befundlage nur schwerlich aufrecht erhalten werden.

9.4 Ausblick

Nachdem gezeigt werden konnte, dass abweichende auditive Distraktoren einen wichtigen Einfluss auf die Höhe des *Irrelevant Sound*-Effekts ausüben können, wäre es interessant zu überprüfen, inwieweit dies vom Grad der Abweichung zur vorherigen Stimulation abhängt. Grundsätzlich sind zwei Mechanismen denkbar. Einerseits kann es sein, dass sobald ein bestimmter Schwellenwert erreicht wird, automatisch eine Aufmerksamkeitsablenkung ausgelöst wird, die gleich hoch ist für Werte knapp über der Schwelle und solche, die diese um ein vielfaches überschreiten (Alles-oder-nichts-Prinzip). Andererseits ist es möglich, dass der Grad der Abweichung unmittelbar die Höhe der Aufmerksamkeitsablenkung bestimmt, so dass subtile Veränderungen nur eine geringe, markante dagegen eine hohe Störwirkung verursachen. Um diese beiden Annahmen gegeneinander zu prüfen, müsste man auditive Distraktoren verwenden, welche unterschiedlich stark von der vorherigen Stimulation abweichen. Dazu könnte man zum Beispiel zwei alternierende Sinustöne mit einem Schalldruckpegel von 40 dB(A) präsentieren und dazu abweichende Töne zu 50, 60 und 70 dB(A). Fiele

die Störwirkung vergleichbar hoch aus, spräche dies für ein Alles-oder-nichts-Prinzip. Stärkere Beeinträchtigungen mit ansteigendem Schalldruckpegel würden dagegen auf eine Abhängigkeit vom Abweichungsgrad hindeuten. Allerdings müsste man in einem solchen Experiment darauf achten, dass die Höhe des Schalldruckpegels als Gruppenfaktor realisiert wird, da bereits bei der zweiten Präsentation die Störwirkung abweichender Distraktoren üblicherweise reduziert ist.

Darüber hinaus ist unklar, inwieweit der Zeitpunkt, zu welchem die Abweichung erfolgt, einen Einfluss auf das Ausmaß der Beeinträchtigung hat. Zwar konnte gezeigt werden, dass es keinen Unterschied macht, ob die Aufmerksamkeitsablenkung während oder nach der Präsentation zu erinnernder Items erfolgt, allerdings war der Zeitpunkt, zu dem die Sequenzen in eine Distraktorwiederholung übergangen, in allen Experimenten ungefähr derselbe. Es kann also nicht ausgeschlossen werden, dass Aufmerksamkeitsablenkungen zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedlich stark die serielle Reproduktion stören. Spannend wäre es in diesem Zusammenhang zu überprüfen, ob die seriellen Positionen, auf welchen die Ablenkung erfolgt, besonders stark von der Beeinträchtigung betroffen sind. Die Tatsache, dass in der vorliegenden Arbeit die Störwirkung durch Distraktorwiederholungen auf den ersten seriellen Positionen – also *bevor* eine Ablenkung erfolgte – deskriptiv geringer ausfiel, könnte darauf hinweisen. Allerdings muss dies nicht so sein, weil ein reduzierter *Irrelevant Sound*-Effekt für vordere Listenpositionen schon häufiger berichtet wurde (z.B. Macken, Mosdell et al., 1999).

Interessant wäre es außerdem zu überprüfen, inwieweit auch Distraktoren, die *semantisch* abweichen, im Stande sind die serielle Reproduktion in erhöhtem Maße zu stören. Eine Möglichkeit dies herauszufinden bestünde darin, Stimulusmaterial zu verwenden, dessen Darbietung eine N400-Komponente¹³ auslöst (z.B. „*He spread the warm bread with socks.*“; Kutas & Hillyard, 1980). Die Ergebnisse eines solchen Experiments könnten dabei zur Klärung der noch offenen empirischen Frage beitragen, inwieweit zu ignorierende auditive Distraktoren semantisch verarbeitet werden. Eine andere Möglichkeit ergibt sich aus dem *Embedded Processes*-Modell (Cowan, 1995, 1999), welchem zufolge nicht nur *abweichende* Wahrnehmungsergebnisse, sondern auch *bedeutsame* eine automatische Orientierungsreaktion zur Folge haben (Cowan, 1995). Dies könnte zum Beispiel mit auditiven Distraktorsequenzen untersucht werden, welche den eigenen Namen enthalten. Vom eigenen Namen ist bekannt, dass er in einer dichotischen Beschattungsaufgabe die Aufmerksamkeit vom beachteten Ka-

¹³ Die N400 ist eine ereigniskorrelierte Potentialkomponente, welche durch Verletzungen der semantischen Erwartung hervorgerufen wird. Sie ist zeichnet durch eine stärkere Negativierung im Vergleich zu erwartungskonformen Reizen aus.

nal ablenken kann (*Cocktailparty*-Phänomen; Moray, 1959). Stören Sequenzen, die den eigenen Namen enthalten, mehr als solche mit fremden Namen, wäre das ein Indiz dafür, dass die auditiven Distraktoren zu einem gewissen Maß semantisch verarbeitet werden.

10 Literatur

- Baddeley, A. D. (1966). Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic and formal similarity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *18*, 362-365.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford, UK: Clarendon Press.
- Baddeley, A. D. (1996). The concept of working memory. In S. E. Gathercole (Ed.), *Models of short-term memory*. Hove, UK: Psychology Press.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 417-423.
- Baddeley, A. D. (2001). Is working memory still working? *The American Psychologist*, *56*, 851-864.
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*, 829-839.
- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought and action*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation* (pp. 47-90). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D. & Logie, R. (1999). The multiple-component model. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 28-61). New York: Cambridge University Press.
- Baddeley, A. D. & Salame, P. (1986). The unattended speech effect: perception or memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *12*, 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*, 181-195.
- Banbury, S. & Berry, D. C. (1998). Disruption of office-related tasks by speech and office noise. *British Journal of Psychology*, *89*, 499-517.
- 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 A: Human Experimental Psychology*, *51A*, 615-636.

- Beaman, C. P. & R er, J. P. (2009). *Learning and failing to learn within immediate memory*. Paper presented at the 31st annual meeting of the Cognitive Science Society, Austin, Texas, USA.
- Bell, R., Buchner, A. & Mund, I. (2008). Age-related differences in irrelevant-speech effects. *Psychology and Aging, 23*, 377-391.
- Bell, R., Dentale, S., Buchner, A. & Mayr, S. (2010). ERP correlates of the irrelevant sound effect. *Psychophysiology, 47*, 1182-1191.
- Bell, R., Mund, I. & Buchner, A. (2011). Disruption of short-term memory by distractor speech: does content matter? *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 64*, 146-168.
- Bell, R., R er, J. P., Dentale, S. & Buchner, A. (submitted). Habituation of the irrelevant speech effect: evidence for an attentional theory of short-term memory disruption. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*.
- Berti, S. (2010). Arbeitsgedächtnis: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft eines theoretischen Konstruktes. *Psychologische Rundschau, 61*, 3-9.
- Berti, S. & Schröger, E. (2003). Working memory controls involuntary attention switching: evidence from an auditory distraction paradigm. *The European Journal of Neuroscience, 17*, 1119-1122.
- Bregman, A. S. (1990). *Auditory scene analysis: the perceptual organization of sound*. Cambridge, MA: MIT Press.
- 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 A: Human Experimental Psychology, 49A*, 919-939.
- Buchner, A., Bell, R., Rothermund, K. & Wentura, D. (2008). Sound source location modulates the irrelevant sound effect. *Memory & Cognition, 36*, 617-628.
- Buchner, A. & Erdfelder, E. (2005). Word frequency of irrelevant speech distractors affects serial recall. *Memory & Cognition, 33*, 86-97.
- Buchner, A., Irmen, L. & Erdfelder, E. (1996). On the irrelevance of semantic information for the "irrelevant speech" effect. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology, 49A*, 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*, 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*, 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*, 48-67.

- Campbell, T., Beaman, C. P. & Berry, D. C. (2002). Auditory memory and the irrelevant sound effect: further evidence for changing-state disruption. *Memory, 10*, 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*, 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*, 39-47.
- Chein, J. M. & Fiez, J. A. (2009). Evaluating models of working memory through the effects of concurrent irrelevant information. *Journal of Experimental Psychology: General, 139*, 117-137.
- 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 & Verbal Behavior, 15*, 17-31.
- Conrad, R. & Hull, A. J. (1964). Information, acoustic confusion and memory span. *British Journal of Psychology, 55*, 429-432.
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin, 104*, 163-191.
- Cowan, N. (1989a). A reply to Miles, Madden and Jones (1989): mistakes and other flaws in the challenge to the cross-modal Stroop effect. *Perception & Psychophysics, 45*, 82-84.
- Cowan, N. (1989b). The reality of cross-modal Stroop effects. *Perception & Psychophysics, 45*, 87-88.
- Cowan, N. (1995). *Attention and memory: an integrated framework*. Oxford University Press.: Oxford University 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). New York: Cambridge University Press.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences, 24*, 87-185.
- Cowan, N. & Barron, A. (1987). Cross-modal, auditory-visual Stroop interference and possible implications for speech memory. *Perception & Psychophysics, 41*, 393-401.
- 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*, 1406-1414.
- Ellermeier, W. & Zimmer, K. (1997). Individual differences in susceptibility to the "irrelevant speech effect". *The Journal of the Acoustical Society of America, 102*, 2191-2199.

- Elliott, E. M. (2002). The irrelevant-speech effect and children: theoretical implications of developmental change. *Memory & Cognition*, 30, 478-487.
- 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, 654-667.
- Escera, C., Alho, K., Schröger, E. & Winkler, I. (2000). Involuntary attention and distractibility as evaluated with event-related brain potentials. *Audiology & Neurotology*, 5, 151-166.
- Escera, C., Alho, K., Winkler, I. & Näätänen, R. (1998). Neural mechanisms of involuntary attention to acoustic novelty and change. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 590-604.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G. & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39, 175-191.
- Gati, I. & Ben-Shakhar, G. (1990). Novelty and significance in orientation and habituation: a feature-matching approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 251-263.
- Hanley, J. R. (1997). Does articulatory suppression remove the irrelevant speech effect? *Memory*, 5, 423-431.
- 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, 316-327.
- Hughes, R. W., Tremblay, S. & Jones, D. M. (2005). Disruption by speech of serial short-term memory: the role of changing-state vowels. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 886-890.
- 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, 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, 1050-1061.
- Jacobsen, T. & Schröger, E. (2003). Measuring duration mismatch negativity. *Clinical Neurophysiology*, 114, 1133-1143.
- James, W. H. (1890). *The principles of psychology, Vol I*. New York: Henry Holt and Co Inc.
- Jones, D. M. (1993). Objects, streams and threads of auditory attention. In L. Weiskrantz & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention: selection, awareness and control: A tribute to Donald Broadbent* (pp. 87-104). New York: Oxford University Press.

- Jones, D. M. (1999). The cognitive psychology of auditory distraction: The 1997 BPS Broadbent Lecture. *British Journal of Psychology*, *90*, 167-187.
- 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*, 464-473.
- Jones, D. M., Beaman, C. P. & Macken, B. (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. & Macken, B. (1995a). Auditory babble and cognitive efficiency: role of number of voices and their location. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *1*, 216-226.
- Jones, D. M. & Macken, B. (1995b). Organizational factors in the effect of irrelevant speech: the role of spatial location and timing. *Memory & Cognition*, *23*, 192-200.
- Jones, D. M. & Macken, B. (1995c). Phonological similarity in the irrelevant speech effect: within- or between-stream similarity? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *21*, 103-115.
- Jones, D. M., Macken, B. & Murray, A. C. (1993). Disruption of visual short-term memory by changing-state auditory stimuli: the role of segmentation. *Memory & Cognition*, *21*, 318-328.
- 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. & Mosdell, N. A. (1997). The role of habituation in the disruption of recall performance by irrelevant sound. *British Journal of Psychology*, *88*, 549-564.
- 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*, 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 A: Human Experimental Psychology*, *44*, 645-69.
- Jones, D. M., Miles, C. & Page, J. (1990). Disruption of proofreading by irrelevant speech: effects of attention, arousal or memory? *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 A: Human Experimental Psychology*, *52A*, 545-554.
- Jones, D. M. & Tremblay, S. (2000). Interference in memory by process or content? A reply to Neath (2000). *Psychonomic Bulletin & Review*, *7*, 550-558.

- Klatte, M. & Hellbrück, J. (1993). Der „Irrelevant Speech Effect“: Wirkungen von Hintergrundschall auf das Arbeitsgedächtnis. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 40, 91-98.
- 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, 166-186.
- Kopp, F., Schröger, E. & Lipka, S. (2004). Neural networks engaged in short-term memory rehearsal are disrupted by irrelevant speech in human subjects. *Neuroscience*, 354, 42-45.
- Kopp, F., Schröger, E. & Lipka, S. (2006). Synchronized brain activity during rehearsal and short-term memory disruption by irrelevant speech is affected by recall mode. *International Journal of Psychophysiology*, 61, 188-203.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- 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. & Andrade, J. (2000). Phonological similarity and the irrelevant speech effect: implications for models of short-term verbal memory. *Memory*, 8, 145-158.
- LeCompte, D. C. (1994). Extending the irrelevant speech effect beyond serial recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 20, 1396-408.
- LeCompte, D. C. (1995). An irrelevant speech effect with repeated and continuous background speech. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2, 391-397.
- 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, 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, 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 A: Human experimental psychology*, 50, 100-118.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove, UK: Lawrence Erlbaum Associates.
- Longoni, A. M., Richardson, J. T. & Aiello, A. (1993). Articulatory rehearsal and phonological storage in working memory. *Memory & Cognition*, 21, 11-22.
- 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, 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, 810-814.
- 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, 322-327.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin*, 109, 163-203.
- Madigan, S. (1980). The serial position curve in immediate serial recall. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 15, 335-338.
- Marsh, J. E., Hughes, R. W. & Jones, D. M. (2009). Interference by process, not content, determines semantic auditory distraction. *Cognition*, 110, 23-38.
- 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.
- Martin-Loeches, M. & Sommer, W. (1998). Testing models of the irrelevant speech effect on working memory with event-related potentials. *Zeitschrift für angewandte Psychologie*, 206, 1-22.
- Melton, A. W. (1963). Implications of short-term memory for a general theory of memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 2, 1-21.
- Miles, C. & Jones, D. M. (1989). The fallacy of the cross-modal Stroop effect: a rejoinder to Cowan (1989). *Perception & Psychophysics*, 45, 85-86.
- Miles, C., Jones, D. M. & Madden, C. A. (1991). Locus of the irrelevant speech effect in short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 17, 578-584.
- Miles, C., Madden, C. & Jones, D. M. (1989). Cross-modal, auditory-visual Stroop interference: a reply to Cowan and Barron (1987). *Perception & Psychophysics*, 45, 77-81.
- Miller, G. A., Galanter, E. & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York: Holt Rineheart and Winston.
- Miyake, A. & Shah, P. (1999). *Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control*. New York: Cambridge University Press.
- Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: affective cues and the influence of instructions. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11, 56-60.
- Morris, N. & Jones, D. M. (1990). Habituation to irrelevant speech: effects on a visual short-term memory task. *Perception & Psychophysics*, 47, 291-297.
- Murray, D. J. (1968). Articulation and acoustic confusability in short-term memory. *Journal of Experimental Psychology*, 78, 679-684.

- Näätänen, R. (1990). The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behavioral and Brain Sciences*, 13, 201-288.
- Näätänen, R. (1992). *Attention and brain function*. Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc; England.
- Näätänen, R., Alho, K. & Schröger, E. (2002). Electrophysiology of attention. In *Stevens' handbook of experimental psychology (3rd ed.)*, Vol. 4: *Methodology in experimental psychology* (pp. 601-653). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc; US.
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Alho, K., Reinikainen, K. & Sams, M. (1987). The mismatch negativity to intensity changes in an auditory stimulus sequence. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology Supplement*, 40, 125-131.
- Näätänen, R., Tervaniemi, M., Sussman, E., Paavilainen, P. & Winkler, I. (2001). "Primitive intelligence" in the auditory cortex. *Trends in Neurosciences*, 24, 283-288.
- 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 & Cognition*, 18, 251-69.
- Neath, I. (1999). Modelling the disruptive effects of irrelevant speech on order information. *International Journal of Psychology*, 34, 410-418.
- Neath, I. (2000a). Is "working memory" still a useful concept? *Contemporary Psychology*, 45, 410-412.
- Neath, I. (2000b). Modeling the effects of irrelevant speech on memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7, 403-423.
- Neath, I., Guerard, K., Jalbert, A., Bireta, T. J. & Surprenant, A. M. (2009). Irrelevant speech effects and statistical learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62, 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. 2001. In *The nature of remembering: essays in honor of Robert G. Crowder* (pp. 247-265). Washington, DC: American Psychological Association; US.
- 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, 343-54.
- Neely, C. B. & LeCompte, D. C. (1999). The importance of semantic similarity to the irrelevant speech effect. *Memory & Cognition*, 27, 37-44.

- Nordby, H., Roth, W. T. & Pfefferbaum, A. (1988). Event-related potentials to breaks in sequences of alternating pitches or interstimulus intervals. *Psychophysiology*, 25, 262-268.
- 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, 1093-1105.
- Öhman, A. (1979). The orienting response, attention and learning: an information-processing perspective. In H. K. Kimmel, E. H. V. Olst & J. F. Orlebeke (Eds.), *The orienting reflex in humans* (pp. 443-471). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Paavilainen, P., Jaramillo, M., Näätänen, R. & Winkler, I. (1999). Neuronal populations in the human brain extracting invariant relationships from acoustic variance. *Neuroscience Letters*, 265, 179-182.
- Paavilainen, P., Karlsson, M., Reinikainen, K. & Näätänen, R. (1989). Mismatch negativity to change in spatial location of an auditory stimulus. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 73, 129-141.
- Paavilainen, P., Simola, J., Jaramillo, M., Näätänen, R. & Winkler, I. (2001). Preattentive extraction of abstract feature conjunctions from auditory stimulation as reflected by the mismatch negativity (MMN). *Psychophysiology*, 38, 359-365.
- Page, M. P. A. & Norris, D. G. (1998). The primacy model: a new model of immediate serial recall. *Psychological Review*, 105, 761-781.
- Page, M. P. A. & Norris, D. G. (2003). The irrelevant sound effect: what needs modelling and a tentative model. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 56A, 1289-1300.
- Pratto, F. (1994). Consciousness and automatic evaluation. In *The heart's eye: emotional influences in perception and attention* (pp. 115-143). San Diego, CA: Academic Press; US.
- Pratto, F. & John, O. P. (1991). Automatic vigilance: the attention-grabbing power of negative social information. *Journal of Personality and Social Psychology*, 61, 380-391.
- Röer, J. P., Bell, R., Dentale, S. & Buchner, A. (in press). The role of habituation and attentional orienting in the disruption of short-term memory performance. *Memory & Cognition*.
- Rösler, F. & Heil, M. (1998). Kognitive Psychophysiologie. In F. Rösler (Ed.), *Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich C Theorie und Forschung, Serie I Biologische Psychologie, Band 5, Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie* (pp. 165-224). Göttingen: Hogrefe Verlag.
- 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 and Verbal Behavior*, 21, 150-164.
- Salamé, P. & Baddeley, A. D. (1986). Phonological factors in STM: similarity and the unattended speech effect. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 24, 263-265.

- Salamé, P. & Baddeley, A. D. (1987). Noise, unattended speech and short-term memory. *Ergonomics*, *30*, 1185-1194.
- Salamé, P. & Baddeley, A. D. (1989). Effects of background music on phonological short-term memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *41*, 107-122.
- Schlittmeier, S. J., Hellbrück, J. & Klatté, M. (2008). Does irrelevant music cause an irrelevant sound effect for auditory items? *European Journal of Cognitive Psychology*, *20*, 252-271.
- Schröger, E. & Wolff, C. (1998). Behavioral and electrophysiological effects of task-irrelevant sound change: a new distraction paradigm. *Cognitive Brain Research*, *7*, 71-87.
- 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*, 513-521.
- Shepard, R. N. (1987). Toward a universal law of generalization for psychological science. *Science*, *237*, 1317-1323.
- Sokolov, E. N. (1963). *Perception and the conditioned reflex*. New York: Pergamon.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*, 643-662.
- Surprenant, A. M., Neath, I. & LeCompte, D. C. (1999). Irrelevant speech, phonological similarity and presentation modality. *Memory*, *7*, 405-420.
- Tervaniemi, M., Kruck, S., De Baene, W., Schröger, E., Alter, K. & Friederici, A. D. (2009). Top-down modulation of auditory processing: effects of sound context, musical expertise and attentional focus. *European Journal of Neuroscience*, *30*, 1636-1642.
- Tervaniemi, M., Rytönen, M., Schröger, E., Ilmoniemi, R. J. & Näätänen, R. (2001). Superior formation of cortical memory traces for melodic patterns in musicians. *Learning & Memory*, *8*, 295-300.
- Tremblay, S. (1997). Is there a relationship between habituation to irrelevant sound effect and the spectral complexity of auditory items? In A. Schick & M. Klatté (Eds.), *Contributions to Psychological Acoustics* (pp. 521-530). Oldenburg: BIS.
- 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*, 1005-1015.
- Tremblay, S., Macken, W. J. & Jones, D. M. (2000). Elimination of the word length effect by irrelevant sound revisited. *Memory & Cognition*, *28*, 841-846.

- 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, 1750-1754.
- Vachon, F., Hughes, R. W. & Jones, D. M. (2008). *Attentional capture during serial recall by an across-trial change in irrelevant auditory stimulation*. Paper presented at the 49th annual meeting of the Psychonomic Society, Chicago, Illinois, November 13 – 16, 2008.
- Weise, A., Grimm, S., Müller, D. & Schröger, E. (2010). A temporal constraint for automatic deviance detection and object formation: a mismatch negativity study. *Brain Research*, 1331, 88-95.
- Weisz, N. & Schlittmeier, S. J. (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, 1097-1105.
- Yerkes, R. M. & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit formation. *Journal of Comparative Neurology & Psychology*. Vol.18 1908, pp. 459-482.

Anhang: Stimulusmaterial

Tabelle 1

In Experiment 1 verwendete Melodien

The image displays eight musical staves, each containing a melodic line in 4/4 time. The notes are written on a five-line staff with a treble clef. The time signature '4/4' is indicated at the beginning of each staff. The melodies consist of various rhythmic patterns and note values, including quarter notes, eighth notes, and half notes, often grouped with beams. The patterns vary across the staves, representing different stimuli used in the experiment.

Tabelle 2

In Experiment 2 verwendete Sätze

Am Dienstag überwiegend sonnig, nur vereinzelt sind Schauer möglich. Es weht ein schwacher bis mäßiger Nordostwind.

Deine eigenen Fehler sind es, die Du an anderen rügst, merke sie Dir, damit Du Dich nicht länger selbst betrügst.

Ohne auch nur den geringsten Moment zu zögern, griff sie zum Telefonhörer und wählte die Nummer des örtlichen Polizeireviers.

Zwiebeln schälen, vierteln und in Scheiben schneiden. Die Tomaten hinzugeben, dann einige Minuten bei mittlerer Hitze köcheln lassen.

Die synaptischen Vesikel sind zum größten Teil über das Protein Synapsin an die Actinfäden des Zytoskeletts fixiert.

Säume nicht, Dich zu erdreisten, wenn die Menge zaudernd schweift, alles kann der Edle leisten, der versteht und rasch ergreift.

Verwenden Sie den horizontalen Rollbalken, wenn Sie durch die Vorschau von Seiten blättern möchten, die Sie heute besucht haben.

Das Autobahnkreuz Hilden ist in Richtung Düsseldorf wegen Bauarbeiten bis mittags gesperrt, eine örtliche Umleitung ist eingerichtet.

Tabelle 3

In Experiment 4 zusätzlich verwendete Sätze

Am Sonnabend wechselnde Bewölkung mit sonnigen Abschnitten. In der Nacht kühlt es ab auf Temperaturen um den Gefrierpunkt.

Am Mittwoch zunächst stärker bewölkt mit gelegentlichen örtlichen Schauern. Gegen Abend verstärkte Gewitterneigung.

Wenn mir mein Hund das Liebste ist, denk' nicht, es wäre Sünde. Mein Hund blieb' mir im Stürme treu, der Mensch nicht mal im Winde.

In Häusern, wo Bildung herrscht und Sitte, da gehen die Frauen zuerst, die Männer folgen ihrem Schritte.

Schweigsam und mit einem grimmigen Ausdruck auf dem vernarbten Gesicht schaute er beharrlich auf die rastlosen Zeiger der Wanduhr.

Er hatte bis weit in die frühen Morgenstunden mit der Formulierung der Dankesrede verbracht und war dementsprechend spät aufgestanden.

Wasser, Zitronensaft und Zucker in einen Topf geben. Unter Rühren zum Kochen bringen und nach und nach den Eischnee darunter heben.

Den Hummer aus dem Kochtopf herausnehmen, mit kaltem Wasser abschrecken und nach dem Abtropfen auf das blanchierte Gemüse betten.

Die ADH-unabhängige Wasserretention ist gewöhnlich die Folge einer akuten oder chronischen Niereninsuffizienz.

Bei Erkrankungen der Basalganglien können skelett- und okulomotorische und assoziativ-kognitive Funktionen gestört sein.

Einsam wandle Deine Bahnen, stilles Herz und unverzagt, viel erkennen, vieles ahnen wirst Du, was Dir keiner sagt.

Mit Mädchen sich vertragen, mit Männern rumgeschlagen und mehr Kredit als Geld. So kommt man durch die Welt.

Die Patrone mit dem Klebestreifen über der Tintenaustrittsöffnung in den Drucker einsetzen und eine Druckkopfreinigung durchführen.

Die Falzkante des unteren Seitenteils wird entsprechend der Breite der Lasche des oberen Seitenteils eingeschnitten.

Auf Höhe der Anschlussstelle Recklinghausen ist in beiden Fahrtrichtungen nach einem Unfall jeweils der linke Fahrstreifen blockiert.

Zwischen dem Dreieck Köln-Heumar und der Autobahnabfahrt Köln-Dellbrück befinden sich Metallteile auf der Fahrbahn.

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit eigenständig und ohne unerlaubte Hilfe verfasst habe. Die Dissertation wurde weder in der vorliegenden noch in ähnlicher Form bei einer anderen Institution eingereicht. Ich habe bisher keine erfolglosen Promotionsversuche unternommen.

Düsseldorf, den 26.05.2011