

Voraussetzungen für die Habituation
des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse auf das
kurzfristige Behalten

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Sandra Dentale

aus Neuss

September 2009

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

Koreferent: Prof. Dr. Jochen Musch

Tag der mündlichen Prüfung: 18.11.2009

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Abstract	6
1 Die Rolle von Aufmerksamkeit beim kurzfristigen Behalten	7
2 Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse	8
3 Das kurzfristige Behalten im Arbeitsgedächtnis.....	9
3.1 Das Modell multipler Komponenten.....	10
3.2 Das objektorientierte episodische Speichermodell.....	13
3.3 Das Merkmalmodell.....	16
3.4 Das Modell eingebetteter Prozesse	21
3.5 Fazit	26
4 Habituation an irrelevante auditive Ereignisse	26
4.1 Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse.....	28
4.2 Durchgangsbezogene Habituation	31
4.3 Vorphase	33
4.4 Fazit	36
5 Experiment 1	36
5.1 Methode.....	37
5.1.1 Stichprobe	37
5.1.2 Material.....	37
5.1.3 Ablauf.....	38
5.1.4 Design	39
5.2 Ergebnisse.....	40
5.2.1 Globale Habituation.....	41
5.2.2 Kurzfristige Habituation.....	43
5.2.3 Dishabituation.....	43
5.3 Diskussion.....	44
6 Experiment 2.....	45
6.1 Methode.....	46
6.1.1 Stichprobe	46
6.1.2 Material, Ablauf und Design	46

6.2	Ergebnisse.....	47
6.2.1	Globale Habituation.....	47
6.2.2	Kurzfristige Habituation.....	49
6.2.3	Dishabituation.....	49
6.3	Diskussion.....	50
7	Experiment 3.....	53
7.1	Methode.....	54
7.1.1	Stichprobe.....	54
7.1.2	Material.....	54
7.1.3	Ablauf.....	54
7.1.4	Design.....	56
7.2	Ergebnisse.....	56
7.3	Diskussion.....	58
8	Experiment 4.....	60
8.1	Methode.....	61
8.1.1	Stichprobe.....	61
8.1.2	Material.....	61
8.1.3	Ablauf.....	62
8.1.4	Design.....	63
8.2	Ergebnisse.....	63
8.3	Diskussion.....	66
9	Allgemeine Diskussion.....	67
9.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	67
9.2	Der Einfluss von Habituation auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse.....	67
9.3	Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten.....	70
9.4	Ursache des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse.....	73
9.5	Praktische Implikationen.....	76
9.6	Fazit.....	77
10	Literaturangaben.....	79

Zusammenfassung

Der Einfluss von Habituation auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse gibt Aufschluss darüber, ob Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten beteiligt ist oder nicht. Das ist wichtig, da sich bestehende Arbeitsgedächtnismodelle anhand dieser Frage in zwei Kategorien aufteilen. Die empirische Befundlage zum Einfluss von Habituation war bisher so unstimmig, dass eine Reevaluation nötig war. In allen Experimenten der vorliegenden Untersuchung sahen die Teilnehmer eine Folge von Ziffern, die sie in der Reihenfolge ihrer Präsentation wiedergeben sollten. In den Experimenten 1 und 2 führte eine Gruppe von Teilnehmern die Aufgabe in den kritischen Durchgängen in Ruhe aus, die andere Gruppe hörte immer die gleichen zwei Wörter im Wechsel. Im Experiment 1 wurde die Darbietung der beiden Wörter nur durch eine 9 s lange Abrufphase unterbrochen, im zweiten Experiment war die Darbietung sogar ununterbrochen. Trotz der andauernden Wiederholung von zwei Wörtern im Verlauf von 85 Durchgängen blieb der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse in beiden Experimenten konstant. Experiment 3 begann mit einer Vorphase von 20 Minuten, in der die Teilnehmer in der kritischen Gruppe bereits die beiden Wörter gehört hatten, die sie auch in den anschließenden 12 Durchgängen der seriellen Reproduktionsaufgabe ununterbrochen hörten. Die Wortdarbietung in der Vorphase führte zu einer Verringerung des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse. Experiment 4 bestätigte diesen Befund. Diesmal war die Vorphase nur 45 s lang, was eine messwiederholte Manipulation der auditiven Situation erlaubte. In der kritischen Bedingung hörten die Teilnehmer bereits in der Vorphase die beiden Wörter, die sie auch in dem anschließenden Durchgang der seriellen Reproduktionsaufgabe hörten. Dadurch nahm auch hier die störende Wirkung der irrelevanten Wörter ab. Insgesamt zeigten die Experimente, dass Wortwiederholung den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse verringern kann; das heißt, dass Habituation an die irrelevanten auditiven Ereignisse stattfindet. Dafür müssen allerdings wesentliche Voraussetzungen erfüllt sein: Entscheidend sind eine gleichbleibende irrelevante auditive Reizsituation und die ausreichende Verfügbarkeit von Verarbeitungsressourcen. Das Befundmuster spricht für die Kategorie von Arbeitsgedächtnismodellen, nach der Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten beteiligt ist.

Abstract

The influence of habituation on the irrelevant sound effect provides with information about the role of attention in the maintenance of events. This is important, because models of working memory can be divided into two classes – models that include and models that exclude attention from the process of maintenance. Previous work on the influence of habituation had only produced an inconsistent pattern of results, so that a reevaluation had been required. In the present study participants saw a series of digits in all experiments and were asked to reproduce them in the right serial order. In experiment 1 und 2 one group of participants performed 85 trials of this serial recall task in silence, the other group heard the same two changing words during these trials. The presentation of the words was only interrupted by the 9 s recall stage in the first experiment. In the second one the presentation went on without any interruption. In both experiments the irrelevant sound effect remained constant despite the permanent repetition of the two words. Experiment 3 started with a 20 minutes prephase. At this time participants in the critical group had already heard the two words, which they were going to hear during the subsequent 12 trials of the serial recall task. The presentation of words in the prephase reduced the irrelevant sound effect. Experiment 4 confirmed this result. This time the duration of the prephase was only 45 s. Thus a within subject manipulation of die auditory situation was possible. In the critical condition participants had already heard the two words, which were also presented in the following trial of the serial recall task. In this way the detrimental effect of the irrelevant words on the maintenance of the digits decreased. All in all the experiments show, that word repetition can reduce the irrelevant sound effect, but only if all requirements for a successful habituation are given. A consistent auditory situation and the availability of sufficient processing resources are essential. This pattern of results is compatible with the class of working memory models, that include attention in the process of maintenance.

1 Die Rolle von Aufmerksamkeit beim kurzfristigen Behalten

Der Begriff *Arbeitsgedächtnis* wurde von Miller, Galanter und Pribram (1965) eingeführt, um die Bedeutung des kurzfristigen Behaltens und Verarbeitens von perzeptuellen Ereignissen bei der Bewältigung kognitiver Aufgaben zu betonen. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von Arbeitsgedächtnismodellen, deren Autoren diesen Gedanken aufgriffen und das Konzept Arbeitsgedächtnis weiterentwickelten. In einer vergleichenden Gegenüberstellung von 10 ausgewählten Modellen fassten Miyake und Shah (1999, p. 450) deren gemeinsamen Nenner zusammen: Das Arbeitsgedächtnis leistet die Kontrolle, die Regulation und das aktive Behalten von perzeptuellen Ereignissen zur Lösung vielfältiger kognitiver Aufgaben - beginnend beim einfachen Sprachverständnis bis hin zum komplexen Schlussfolgern. Damit ist das Arbeitsgedächtnis unverzichtbar für die mentale Repräsentation und das Verstehen der unmittelbaren Umgebung und schafft die Grundlage für eine erfolgreiche Interaktion mit der Umwelt.

Wie das Arbeitsgedächtnis diese Aufgaben löst, ist jedoch noch unklar. Die Menge der bestehenden Arbeitsgedächtnismodelle bietet viele mögliche Antworten. Ziel jeder Forschung ist aber, die Menge der Möglichkeiten auf eine empirisch angemessene Antwort zu verringern (siehe z.B. Newell, 1990, p. 17). Denn so entsteht ein einheitliches Modell, das konkrete Vorhersagen erlaubt. Auf der Basis eines einheitlichen Arbeitsgedächtnismodells könnten beispielsweise Arbeitsplätze so gestaltet werden, dass sie das kognitive Arbeiten maximal unterstützen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind globale Fragestellungen besonders praktisch. Sie sind so zentral, dass nicht nur wenige, sondern alle bestehenden Modelle eine Antwort darauf enthalten müssen. Da das kurzfristige Behalten eine grundlegende Funktion des Arbeitsgedächtnisses ist, weist jedes Modell eine Beschreibung dieses Prozesses auf. In diesem Punkt lassen sich Arbeitsgedächtnismodelle in zwei Kategorien aufteilen: Modelle, die eine Beteiligung von Aufmerksamkeit ausschließen und Modelle, in denen Aufmerksamkeit eine zentrale Rolle beim kurzfristigen Behalten spielt (siehe auch Buchner, Bell, Rothermund, & Wentura, 2008; Buchner & Erdfelder, 2005; Buchner, Mehl, Rothermund, & Wentura, 2006; Buchner, Rothermund, Wentura, & Mehl, 2004; Elliott, 2002; Lange, 2005). In der vorliegenden Arbeit wurde daher untersucht, ob Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten beteiligt ist oder nicht (*Aufmerksamkeitsfrage*). Ziel war es, zur Unterscheidung der beiden Kategorien von Arbeitsgedächtnismodellen und damit zur Anwendbarkeit des Konzepts Arbeitsgedächtnis beizutragen.

2 Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse

Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse besteht aus einer Abnahme der kurzfristigen Erinnerungsleistung. In einer typischen Aufgabenstellung sehen die Teilnehmer eine Abfolge von Items – zum Beispiel Ziffern. Im Anschluss daran sollen sie die Ziffern in der Reihenfolge ihrer Präsentation wiedergeben. Hören die Teilnehmer während dieser Aufgabe irrelevante auditive Ereignisse – zum Beispiel Wörter – erinnern sie im Vergleich zu einer Bedingung ohne Wörter (*Ruhebedingung*) deutlich weniger Ziffern in der richtigen Reihenfolge. Dieser Effekt tritt auf, obwohl die Teilnehmer wissen, dass die Wörter für die Aufgabe völlig irrelevant sind.

Entscheidend für die Überprüfung der Aufmerksamkeitsfrage ist, ob der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse auf eine spezifische Beeinträchtigung des kurzfristigen Behaltens zurückgeht oder nicht. Eine mögliche Alternativerklärung für das Störpotential irrelevanter auditiver Ereignisse stammt aus der frühen Lärmforschung. Lauter Lärm kann den psychophysiologischen Aktivierungszustand steigern (siehe Jones, 1990; Jones & Broadbent, 1991). Dieser steht wiederum in einem u-förmigen Zusammenhang zum allgemeinen Leistungsniveau. Zuerst steigt die Leistung an und fällt nach Überschreiten eines Optimums mit zunehmendem Aktivierungsgrad wieder ab (Hebb, 1955; Malmö, 1959; Yerkes & Dodson, 1908). Entsprechend zeigte die frühe Lärmforschung, dass lautes Breitbandrauschen Leistungen in ganz verschiedenen Aufgaben verringern kann (siehe Jones & Broadbent, 1991; Smith & Jones, 1992). Daher ist es möglich, dass irrelevante auditive Ereignisse durch einen zu hohen Grad an Aktivierung die allgemeine Leistungsfähigkeit verschlechtern und dadurch nur indirekt zu einer geringeren Erinnerungsleistung führen. Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse tritt jedoch schon bei moderaten Intensitäten auf. Beispielsweise zeigte Colle (1980) den Effekt auch bei einer Intensität von 48 dB (A). Hinzu kommt, dass das Ausmaß des Effekts auch bei der Variation der Intensität zwischen 48 und 76 dB (A) unverändert blieb. Vergleichbare Ergebnisse berichteten auch Salamé und Baddeley (1987) und Ellermeier und Hellbrück (1998). Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse ist also unabhängig von der absoluten Lautstärke. Eine Veränderung des psychophysiologischen Aktivierungszustandes als Basis des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse ist daher unwahrscheinlich.

Das Behalten von Ereignissen ist nur *ein* notwendiger Schritt zur Bewältigung einer kurzfristigen Gedächtnisaufgabe. Daneben sind die Aufnahme der Ereignisse, das Übersetzen dieser Ereignisse in ein kognitives Format (*Enkodierung*) und das Abrufen der behaltenen Ereignisse zum erforder-

lichen Zeitpunkt wichtig. Prinzipiell könnten irrelevante auditive Ereignisse jeden dieser Schritte stören. Verschiedene Untersuchungen belegten jedoch bereits das Gegenteil: Miles, Jones und Madden (1991, Exp. 1) boten irrelevante Sprache nur während der Präsentation, dem anschließenden Behalten oder Abrufen einer Buchstabenfolge dar. Irrelevante Sprache während der Abrufphase störte die Erinnerungsleistung nicht. Eine Beeinträchtigung von Abrufprozessen ist also ausgeschlossen. Sprache während der Präsentations- oder Behaltensphase führte jedoch zu Leistungseinbußen. Während der Präsentation müssen die Teilnehmer die eintreffende Buchstabenfolge aufnehmen, enkodieren und behalten. Ein Einfluss von irrelevanter Sprache in dieser Zeit kann daher nicht auf einen bestimmten Prozess beschränkt werden. Mit Beginn der Behaltensphase sind jedoch die Aufnahme und Enkodierung der Ereignisse bereits abgeschlossen. Ein Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse in dieser Phase muss daher auf einen Einfluss auf das kurzfristige Behalten zurückgehen. Darüber hinaus zeigten Miles und Kollegen (1991, Exp. 1), dass irrelevante auditive Ereignisse sogar in erster Linie den Prozess des kurzfristigen Behaltens stören: Die Beeinträchtigung zusätzlicher Prozesse während der Präsentation hätte zu zusätzlichen Leistungseinbußen führen müssen. Das Ausmaß des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse war jedoch zwischen Präsentations- und Behaltensphase vergleichbar. Dies wurde bereits in verschiedenen Untersuchungen bestätigt (Beaman & Jones, 1998; Buchner et al., 2004; LeCompte, 1994, 1996; Macken, Mosdell, & Jones, 1999; Norris, Baddeley, & Page, 2004).

Insgesamt zeigt die empirische Befundlage, dass irrelevante auditive Ereignisse speziell das kurzfristige Behalten beeinträchtigen. Gleichzeitig bietet die experimentelle Anordnung einen einfachen Weg den Einfluss von Aufmerksamkeit abzuschätzen - nämlich durch den Vergleich der störenden Wirkung von auditiven Ereignissen, die typischerweise viel oder wenig Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse ist daher besonders gut geeignet, den Einfluss von Aufmerksamkeit auf das kurzfristige Behalten zu überprüfen.

3 Das kurzfristige Behalten im Arbeitsgedächtnis

Unterschiedliche Arbeitsgedächtnismodelle enthalten verschiedene Annahmen darüber, wie das kurzfristige Behalten funktioniert. Daraus folgen auch unterschiedliche Vorstellungen über die Ursache des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse. Nach dem *Modell multipler Komponenten* (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999) und dem *objektorientierten episodischen Speichermodell* (Jones, 1993, 1999) ist eine Beteiligung von Aufmerksamkeit beispielsweise aus-

geschlossen. Nach dem *Merkmalmmodell* (Nairne, 1988, 1990; Neath, 1999, 2000) und dem *Modell eingebetteter Prozesse* (Cowan, 1988, 1997, 1999) stören irrelevante auditive Ereignisse umso mehr, je mehr Aufmerksamkeit sie einnehmen. Es ist günstig, den Zusammenhang zwischen dem kurzfristigen Behalten und dem Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse im Rahmen jedes Modells genauer zu betrachten. Denn daraus ergibt sich ein geeigneter Weg, die empirische Angemessenheit bestehender Arbeitsgedächtnismodelle anhand der Aufmerksamkeitsfrage zu prüfen.

3.1 Das Modell multipler Komponenten

Nach dem Modell multipler Komponenten (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999) besteht das Arbeitsgedächtnis aus klar unterscheidbaren Komponenten. Die *zentrale Exekutive* übernimmt als übergeordnete Kontrollstruktur alle Aufgaben, die über das Speichern und Behalten von Ereignissen hinausgehen. Dazu gehören die Verarbeitung eingehender Ereignisse, die Steuerung von Aufmerksamkeit und die Aktivierung von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis. Das Speichern und Behalten von Ereignissen findet in spezialisierten Komponenten statt. Die *phonologische Schleife* übernimmt diese Aufgabe beispielsweise für verbal codierbare Ereignisse; der *visuell-räumliche Notizblock* für visuell und/oder räumlich codierbare Ereignisse. Der Aufbau von Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis gelingt mit Hilfe der Prozesse, die auch an der Wahrnehmung der entsprechenden Ereignisse beteiligt sind. Dieser Aufbau enthält eine Aktivierung der Repräsentationen. Je stärker eine Repräsentation aktiviert ist, desto besser sind deren Inhalte abrufbar. Kürzlich wahrgenommene Ereignisse sind durch die anfängliche Aktivierung leicht verfügbar. Innerhalb weniger Sekunden lässt jedoch die Aktivierung nach, so dass der erfolgreiche Abruf von Ereignissen zeitlich begrenzt ist. Die Verfügbarkeit einer Repräsentation kann jedoch durch Reaktivierung verlängert werden. Diese Reaktivierungsprozesse sind mit den Prozessen vergleichbar, die auch Antworten und Handlungen erzeugen. Die phonologische Schleife und der visuell-räumliche Notizblock verfügen über jeweils eigene kognitive Ressourcen, die andere Komponenten des Arbeitsgedächtnisses nicht nutzen können. Daraus folgt, dass die Arbeit dieser Komponenten parallel zu und ungehindert von anderen kognitiven Aufgaben verlaufen kann. Das ursprüngliche Modell multipler Komponenten (Baddeley & Hitch, 1974) enthielt die Annahme, dass die zentrale Exekutive das Speichern und Behalten von Ereignissen durch das Zuteilen allgemeiner kognitiver Ressourcen unterstützt. Diese Annahme wurde aber verwor-

fen (siehe Baddeley & Logie, 1999), so dass Aufmerksamkeitsprozesse nach der aktuellen Version des Modells vom Speichern und Behalten von Ereignissen ausgeschlossen sind.

Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse entsteht nach dem Modell multipler Komponenten in der phonologischen Schleife (Baddeley & Salamé, 1986; Salamé & Baddeley, 1982, 1989). Prozesse der visuellen Objektwahrnehmung bilden visuell codierte Repräsentationen der zu erinnernden Items – wie etwa Ziffern. Dadurch gelangen die Ziffern zunächst in den visuellen Speicher des visuell-räumlichen Notizblocks. Sie werden aber nicht von der Reaktivierungseinheit des visuell-räumlichen Notizblockes – dem inneren Skript – bereitgehalten, sondern in den artikulatorischen Kontrollprozess der phonologischen Schleife überführt. Durch inneres Sprechen werden die Ziffern in eine Lautform übersetzt (*phonologische Rekodierung*). Dahinter steht die Annahme, dass verbalisierbare visuelle Ereignisse im Arbeitsgedächtnis vorzugsweise in phonologischer Form gespeichert werden (Baddeley, 1966; Salamé & Baddeley, 1982, 1986). Diese Annahme beruht auf der Beobachtung, dass phonologische Faktoren das Erinnern von verbalisierbaren visuellen Ereignissen in der Regel stärker beeinflussen als visuelle Faktoren. Zum Beispiel berichtete Baddeley (1966), dass die Teilnehmer visuell präsentierte phonologisch ähnliche Wörter schlechter erinnerten als phonologisch unähnliche Wörter. Wörter ähnlicher Schreibweise aber unterschiedlicher Aussprache beeinflussten die Erinnerungsleistung dagegen nicht. Durch die phonologische Rekodierung gelangen die Repräsentationen der Ziffern in den phonologischen Speicher. Von hier werden sie mit Hilfe des artikulatorischen Kontrollprozesses bis zum Abruf immer wieder reaktiviert.

Prozesse der Sprachwahrnehmung ermöglichen den Aufbau von Repräsentationen der irrelevanten auditiven Ereignisse – wie zum Beispiel Wörter. Irrelevante Wörter liegen dadurch sofort in phonologischer Form vor und gelangen direkt in den phonologischen Speicher. Die gleichzeitige Anwesenheit von relevanten und irrelevanten Repräsentationen im phonologischen Speicher führt zu Konfusion. Daraus folgt die beeinträchtigte Erinnerung an relevante visuelle Ereignisse in Gegenwart irrelevanter auditiver Ereignisse. Da die phonologische Schleife als eigenständige Komponente von der Zuteilung allgemeiner kognitiver Ressourcen unabhängig ist, ist Aufmerksamkeit nach dem Modell multipler Komponenten weder am kurzfristigen Behalten verbalisierbarer Ereignisse noch am Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse beteiligt. Irrelevante auditive Ereignisse stören, da sie automatisch in den gleichen Repräsentationsraum gelangen wie die relevanten visuellen Ereignisse. Der Einfluss irrelevanter auditiver Ereignisse auf das Behalten von

relevanten visuellen Ereignissen nach dem Modell multipler Komponenten (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999) ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

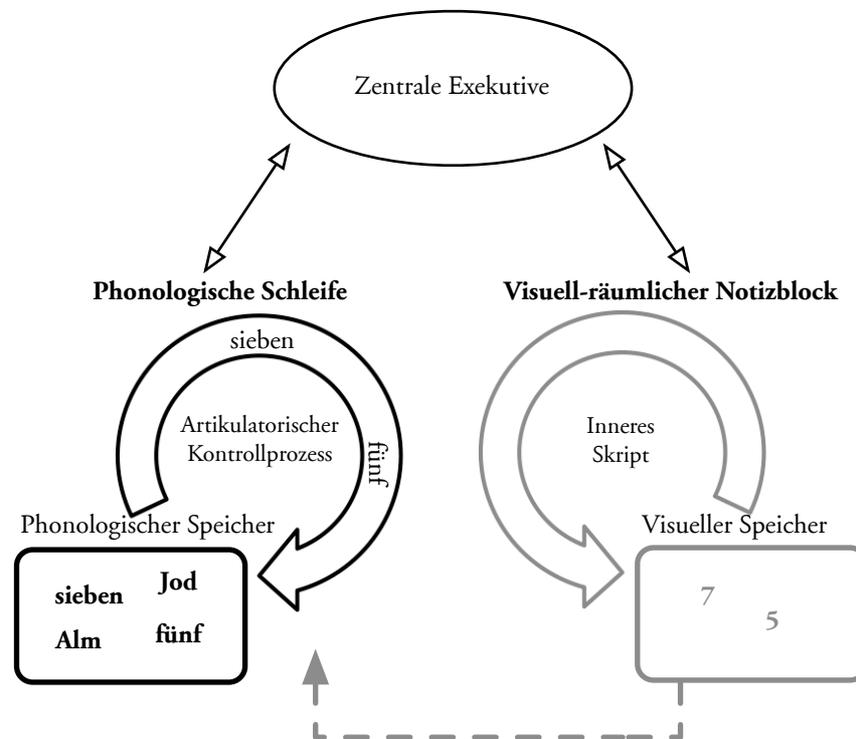


Abbildung 1: Der Einfluss irrelevanter auditiver Ereignisse auf das Behalten von relevanten Ereignissen nach dem Modell multipler Komponenten (nach Baddeley & Logie, 1999, eigene Übersetzung). Visuelle Ereignisse werden mit Hilfe des artikulatorischen Kontrollprozesses phonologisch rekodiert und gelangen so in den phonologischen Speicher. Akustische Ereignisse treten sofort in den phonologischen Speicher ein und interferieren dort mit den Repräsentationen der visuellen Ereignisse.

Die phonologische Konfusion sollte umso stärker sein, je höher die phonologische Ähnlichkeit zwischen den irrelevanten auditiven und relevanten visuellen Ereignissen ist. Diese Vorhersage bestätigte das Experiment 5 von Salamé und Baddeley (1982). Die Teilnehmer sollten eine Folge von neun Ziffern entweder in Ruhe oder während der akustischen Präsentation von identischen (Ziffern), phonologisch ähnlichen oder phonologisch unähnlichen Wörtern behalten. Tatsächlich störten identische und phonologisch ähnliche Wörter das kurzfristige Behalten stärker als phonologisch unähnliche Wörter. Problematisch ist jedoch, dass die phonologisch unähnlichen Wörter in diesem Experiment insgesamt länger waren als die identischen oder phonologisch ähnlichen Wörter. Dadurch war die Anzahl phonologisch unähnlicher Wörter pro Durchgang vergleichsweise geringer. Mittlerweile ist aber erwiesen, dass die Beeinträchtigung mit der Anzahl irrelevanter auditiver Ereignisse steigt (Bridges & Jones, 1996). Die Konfundierung der phonologischen Ähnlichkeit mit der Anzahl irrelevanter auditiver Ereignisse in dem Experiment 5 von Salamé

und Baddeley (1982) ist wahrscheinlich der Grund dafür, dass der Effekt phonologischer Ähnlichkeit in nachfolgenden Untersuchungen nicht noch einmal gezeigt werden konnte (Bridges & Jones, 1996; Buchner, Irmen, & Erdfelder, 1996; Jones & Macken, 1995c; Larsen, Baddeley, & Andrade, 2000; LeCompte & Shaibe, 1997). Daher ist die aktuelle empirische Befundlage derzeit nicht mit der phonologischen Erklärung für den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse vereinbar.

3.2 Das objektorientierte episodische Speichermodell

Das objektorientierte episodische Speichermodell (Jones, 1993, 1999) stimmt besser mit der aktuellen empirischen Befundlage zum Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse überein. Danach besteht das Arbeitsgedächtnis aus einem allgemeinen Repräsentationsraum – der sogenannten *Schreibtafel*. Die Besonderheit der Schreibtafel besteht darin, dass Ereignisse aller Sinnesmodalitäten hier in identischer Art und Weise abgebildet werden. Es ist also nur ein allgemeiner Code für Ereignisse aus verschiedenen Sinnesmodalitäten nötig. Um die Neutralität dieser Repräsentationsform zu unterstreichen, bezeichnete Jones (1993, 1999) Repräsentationen von Ereignissen auf der Schreibtafel als *Objekte*. Perzeptuelle Prozesse organisieren die Reizumgebung zu zusammengehörigen Ereignissen. Jedes Ereignis aktiviert ein entsprechendes Objekt auf der Schreibtafel. Die perzeptuelle Organisation der Reizumgebung bestimmt also die Anzahl der Objekte auf der Schreibtafel. Episodische Verweise zwischen Objekten bilden die zeitliche Abfolge wahrgenommener Ereignisse ab. Diese Verweise werden mit Hilfe eines Seriationsprozesses gebildet, der im Falle visueller Ereignisse willentlich eingeleitet wird, im Falle akustischer Ereignisse automatisch abläuft. Wichtig ist, dass der Inhalt von Objekten unbegrenzt auf der Schreibtafel erhalten bleibt, der Abruf dieses Inhaltes jedoch nur bei intakten episodischen Verweisen möglich ist. Diese Verweise zerfallen mit der Zeit und müssen nach ihrem Aufbau reaktiviert werden, um die Dauer des kurzfristigen Behaltens zu verlängern. Auch dafür ist der Seriationsprozess notwendig. Das kurzfristige Behalten von Ereignissen ist also von der erfolgreichen Arbeit des Seriationsprozesses und der Unversehrtheit der relevanten episodischen Verweise abhängig.

Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse auf das kurzfristige Behalten beruht nach dem objektorientierten episodischen Speichermodell (Jones, 1993, 1999) darauf, dass die irrelevanten auditiven Objekte automatisch den Seriationsprozess in Anspruch nehmen, der für den Aufbau und das Aufrechterhalten der episodischen Verweise zwischen den relevanten Objekten unverzichtbar ist. Gleichzeitig entstehen dadurch irrelevante Verweise, die mit den relevanten Verweisen interferieren können. Eine zu erinnernde visuelle Reizsituation – wie eine Abfolge von Ziffern – wird im

Zuge der Wahrnehmung und des inneren Sprechens (*Rehearsal*) in einzelne Ereignisse, hier einzelne Ziffern, zerteilt (*Segmentierung*). Jede Ziffer aktiviert ein entsprechendes Objekt auf der Schreiftafel. Beim inneren Sprechen greifen die Teilnehmer auf den Seriationsprozess zurück, der den Aufbau der episodischen Verweise zwischen den relevanten Objekten gewährleistet. Die Teilnehmer führen das innere Sprechen bis zum Zeitpunkt des Abrufes fort, um die episodischen Verweise zu erhalten. Eine akustische Reizsituation, wie etwa eine Abfolge von Wörtern, wird über Prozesse der akustischen Wahrnehmung präattentiv in einzelne Ereignisse segmentiert. Auch sie aktivieren entsprechende Objekte auf der Schreiftafel. Entscheidend ist, dass sie den Seriationsprozess automatisch in Anspruch nehmen und dadurch den Aufbau und das Aufrechterhalten der relevanten Verweise stören.

Aus der Annahme, dass irrelevante auditive Ereignisse präattentiv verarbeitet werden (Jones, 1993, 1999), ergibt sich, dass irrelevante auditive Ereignisse grundsätzlich keine Aufmerksamkeit beanspruchen sollten. Diese Annahme wurde allerdings kürzlich durch eine Untersuchung von Hughes, Vachon und Jones (2005) abgeschwächt. Sie zeigten, dass eine deutliche zeitliche Abweichung in einer ansonsten regelmäßigen Folge irrelevanter auditiver Ereignisse zu einer Verschlechterung der seriellen Reproduktionsleistung führt. Hughes und Kollegen (2005) erklärten diesen Effekt als Folge einer Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit durch die Abweichung und räumten damit ein, dass irrelevante auditive Ereignisse nicht immer präattentiv verarbeitet werden. Allerdings gingen sie davon aus, dass dieser Aufmerksamkeitseffekt auf einer Beeinträchtigung der Wahrnehmung und Enkodierung und nicht auf einem Einfluss auf das eigentlich Behalten der relevanten Ereignisse beruht. Diese Schlussfolgerung basierte auf dem Befund, dass eine Abweichung die serielle Reproduktionsleistung nicht veränderte, wenn die irrelevanten auditiven Ereignisse lediglich in der Behaltensphase auftraten. Die ursprüngliche Annahme, dass das kurzfristige Behalten von der Verfügbarkeit allgemeiner Aufmerksamkeitsressourcen unabhängig ist (siehe z.B. Jones, 1999, p. 180), änderten Hughes und Kollegen (2005) daher nicht. Nach Jones (1993, 1999) sollte stattdessen die Inanspruchnahme des Seriationsprozesses durch irrelevante auditive Objekte und die Anzahl daraus resultierender irrelevanter Verweise die beeinträchtigende Wirkung irrelevanter auditiver Ereignisse bestimmen (*prozessorientierte Erklärung des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse*). Der Einfluss irrelevanter auditiver Ereignisse auf das Behalten von relevanten visuellen Ereignissen nach dem objektorientierten episodischen Speichermodell (Jones, 1993, 1999) ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

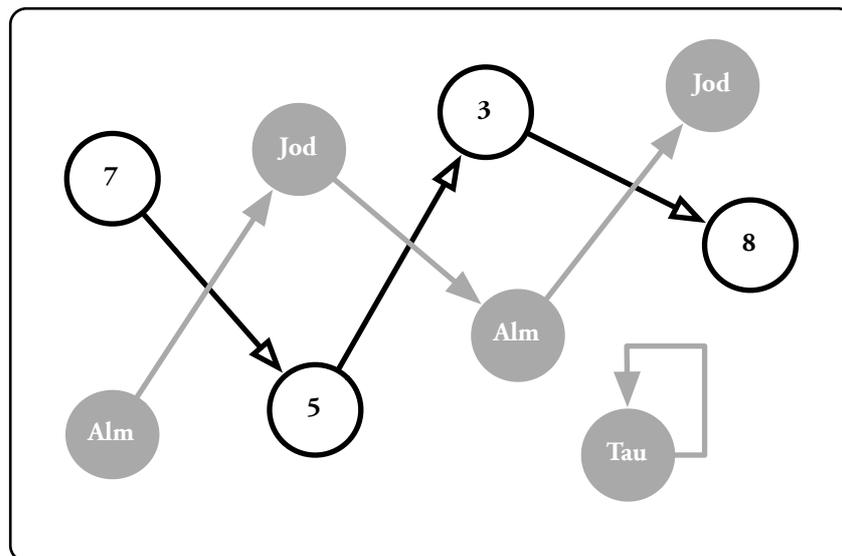
Schreibtafel

Abbildung 2: Der Einfluss irrelevanter auditiver Ereignisse auf das Behalten relevanter visueller Ereignisse nach dem objektorientierten episodischen Speichermodell (nach Jones, 1993, eigene Visualisierung). Visuelle und akustische Ereignisse gelangen als Objekte auf die Schreibtafel. Auditive Objekte (grau) beanspruchen automatisch den Seriationsprozess, der eigentlich für den Aufbau und die Reaktivierung der episodischen Verweise zwischen den visuellen Objekten (schwarz-weiß) benötigt wird. Ein wiederholtes auditives Ereignis (Tau) führt nur zu einem irrelevanten Objekt. Entsprechend gering ist die Beanspruchung des Seriationsprozesses.

Je mehr irrelevante auditive Objekte vorliegen, desto stärker beanspruchen sie den Seriationsprozess. Zustandsveränderungen in der akustischen Reizumgebung – wie etwa ein plötzlicher Wechsel der Frequenz – weisen auf den Beginn eines neuen auditiven Ereignisses hin (Jones, 1993, 1999). Sie werden auf perzeptueller Ebene entdeckt und für die Bildung von auditiven Ereignissen genutzt. Da die Anzahl der entdeckten auditiven Ereignisse die Anzahl der irrelevanten Objekte auf der Schreibtafel bestimmt, sollte die Anzahl der Zustandsveränderungen in der irrelevanten auditiven Reizumgebung den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse maßgeblich beeinflussen. Diese Annahme belegten erstmals Jones, Madden und Miles (1992). In Experiment 3 verglichen sie das Störpotential von vier wechselnden Silben und einer wiederholten Silbe während der seriellen Erinnerung an Buchstaben. Die Teilnehmer erinnerten weniger Buchstaben, wenn sie wechselnde Silben statt Ruhe hörten. Die wiederholte Silbe beeinträchtigte das kurzfristige Erinnern jedoch nicht. Jones und Kollegen (1992) führten dieses Ergebnis darauf zurück, dass wiederholte Silben im Gegensatz zu wechselnden Silben keine ausreichenden Zustandsveränderungen enthalten. Daher entstanden nur durch die wechselnden Silben verschiedene Objekte auf der Schreibtafel, die den Seriationsprozess automatisch beanspruchten.

Eine Experimentalreihe von Bridges und Jones (1996) bestätigte den bedeutenden Einfluss von Zustandsveränderungen auf das Ausmaß des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse. Sie hielten die Dauer der seriellen Reproduktionsaufgabe konstant, veränderten aber die absolute Anzahl irrelevanter Buchstaben (*Distraktordosis*). Die Beeinträchtigung des kurzfristigen Behaltens stieg mit zunehmender Distraktordosis – allerdings nur, wenn die Teilnehmer verschiedene Buchstaben im Wechsel hörten. Ein wiederholter Buchstabe störte dagegen nicht – selbst wenn die Distraktordosis hoch war. Dieses Befundmuster zeigt, dass die wiederholte Darbietung eines irrelevanten auditiven Ereignisses keine ausreichenden Zustandsveränderungen enthält. Dadurch führt die Steigerung der Distraktordosis in diesem Fall nicht zu einer erhöhten Anzahl an Zustandsveränderungen, so dass eine Veränderung der Distraktordosis wirkungslos ist. Die Anzahl an Zustandsveränderungen beeinflusst nicht nur die beeinträchtigende Wirkung von irrelevanter Sprache, sondern auch von einfachen Tönen (Jones & Macken, 1993). Daraus ergibt sich, dass Veränderungen im Sprachgehalt oder der Bedeutung keine notwendige Bedingung für den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse darstellen. Stattdessen sind physikalische Zustandsveränderungen entscheidend.

Der Einfluss von Zustandsveränderungen hat sich als ebenso robust erwiesen wie der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse selbst und wurde bereits mehrfach berichtet (Campbell, Beaman, & Berry, 2002; Hughes, Tremblay, & Jones, 2005; Jones, 1994; Jones, Alford, Macken, Banbury, & Tremblay, 2000; Jones & Macken, 1995a, 1995b, 1995c; Jones, Macken, & Murray, 1993). Trotzdem hilft der Effekt der Zustandsveränderungen nicht bei der Entscheidung der Aufmerksamkeitsfrage. Denn Arbeitsgedächtnismodelle, nach denen allgemeine Aufmerksamkeitsressourcen für das erfolgreiche Behalten von Ereignissen benötigt werden, liefern eine ebenso plausible Erklärung wie die prozessorientierte Erklärung des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse von Jones (1993, 1999).

3.3 Das Merkmalmodell

Das Merkmalmodell (Nairne, 1988, 1990; Neath, 1999, 2000) ist ein Beispiel für ein Modell, nach dem Zustandsveränderungen das kurzfristige Behalten durch eine Zunahme der beanspruchten Aufmerksamkeitsressourcen beeinträchtigen. Charakteristisch für dieses Modell ist die Art und Weise, in der Ereignisse im Gedächtnis abgebildet werden. Nairne (1988, 1990) und Neath (1999, 2000) beschreiben Gedächtnisrepräsentationen als eine Liste der Merkmale (*Merkmalsvektoren*), aus denen ein Ereignis besteht. Die Abbildung von Ereignissen in Form von

Merkmalsvektoren ist vergleichbar mit der Darstellung von Bildern auf einem Schwarz-Weiß-Fernseher. Ein Bild wird durch eine bestimmte Anzahl schwarzer oder weißer Pixel dargestellt. Die Farbe eines Pixels ist einzeln betrachtet bedeutungslos. Das Gesamtmuster der Pixel in einer bestimmten Anordnung jedoch ergibt ein konkretes Bild. In Analogie dazu können Merkmale eines Vektors die Ausprägungen 1 und -1 annehmen. Einzeln bedeutungslos ergibt das Gesamtmuster von Merkmalen ein bestimmtes Ereignis. Der Verlust einzelner Merkmale – im Modell durch 0 dargestellt – ist vergleichbar mit einem defekten Pixel. Der Verlust von einzelnen Merkmalen oder Pixeln ist erst dann kritisch, wenn das Gesamtmuster dadurch an Eindeutigkeit verliert. Neben verschiedenen Merkmalsausprägungen unterscheiden Nairne (1988, 1990) und Neath (1999, 2000) zwei Arten von Merkmalen. Modalitätsabhängige Merkmale bilden die Umstände zum Zeitpunkt des Auftretens eines Ereignisses ab. Dies sind einerseits Merkmale, die das Ereignis an sich betreffen, wie der akustische Ursprung eines Geräuschs; aber auch kontextbezogene Umstände, wie der Ort des Auftretens dieses Geräusches. Modalitätsunabhängige Merkmale werden beim kurzfristigen Erinnern vor allem durch inneres Sprechen erzeugt, aber auch andere intern erstellte Eigenschaften gehören dazu - wie die Bedeutung eines Ereignisses. Wichtig ist, dass Interferenzen nur zwischen Merkmalen gleicher Art auftreten können – zum Beispiel zwischen zwei modalitätsabhängigen Merkmalen.

Nach dem Merkmalmodell (Nairne, 1988, 1990; Neath, 1999, 2000) umfasst das Gedächtnis zwei Speichereinheiten – das primäre und das sekundäre Gedächtnis. Ereignisse werden automatisch in beiden Speichereinheiten abgebildet. Merkmalsvektoren im primären Gedächtnis sind in der Regel unvollständig. Das liegt daran, dass Merkmale früher angelegter Vektoren ähnliche Merkmale später angelegter Vektoren im primären Gedächtnis mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit überschreiben (*retroaktive Interferenz*). Das Überschreiben führt zum Verlust von Merkmalen in früher angelegten Vektoren – repräsentiert durch eine Null im Vektor. Das Speichern von Ereignissen im primären Gedächtnis ist also aufgrund von retroaktiver Interferenz kurzfristig. Dagegen bleiben Merkmalsvektoren im sekundären Gedächtnis unbegrenzt erhalten. Dafür sind Ereignisse in dieser Speichereinheit nicht direkt zugänglich. Merkmalsvektoren des primären Gedächtnisses dienen als Hinweise für eine ähnlichkeitsbasierte Suche nach einem bestimmten sekundären Merkmalsvektor. Der sekundäre Vektor mit der höchsten Ähnlichkeit – das heißt mit der höchsten Anzahl identischer Merkmale bzw. der niedrigsten Anzahl verschiedener Merkmale relativ zur Gesamtzahl der verglichenen Merkmale – wird für das Behalten oder den Abruf eines bestimmten Ereignis ausgewählt. Der Erfolg dieses Suchprozesses hängt von zwei

Faktoren ab. Je mehr eindeutige Merkmale der primäre Vektor enthält, desto wahrscheinlicher ist die Auswahl des richtigen sekundären Vektors. Das Überschreiben eindeutiger Merkmale im primären Gedächtnis führt also zu einer Beeinträchtigung des kurzfristigen Behaltens und des Abrufens eines bestimmten Ereignisses. Andererseits beeinflusst das Ausmaß an verfügbaren Aufmerksamkeitsressourcen den Abgleich zwischen primären und sekundären Vektoren. Je mehr Aufmerksamkeit zur Verfügung steht, desto besser gelingt die Unterscheidung zwischen ähnlichen Merkmalen, desto wahrscheinlicher ist die Auswahl des richtigen sekundären Vektors. Der Erfolg des kurzfristigen Behaltens hängt also auch davon ab, wie viel Aufmerksamkeit zur Verfügung steht.

Nach dem Merkmalmodell (Nairne, 1988, 1990; Neath, 1999, 2000) beeinträchtigen irrelevante auditive Ereignisse das kurzfristige Erinnern, da sie den Abgleich zwischen primären und sekundären Merkmalsvektoren erschweren. Sowohl die relevanten Ziffern als auch die irrelevanten Wörter werden als Merkmalsvektoren im primären und sekundären Gedächtnis angelegt. Die Merkmale jedes bereits bestehenden primären Vektors können von Merkmalen der nachfolgenden primären Vektoren überschrieben werden. Die irrelevanten Wörter sind also eine zusätzliche Quelle retroaktiver Interferenz. Entsprechend sollten die Vollständigkeit der relevanten primären Vektoren und damit die Wahrscheinlichkeit zur Auswahl des richtigen sekundären Vektors in Anwesenheit irrelevanter primärer Vektoren geringer sein. Da das Überschreiben auf der Ähnlichkeit zwischen Merkmalen beruht, erklärt dieser Mechanismus vor allem den Effekt irrelevanter Sprache auf das Erinnern verbaler Ereignisse. Der beeinträchtigende Effekt von irrelevanten Tönen kann im Rahmen des Merkmalmodells besser durch eine Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit erklärt werden. Dadurch stehen weniger Aufmerksamkeitsressourcen für den Abgleich zwischen primären und sekundären Vektoren zur Verfügung, so dass die Wahrscheinlichkeit für die Auswahl der korrekten sekundären Vektoren sinkt. Eine analoge Wirkung sollten Zustandsveränderungen in der auditiven Reizsituation haben. Die prozessorientierte Hypothese von Jones (1993, 1999) ist damit nicht die einzige plausible Erklärung für den äußerst robusten Einfluss von Zustandsveränderungen auf die störende Wirkung irrelevanter auditiver Ereignisse. Der Einfluss irrelevanter auditiver Ereignisse auf das Behalten von relevanten visuellen Ereignissen nach dem Merkmalmodell (Nairne, 1988, 1990; Neath, 1999, 2000) ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

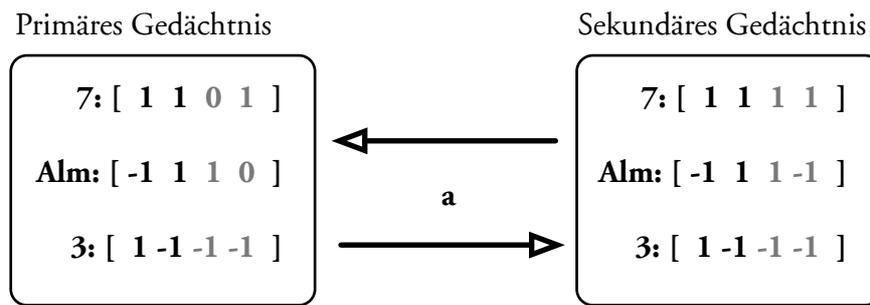


Abbildung 3: Der Einfluss irrelevanter auditiver Ereignisse auf das Behalten relevanter visueller Ereignisse nach dem Merkmalmodell (nach Nairne, 1990, eigene Übersetzung). Visuelle und auditive Ereignisse werden gleichzeitig im primären und sekundären Gedächtnis als Vektoren abgebildet – dabei stehen 1 und -1 für intakte Merkmale, 0 dagegen für überschriebene Merkmale. Irrelevante Vektoren (Alm) erhöhen die retroaktive Interferenz im primären Gedächtnis. Dadurch kommt es dort zum vermehrten Überschreiben und Verlust relevanter Merkmale. Der Aufmerksamkeitsparameter a beeinflusst den Abgleichprozess zwischen primären und sekundären Vektoren.

Auf den ersten Blick scheint es so, als ob das Merkmalmodell schon an dem fehlenden Einfluss der phonologischen Ähnlichkeit zwischen relevanten und irrelevanten Ereignissen (Bridges & Jones, 1996; Buchner et al., 1996; Jones & Macken, 1995c; Larsen et al., 2000; LeCompte & Shaibe, 1997) scheitert. Schließlich ist nach dem Merkmalmodell das ähnlichkeitsbasierte Überschreiben eine wichtige Ursache für den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse. Tatsächlich kann man davon ausgehen, dass bei großer phonologischer Ähnlichkeit zwischen den irrelevanten und relevanten Ereignissen (z.B. Drei, Brei) mehr Merkmale überschrieben werden. Allerdings gehen dabei vor allem die Merkmale der relevanten Ereignisse (im Beispiel „rei“) verloren, die ohnehin weniger zur erfolgreichen Suche nach dem richtigen sekundären Vektor beitragen. Denn es sind die unähnlichen Merkmale (im Beispiel „D“ und „B“), die effektiv zwischen möglichen sekundären Vektoren unterscheiden. Aus diesem Grund stimmt das Ausbleiben eines Einflusses der phonologischen Ähnlichkeit zwischen relevanten und irrelevanten Ereignissen mit den Grundannahmen des Merkmalmodells überein (siehe Neath, 2000).

Auch für die Aufmerksamkeitskomponente des Merkmalmodells gibt es bereits erste Evidenzen. Buchner und Erdfelder (2005) zeigten, dass seltene irrelevante Wörter das kurzfristige Behalten mehr stören als häufige irrelevante Wörter. Nimmt man an, dass die Verarbeitung von seltenen Wörtern mehr Ressourcen beansprucht als die Verarbeitung häufiger Wörter, dann folgt, dass in Anwesenheit seltener irrelevanter Ereignisse weniger Aufmerksamkeitsressourcen für das Behalten der relevanten Ereignisse zur Verfügung stehen. Das hohe Störpotential seltener irrelevanter Wörter weist daher auf eine Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten hin. Für die

Aufmerksamkeitshypothese sprechen auch die Befunde von Buchner und Kollegen (2004). Sie zeigten, dass emotionshaltige Wörter das kurzfristige Behalten stärker stören als neutrale Wörter. Dieser Effekt trat auch bei Nicht-Wörtern ein, die vor der seriellen Reproduktionsaufgabe mit negativen Emotionen verbunden wurden (Buchner et al., 2006). Dieser Befund ist besonders überzeugend, da sich die irrelevanten auditiven Ereignisse in diesem Fall ausschließlich in Hinsicht auf ihren Emotionsgehalt unterschieden. Es bestehen bereits Belege dafür, dass emotionshaltige Ereignisse automatisch Aufmerksamkeit beanspruchen (Pratto, 1994; Pratto & John, 1991; Wentura, Rothermund, & Bak, 2000). Daher liegt die Annahme nahe, dass emotionshaltige irrelevante Ereignisse deswegen stärker stören als neutrale, weil sie Aufmerksamkeitsressourcen beanspruchen, die eigentlich für das Behalten der relevanten Ereignisse benötigt werden. Übereinstimmend mit diesen Befunden zeigten Buchner und Kollegen (2008), dass irrelevante auditive Ereignisse mehr stören, wenn sie aus der Richtung (vorne) kommen, in die die visuelle Aufmerksamkeit aufgrund der Reproduktionsaufgabe orientiert ist. Kommen sie dagegen aus der entgegengesetzten Richtung (hinten), stören sie weniger.

Entscheidend ist, dass Buchner und Kollegen (2004, Exp. 2) auch untersuchten, ob die Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit speziell das kurzfristige Behalten oder lediglich die Wahrnehmung und Enkodierung der relevanten Ereignisse moduliert. Tatsächlich trat der Einfluss des Emotionsgehaltes der irrelevanten auditiven Ereignisse auch dann auf, wenn die Teilnehmer sie lediglich in der Behaltensphase der seriellen Reproduktionsaufgabe hörten. Diese Befunde stehen jedoch im Widerspruch zu der Untersuchung von Hughes und Kollegen (2005). Hier verschlechterte eine zeitliche Abweichung innerhalb einer ansonsten regelmäßigen Abfolge irrelevanter auditiver Ereignisse die serielle Reproduktionsleistung nur, wenn sie während der Präsentationsphase auftrat (Experiment 1). Eine Abweichung während der Behaltensphase hatte diese Wirkung nicht (Experiment 2). Problematisch ist aber, dass Hughes und Kollegen (2005) den Unterschied zwischen der Beeinträchtigung in der Präsentations- und Behaltensphase zwischen zwei unterschiedlichen Experimenten verglichen. Schon der in der Regel robuste Unterschied zwischen einem wiederholten irrelevanten auditiven Ereignis und wechselnden auditiven Ereignissen (= Effekt von Zustandsveränderungen) war im zweiten Experiment ($\eta^2 = .37$) nur etwa halb so groß wie im ersten Experiment ($\eta^2 = .68$). Es ist wahrscheinlich, dass auch der vergleichsweise kleinere Effekt der Abweichung ($\eta^2 = .23$ in Exp. 1) entsprechend sank und deswegen nicht mehr nachgewiesen werden konnte. Im Gegensatz dazu verglichen Buchner und Kollegen (2004, Exp. 2) die Wirkung der Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit durch irrelevante auditive Ereignisse in Präsen-

tations- und Behaltensphase innerhalb eines Experiments und konnten keinen Unterschied feststellen. Dieser Befund scheint aufgrund der identischen Voraussetzungen zuverlässiger zu sein. Zusätzlich unterstützen die Ergebnisse von Buchner und Kollegen (2008, Exp. 2) die Annahme, dass Aufmerksamkeit speziell den Erfolg des kurzfristigen Behaltens modulieren kann. Denn der beschriebene Richtungseffekt trat auch ein, wenn die Teilnehmer die irrelevanten auditiven Ereignisse nur während der Behaltensphase hörten.

Zusammenfassend scheinen also auditive Ereignisse, die typischerweise mehr Aufmerksamkeit einnehmen, das kurzfristige Behalten stärker zu stören. Dieser Effekt stimmt auch mit den Annahmen des Modells eingebetteter Prozesse (Cowan, 1988, 1997, 1999) überein. In diesem Modell ist Aufmerksamkeit jedoch nicht bloß als eine Komponente vertreten, sie bildet hier die Basis des kurzfristigen Behaltens.

3.4 Das Modell eingebetteter Prozesse

Nach dem Modell eingebetteter Prozesse (Cowan, 1988, 1997, 1999) ist das Arbeitsgedächtnis in das Langzeitgedächtnis eingebettet. Es besteht aus allen Prozessen, die eine erhöhte Verfügbarkeit von Ereignissen gewährleisten. Der Aktivierungsgrad einer Repräsentation im Langzeitgedächtnis bestimmt die Verfügbarkeit des entsprechenden Ereignisses. Anhand des momentanen Aktivierungsgrades kann das Langzeitgedächtnis in drei Bereiche mit steigender Verfügbarkeit aufgeteilt werden – den inaktiven, den aktivierten und den fokussierten Bereich des Langzeitgedächtnisses. An der Aktivierung von Repräsentationen im Langzeitgedächtnis sind willentliche und automatische Prozesse gleichermaßen beteiligt. Die *zentrale Exekutive* bezeichnet alle Prozesse, die die willentliche Verarbeitung und Aktivierung von Repräsentationen ermöglichen. Dadurch gehen relevante Repräsentationen je nach Aktivierungsgrad in den *aktivierten Teil des Langzeitgedächtnisses* oder in den *Fokus der Aufmerksamkeit* über. Der Fokus der Aufmerksamkeit führt zu einer hochgradigen Aktivierung und intensiven Verarbeitung der Repräsentationen, so dass ein unmittelbarer Zugriff auf das Ereignis möglich ist.

Irrelevante Ereignisse aktivieren entsprechende Repräsentationen im Langzeitgedächtnis automatisch und bilden auf diese Weise ebenfalls vorübergehend einen Teil des aktivierten Gedächtnisses. Irrelevante Ereignisse können allerdings nur in den Fokus der Aufmerksamkeit gelangen, wenn sie eine Orientierungsreaktion auslösen. Cowan (1988, 1997, 1999) nimmt an, dass eine Habituation der Orientierungsreaktion als passiver Aufmerksamkeitsfilter dient. Diese Idee ist

angelehnt an das Konzept der Orientierungsreaktion von Sokolov (1963). Die Orientierungsreaktion umfasst eine Reihe behavioraler und autonomer Reaktionen – wie etwa die Anpassung der Blickrichtung und die Verringerung der Herzrate. Diese Reaktionen scheinen im Wesentlichen darauf ausgerichtet zu sein, die Wahrnehmung und Verarbeitung des auslösenden Reizes unwillentlich zu steigern. Entsprechend hat sich die Annahme etabliert, dass die Orientierungsreaktion automatisch zu einer Beanspruchung von Aufmerksamkeitsressourcen führt (siehe auch Näätänen, 1992, pp. 60-68; Öhman, 1979; Siddle, 1991). Die Wiederholung eines Reizmusters bewirkt zunächst durch eine wiederkehrende Orientierungsreaktion den Aufbau einer detaillierten Repräsentation dieses Reizmusters (*neurales Modell*). Sie kann spezifische Merkmale eines Reizes – wie die Intensität oder Frequenz eines Tons – aber auch Eigenschaften eines bestimmten Reizmusters – wie die Dauer und die Präsentationsrate zwei verschiedener Töne – enthalten (Cowan, 1997; Sokolov, 1963, 1975). Das neurale Modell stellt damit eine passive Erwartung in Bezug auf die künftige Reizsituation da.

Eine Orientierungsreaktion tritt auf, wenn neu eintreffende Reizmuster nicht mit dem bestehenden neuronalen Modell übereinstimmen (Sokolov, 1963, 1975). Dies ist der Fall, wenn sich eine Reizsituation verändert. Ein neues Ereignis vor einem monotonen Hintergrund – wie ein schrilles Klingeln, das plötzlich in der Stille auftaucht – stellt beispielsweise eine starke Abweichung zur bisherigen Reizsituation dar und löst daher eine deutliche Orientierungsreaktion aus. Aber auch ein wiederholtes Reizmuster löst solange eine Orientierungsreaktion aus, bis das neurale Modell so viele Merkmale enthält, dass es mit dem aktuell eintreffenden Reizmuster übereinstimmt. Die Vollständigkeit des neuronalen Modells nimmt durch die wiederholte Verarbeitung eines Reizmusters zu, die Stärke der Orientierungsreaktion nimmt dagegen ab – bis sie schließlich ganz ausbleibt (siehe Sokolov, 1963, 1975; Thompson & Spencer, 1966). Dieser Vorgang wird als *Habituation der Orientierungsreaktion* bezeichnet. Die Habituation der Orientierungsreaktion ist somit ein Mechanismus, der die Beanspruchung von Aufmerksamkeitsressourcen durch gleichbleibende und daher potentiell unwichtige Reize automatisch verringert.

Cowan (1988, 1997, 1999) nimmt zusätzlich an, dass auch besonders signifikante Reizmuster – wie etwa der eigene Name – eine Orientierungsreaktion auslösen können. Diese Reizmuster sind bereits detailliert neural repräsentiert und als wichtig markiert. In diesem Fall löst eine *Übereinstimmung* der aktuellen Reizsituation mit dem neuronalen Modell eine Orientierungsreaktion aus, die zur Beanspruchung von Aufmerksamkeit führt (siehe auch Gati & Ben Shakh, 1990;

Öhman, 1979; Siddle, 1991; Sokolov, 1975). Aufmerksamkeit ist jedoch nach dem Modell eingebetteter Prozesse (Cowan, 1988, 1997, 1999) eine kapazitätsbegrenzte Ressource. Das Fassungsvermögen des Aufmerksamkeitsfokus ist auf ca. zwei bis drei Items begrenzt. Gleichzeitig ist der Fokus der Aufmerksamkeit für das Behalten von Ereignissen unverzichtbar. Denn die Verfügbarkeit von Repräsentationen hängt von ihrem Aktivierungszustand ab. Ihre Aktivierung nimmt jedoch mit der Zeit automatisch ab, so dass eine Reaktivierung nötig ist. Das gelingt, indem die Repräsentationen über zentral-exekutive Prozesse immer wieder in den Fokus der Aufmerksamkeit überführt werden. Je weniger der Aufmerksamkeitsfokus für das kurzfristige Behalten von Ereignissen verfügbar ist, desto schlechter sollte das kurzfristige Behalten gelingen.

Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse beruht nach dem Modell eingebetteter Prozesse (Cowan, 1988, 1997, 1999) darauf, dass irrelevante auditive Ereignisse – wie etwa Wörter – automatisch Aufmerksamkeit beanspruchen, die für das Behalten der relevanten visuellen Ereignisse – wie etwa eine Folge von Ziffern – unverzichtbar ist. Die Ziffern aktivieren bei ihrer Präsentation automatisch entsprechende Repräsentationen im Langzeitgedächtnis. Um einen unmittelbaren Zugriff auf die Ziffern zum Zeitpunkt des Abrufs zu gewährleisten, werden sie über zentrale-exekutive Prozesse – wie beispielsweise das innere Sprechen (Rehearsal) – immer wieder in den Fokus der Aufmerksamkeit verschoben. Die intensive Verarbeitung im Fokus der Aufmerksamkeit führt zu einer hochgradigen Aktivierung der relevanten Repräsentationen. Die irrelevanten Wörter bilden durch ihre Präsentation ebenfalls vorübergehend einen Teil des aktivierten Gedächtnisses. Signifikante oder sich verändernde irrelevante auditive Ereignisse lösen aber auch eine Orientierungsreaktion aus. Dadurch beanspruchen zum Beispiel wechselnde Wörter zunächst den Fokus der Aufmerksamkeit und stören die Reaktivierung der Ziffern. Werden diese Wörter aber wiederholt, habituiert die Orientierungsreaktion, so dass die Wörter weniger Aufmerksamkeit beanspruchen. Dadurch steht mehr Aufmerksamkeit für das kurzfristige Behalten in Gegenwart habituerter anstatt nicht-habituerter irrelevanter auditiver Ereignisse zur Verfügung. Das kurzfristige Behalten sollte im ersten Fall besser gelingen. Der Einfluss irrelevanter auditiver Ereignisse auf das Behalten von relevanten visuellen Ereignissen nach dem Modell eingebetteter Prozesse (Cowan, 1988, 1997, 1999) ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

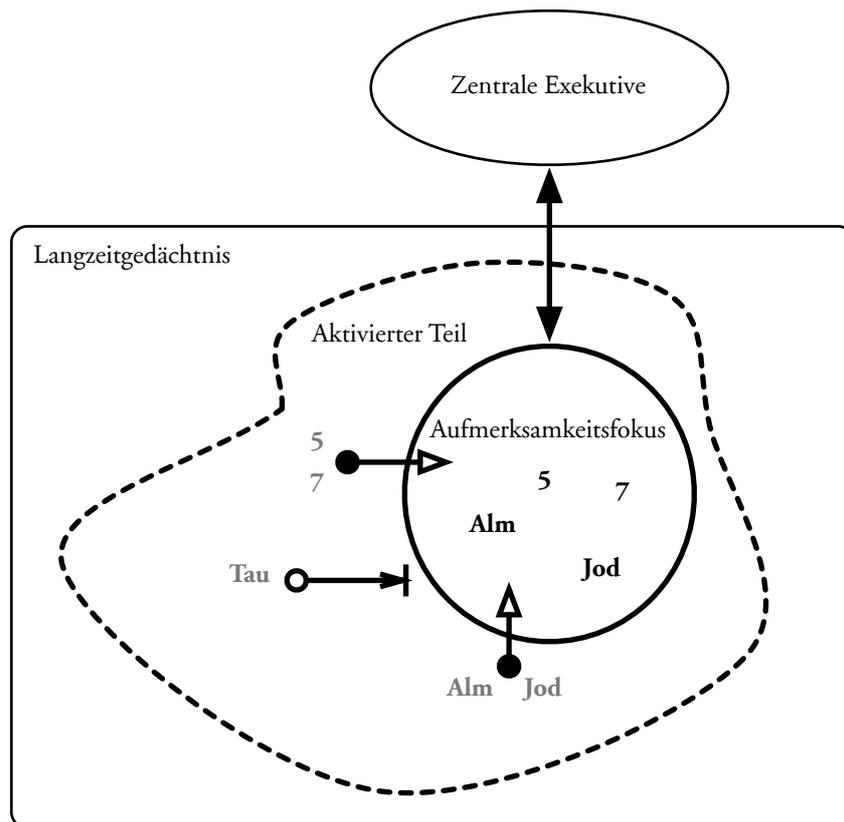


Abbildung 4: Der Einfluss irrelevanter auditiver Ereignisse auf das Behalten relevanter visueller Ereignisse nach dem Modell eingebetteter Prozesse (nach Cowan, 1999, eigene Übersetzung). Visuelle und auditive Ereignisse aktivieren entsprechende Repräsentationen im Langzeitgedächtnis. Die relevanten Ziffern gelangen willentlich in den Fokus der Aufmerksamkeit. Irrelevante Wörter beanspruchen automatisch den Fokus der Aufmerksamkeit, wenn sie eine Orientierungsreaktion auslösen (Alm, Jod). Habituierte irrelevante Wörter (Tau) haben dagegen keinen Einfluss auf den Fokus der Aufmerksamkeit.

Analog zur Aufmerksamkeitskomponente des Merkmalmodells (Nairne, 1988, 1990; Neath, 1999, 2000) ist das aufmerksamkeitsbasierte kurzfristige Behalten nach dem Modell eingebetteter Prozesse (Cowan, 1988, 1997, 1999) vereinbar mit dem Befund, dass signifikante irrelevante auditive Ereignisse das kurzfristige Behalten besonders stören (Buchner et al., 2008; Buchner & Erdfelder, 2005; Buchner et al., 2006; Buchner et al., 2004). Denn signifikante irrelevante auditive Ereignisse lösen eine Orientierungsreaktion aus, die die verfügbaren Aufmerksamkeitsressourcen für das kurzfristige Behalten verringert. Gleichzeitig stellt das aufmerksamkeitsbasierte kurzfristige Behalten nach dem Modell eingebetteter Prozesse genauso wie die Aufmerksamkeitskomponente des Merkmalmodells eine plausible Alternative zur prozessorientierten Erklärung des Einflusses von Zustandsveränderungen (Jones, 1993, 1999) dar. Denn die Wiederholung eines irrelevanten auditiven Ereignisses sollte zu einer Abnahme der Orientierungsreaktion durch Habi-

tuation führen. Zustandsveränderungen dagegen lösen eine Orientierungsreaktion aus, die das kurzfristige Behalten durch die Beanspruchung von Aufmerksamkeit stört.

Im Gegensatz zum Merkmalmodell (Nairne, 1988, 1990; Neath, 1999, 2000) enthält das Modell eingebetteter Prozesse (Cowan, 1988, 1997, 1999) eine konkrete Beschreibung des zugrundeliegenden Aufmerksamkeitsmechanismus. Das ist wichtig, da dadurch unterschiedliche Vorhersagen in Bezug auf die Wirkung von Reizwiederholungen auf Basis der prozessorientierten (Jones, 1993, 1999) bzw. aufmerksamkeitsbasierten Erklärung des kurzfristigen Behaltens (Cowan, 1988, 1997, 1999; Nairne, 1988, 1990; Neath, 1999, 2000) möglich sind. Nach der prozessorientierten Erklärung bestimmt die *reine Anzahl* der Zustandsveränderungen die Anzahl von Objekten, die auf der Schreiftafel abgebildet werden. Je mehr irrelevante Objekte vorhanden sind, desto stärker nehmen sie den Seriationsprozess in Anspruch, der für das kurzfristige Behalten benötigt wird. Die Wiederholung eines auditiven Ereignisses enthält keine ausreichenden Zustandsveränderungen (Bridges & Jones, 1996; Jones, 1993, 1999; Jones et al., 1992) und stört deswegen das kurzfristige Behalten nicht. Der Wechsel verschiedener auditiver Ereignisse enthält jedoch Zustandsveränderungen. Dadurch entstehen mehrere Objekte auf der Schreiftafel, die zu einer Beeinträchtigung des kurzfristigen Behaltens führen. Entscheidend ist, dass das Störpotential gegebener Zustandsveränderungen nach dem objektorientierten episodischen Speichermodell unveränderbar ist, da nur die *Anzahl* der Zustandsveränderungen das Störpotential bestimmt.

Nach der aufmerksamkeitsbasierten Erklärung (Cowan, 1988, 1997, 1999; Nairne, 1988, 1990; Neath, 1999, 2000) führen Zustandsveränderungen jedoch nur dann zu einer Beeinträchtigung des kurzfristigen Behaltens, wenn sie eine Orientierungsreaktion auslösen. Dann nehmen die irrelevanten auditiven Ereignisse Aufmerksamkeitsressourcen in Anspruch, die für das Behalten der relevanten Ereignisse nötig sind. Entscheidend ist, dass die Wiederholung einer auditiven Situation mit der Zeit zu einer Abnahme der Orientierungsreaktion führt und zwar auch dann, wenn sie eine konstante Anzahl von Zustandsveränderungen enthält (Cowan, 1997; Sokolov, 1963, 1975). Das heißt, Wiederholung kann das Störpotential gegebener Zustandsveränderungen senken. Tatsächlich wurde diese Vorhersage bereits in mehreren Untersuchungen überprüft (Banbury & Berry, 1997; Campbell et al., 2002; Campbell, Winkler, Kujala, & Näätänen, 2003; Hughes & Jones, 2005; Jones, Macken, & Mosdell, 1997; Morris & Jones, 1990; Tremblay, 1997; Tremblay & Jones, 1998). Allerdings ist die Befundlage so unstimmg, dass eine abschließende Bewertung derzeit noch nicht möglich ist.

3.5 Fazit

Anhand der Frage, ob Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten beteiligt ist oder nicht, teilen sich bestehende Arbeitsgedächtnismodelle in zwei Kategorien (Buchner et al., 2008; Buchner & Erdfelder, 2005; Buchner et al., 2006; Buchner et al., 2004; Elliott, 2002; Lange, 2005). Entsprechend unterscheiden sie sich auch in ihren Vorhersagen, welche Eigenschaften von auditiven Ereignissen besonders viel Störpotential besitzen. Die Wiederholung eines irrelevanten auditiven Reizmusters sollte die beeinträchtigende Wirkung dieses Reizmusters nach dem Modell multipler Komponenten (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999) und dem objektorientierten episodischen Speichermodell (Jones, 1993, 1999) nicht beeinflussen. Das liegt daran, dass nach diesen Modellen irrelevante auditive Reizmuster mit dem Behalten relevanter visueller Ereignisse interferieren, sobald sie in den Repräsentationsraum gelangen, in dem auch die relevanten Ereignisse abgebildet sind. Nach dem Merkmalmodell (Nairne, 1988, 1990; Neath, 1999, 2000) und dem Modell eingebetteter Prozesse (Cowan, 1988, 1997, 1999) ist Aufmerksamkeit für das erfolgreiche Behalten von Ereignissen nötig. Die Wiederholung eines Reizmusters führt zur Habituation der Orientierungsreaktion und verringert damit die Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit durch dieses Reizmuster. Somit sollte die Wiederholung eines Reizmusters den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse verringern. Die Frage, ob der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse trotz der Wiederholung eines irrelevanten Reizmusters konstant bleibt oder abnimmt, ist also besonders gut geeignet, um die empirische Angemessenheit der beiden Kategorien von Arbeitsgedächtnismodellen zu überprüfen.

4 Habituation an irrelevante auditive Ereignisse

Die insgesamt 16 Experimente aus acht verschiedenen Arbeiten zum Einfluss von Habituation auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst. In 10 Experimenten konnte keine Veränderung des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse durch Habituation festgestellt werden. Das derzeitige empirische Befundmuster spricht also tendenziell gegen eine Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten. Entsprechend wird häufig davon ausgegangen, dass Habituation den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse nicht beeinflussen kann (siehe z.B. Jones, 1999). Tatsächlich ist dieser Schluss nicht zwingend, denn eine genauere Betrachtung des experimentellen Vorgehens wird methodische Probleme aufzeigen, von denen die Mehrzahl der Experimente betroffen ist.

Tabelle 1

Untersuchungen zum Einfluss von Habituation auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse.

Quelle	Relevante Ereignisse	Irrelevante Ereignisse	^a n	^b H?
<i>Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse</i>				
Campbell et al., 2002, Exp. 3a	Ziffern	Buchstaben	24	-
Campbell et al., 2002, Exp. 3b	Ziffern	Buchstaben	24	+
Campbell et al., 2003	Ziffern	Wörter	24	+
Hughes & Jones, 2005, Exp. 2	Ziffern	Buchstaben & Ziffern	30	-
Tremblay & Jones, 1998, Exp. 1	Buchstaben	Wörter	24	-
Tremblay & Jones, 1998, Exp. 2	Buchstaben	Töne	48	-
^c Tremblay & Jones, 1998, Exp. 3	Buchstaben	Wörter	20	-
Tremblay & Jones, 1998, Exp. 5	Buchstaben	Wörter	24	-
<i>Durchgangsbezogene Habituation</i>				
Jones et al., 1997, Exp. 1	Buchstaben	Wörter	40	-
Jones et al., 1997, Exp. 2	Buchstaben	Wörter	30	-
Tremblay, 1997	Buchstaben	Töne & Sprache	25	-
^c Tremblay & Jones, 1998, Exp. 3	Buchstaben	Wörter	20	-
<i>Vorphase</i>				
Banbury & Berry, 1997, Exp. 1	Prosatext	Sprache	12	+
Banbury & Berry, 1997, Exp. 2	Prosatext	Sprache oder Bürolärm	12	+
Banbury & Berry, 1997, Exp. 3	Prosatext	Sprache oder Bürolärm	12	+
Jones et al., 1997, Exp. 3	Buchstaben	Wörter	20	-
Morris & Jones, 1990	Buchstaben	Sprache	12	+

^aBezeichnet die Anzahl der Teilnehmer pro Bedingung. ^bGibt an, ob die Autoren eines Experiments die entsprechenden Ergebnisse als Beleg für (+) oder gegen (-) einen Einfluss von Habituation auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse interpretiert haben. ^cTremblay und Jones (1998) untersuchten im dritten Experiment sowohl den Einfluss der Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse als auch die Entwicklung des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse mit zunehmenden Durchgängen.

Die bisher durchgeführten Experimente lassen sich anhand ihres Aufbaus in drei Kategorien einteilen: Experimente, in denen die Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse variierte (*Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse*); Experimente, in denen der zeitliche Ver-

lauf des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse über mehrere Durchgänge beobachtet wurde (*durchgangsbezogene Habituation*) und Experimente, in denen die Teilnehmer die irrelevanten auditiven Ereignisse bereits vor der seriellen Reproduktionsaufgabe hörten (*Vorphase*). Es ist günstig, die verschiedenen Herangehensweisen getrennt zu betrachten, um ihre spezifischen Stärken und Schwächen aufzudecken.

4.1 Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse

In Experimenten dieser Art hören die Teilnehmer während der seriellen Reproduktionsaufgabe immer die gleiche Anzahl irrelevanter auditiver Ereignisse. Beispielsweise treten in jedem Durchgang sechs irrelevante auditive Wörter auf. Die Anzahl verschiedener Wörter jedoch unterscheidet sich zwischen den Experimentalbedingungen. Beträgt die Anzahl verschiedener Wörter eins, dann hören die Teilnehmer in dieser Bedingung sechsmal das gleiche Wort (z.B. Alm Alm Alm Alm Alm Alm). Beträgt die Anzahl verschiedener Wörter dagegen drei, dann hören die Teilnehmer diese drei Wörter jeweils zweimal im Wechsel (z.B. Alm Jod Tau Alm Jod Tau).

Die Idee dieser Manipulation besteht darin, dass ein irrelevantes auditives Ereignis in einem Durchgang umso öfter auftritt, je niedriger die Anzahl verschiedener auditiver Ereignisse ist. Grundsätzlich gilt, dass die Orientierungsreaktion mit zunehmender Wiederholung habituiert, so dass die Beanspruchung von Aufmerksamkeitsressourcen abnimmt (Cowan, 1988, 1997, 1999; Näätänen, 1992, pp. 60-68; Öhman, 1979; Siddle, 1991; Sokolov, 1963, 1975). Gemäß der Modelle, die eine Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten annehmen, sollte also eine niedrige Anzahl verschiedener auditiver Ereignisse das kurzfristige Behalten von Ereignissen weniger stören als eine hohe Anzahl. Tremblay und Jones (1998) schlugen sogar eine strenge Auslegung der Habituationshypothese vor: Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse sollte linear – das heißt jeweils um den gleichen Betrag – mit der Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse ansteigen. Im Gegensatz dazu stellten sie die Vorhersage auf der Basis des objektorientierten episodischen Speichermodells (Jones, 1993, 1999): Ein wiederholtes irrelevantes auditives Ereignis stört das kurzfristige Erinnern nicht, zwei oder mehr verschiedene irrelevante auditive Ereignisse stören gleichermaßen. Diese Vorhersage basiert auf der Annahme, dass die *Anzahl* der Zustandsveränderungen im auditiven Material bestimmt, wie stark die irrelevanten auditiven Ereignisse den Seriationsprozess beanspruchen (Jones, 1993, 1999). Die Wiederholung eines irrelevanten auditiven Ereignisses enthält keine Zustandsveränderungen, der Wechsel verschiedener auditiver Ereignisse dagegen schon (Bridges & Jones, 1996; Jones et al., 1992). Daher

sollte die Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse die störende Wirkung irrelevanter auditiver Ereignisse nicht verändern, solange mindestens zwei verschiedene irrelevante auditive Ereignisse auftreten.

In acht Experimenten variierte die Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse während der seriellen Reproduktionsaufgabe. Sechs Experimente entsprachen auf inferenzstatistischer Ebene der Vorhersage nach dem objektorientierten episodischen Speichermodell (Jones, 1993, 1999) – es trat kein signifikanter Unterschied zwischen zwei und mehr verschiedenen irrelevanten auditiven Ereignissen (siehe auch Tabelle 1) auf. Die deskriptiven Daten zeigten jedoch eine Abnahme der seriellen Reproduktionsleistung mit zunehmender Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse. Diese Abnahme ist von einem zu zwei verschiedenen irrelevanten auditiven Ereignissen am stärksten ausgeprägt und setzt sich mit zunehmender Anzahl fort – wenn auch in geringerem Ausmaß. Das Experiment 1 von Tremblay und Jones (1998) ist als Beispiel für dieses Befundmuster in Abbildung 5 dargestellt.

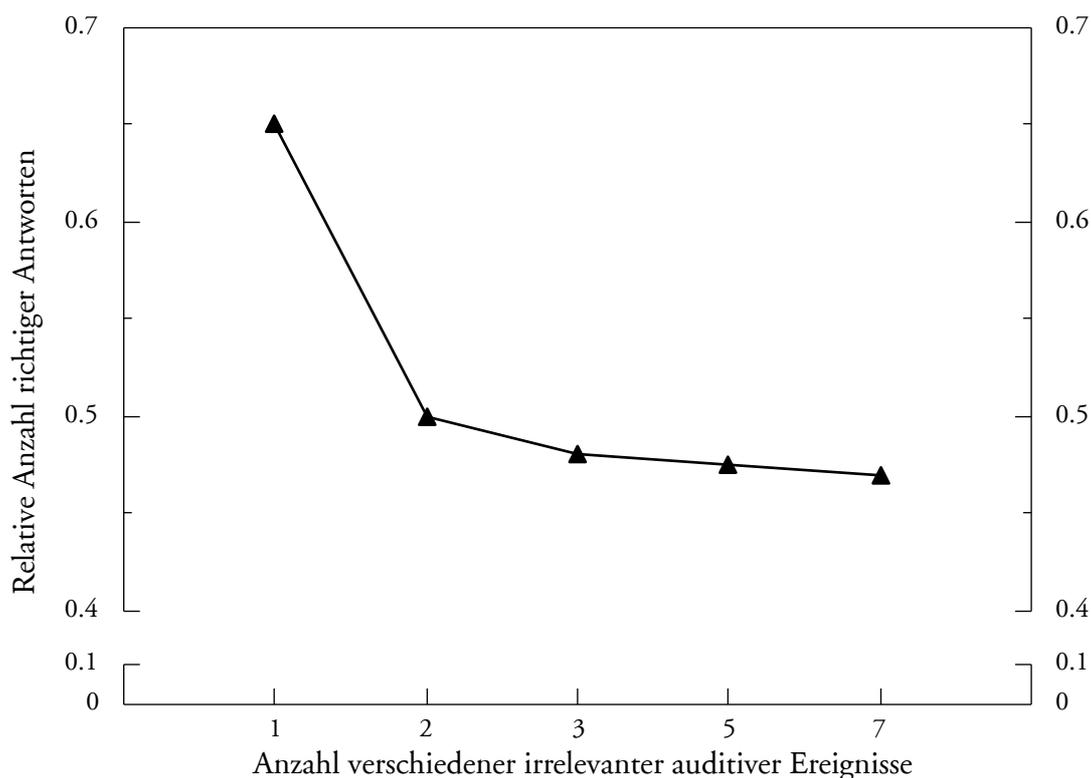


Abbildung 5: Eigene Visualisierung der Daten aus dem Experiment 1 von Tremblay und Jones (1998).

Die Interpretation dieses Befundmusters als Beleg gegen die Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten ist deswegen fraglich, weil in allen Experimenten die Teststärke mehr oder weniger gering war. Tremblay und Jones (1998) geben beispielsweise eine Effektstärke von

$d = .29$ für den Unterschied zwischen zwei und drei verschiedenen irrelevanten auditiven Ereignissen an. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = .05$ und einer erhobenen Stichprobengröße von $N = 24$ ergibt sich eine Teststärke von $1 - \beta = .28$ (berechnet mit G*Power; siehe Faul, Erdfelder, Lang, & Buchner, 2007). Es ist daher möglich, dass die fehlende Übereinstimmung zwischen den deskriptiven und inferenzstatistischen Ergebnissen lediglich auf einem Fehler zweiter Art beruht. Hinzu kommt, dass Campbell und Kollegen (2002; 2003) in zwei Untersuchungen einen Anstieg der Beeinträchtigung über zwei verschiedene auditive Ereignisse hinaus auch inferenzstatistisch zeigen konnten. Die Datenlage weist also insgesamt eher auf eine Zunahme des Störpotentials mit steigender Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse hin.

Den von Tremblay und Jones (1998) geforderten linearen Anstieg des Störpotentials mit steigender Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse zeigte auch die deskriptive Tendenz der vorliegenden Experimente nicht. Dennoch scheint eine Interpretation dieses Befundmusters als Beleg gegen die Habituationshypothese nicht folgerichtig. Genaue parametrische Angaben zum Verlauf von Habituation – insbesondere im Falle komplexer Reizmuster wie der verwendeten Wörter – fehlen noch (siehe auch Cowan, 1997, p. 163), so dass die Erwartung eines linearen Zusammenhangs spekulativ ist. Inhaltlich ebenso plausibel ist, dass der Aufbau eines neuronalen Modells umso schwieriger wird, je komplexer das wiederholte Reizmuster ist. Mit der Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse steigt die Komplexität des zu repräsentierenden Reizmusters. Daher ist es möglich, dass zum Beispiel eine Habituation an die Wiederholung eines Wortes besser gelingt als an die Wiederholung zweier verschiedener Wörter. Ist dies der Fall, dann sollte die Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse durch Habituation nicht nur mit sinkender Wiederholung, sondern auch mit steigender Komplexität des Reizmusters geringer ausfallen. Eine solche Wechselwirkung könnte den bisherigen Befunden zur Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse zugrunde liegen.

In Bezug auf die prozessorientierte Erklärung des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse (Jones, 1993, 1999) besteht jedoch ein vergleichbares Problem. Welche Faktoren den Aufbau eines irrelevanten Objektstroms beeinflussen, wird derzeit noch untersucht. Erwiesen ist, dass die Anzahl der Zustandsveränderungen eine entscheidende Rolle spielt (Bridges & Jones, 1996; Campbell et al., 2002; Hughes, Tremblay et al., 2005; Jones, 1994; Jones et al., 2000; Jones & Macken, 1993, 1995a, 1995b, 1995c; Jones et al., 1993; Jones et al., 1992), möglich sind aber auch

Wechselwirkungen mit weiteren Faktoren. Es ist zum Beispiel plausibel, dass der Aufbau eines Objektstroms umso schwieriger ist, je mehr verschiedene Objekte integriert werden müssen. In diesem Fall würden viele verschiedene auditive Ereignisse den Seriationsprozess stärker beanspruchen als wenige verschiedene auditive Ereignisse.

Da die prozessorientierte Hypothese (Jones, 1993, 1999) und die Habituationshypothese (Cowan, 1988, 1997, 1999) die Vorhersage des gleichen Befundmusters zulassen, kann die Variation der Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse derzeit nicht zu einer eindeutigen Entscheidung der Aufmerksamkeitsfrage beitragen. Lässt man diese Experimente außer Acht, halten sich die Befunde für (4 Experimente) und gegen (5 Experimente) einen Einfluss von Habituation in etwa die Waage. Zur Bewertung der aktuellen Befundlage ist daher eine genauere Betrachtung der übrigen Experimente entscheidend.

4.2 Durchgangsbezogene Habituation

Bei dieser Herangehensweise wird die Entwicklung des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse im Verlauf mehrerer Durchgänge der seriellen Reproduktionsaufgabe beobachtet. Die Idee ist, dass die Wiederholung der auditiven Ereignisse im Verlauf der Durchgänge die Möglichkeit bietet, nach und nach ein geeignetes neurales Modell aufzubauen. Gelingt der Aufbau, nimmt die Orientierungsreaktion ab und damit auch das Ausmaß an Aufmerksamkeit, das diese Ereignisse beansprucht (Cowan, 1988, 1997, 1999; Näätänen, 1992, pp. 60-68; Öhman, 1979; Siddle, 1991; Sokolov, 1963, 1975). Eine Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse im Verlauf der Durchgänge spricht dann für die Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten, eine Stabilität des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse jedoch dagegen. Kritisch bei diesem Design ist also die Interaktion zwischen der auditiven Bedingung und der Anzahl von Durchgängen. Diese Interaktion war in keinem der vier bisher durchgeführten Experimente signifikant (siehe auch Tabelle 1). Die bisherigen Befunde sprechen also auf den ersten Blick für die Stabilität des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse im Verlauf von mehreren Durchgängen. Eine nähere Betrachtung der Experimente wird jedoch zeigen, dass auch hier eine Interpretation des Befundmusters zu Ungunsten der Aufmerksamkeitshypothese verfrüht ist.

Teilnehmer im ersten Experiment von Jones, Macken und Mosdell (1997) führten die serielle Reproduktionsaufgabe unter drei auditiven Bedingungen aus – Ruhe, Wortwiederholung und Wortwechsel. Die Reihenfolge dieser Bedingungen war zufällig über die insgesamt 60 Durchgän-

ge verteilt. Eine ununterbrochene Wiederholung einer auditiven Situation von einem Durchgang zum nächsten war damit nicht gegeben. Das ist problematisch, da eine Veränderung eines Reizmusters ja gerade zu einer Orientierungsreaktion führt (Cowan, 1988, 1997, 1999; Sokolov, 1963, 1975). Besonders die Unterbrechung der auditiven Reizsituation durch Ruhedurchgänge scheint kritisch, da in diesem Fall nicht einmal globale Eigenschaften der auditiven Reizsituation – wie etwa die zeitliche Struktur – von einem Durchgang zum nächsten bestehen bleiben. Es ist zwar bekannt, dass eine wiederholte Serie von Habituation und deren Unterbrechung eine erneute Habituation an ein bestimmtes Reizmuster beschleunigen kann (siehe Thompson & Spencer, 1966); es ist jedoch auch wahrscheinlich, dass die Habituation der Orientierungsreaktion an eine ununterbrochene Reizsituation deutlich besser gelingt. Insofern enthält die messwiederholte und zufällige Darbietung verschiedener auditiver Bedingungen ungünstige Voraussetzungen für die Entdeckung eines Habituationseffekts im Verlauf von Durchgängen. Dieser Kritikpunkt trifft gleichermaßen auf das Experiment von Tremblay (1997) zu.

Methodisch besser gelungen sind das zweite Experiment von Jones und Kollegen (1997) und das dritte Experiment von Tremblay und Jones (1998), in denen eine Wiederholung der auditiven Situation von einem Durchgang zum nächsten gewährleistet war. Jones und Kollegen (1997, Exp.2) ordneten die verschiedenen auditiven Bedingungen diesmal nacheinander an. Dadurch absolvierte ein Teilnehmer zwar alle auditiven Bedingungen, jedoch wechselte die auditive Situation erst, wenn ein Teilnehmer alle 20 Durchgänge einer auditiven Bedingung absolviert hatte. Tremblay und Jones (1998, Exp.3) veränderten die auditiven Bedingungen nur zwischen Gruppen von Teilnehmern, so dass sogar unerwünschte Reihenfolgeeffekte ausgeschlossen waren. Dieses Experiment überzeugt daher methodisch am meisten. Dennoch ist auch hier die Interpretation des Ergebnisses aufgrund des geringen Stichprobenumfangs ($n = 20$ pro Gruppe) schwierig. Geht man von einem mittleren Effekt von $f = 0.25$ (nach Cohen, 1988) für die Interaktion zwischen den auditiven Gruppen (Ruhe, Wortwechsel) und der Blöcke (1-5) aus, dann ergibt sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = .05$ und einer erhobenen Stichprobengröße von $N = 40$ eine Teststärke von $1 - \beta = .19$ (berechnet mit G*Power; siehe Faul et al., 2007). Es ist daher möglich, dass ein Habituationseffekt nur aufgrund eines Fehlers zweiter Art nicht entdeckt wurde.

Ein weiteres Problem, das die meisten Experimente (Jones et al., 1997, Exp.3; Tremblay, 1997; Tremblay & Jones, 1998, Exp.3) betrifft, ist die Unterbrechung der auditiven Reizsituation

durch Ruhe in der Abrufphase in jedem Durchgang. Hier ergibt sich ein analoges Problem zu der messwiederholten und zufälligen Darbietung verschiedener auditiver Bedingungen: Der Wechsel von Wörtern zu Ruhe löst sehr wahrscheinlich eine Orientierungsreaktion aus (siehe Cowan, 1988, 1997, 1999; Sokolov, 1963, 1975). Besonders kritisch scheint, dass die Abrufphase zeitlich nicht kontrolliert war. Es ist wahrscheinlich, dass lange Ruhephasen zwischen den Durchgängen sogar die bereits erwähnte Beschleunigung einer erneuten Habituation erschweren. Gleichzeitig ist es möglich, dass die Länge der Abrufphase in diesen Fällen systematisch im Verlauf der Durchgänge schwankt – zum Beispiel aufgrund von Motivation und Ermüdung. Es ist fraglich, ob unter diesen Voraussetzungen eine Abnahme der Orientierungsreaktion im Verlauf von Durchgängen überhaupt auftreten kann.

Zusammenfassend liefern Experimente zur durchgangsbezogenen Habituation insgesamt die deutlichsten Hinweise darauf, dass Habituation den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse nicht beeinflusst. Allerdings waren auch die Rahmenbedingungen der Experimente für das Eintreten einer Habituation nicht optimal, so dass die Bewertung dieser Hinweise schwierig ist. Die Experimente 1 und 2 der vorliegenden Arbeit werden diese Lücke schließen. In diesen Experimenten wurde die Entwicklung des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse im Verlauf von vier Blöcken mit insgesamt 80 Durchgängen untersucht. Diesmal war jedoch die auditive Situation kontinuierlich, die Teststärke vergleichsweise hoch und die Abrufphase zeitlich kontrolliert. Auf diese Weise wird es möglich, abschließend zu entscheiden, ob der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse im Verlauf von Durchgängen tatsächlich konstant bleibt oder doch abnimmt.

4.3 Vorphase

Diese Experimente beginnen mit einer Phase von mehreren Minuten, in denen die Teilnehmer keine Aufgabe haben (*Vorphase*). Erst nach dieser Zeit absolvieren die Teilnehmer mehrere Durchgänge der seriellen Reproduktionsaufgabe (*Experimentalphase*). In der kritischen Bedingung hören die Teilnehmer in der Vorphase bereits die irrelevanten auditiven Ereignisse, die sie im Anschluss auch während der Experimentalphase hören. Die Idee ist, dass die Teilnehmer bereits während der Vorphase ein neurales Modell der auditiven Situation aufbauen können, so dass die Orientierungsreaktion auf die irrelevanten auditiven Ereignisse bis zu Beginn der Experimentalphase bereits abgenommen hat. Interessant ist, ob die Habituation der Orientierungsreaktion in der Vorphase das Störpotential der irrelevanten auditiven Ereignisse in der Experimentalphase senkt oder nicht. Ist Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten beteiligt (Cowan, 1988, 1997,

1999; Nairne, 1988, 1990; Neath, 1999, 2000), dann sollte die Habituation der Orientierungsreaktion in der Vorphase zu einer Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse führen. Hat Aufmerksamkeit keinen Einfluss auf das kurzfristige Behalten (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999; Jones, 1993, 1999), sollte die verringerte Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit durch Habituation den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse nicht verändern. In vier der fünf durchgeführten Experimente trat eine Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse auf (siehe auch Tabelle 1). Eine genauere Betrachtung der Experimente wird aber auch hier kritische Punkte aufzeigen, welche die Entscheidung der Aufmerksamkeitsfrage auf Basis dieser Befunde erschweren.

Morris und Jones (1990) zeigten, dass die beeinträchtigende Wirkung von irrelevanter italienischer Sprache auf die serielle Wiedergabe von Buchstaben ausblieb, wenn die Teilnehmer in der 20 Minuten langen Vorphase bereits sprachhaltige oder sprachähnliche auditive Ereignisse (Summen, italienische Sprache oder englische Sprache) hörten. Dieses Befundmuster ist überraschend, da der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse auch dann ausblieb, wenn sich die auditive Situation von der Vorphase zur Experimentalphase – zum Beispiel von Summen zu italienischer Sprache – veränderte. Eine mögliche Erklärung ist, dass in diesem Fall Habituation an komplexe Merkmale des auditiven Materials – wie etwa die zeitliche Struktur – stattgefunden hat. Das scheint plausibel, da die lange Vorphase von 20 Minuten ausreichend Gelegenheit für den Aufbau eines komplexen neuronalen Modells bot. Nicht auszuschließen ist aber, dass eine beeinträchtigende Wirkung der irrelevanten italienischen Sprache nur deswegen überwiegend nicht gezeigt werden konnte, da die Teststärke mit nur 12 Teilnehmern pro Gruppe zu gering war. Setzt man einen mittleren Effekt von $f = 0.25$ (nach Cohen, 1988) voraus, ergibt sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = .05$ und einer Korrelation von $\rho = .50$ (geschätzt aus eigenen Daten) eine Teststärke von nur $1-\beta = .35$ (berechnet mit G*Power; siehe Faul et al., 2007). Eine Replikation des Befundmusters mit einer größeren Stichprobe könnte hier Klarheit verschaffen.

Jones und Kollegen (1997, Exp.3) untersuchten die Auswirkungen einer 20 Minuten langen Vorphase auf die serielle Wiedergabe von Buchstaben erneut, stellten jedoch keine Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse fest. Die Teilnehmer hörten während der Vorphase je nach Gruppenzuordnung entweder Ruhe, ein wiederholtes Wort oder verschiedene Wörter im Wechsel. In der Experimentalphase absolvierten dann aber alle Teilnehmer drei auditive Bedingungen – Ruhe, Wortwiederholung und Wortwechsel – in zufälliger Reihenfolge. Jones und Kol-

legen (1997, Exp.3) variierten also die auditive Situation in der Vorphase zwischen Gruppen von Teilnehmern, die auditive Situation in der Experimentalphase dagegen messwiederholt. Das führte einerseits zu einer Veränderung der auditiven Situation von der Vorphase zur Experimentalphase und andererseits zu einer ständig wechselnden auditiven Situation von einem Experimentaldurchgang zum nächsten. Insbesondere der Wechsel von Wörtern zur Ruhe scheint kritisch, da sich so ein deutlicher Unterschied zwischen der bisherigen und aktuellen auditiven Reizsituation ergibt. Es ist klar, dass ein Einfluss von Habituation in der Vorphase auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse so nicht beobachtet werden kann – denn Veränderungen führen ja gerade zu Orientierungsreaktionen (Cowan, 1988, 1997, 1999; Sokolov, 1963, 1975). Hat die Orientierungsreaktion in der Vorphase abgenommen, so wird sie mit Beginn der Experimentalphase durch die ständige Veränderung der auditiven Situation automatisch wiederhergestellt (*Dishabituation*). Da das dritte Experiment von Jones und Kollegen (1997, Exp.3) eine Grundvoraussetzung für Habituation nicht erfüllt, können die Ergebnisse dieses Experiments auch nicht zur Entscheidung der Aufmerksamkeitsfrage beitragen.

Banbury und Berry (1997) zeigten in drei Experimenten, dass irrelevante Sprache oder Bürolärm in der Vorphase die beeinträchtigende Wirkung dieser Reizmuster auf die Wiedergabe einer Textpassage verringern oder sogar beseitigen. In den kritischen Gruppen blieb die auditive Situation zwischen Vorphase und Experimentalphase unverändert. Eine Gruppe von Teilnehmern hörte beispielsweise in der Vorphase bereits die irrelevante Sprache, die sie dann auch während des Lernens und Behaltens der Textpassage hörte. Damit war die Grundvoraussetzung für Habituation – eine gleichbleibende auditive Situation – gewährleistet. Kritisch ist jedoch, dass sich die verwendete Gedächtnisaufgabe deutlich von der seriellen Reproduktionsaufgabe unterschied, die typischerweise in Untersuchungen des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse zum Einsatz kommt. Die Lernphase war in den Experimenten von Banbury und Berry (1997) deutlich länger (Minuten statt Sekunden) und das Lernmaterial komplexer (Text statt Itemfolge). Das Lesen und Lernen einer Textpassage erfordert wahrscheinlich mehr semantische Verarbeitung und einen stärkeren Rückgriff auf Inhalte des Langzeitgedächtnisses als das Behalten einer Folge von einfachen Items wie zum Beispiel Ziffern. Es ist möglich, dass die Habituation in diesen Experimenten primär die semantische Verarbeitung und den Abruf von Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis erleichtert hat, nicht aber das eigentliche Behalten der Ereignisse. Daher sind die Implikationen der Ergebnisse von Banbury und Berry (1997) in Bezug auf die Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten unklar.

Zusammenfassend ergaben die Untersuchungen mit Vorphase die deutlichsten Hinweise auf eine mögliche Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten – in vier der fünf Experimente trat eine Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse auf. Methodische Probleme erschweren aber die Bewertung dieser Tendenz. Es ist daher wichtig, den Einfluss einer Vorphase auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse erneut zu untersuchen. Die Experimente 3 und 4 der vorliegenden Arbeit wurden in diesem Sinne konzipiert – diesmal mit ausreichender Teststärke, gleichbleibender auditiver Situation in der kritischen Bedingung und serieller Reproduktion als Primäraufgabe.

4.4 Fazit

Insgesamt ist derzeit noch unklar, ob Habituation den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse beeinflusst oder nicht. Eine oberflächliche Betrachtung der aktuellen empirischen Lage zeigt zwar eine Tendenz gegen den Einfluss von Habituation (siehe Tabelle 1). Eine kritische Betrachtung des methodischen Vorgehens ergab aber, dass ein großer Teil der bisher durchgeführten Experimente gar nicht geeignet ist, den Einfluss von Habituation zu überprüfen. Die Variation der Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse (8 Experimente) führte zu einem Befundmuster, dass sowohl mit als auch ohne Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten erklärt werden kann. Lässt man diese Experimente außer Acht, halten sich Experimente für (4 Experimente) und gegen einen Einfluss von Habituation (5 Experimente) in etwa die Waage. Methodische Unterschiede sind wahrscheinlich die Ursache für dieses unstimmige Gesamtbild. Die folgenden Experimente werden klären, ob der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse zuverlässig abnimmt, wenn günstige Voraussetzungen sowohl für die Habituation der Orientierungsreaktion als auch für die Entdeckung eines potentiellen Einflusses auf das kurzfristige Behalten gegeben sind. Das ermöglicht eine abschließende Bewertung des Einflusses von Habituation auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse und trägt zu der Frage bei, ob Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten beteiligt ist oder nicht.

5 Experiment 1

Experiment 1 lehnt sich an die beschriebenen Untersuchungen zur durchgangsbezogenen Habituation (Jones et al., 1997; Tremblay, 1997; Tremblay & Jones, 1998) an. Die auditive Reizsituation variierte wie im Experiment 3 von Tremblay und Jones (1998) zwischen zwei Gruppen,

um die auditive Reizsituation von einem Durchgang zum nächsten konstant zu halten. Zusätzlich konnten dadurch Reihenfolgeeffekte ausgeschlossen werden, die bei einer Variation der auditiven Situation in messwiederholten Blöcken auftreten könnten. Die Gruppe *Wortwechsel* hörte während der 85 Durchgänge der seriellen Reproduktionsaufgabe immer dieselben zwei Wörter im Wechsel, die Gruppe *Ruhe+Wortwechsel* hörte in diesen Durchgängen dagegen nichts. Eine angemessene Teststärke ($1-\beta = .95$) bei einem Alphafehlerniveau von $\alpha = .05$ und einer Effektstärke von $\eta^2 = .10$ zeigt die gegenüber früheren Untersuchungen deutlich erhöhte Wahrscheinlichkeit, einen potentiellen Habituationseffekt zu entdecken. Die Wiederholung von zwei Wörtern im Verlauf der Durchgänge könnte zu einer Habituation der Orientierungsreaktion führen, so dass diese Wörter mit zunehmenden Durchgängen weniger Aufmerksamkeit beanspruchen würden. Das sollte den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse verringern – vorausgesetzt Aufmerksamkeit ist tatsächlich am kurzfristigen Behalten beteiligt. Interessant war daher, ob die beeinträchtigende Wirkung der Wörter mit zunehmenden Durchgängen abnimmt oder konstant bleibt.

5.1 Methode

5.1.1 Stichprobe

An dem Experiment nahmen 163 Teilnehmer teil. Drei Teilnehmer wurden von der statistischen Analyse ausgeschlossen, weil sie die Kopfhörer während des Experiments zeitweise ausgezogen hatten. Insgesamt flossen Daten von 160 Teilnehmern (121 Frauen, 39 Männer) im Alter von 19-59 Jahren ($M = 26$, $SD = 8$) in die Auswertung ein. Alle Teilnehmer verfügten über sehr gute Deutschkenntnisse und berichteten normales Hör- und Sehvermögen. Die Teilnehmer wurden über Aushänge an der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf und Anzeigen in lokalen Zeitungen rekrutiert. Sie wurden wahlweise mit Teilnehmerstunden oder 5 Euro entlohnt.

5.1.2 Material

Zur Minimierung von störenden Außengeräuschen fand das Experiment in schallisolierten Einzelkammern statt. Die Teilnehmer trugen geschlossene Kopfhörer, die einen zusätzlichen Schutz vor unkontrollierten Geräuschen darstellten. Macintosh-Rechner mit leistungsstarken Prozessoren (2.66 GHz Intel Core 2 Duo) steuerten das Experiment und gewährleisteten die regelmäßige Abfolge der irrelevanten auditiven Ereignisse auf die Millisekunde genau. Als zu erinnernde Items sahen die Teilnehmer eine zufällige Abfolge der Ziffern 1-9, wobei jede Ziffer nur einmal

pro Abfolge auftrat. Die Ziffern erschienen im oberen Drittel (ca. Augenhöhe) horizontal zentriert auf einem 24-Zoll Monitor im Schrifttyp Arial in schwarzer Schriftfarbe auf weißem Hintergrund. Die Ziffern waren ca. 1.4° Sehwinkel hoch und 1.0° Sehwinkel breit. Als irrelevante, auditive Ereignisse kamen folgende einsilbige Wörter zum Einsatz: Alm, Elch, Gel, Jod, Los, Milz, Ohm, Schopf, Steg, Streu, Tau und Zwest. Gemäß der CELEX Datenbank (Baayen, Piepenbrock, & van Rijn, 1993) treten diese Wörter vergleichbar häufig ($M = 5$, $SD = 2$; jeweils pro 1.000.000) in der deutschen Sprache auf. Die Wörter wurden von einer weiblichen Stimme gesprochen und digital mit einer Auflösung von 44.1 kHz und einer Enkodierung von 16 bit aufgenommen. Sie wurden auf eine Länge von 600 ms geschnitten und normalisiert, um Amplitudendifferenzen zwischen den Wörtern zu reduzieren. Die Lautstärke betrug ca. 65 dB (A) Leq.

5.1.3 Ablauf

Die Teilnehmer absolvierten 90 Experimentaldurchgänge. In jedem Durchgang sahen sie eine Zufallsabfolge von neun Ziffern, die sie sich in der Reihenfolge ihrer Präsentation merken sollten. Jede Ziffer verschwand nach 800 ms, 200 ms darauf folgte die nächste Ziffer, so dass sich eine Präsentationsrate von einer Ziffer pro Sekunde ergab. Nach dem Ausblenden der letzten Ziffer blieb der Bildschirm leer. Die Teilnehmer merkten sich die gesehenen Ziffern bis nach 6 s das Erscheinen von neun Fragezeichen auf dem Bildschirm signalisierte, dass die Teilnehmer die Ziffern jetzt in der Reihenfolge ihrer Präsentation wiedergeben sollten (*Abrufphase*). Die Eingabe der erinnerten Ziffern erfolgte mit Hilfe des Ziffernblocks einer Tastatur. Die Teilnehmer waren durch schriftliche Instruktionen informiert, dass zu jeder gesehenen Ziffer eine Angabe gemacht werden muss. Konnten die Teilnehmer eine Ziffer an einer bestimmten Position nicht erinnern, sollten sie die Taste «Fehlt» drücken. Eine Korrektur der Eingabe war durch das Vor- und Zurückspringen zwischen den Positionen möglich. Das Vorspringen war allerdings nur bis zu Positionen möglich, zu denen bereits eine Angabe erfolgt war. Neun Sekunden nach dem Erscheinen der Fragezeichen begann der nächste Durchgang automatisch. Jeder Durchgang startete mit einer Rückmeldung über den Fortschritt des Experiments und der bisherigen Leistung in Form eines Punktestandes. Für jede richtige Ziffer erhielten die Teilnehmer zwei Punkte, für jede falsche Ziffer oder fehlende Eingabe verloren sie einen Punkt. Die Wörter «Los geht's» signalisierten, dass die Präsentation der nächsten Ziffernfolge kurz bevorstand. Insgesamt betrug die Zeit vor jeder Ziffernabfolge 5.4 s (*Start*). Der zeitliche Verlauf eines Durchganges ist in Abbildung 6 dargestellt.

Die auditive Reizsituation wurde in zwei Gruppen variiert. Vor dem Experiment wurden die Teilnehmer nach dem Zufallsprinzip einer der zwei Gruppen zugeteilt. Teilnehmer in der Gruppe *Wortwechsel* hörten während der ersten 85 Durchgänge immer dieselben zu Beginn zufällig ausgewählten zwei Wörter im Wechsel. Nur der Abruf unterbrach die kontinuierliche Darbietung der beiden Wörter. In der Bedingung *Ruhe+Wortwechsel* war die serielle Reproduktionsaufgabe identisch, die Teilnehmer hörten jedoch während der ersten 85 Durchgänge nichts. In den letzten fünf Durchgängen hörten die Teilnehmer in beiden auditiven Gruppen in jedem Durchgang zwei Wörter im Wechsel. Der zeitliche Ablauf der auditiven Präsentation entsprach der Abbildung 6. Entscheidend ist, dass sich die Wörter in diesen letzten fünf Durchgängen von Durchgang zu Durchgang unterschieden. Sie wurden per Zufall aus den möglichen Wörtern mit der Einschränkung ausgewählt, dass keines der Wörter in einem vorherigen Durchgang präsentiert worden war. Beide Gruppen wussten, dass sie manchmal Wörter über die Kopfhörer hören würden, die für die Aufgabe völlig irrelevant waren und ignoriert werden konnten. Vor dem Experiment führten alle Teilnehmer fünf Übungsdurchgänge unter Ruhebedingungen aus. Insgesamt dauerte das Experiment ca. 50 Minuten.

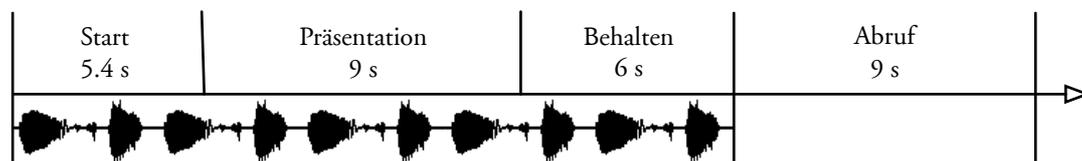


Abbildung 6: Der zeitliche Verlauf eines Durchgangs im Experiment 1 am Beispiel der Gruppe *Wortwechsel*. In der Gruppe *Ruhe+Wortwechsel* war die zeitliche Struktur eines Durchgangs identisch. Allerdings hörten sie in den ersten 85 Durchgängen nichts, erst in den letzten fünf Durchgängen traten in dieser Gruppe Wörter im Wechsel auf.

5.1.4 Design

Die Experimentaldurchgänge wurden im Wesentlichen zu vier Blöcken von je 20 Durchgängen zusammengefasst. Dadurch hoben sich unsystematische Schwankungen von einem Durchgang zum nächsten auf, so dass die grundsätzliche Tendenz der seriellen Reproduktionsleistung im Verlauf der Durchgänge (*globale Habituation*) hervortrat. Dieses Vorgehen hat jedoch den Nachteil, dass es einen schnellen Effekt der Wortwiederholung in den ersten Durchgängen (*kurzfristige Habituation*) verdeckt. Zur Kontrolle dieser Möglichkeit umfasste Block 1 die ersten fünf Durchgänge. Erst die Blöcke 2-5 enthielten die jeweils folgenden 20 Durchgänge. Block 6 bestand aus den letzten fünf Durchgängen, in denen beide Gruppen von Durchgang zu Durchgang

wechselnde Wortpaare hörten. Dieser Block sollte bei der Unterscheidung von Übungseffekten und Habituationseffekten helfen. Es ist bekannt, dass eine deutliche Veränderung der Reizsituation zu einer Wiederherstellung der habituierten Orientierungsreaktion führt (*Dishabituation*) (siehe Thompson & Spencer, 1966). Übungseffekte, die durch die zunehmende Vertrautheit mit der Aufgabe entstehen, sollten dagegen nicht vom Inhalt der auditiven Reizsituation abhängen. Diese drei Effekte (globale Habituation, kurzfristige Habituation, Dishabituation) wurden in separaten statistischen Analysen untersucht. Als abhängige Variable wurde die Anzahl der richtigen Ziffern pro Durchgang ermittelt. Eine Ziffer wurde nur dann als richtig gewertet, wenn sie an der richtigen Position wiedergegeben worden war. Diese Anzahl wurde an den insgesamt zu erinnernden Ziffern relativiert.

Die *globale Habituation* wurde mit einem $2 \times 4 \times 9$ -faktoriellen Design untersucht. Die auditive Gruppe (Ruhe+Wortwechsel, Wortwechsel) war der zweistufige Gruppenfaktor, der Block (2-5) der erste messwiederholte Faktor und die serielle Position (1-9) der zweite messwiederholte Faktor. Die Sensitivitätsanalyse bezog sich auf die primär interessierende Interaktion zwischen den Faktoren auditive Gruppe und Block mit den gerade beschriebenen Stufen. Bei einer Stichprobe von $N = 160$ ($n = 80$ pro Gruppe) und einem Alphafehlerniveau von $\alpha = .05$ kann ein Effekt der Größe $\eta^2 = .10$ mit einer Teststärke von $1 - \beta = .95$ entdeckt werden (berechnet mit G*Power; siehe Faul et al., 2007). Mit dem Faktor serielle Position sollte nur überprüft werden, ob die Teilnehmer tatsächlich die intendierte serielle Erinnerungsstrategie ausgeführt hatten. Dieser Faktor wurde daher nur beispielhaft im Rahmen der globalen Habituation analysiert. Der Überprüfung eines *kurzfristigen Habituationseffekts* lag ein 2×2 -faktorielles Design zugrunde. Die auditive Gruppe (Ruhe+Wortwechsel, Wortwechsel) war der zweistufige Gruppenfaktor. Die Blöcke (1-2) bildeten den zweistufigen messwiederholten Faktor. Der Analyse eines *Dishabituationseffekts* lag ebenfalls ein 2×2 -faktorielles Design zugrunde. Die auditive Gruppe (Ruhe+Wortwechsel, Wortwechsel) war der zweistufige Gruppenfaktor. Der Block (5, 6) bildete den zweistufigen messwiederholten Faktor.

5.2 Ergebnisse

Die globale statistische Analyse der drei Fragestellungen wurde mit einer gemischten mehrfaktoriellen multivariaten Varianzanalyse durchgeführt. Für Einzelvergleiche wurden messwiederholte einfaktorielle multivariate Varianzanalysen herangezogen. Der Beurteilung der statistischen Signi-

fikanz lag ein Alphaniveau von .05 zugrunde. Als Effektstärkemaß wurde das partielle Eta-Quadrat verwendet. Die Ergebnisse wurden auf zwei Stellen nach dem Komma gerundet. Einzige Ausnahme stellte die Irrtumswahrscheinlichkeit dar, die auf drei Stellen nach dem Komma gerundet wurde.

5.2.1 Globale Habituation

Die Erinnerungsleistung nahm vom zweiten zum vierten Block monoton zu – jedoch geringer mit zunehmenden Blöcken, $F(3, 156) = 45.35$, $p < .001$, $\eta^2 = .47$. Teilnehmer in der Ruhe+Wortwechselgruppe gaben mehr Ziffern in der richtigen Reihenfolge wieder als die Teilnehmer in der Wortwechselgruppe, $F(1, 158) = 16.95$, $p < .001$, $\eta^2 = .10$. Dieser Unterschied war zwischen den Blöcken 2, 3 und 5 vergleichbar und im 4ten Block etwas schwächer ausgeprägt – der Anstieg in der Wortwechselgruppe war stärker im Vergleich zur Ruhe+Wortwechselgruppe. Eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren auditive Gruppe und Block konnte jedoch nicht festgestellt werden, $F(3, 156) = 1.28$, $p = .283$, $\eta^2 = .02$. Den Einfluss der Faktoren Block und auditive Gruppe auf die relative Anzahl richtig erinnerter Ziffern veranschaulicht Abbildung 7 (Block 2-5 im mittleren Teil).

Die Anzahl richtig erinnerter Ziffern nahm monoton von der ersten zur siebten seriellen Position ab und stieg von der siebten zur neunten Position wieder an, $F(8, 151) = 115.12$, $p < .001$, $\eta^2 = .86$. Die Ruhe+Wortwechselgruppe unterschied sich von der Wortwechselgruppe in den mittleren Positionen (4-7) stärker als in den Randpositionen (1-3 und 8-9), so dass sich eine Interaktion zwischen den Faktoren auditive Gruppe und serielle Position ergab, $F(8, 151) = 3.05$, $p = .003$, $\eta^2 = .14$. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 8 dargestellt. Der Anstieg der Erinnerungsleistung im Verlauf der Blöcke 2-5 war in den mittleren seriellen Positionen am größten. Dieser Zusammenhang zeigte sich vor allem im Vergleich zwischen dem zweiten und dritten Block. Die Interaktion zwischen den Faktoren serielle Position und Block war signifikant, $F(24, 135) = 3.21$, $p < .001$, $\eta^2 = .36$. Abbildung 9 zeigt den Einfluss dieser Faktoren auf die relative Anzahl richtig erinnerter Ziffern. Eine Interaktion zwischen allen drei Faktoren trat nicht auf, $F(24, 135) = 1.11$, $p = .339$, $\eta^2 = .17$.

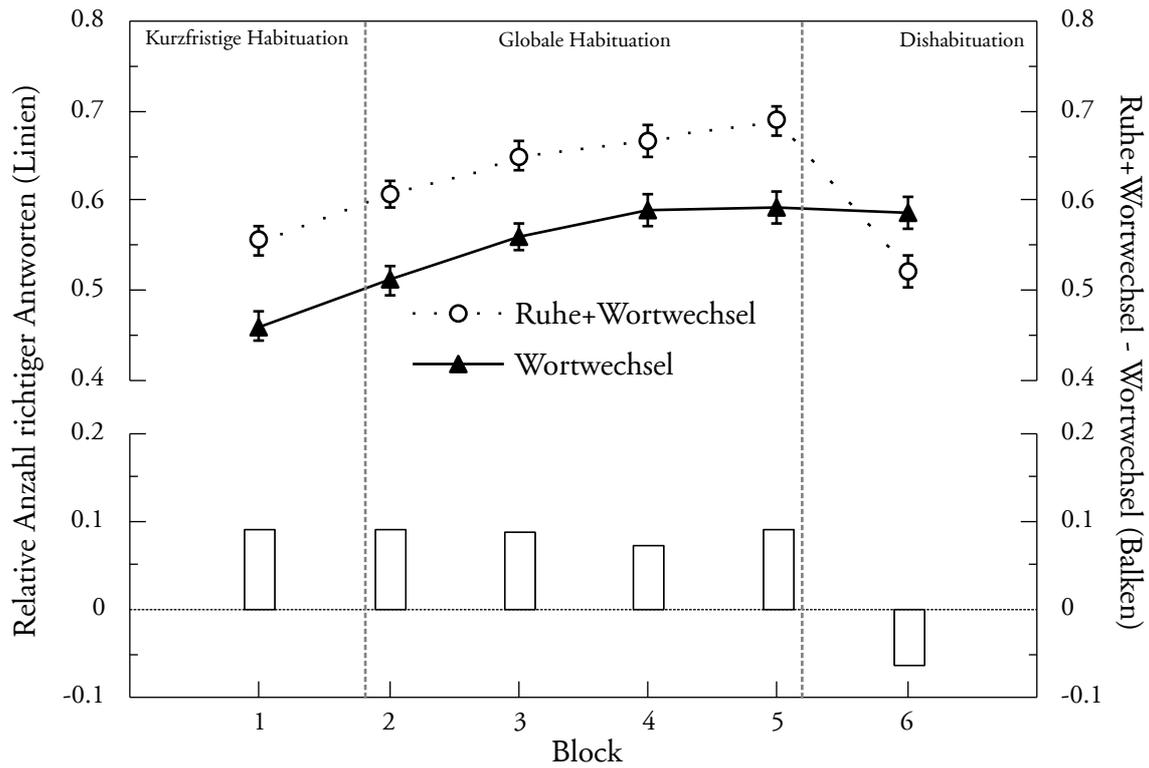


Abbildung 7: Die serielle Reproduktionsleistung im Verlauf der Blöcke in Abhängigkeit der auditiven Gruppe. Die Ruhe+Wortwechselgruppe hörte während der Blöcke 1-5 nichts, die Wortwechselgruppe immer dieselben zwei Wörter. Beide Gruppen hörten im Block 6 pro Durchgang zwei neue Wörter. Als Balken sind die Differenzen zwischen den beiden Gruppen dargestellt. Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler.

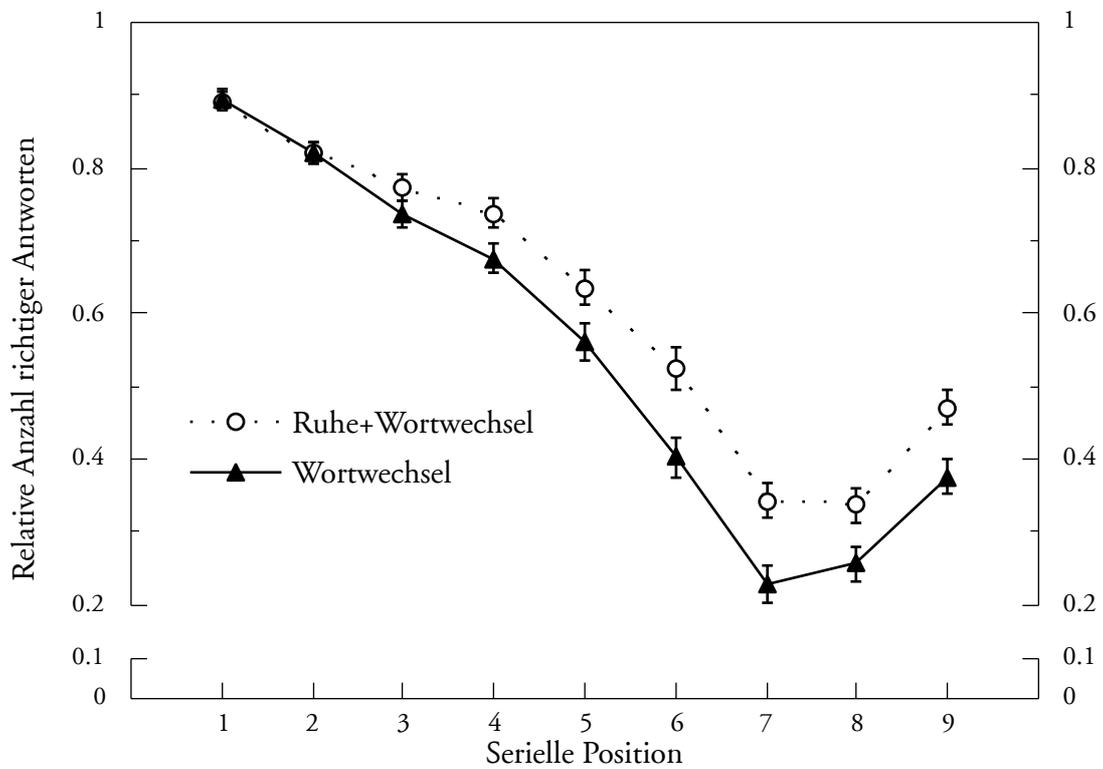


Abbildung 8: Die serielle Reproduktionsleistung im Verlauf der seriellen Positionen in Abhängigkeit der auditiven Gruppe. Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler.

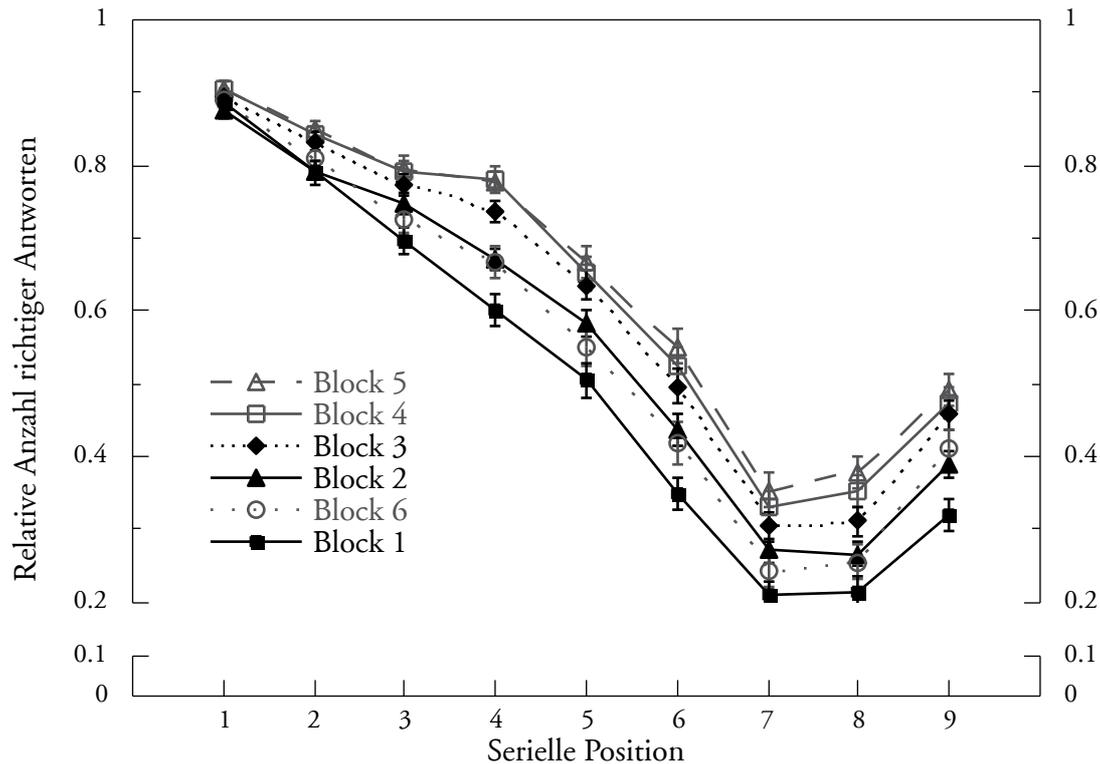


Abbildung 9: Die serielle Reproduktionsleistung im Verlauf der seriellen Positionen in Abhängigkeit der Blöcke. Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler.

5.2.2 Kurzfristige Habituation

Die Anzahl richtig erinnerter Ziffern nahm von Block 1 zu Block 2 zu, $F(1, 158) = 30.83$, $p < .001$, $\eta^2 = .16$. Die serielle Reproduktionsleistung der Ruhe+Wortwechselgruppe war besser im Vergleich zur Wortwechselgruppe, $F(1, 158) = 20.80$, $p < .001$, $\eta^2 = .12$. Dieser Unterschied war zwischen Block 1 und Block 2 vergleichbar. Entsprechend trat keine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren auditive Gruppe und Block auf, $F(1, 158) < 0.01$, $p = .970$, $\eta^2 < .01$. Der Einfluss der Faktoren Block und auditive Gruppe auf die relative Anzahl richtig erinnerter Ziffern ist in Abbildung 7 (linker Teil) zusammenfassend dargestellt.

5.2.3 Dishabituation

Die Erinnerungsleistung fiel insgesamt von Block 5 zu Block 6 ab, $F(1, 158) = 100.12$, $p < .001$, $\eta^2 = .39$. Teilnehmer in der Ruhe+Wortwechselgruppe erinnerten tendenziell mehr Ziffern in der richtigen Reihenfolge als Teilnehmer in der Wortwechselgruppe. Dieser Unterschied war hier jedoch nicht signifikant, $F(1, 158) = 0.42$, $p = .516$, $\eta^2 < .01$. Die Betrachtung des gemeinsamen Einflusses der Faktoren Block und auditive Gruppe zeigte aber ein genaueres Bild. Die Interakti-

on war signifikant, $F(1, 158) = 83.59, p < .001, \eta^2 = .35$. Diese Wechselwirkung beruhte darauf, dass die Erinnerungsleistung in der Ruhe+Wortwechselgruppe von Block 5 zu Block 6 deutlich abfiel, $F(1, 79) = 141.83, p < .001, \eta^2 = .64$, in der Wortwechselgruppe dagegen nur leicht und nicht signifikant, $F(1, 79) = 0.53, p = .470, \eta^2 = .01$. Dadurch kehrte sich das bisherige Verhältnis der Erinnerungsleistung zwischen Ruhe+Wortwechsel- und Wortwechselgruppe im sechsten Block um. Der Einfluss der Faktoren Block und auditive Gruppe auf die relative Anzahl richtig erinnerter Ziffern ist in Abbildung 7 (rechter Teil) zusammenfassend dargestellt.

5.3 Diskussion

Der klassische Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse (siehe Jones & Morris, 1992, für einen Überblick) zeigte sich als eine Verringerung der Erinnerungsleistung, sobald die Teilnehmer Wörter während der seriellen Reproduktionsaufgabe hörten. Es konnte bereits gezeigt werden, dass der Einfluss von irrelevanten auditiven Ereignissen speziell auf eine Beeinträchtigung des kurzfristigen Behaltens zurückgeht (z.B. Miles et al., 1991). Mit der Replikation des klassischen Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse war daher eine Grundvoraussetzung für die Überprüfung des Einflusses von Aufmerksamkeit auf das kurzfristige Behalten erfüllt. Die serielle Positionskurve zeigte den für serielle Reproduktionsaufgaben typischen Verlauf (siehe z.B. Madigan, 1980) – eine anfängliche Abnahme (*Primacy-Effekt*) und eine erneute Zunahme der Erinnerungsleistung in den letzten Positionen (*Recency-Effekt*). Dieses Befundmuster bestätigt, dass die Teilnehmer die intendierte serielle Erinnerungsstrategie tatsächlich ausgeführt haben. Sowohl die Unterschiede zwischen den Stufen der auditiven Gruppe als auch zwischen den Blöcken waren deutlicher in den mittleren seriellen Positionen ausgeprägt. Es ist wahrscheinlich, dass die grundsätzlich besseren Leistungen in den Randpositionen lediglich zu einem Deckeneffekt führen, der das Ausmaß des Einflusses sowohl der auditiven Manipulation als auch der Blockvariation einschränkt.

Die serielle Reproduktionsleistung stieg vom zweiten zum fünften Block an. Dieser Anstieg beruhte jedoch nicht auf einer Veränderung des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse durch eine globale Habituation an die irrelevanten Wörter, sondern lediglich auf der zunehmenden Vertrautheit der Teilnehmer mit der Aufgabe. Dieser Schluss ergibt sich daraus, dass der Anstieg der seriellen Reproduktionsleistung im Verlauf der Blöcke in beiden auditiven Gruppen vergleichbar war. Die Wiederholung der irrelevanten Wörter im Verlauf der Durchgänge hatte also keinen Einfluss auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse. Der fehlende Habituationseffekt in den

Blöcken 2-5 geht nicht darauf zurück, dass die Messung des Habituationseffekts über Blöcke von 20 Durchgängen nicht sensitiv genug war, um eine schnelle Habituation zu entdecken. Denn auch kurzfristig zeigte sich keine Veränderung des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse. Es ist prinzipiell möglich, dass Übungseffekte, die sich ebenfalls im Verlauf der Durchgänge entwickeln, einen potentiellen Habituationseffekt lediglich überdeckten. Dies ist jedoch für das Experiment 1 unwahrscheinlich, da die Erinnerungsleistung der Teilnehmer in der Wortwechselgruppe trotz der Darbietung ganz neuer Wortpaare in den letzten fünf Durchgängen konstant blieb. Gleichzeitig beeinträchtigten diese Wortpaare Teilnehmer, die die serielle Reproduktionsaufgabe bisher in Ruhe ausführen durften, deutlich. Ein lediglich überdeckter Habituationseffekt hätte sich zumindest in Form einer Dishabituation in der Wortwechselgruppe – das heißt, einer gesteigerten Beeinträchtigung durch die neuen Wortpaare in den letzten Durchgängen – zeigen müssen. Dies war jedoch nicht der Fall.

Vorausgesetzt die Teilnehmer haben im Verlauf der Durchgänge tatsächlich an die irrelevanten Wörter habituiert, spricht das Befundmuster insgesamt gegen eine Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten. Denn in diesem Fall hätte die abnehmende Beanspruchung von Aufmerksamkeitsressourcen den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse verringern müssen. Es ist allerdings nicht sicher, ob alle Voraussetzungen für eine erfolgreiche Habituation gegeben waren. Ein kritischer Punkt ist die Tatsache, dass während der Abrufphase immer Ruhe herrschte. Die Abrufphase war im Gegensatz zu den bestehenden Untersuchungen (Jones et al., 1997, Exp. 1-2; Tremblay, 1997; Tremblay & Jones, 1998, Exp. 3) zeitlich kontrolliert und so kurz wie möglich. Dennoch könnte diese Zeit ausgereicht haben, um einen positiven Einfluss der vorangegangenen Habituation auf den nachfolgenden Durchgang zu verhindern. In diesem Fall wäre eine Abnahme der beeinträchtigenden Wirkung der irrelevanten Wörter auch nach der Aufmerksamkeitshypothese nicht zu erwarten. Mit dem zweiten Experiment wurde diese Möglichkeit überprüft.

6 Experiment 2

Das zweite Experiment war eine konzeptuelle Replikation des ersten Experiments. Diesmal hörten die Teilnehmer jedoch auch während der Abrufphase irrelevante Wörter, um die Möglichkeit einer Dishabituation in dieser Zeit auszuschließen. Dieses Vorgehen stellt eine Abweichung vom typischen Versuchsaufbau zur Untersuchung des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse dar. Allerdings zeigten bereits Miles und Kollegen (1991), dass irrelevante auditive Ereignisse während

der Abrufphase ohnehin nicht stören. Daher scheint diese Abweichung unproblematisch. Es ist möglich, dass ein Habituationseffekt im ersten Experiment nur deswegen nicht auftrat, weil das Ausbleiben von irrelevanten Wörtern während der Abrufphase zu Dishabituation geführt hat. Reicht die Darbietung von Wörtern auch während der Abrufphase aus, um eine Habituation der Orientierungsreaktion zu ermöglichen, dann sollte der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse mit zunehmenden Durchgängen abnehmen – vorausgesetzt Aufmerksamkeit ist am kurzfristigen Behalten beteiligt. Ist dies jedoch nicht der Fall, sollte der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse trotz der Darbietung von Wörtern während der Abrufphase konstant bleiben.

6.1 Methode

6.1.1 Stichprobe

An dem Experiment nahmen 162 Teilnehmer (122 Frauen, 40 Männer) im Alter von 18-50 Jahren ($M = 25$, $SD = 8$) teil. Alle Teilnehmer verfügten über sehr gute Deutschkenntnisse und berichteten normales Hör- und Sehvermögen. Die Teilnehmer wurden über Aushänge an der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf und Anzeigen in lokalen Zeitungen rekrutiert. Sie wurden wahlweise mit Teilnehmerstunden oder 5 Euro entlohnt.

6.1.2 Material, Ablauf und Design

Material, Ablauf und Design entsprachen überwiegend dem ersten Experiment. Lediglich die Abrufphase wurde verändert. Hier hörten die Teilnehmer jetzt ebenfalls Wörter, so dass eine ununterbrochene Wortdarbietung gewährleistet war. Dadurch war Dishabituation in dieser Zeit ausgeschlossen und die Notwendigkeit einer maximal kurzen Abrufphase entfiel. Sie wurde daher auf 12 s ausgedehnt, so dass die Abrufsituation im Vergleich zum ersten Experiment entspannter war. In Abbildung 10 ist ein Durchgang für die Wortwechselgruppe schematisch dargestellt.

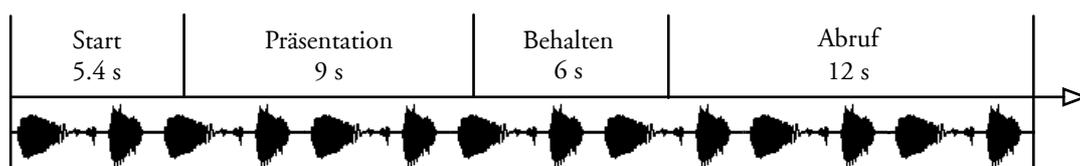


Abbildung 10: Der zeitliche Verlauf eines Durchgangs im Experiment 2 am Beispiel der Gruppe Wortwechsel. In der Gruppe Ruhe+Wortwechsel war die zeitliche Struktur eines Durchgangs identisch. Allerdings hörte sie in den ersten 85 Durchgängen nichts, erst in den letzten fünf Durchgängen traten in dieser Gruppe Wörter im Wechsel auf.

6.2 Ergebnisse

Analog zum ersten Experiment wurde die globale statistische Analyse mit einer gemischten mehrfaktoriellen multivariaten Varianzanalyse durchgeführt. Für Einzelvergleiche wurden messwiederholte einfaktorielle multivariate Varianzanalysen herangezogen. Der Beurteilung der statistischen Signifikanz lag ein Alphaniveau von .05 zugrunde. Als Effektstärkemaß wurde das partielle Eta-Quadrat verwendet. Die Ergebnisse wurden auf zwei Stellen nach dem Komma gerundet. Einzige Ausnahme stellte die Irrtumswahrscheinlichkeit dar, die auf drei Stellen nach dem Komma gerundet wurde.

6.2.1 Globale Habituation

Die serielle Reproduktionsleistung nahm im Verlauf der Blöcke 2-5 zu, $F(3,158) = 48.69$, $p < .001$, $\eta^2 = .48$. Teilnehmer in der Ruhe+Wortwechselgruppe erinnerten mehr Ziffern in der richtigen Reihenfolge als Teilnehmer in der Wortwechselgruppe, $F(1,160) = 27.50$, $p < .001$, $\eta^2 = .15$. Dieser Unterschied nahm vom 2ten zum 4ten Block leicht ab und stieg im 5ten Block wieder etwas an – hier war der Anstieg in der Ruhe+Wortwechselgruppe etwas stärker im Vergleich zur Wortwechselgruppe. Eine Interaktion zwischen den Faktoren auditive Gruppe und Block konnte jedoch nicht festgestellt werden, $F(3,158) = 1.06$, $p = .369$, $\eta^2 = .02$. Der Einfluss der Faktoren auditive Gruppe und Block auf die serielle Reproduktionsleistung ist in Abbildung 11 (mittlerer Teil) zusammengefasst.

Die serielle Reproduktionsleistung nahm von der ersten zur siebten seriellen Position monoton ab und stieg von da zu den letzten Positionen wieder an, $F(8,153) = 89.55$, $p < .001$, $\eta^2 = .82$. Die Ruhe+Wortwechselgruppe unterschied sich von der Wortwechselgruppe in den mittleren Positionen (4-7) stärker als in den Randpositionen (1-3 und 8-9), so dass sich eine Interaktion zwischen den Faktoren auditive Gruppe und serielle Position ergab, $F(8,153) = 3.31$, $p = .002$, $\eta^2 = .15$. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 12 dargestellt. Auch der Unterschied zwischen den Blöcken war in den mittleren seriellen Positionen am stärksten ausgeprägt, so dass eine Interaktion zwischen den Faktoren Block und serielle Position vorlag, $F(24,137) = 4.59$, $p < .001$, $\eta^2 = .45$. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 13 dargestellt. Eine Interaktion zwischen allen drei Faktoren zeigte sich dagegen nicht, $F(24,137) = 0.75$, $p = .792$, $\eta^2 = .12$.

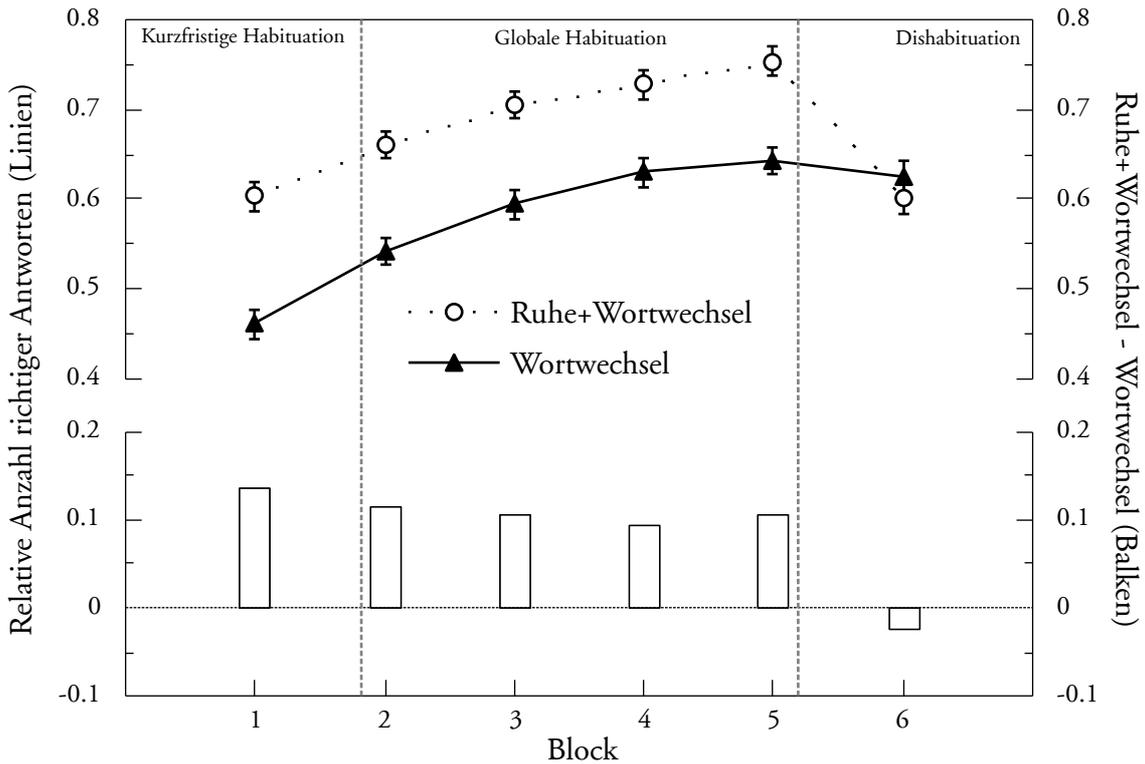


Abbildung 11: Die serielle Reproduktionsleistung im Verlauf der Blöcke in Abhängigkeit der auditiven Gruppe. Die Ruhe+Wortwechselgruppe hörte während der Blöcke 1-5 nichts, die Wortwechselgruppe immer dieselben zwei Wörter. Beide Gruppen hörten im Block 6 pro Durchgang zwei neue Wörter. Als Balken sind die Differenzen zwischen den beiden Gruppen dargestellt. Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler.

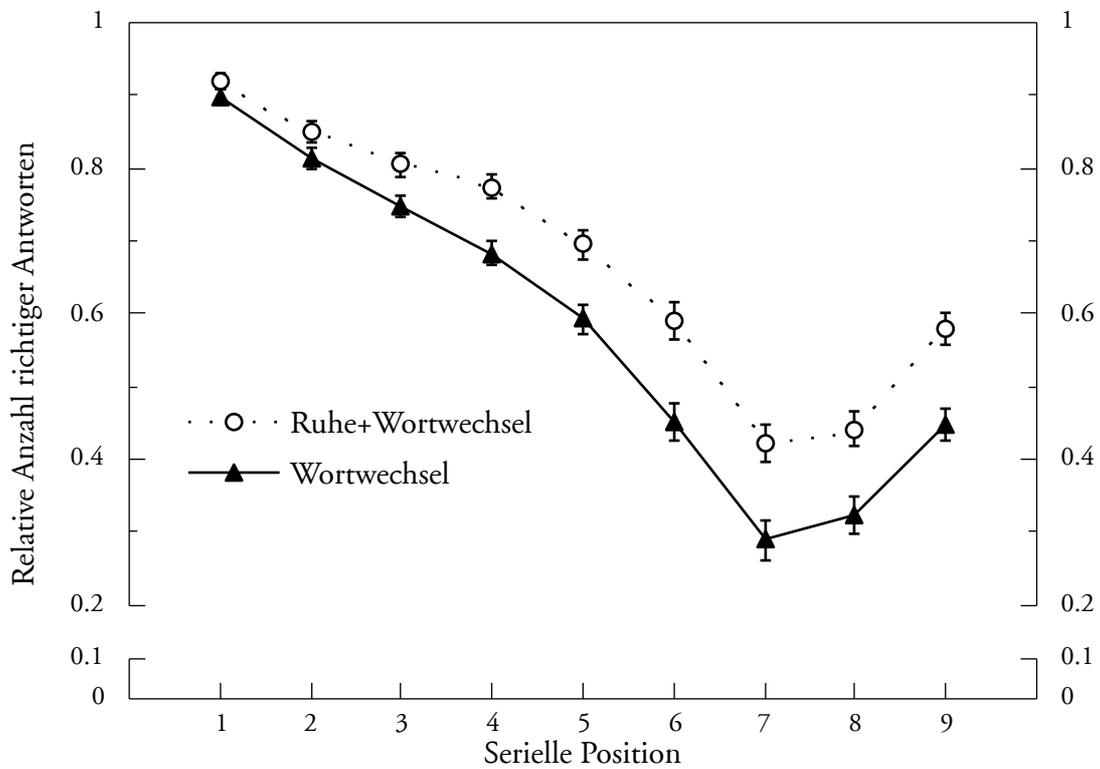


Abbildung 12: Die serielle Reproduktionsleistung im Verlauf der seriellen Positionen in Abhängigkeit der auditiven Gruppe. Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler.

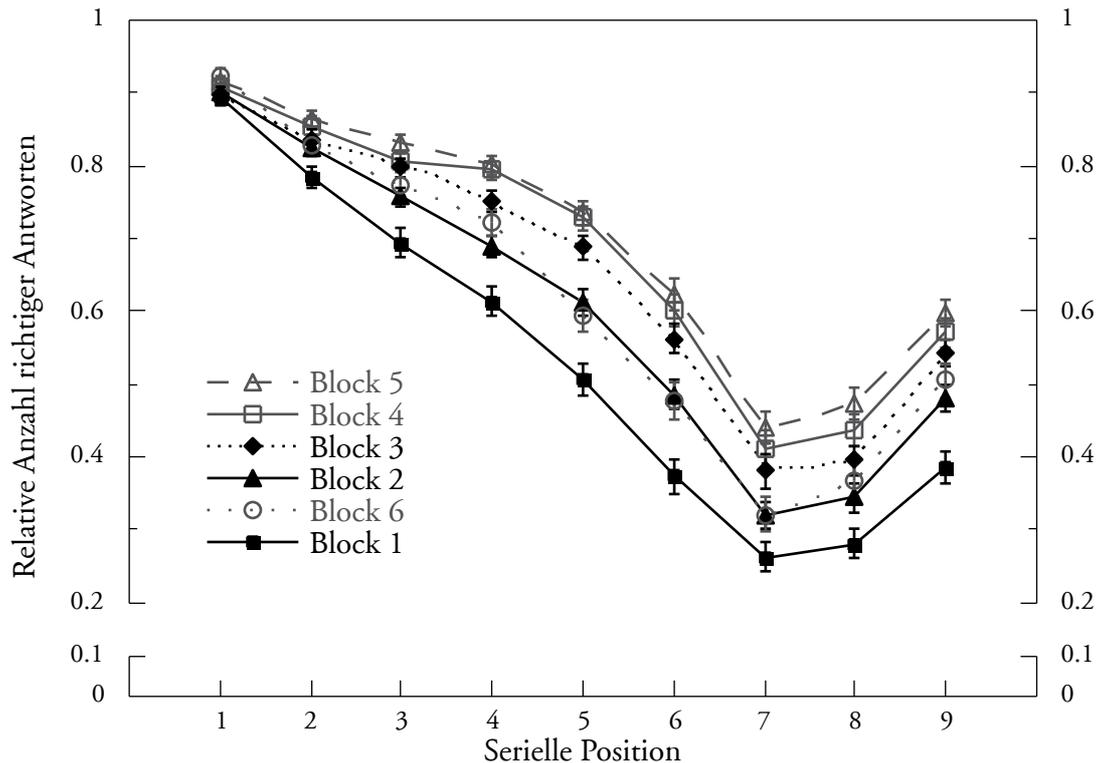


Abbildung 13: Die serielle Reproduktionsleistung im Verlauf der seriellen Positionen in Abhängigkeit der Blöcke. Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler.

6.2.2 Kurzfristige Habituation

Die serielle Reproduktionsleistung nahm vom ersten zum zweiten Block zu, $F(1,160) = 54.24$, $p < .001$, $\eta^2 = .25$. Teilnehmer in der Ruhe+Wortwechselgruppe erinnerten mehr Ziffern in der richtigen Reihenfolge als Teilnehmer in der Wortwechselgruppe, $F(1,160) = 38.97$, $p < .001$, $\eta^2 = .20$. Dieser Unterschied nahm vom 1ten zum 2ten Block leicht ab. Die Interaktion zwischen den Faktoren auditive Gruppe und Block war jedoch nicht signifikant, $F(1,160) = 1.37$, $p = .244$, $\eta^2 = .01$. Abbildung 11 zeigt diesen Zusammenhang (linker Teil der Abbildung).

6.2.3 Dishabituation

Die serielle Reproduktionsleistung nahm vom fünften zum sechsten Block ab, $F(1,160) = 73.72$, $p < .001$, $\eta^2 = .32$. Insgesamt unterschied sich die Ruhegruppe nicht signifikant von der Wortwechselgruppe, $F(1,160) = 3.81$, $p = .053$, $\eta^2 = .02$. Es zeigte sich jedoch eine Interaktion zwischen den Faktoren Block und auditive Gruppe, $F(1,160) = 45.23$, $p < .001$, $\eta^2 = .22$. Einzelvergleiche deckten das genaue Datenmuster auf. Eine Leistungsabnahme vom fünften zum sechsten Block bestand nur in der Ruhegruppe, die im sechsten Block zum ersten Mal im Experiment

überhaupt Wörter hörte, $F(1,80) = 84.70$, $p < .001$, $\eta^2 = .51$. Die Leistung der Wortwechselgruppe, die im letzten Block neue Wortpaare hörte, nahm nur tendenziell und nicht signifikant ab, $F(1,80) = 2.81$, $p = .098$, $\eta^2 = .03$. Dadurch kehrte sich das bisherige Verhältnis der seriellen Reproduktionsleistung zwischen Ruhe- und Wortwechselgruppe im sechsten Block tendenziell um. Der Einfluss der Faktoren Block und auditive Gruppe ist in Abbildung 11 (rechter Teil) zusammenfassend dargestellt.

6.3 Diskussion

Obwohl die Teilnehmer die irrelevanten auditiven Wörter im zweiten Experiment auch während der Abrufphase hörten, war das Datenmuster mit den Befunden des ersten Experiments in etwa vergleichbar. Auch das zweite Experiment zeigte die typische Beeinträchtigung des kurzfristigen Behaltens durch irrelevante Wörter (siehe Jones & Morris, 1992, für einen Überblick). Übungseffekte waren durch den Anstieg der seriellen Reproduktionsleistung im Verlauf der Blöcke in beiden auditiven Gruppen deutlich sichtbar. Interessant ist, dass die Wortwiederholung im Verlauf der Blöcke 2-5 trotz der ununterbrochenen Darbietung und hohen Teststärke keinen signifikanten Einfluss auf die beeinträchtigende Wirkung der irrelevanten Wörter hatte. Allerdings trat im Gegensatz zum Experiment 1 zumindest eine tendenzielle Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse ein. Das spricht dafür, dass eine Kontinuität der auditiven Reizsituation die Habituation der Orientierungsreaktion modulieren kann. Denn der einzige Unterschied zwischen Experiment 1 und 2 bestand in der Darbietung von Wörtern auch während der Abrufphase im zweiten Experiment. Das Befundmuster zeigt aber auch, dass eine kontinuierliche auditive Reizsituation keine ausreichende Bedingung für einen Einfluss von Habituation auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse darstellt. Das Ausbleiben eines signifikanten kurzfristigen Habituationseffekts und eines Dishabituationseffekts bestätigt diese Schlussfolgerung. Die serielle Positionskurve zeigte den für serielle Reproduktionsaufgaben typischen Verlauf (siehe z.B. Madigan, 1980) und spricht dafür, dass die Teilnehmer die intendierte serielle Erinnerungsstrategie tatsächlich ausgeführt haben. Die Interaktionen der seriellen Position mit den anderen Faktoren gehen vermutlich auf einen Deckeneffekt zurück (siehe auch S. 44).

Das Befundmuster der Experimente 1 und 2 spricht insgesamt gegen eine Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten – vorausgesetzt die Teilnehmer haben im Verlauf der Durchgänge tatsächlich an die Wörter habituiert. Denn dann würde die Abnahme der Orientie-

rungsreaktion das Ausmaß von Aufmerksamkeitsressourcen verringern, welches die irrelevanten Wörter beanspruchen. Die erhöhte Verfügbarkeit von Aufmerksamkeitsressourcen sollte das kurzfristige Behalten erleichtern, wenn Aufmerksamkeit für diesen Prozess wichtig ist.

Allerdings wies Cowan (1997, pp. 140-141) darauf hin, dass die Beziehung zwischen Aufmerksamkeit und dem Aufbau des neuralen Modells bisher unklar ist (siehe auch Näätänen, 1992, pp. 60-68). Gemäß Cowan (1997, pp. 140-141) impliziert die Konzeption der Orientierungsreaktion nach Sokolov (1963), dass Verarbeitungsressourcen für den Aufbau des neuralen Modells wichtig sind. Daraus ergibt sich, dass eine Habituation der Orientierungsreaktion auf willentlich ignorierte Reize generell schwierig sein könnte. Andererseits weisen Befunde zu einer verwandten physiologischen Reaktion – der Mismatch-Negativity (MMN) – daraufhin, dass der Aufbau einer Repräsentation willentlich ignoriertter Reize doch möglich ist. Die MMN bezeichnet eine negative Komponente ereigniskorrelierter Potentiale, die ca. 200 ms nach dem Erscheinen eines Ereignisses auftritt. Entscheidend ist, dass die MMN zuverlässig nach der Veränderung einer wiederholten Reizsituation auftritt und damit ein mögliches elektrophysiologisches Korrelat des Vergleichsprozesses darstellt, auf dem die Orientierungsreaktion basiert (Näätänen & Gaillard, 1983). Interessant ist, dass eine MMN auch in Folge einer Veränderung einer *ignorierten* Reizsituation auftreten kann (siehe auch Näätänen, 1992, pp. 167-175). Allerdings ist nicht klar, ob die MMN generierenden Vergleichsprozesse völlig unabhängig von der Verfügbarkeit von Verarbeitungsressourcen sind. Denn die MMN kann deutlich geringer ausfallen, wenn die Teilnehmer eine anspruchsvolle Primäraufgabe ausführen (Woldorff, Hackley, & Hillyard, 1991). Dies weist darauf hin, dass der Aufbau einer Repräsentation ignoriertter Reize zwar möglich ist, aber umso schlechter gelingt, je mehr Verarbeitungsressourcen durch eine Primäraufgabe gebunden sind. Das entspricht dem Konzept der Orientierungsreaktion nach Öhman (1979). Danach folgt auf eine Abweichung eines aktuellen Reizes vom bestehenden neuralen Modell automatisch ein Signal, das den Bedarf nach Verarbeitungsressourcen anzeigt. Inwieweit diesem Signal jedoch entsprochen wird, hängt davon ab, wie hoch die aktuelle Auslastung der zentralen Verarbeitungskapazität ist.

Problematisch ist, dass sich die MMN in einem wichtigen Punkt von dem Konzept der Orientierungsreaktion nach Sokolov (1963, 1975) unterscheidet. Sie tritt nämlich nicht bei neuen Reizen ein, sondern folgt ausschließlich auf Veränderungen zuvor wiederholter Reize. Da die Verbindung zwischen MMN und Orientierungsreaktion noch weiterer Klärung bedarf, sind die Befun-

de aus dem Bereich der MMN sicher nicht eins zu eins auf die Orientierungsreaktion übertragbar. Aufgrund der Ähnlichkeiten der zugrundeliegenden Prozesse scheint es jedoch ratsam, eine Modulation des Aufbaus des neuralen Modells durch die Verfügbarkeit von Verarbeitungsressourcen in Betracht zu ziehen. Das ist besonders wichtig für die Bewertung der Experimente 1 und 2 der vorliegenden Arbeit. Denn bei diesen Experimenten musste Habituation während einer anstrengenden Primäraufgabe erfolgen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass aufgrund der starken Einbindung der Verarbeitungsressourcen in die serielle Reproduktionsaufgabe kein geeignetes neuronales Modell entstehen und eine Habituation der Orientierungsreaktion daher nicht erfolgen konnte.

War die Habituation an die irrelevanten Wörter in den Experimenten 1 und 2 gar nicht möglich, so ist eine Ablehnung der Aufmerksamkeitshypothese auf Basis dieser Befunde nicht folgerichtig. Habituierte die Orientierungsreaktion nicht, dann fand die intendierte Abnahme der Beanspruchung von Aufmerksamkeit durch die Wiederholung der irrelevanten Wörter im Verlauf der Durchgänge nicht statt. In diesem Fall ist auch dann keine Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse zu erwarten, wenn Aufmerksamkeit tatsächlich am kurzfristigen Behalten beteiligt ist.

Tatsächlich zeigt die aktuelle Befundlage eine Tendenz, die zu dieser Vermutung passt. Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse blieb in allen bisherigen Experimenten zur durchgangsbezogenen Habituation (Jones et al., 1997; Tremblay, 1997; Tremblay & Jones, 1998) konstant. Die Experimente 1 und 2 der vorliegenden Arbeit schlossen eine unzureichende Teststärke und eine Unterbrechung der auditiven Situation als einzige Ursache für diesen Befund aus. In allen diesen Experimenten musste Habituation aber während einer anspruchsvollen Aufgabe stattfinden. In den Experimenten mit Vorphase dagegen hörten die Teilnehmer in der kritischen Gruppe irrelevante Sprache bereits in einer Phase ohne jede Zusatzbelastung und damit ohne nennenswerte Bindung von Verarbeitungsressourcen. Es ist möglich, dass der Aufbau eines neuralen Modells in dieser Situation wesentlich besser gelingt. Dafür spricht, dass Banbury und Berry (1997) und Morris und Jones (1990) eine Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse durch Sprache in der Vorphase berichten. Allerdings konnten Jones und Kollegen (1997) trotz der Verwendung einer Vorphase keinen Habituationseffekt entdecken, so dass die Befundlage uneinheitlich ist. Eine genaue Betrachtung hat aber bereits Kritikpunkte bei allen Experimenten mit Vorphase aufgedeckt (siehe auch S. 33-36): Im Experiment von Morris und Jones (1990) war die Teststärke

ke niedrig; Jones und Kollegen (1997, Exp.3) ließen den Wechsel der auditiven Situation von Vorphase zur Experimentalphase zu; Banbury und Berry (1997) verwendeten eine untypische Gedächtnisaufgabe. Spannend ist also, ob eine Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse bei Vermeidung der methodischen Probleme zuverlässig auftritt oder doch ausbleibt.

7 Experiment 3

Das dritte Experiment begann mit einer Vorphase von 20 Minuten, in der die Teilnehmer in der *wortspezifischen Habitationsgruppe* bereits kontinuierlich die zwei Wörter hörten, die auch in den anschließenden 12 Durchgängen der seriellen Reproduktionsaufgabe ununterbrochen auftraten. Die Teilnehmer hatten während der Vorphase keine weitere Aufgabe als ruhig und konzentriert sitzen zu bleiben. Also standen prinzipiell alle kognitiven Ressourcen in der Vorphase für den Aufbau eines neuralen Modells der auditiven Reizsituation zur Verfügung. In der *zeitlichen Habitationsgruppe* hörten die Teilnehmer in der Vorphase ebenfalls zwei Wörter im Wechsel (z.B. Alm Jod), während der Durchgänge der seriellen Reproduktion traten dann aber zwei andere Wörter im Wechsel auf (z.B. Elch Tau) auf. Diese Gruppe sollte zeigen, ob eine Habituation an globale Eigenschaften der auditiven Reizsituation ausreicht, um den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse zu verringern. Diese Möglichkeit legen insbesondere die Ergebnisse von Morris und Jones (1990) nahe. Hier reduzierten bereits sprachähnliche Reize in der Vorphase die beeinträchtigende Wirkung von italienischer Sprache während der seriellen Reproduktion. In Experiment 3 war allerdings eine höhere Teststärke gewährleistet, um Fehlinterpretationen zu verhindern. Zusätzlich wurde mit einer dritten auditiven Gruppe kontrolliert, ob die typische beeinträchtigende Wirkung irrelevanter auditiver Ereignisse unter dem gegebenen experimentellen Aufbau überhaupt auftritt. Hier hörten die Teilnehmer *nur* während der Durchgänge der seriellen Reproduktionsaufgabe zwei Wörter im Wechsel (*klassischer Wortwechsel*).

Da die Verfügbarkeit von Verarbeitungsressourcen, eine kontinuierliche auditive Reizsituation in der kritischen Gruppe und eine für Untersuchungen des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse typische Gedächtnisaufgabe gegeben waren, enthält das Experiment sehr günstige Voraussetzungen für die Überprüfung des Einflusses von Habituation auf das kurzfristige Behalten. Habituierte Wörter sollten weniger Aufmerksamkeit beanspruchen als nicht-habituierte Wörter (siehe Cowan, 1988, 1997, 1999; Näätänen, 1992, pp. 60-68; Öhman, 1979; Siddle, 1991). Daher spricht die Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse durch die Wortdarbietung in

der Vorphase dafür, dass Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten beteiligt ist. Bleibt der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse unverändert, ist Aufmerksamkeit für das kurzfristige Behalten wahrscheinlich unbedeutend.

7.1 Methode

7.1.1 Stichprobe

An dem Experiment nahmen insgesamt 328 Personen teil. Vier Teilnehmer zeigten Anzeichen starker Müdigkeit oder Kurzschlaf während der Vorphase. Bei weiteren vier Teilnehmern war eine lautlose Umgebung aufgrund von Bauarbeiten über dem Experimentalraum nicht gewährleistet. Die Daten dieser Teilnehmer wurden nicht ausgewertet. Die Analyse basierte auf 320 Teilnehmern (233 Frauen, 87 Männer) im Alter von 18-48 Jahren ($M = 24$, $SD = 5$). Alle Teilnehmer besaßen sehr gute Deutschkenntnisse und berichteten normales Hör- und Sehvermögen. Sie wurden über Aushänge an der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf und Anzeigen in lokalen Zeitungen rekrutiert und wahlweise mit Teilnehmerstunden oder 6 Euro entlohnt.

7.1.2 Material

Das Material entsprach im Wesentlichen den Experimenten 1 und 2. Einzige Ausnahme war die Veränderung des Schrifttyps von Arial zu Monaco. Dadurch sank die Breite der Ziffern auf ca. 0.8° Sehwinkel, die Höhe von ca. 1.4° Sehwinkel blieb erhalten.

7.1.3 Ablauf

Das Experiment begann mit einer Vorphase von 20 Minuten, in der die Teilnehmer keine Aufgabe hatten als ruhig und konzentriert sitzen zu bleiben und den Blick auf den Monitor zu richten. Sie durften die Kopfhörer in dieser Zeit nicht abnehmen und keine Geräusche erzeugen. Die Teilnehmer wussten, dass die Einhaltung dieser Anweisungen mit Hilfe einer in den Monitor integrierten Kamera beobachtet wurde. Diese Maßnahme schien nötig, da die Teilnehmer das Experiment in nicht einsehbaren schallisolierten Einzelkammern durchführten und vorab nicht klar war, wie sie sich während einer Zeit von 20 Minuten ohne Aufgabe verhalten würden. In der Mitte des Bildschirms sahen die Teilnehmer eine Warteanzeige in Form einer schematischen Uhr. Eine rote Kreisfläche nahm mit fortschreitender Vorphase ab und deckte dadurch zunehmend die darunter liegende grüne Kreisfläche auf. Die Teilnehmer wussten, dass die serielle Re-

produktionsaufgabe beginnt, sobald die grüne Kreisfläche vollständig aufgedeckt ist. Nach der Vorphase absolvierten die Teilnehmer 12 Durchgänge der seriellen Reproduktionsaufgabe, die analog zu Experiment 2 aufgebaut war.

Die Teilnehmer wurden per Zufall einer von vier auditiven Gruppen zugeordnet. In der Gruppe *Ruhe* herrschte sowohl während der Vorphase als auch während der seriellen Reproduktionsaufgabe Stille. Teilnehmer in der Gruppe *wortspezifische Habituation* hörten in der Vorphase und während jeder Phase der seriellen Reproduktionsaufgabe – das heißt, während Präsentation, Behalten und Abruf – kontinuierlich dieselben zwei zufällig ausgewählten Wörter im Wechsel. Auch in der Gruppe *zeitliche Habituation* hörten die Teilnehmer kontinuierlich zwei Wörter im Wechsel. Sie hörten jedoch in der Vorphase ein anderes zufällig ausgewähltes Wortpaar als in den Durchgängen der seriellen Reproduktionsaufgabe. Dadurch blieben zwar globale Eigenschaften der auditiven Reizsituation – wie etwa die zeitliche Struktur (alle 600 ms ein Wort) – konstant, inhaltlich veränderten sich die auditiven Ereignisse jedoch von der Vorphase zur seriellen Reproduktion. In der Gruppe *klassischer Wortwechsel* herrschte Stille in der Vorphase, mit Beginn der seriellen Reproduktionsdurchgänge hörten die Teilnehmer jedoch kontinuierlich zwei Wörter im Wechsel. Die auditive Situation in den verschiedenen Gruppen ist in Abbildung 14 schematisch dargestellt. Vor dem Experiment führten alle Teilnehmer 12 Übungsdurchgänge in Ruhe aus. Insgesamt dauerte das Experiment ca. 40 Minuten.

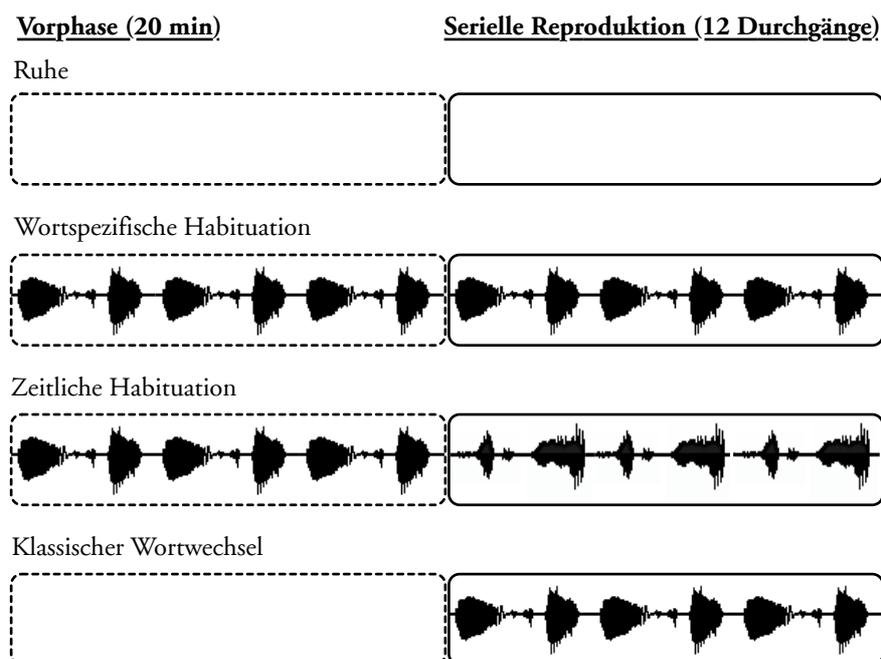


Abbildung 14: Schematische Übersicht der vier auditiven Gruppen im Experiment 3.

7.1.4 Design

Dem Experiment lag ein 4x9-faktorielles Design zugrunde. Die auditive Gruppe (Ruhe, wortspezifische Habituation, zeitliche Habituation, klassischer Wortwechsel) bildete den vierstufigen Gruppenfaktor, die serielle Position (1-9) den neunstufigen messwiederholten Faktor. Die abhängige Variable war die Anzahl richtig erinnelter Ziffern pro Durchgang. Eine Ziffer wurde nur dann als richtig gewertet, wenn sie an der richtigen Position wiedergegeben wurde. Diese Anzahl wurde an den insgesamt zu erinnernden Ziffern relativiert. Interessant war die Frage, ob die Darbietung von Wörtern in der Vorphase die beeinträchtigende Wirkung von Wörtern während der seriellen Reproduktionsaufgabe senken kann. Daher bezog sich die Sensitivitätsanalyse auf den Kontrast zwischen der klassischen Wortwechselgruppe und den beiden Habituationsgruppen. Bei einer Stichprobe von $N = 320$ Teilnehmern ($n = 80$ pro Gruppe) und einem Alphaniveau von $\alpha = .05$ kann ein Effekt der Größe $\eta^2 = .04$ mit einer Teststärke von $1-\beta = .95$ entdeckt werden (berechnet mit G*Power; siehe Faul et al., 2007).

7.2 Ergebnisse

Die Daten wurden mit einer gemischten mehrfaktoriellen multivariaten Varianzanalyse global analysiert. Kontraste wurden mit Hilfe einer einfaktoriellen univariaten Varianzanalyse für unabhängige Stichproben berechnet, um das Befundmuster in der auditiven Gruppe genauer zu bestimmen. Die serielle Position diente nur der Überprüfung, ob die Teilnehmer tatsächlich die intendierte serielle Erinnerungsstrategie ausgeführt hatten. Dieser Faktor wurde daher lediglich global analysiert. Der Beurteilung der statistischen Signifikanz lag ein Alphaniveau von $\alpha = .05$ zugrunde. Als Effektstärkemaß wurde das partielle Eta-Quadrat verwendet. Die Ergebnisse wurden auf zwei Stellen nach dem Komma gerundet. Einzige Ausnahme stellte die Irrtumswahrscheinlichkeit dar, die auf drei Stellen nach dem Komma gerundet wurde.

Die globale statistische Analyse ergab einen Haupteffekt der auditiven Gruppe, $F(3, 316) = 5.55$, $p = .001$, $\eta^2 = .05$. Kontraste zeigten, dass Teilnehmer in der Ruhegruppe im Vergleich zur klassischen Wortwechselgruppe mehr Ziffern in der richtigen Reihenfolge erinnerten, $F(1, 316) = 15.74$, $p < .001$, $\eta^2 = .05$. Die serielle Reproduktionsleistung nahm von der zeitlichen Habituationsgruppe zur wortspezifischen Habituationsgruppe tendenziell zu. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant, $F(1, 316) = 0.67$, $p = .413$, $\eta^2 < .01$. Zur Überprüfung des Einflusses von

Wörtern während der Vorphase wurden diese beiden Gruppen daher zusammengefasst. Teilnehmer in der klassischen Wortwechselgruppe zeigten eine geringere serielle Reproduktionsleistung als die Teilnehmer in den Habituationsgruppen, $F(1, 316) = 7.18, p = .008, \eta^2 = .02$. Tendenziell gaben Teilnehmer der Habituationsgruppen zwar weniger Ziffern in der richtigen Reihenfolge an als die Teilnehmer in der Ruhegruppe, dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant, $F(1, 316) = 3.61, p = .058, \eta^2 = .01$. Abbildung 15 zeigt die serielle Reproduktionsleistung in Abhängigkeit von der auditiven Gruppe.

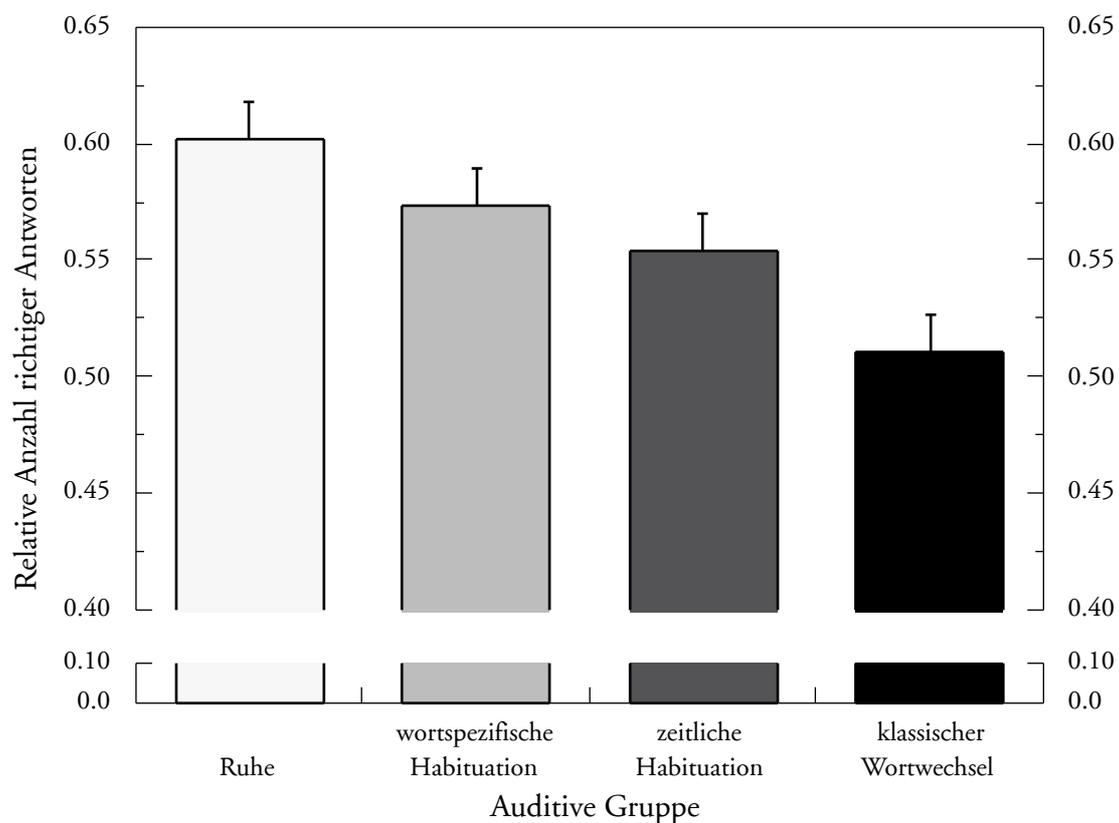


Abbildung 15: Die serielle Reproduktionsleistung in Abhängigkeit von der auditiven Gruppe. Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler.

Die serielle Reproduktionsleistung nahm in allen Gruppen von Position 1 zur Position 7 ab und nahm dann von Position 8 zu Position 9 wieder zu, $F(8, 309) = 198.16, p < .001, \eta^2 = .84$. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 16 grafisch dargestellt. Eine Interaktion zwischen den Faktoren auditive Gruppe und serielle Position war nicht vorhanden, $F(24, 933) = 1.13, p = .298, \eta^2 = .03$.

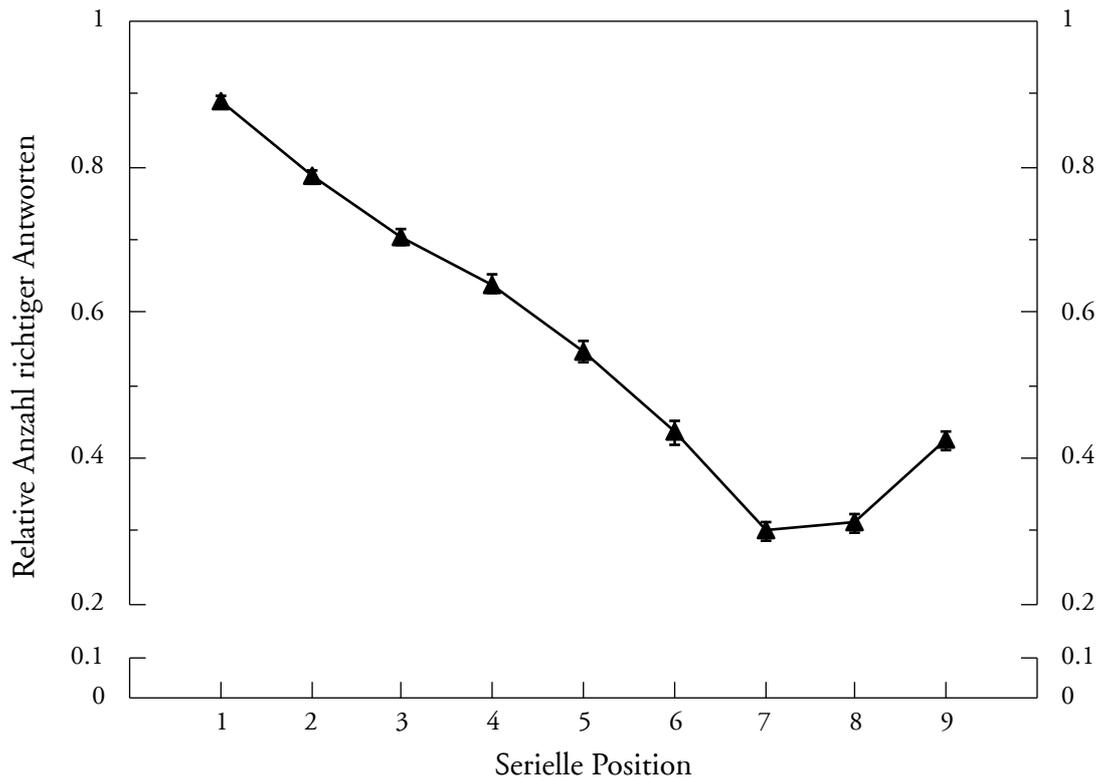


Abbildung 16: Die serielle Reproduktionsleistung in Abhängigkeit von der seriellen Position. Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler.

7.3 Diskussion

Inhaltlich relevant war die Veränderung der seriellen Reproduktionsleistung in Abhängigkeit von der auditiven Bedingung. Hier zeigte sich der klassische Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse (siehe Jones & Morris, 1992, für einen Überblick) als Beeinträchtigung des kurzfristigen Behaltens, wenn Teilnehmer irrelevante Wörter nur während der seriellen Reproduktionsaufgabe hörten. Interessant ist, dass die Erinnerungsleistung der Teilnehmer in den Habituationsgruppen im Vergleich zu den Teilnehmern der klassischen Wortwechselgruppe besser war. Die Leistung der Habituationsgruppen unterschied sich sogar nicht signifikant von der Ruhegruppe – allerdings verfehlte dieser Unterschied nur knapp das Signifikanzniveau. Insgesamt spricht das Befundmuster deutlich dafür, dass Wörter in der Vorphase den beeinträchtigenden Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse verringern. Dieser Einfluss der Vorphase lässt sich nur erklären, wenn man annimmt, dass Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten beteiligt ist. Danach erhöht die Habituation der Orientierungsreaktion in der Vorphase das Ausmaß an Aufmerksamkeit, das für das kurzfristige Behalten verfügbar ist. Denn die Habituation der Orientierungsreaktion verringert die Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit durch die irrelevanten Wörter (siehe Cowan, 1988,

1997, 1999; Näätänen, 1992, pp. 60-68; Öhman, 1979; Siddle, 1991). Ist Aufmerksamkeit für das kurzfristige Behalten unwichtig, dann sollte die Modulation der Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit durch die Vorphase wirkungslos sein. Denn in diesem Fall gelangen die irrelevanten auditiven Ereignisse immer noch automatisch in die Struktur, die für das kurzfristige Speichern der relevanten Ereignisse zuständig ist, und führen dort zu Interferenzen (siehe Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999; Jones, 1993, 1999).

Bemerkenswert ist, dass Wörter in der Vorphase den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse auch dann reduzierten, wenn nur globale Eigenschaften der auditiven Reizsituation – wie etwa die zeitliche Struktur – von Vorphase zur Experimentalphase identisch waren. Dieser Befund stimmt mit der Konzeption der Orientierungsreaktion von Sokolov (1963, 1975) und Cowan (1997) überein. Beide gehen davon aus, dass auch globale Eigenschaften einer kontinuierlichen Reizsituation im neuronalen Modell enthalten sein können. Sicher brauchen die Entdeckung und Repräsentation globaler Zusammenhänge zwischen Reizen Zeit und Verarbeitungsressourcen. Diese waren in der 20 Minuten langen Vorphase gegeben. Somit ist es plausibel, dass ein komplexes neuronales Modell entstanden ist, das die Habituation der Orientierungsreaktion auf Basis globaler Eigenschaften und damit die Verringerung des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse ermöglichte. Dieser Befund ist konsistent mit den Ergebnissen von Morris und Jones (1990), die bereits eine Abnahme der beeinträchtigenden Wirkung italienischer Sprache durch sprachähnliche Reizsituationen berichteten. Das Experiment 3 bestätigte also diesen Befund.

Überraschend war, dass die wortspezifische Habituation im Vergleich zur zeitlichen Habituation nicht zu einer signifikanten Steigerung der seriellen Reproduktionsleistung geführt hat. Da in dieser Gruppe sowohl inhaltliche als auch globale Eigenschaften der auditiven Reizsituation wiederholt auftraten, war eine stärkere Abnahme der Orientierungsreaktion zu erwarten. Tatsächlich zeigte sich deskriptiv auch eine entsprechende Tendenz. Dieser Effekt war jedoch nicht groß genug, um zu einem signifikanten Unterschied zu führen. Allerdings sank der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse durch die Wiederholung der globalen Eigenschaften bereits um ca. 60 % (Ruhe - klassischer Wortwechsel = .09 vs. Ruhe - zeitliche Habituation = .03). Vor diesem Hintergrund ist es plausibel, dass sich eine weitere Abnahme der Orientierungsreaktion durch die zusätzliche inhaltliche Wiederholung bei der durch die Stichprobengröße gegebenen Sensitivität nicht mehr signifikant auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse auswirken konnte. Die serielle Positionskurve zeigte den für serielle Reproduktionsaufgaben typischen Verlauf (siehe z.B.

Madigan, 1980) und bestätigt, dass die Teilnehmer die intendierte serielle Erinnerungsstrategie tatsächlich ausgeführt haben.

Insgesamt zeigt das dritte Experiment, dass eine Habituation der Orientierungsreaktion den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse verringern kann. Die ausreichende Verfügbarkeit von Verarbeitungsressourcen und eine kontinuierliche auditive Reizsituation scheinen dafür allerdings Voraussetzungen zu sein. Dabei führt eine Kontinuität der globalen Eigenschaften eines Reizmusters bereits zu einer deutlichen Habituation der Orientierungsreaktion. Das dritte Experiment belegt außerdem, dass ein Habituationseffekt auch bei seriellen Reproduktionsaufgaben auftritt. Daraus folgt, dass die Abnahme der Orientierungsreaktion speziell das kurzfristige Behalten in Gegenwart von irrelevanten auditiven Ereignissen erleichtert. Da das kurzfristige Behalten von der erhöhten Verfügbarkeit von Aufmerksamkeitsressourcen profitiert, ist eine Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten wahrscheinlich.

8 Experiment 4

Ziel des vierten Experimentes war es, den Einfluss von Wortwiederholung in einer Vorphase auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse mit einem ökonomischeren Design zu replizieren. Damit sollte einerseits die Zuverlässigkeit des in Experiment 3 beobachteten Habituationseffekts überprüft werden; andererseits sollte eine günstige Ausgangsbasis für weiterführende Untersuchungen geschaffen werden. Diesmal begann *jeder* Durchgang mit einer Vorphase von 45 s. In der kritischen Bedingung hörten die Teilnehmer in dieser Zeit bereits die beiden Wörter, die sie auch während des anschließenden Durchgangs der seriellen Reproduktionsaufgabe hörten. Auf diese Weise sollte Habituation in der kritischen Bedingung vor jedem Durchgang der seriellen Reproduktionsaufgabe neu entstehen. Das hat den entscheidenden Vorteil, dass eine gleichbleibende auditive Situation nur von der Vorphase zum nachfolgenden Durchgang der seriellen Reproduktionsaufgabe gewährleistet sein muss, nicht aber von einem Durchgang zum nächsten. Dadurch war es möglich, die auditive Reizsituation messwiederholt zu manipulieren, so dass der notwendige Stichprobenumfang im Vergleich zum Experiment 3 ($N = 320$) deutlich geringer ausfiel ($N = 67$).

Dieses Vorgehen hat jedoch den Nachteil, dass die Vorphasen deutlich kürzer ausfallen müssen, um die Länge des Experiments in einem angemessenen Rahmen (ca. 1 Stunde) zu halten. Im Vorfeld war nicht klar, ob 45 s für eine Habituation an die Wörter ausreichen. Allerdings war die

Anzahl der dargebotenen Wörter in der Vorphase des dritten Experiments (2000 Wörter = 1000 Wiederholungen des Wortpaares) sehr hoch. Es ist bekannt, dass die Orientierungsreaktion auf einfache Reize – wie etwa Töne – schon nach wenigen Wiederholungen habituiert. Sokolov (1963, p. 119) gibt beispielsweise an, dass 6-12 Wiederholungen in der Regel ausreichen. Es ist plausibel, dass der Aufbau eines neuronalen Modells einer komplexeren Reizsituation – wie etwa der Wechsel zweier Wörter – mehr Wiederholungen erfordert. Denn erst wenn die Verbindung zwischen den Wörtern entdeckt ist, ist die Integration der Wörter in ein gemeinsames neuronales Modell wahrscheinlich. Dennoch scheint die Relation von 1000 zu 12 unverhältnismäßig hoch zu sein. Das vierte Experiment sollte zeigen, ob die Darbietung von 75 Wörtern – ca. 38 Wiederholungen pro Wortpaar – ausreicht, um Habituation an den Wechsel zweier Wörter zu erlauben. Ist dies der Fall, sollte der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse abnehmen, wenn Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten beteiligt ist. Anderenfalls sollte die Wortdarbietung in der Vorphase die serielle Reproduktionsleistung nicht verändern.

8.1 Methode

8.1.1 Stichprobe

An dem Experiment nahmen 71 Personen teil. Daten von vier Teilnehmern wurden von der Datenauswertung ausgeschlossen, da diese Teilnehmer entweder die Kopfhörer während des Experiments zeitweise auszogen, oder eine lautlose Umgebung durch starken Lärm von außerhalb nicht sicher gestellt war. Insgesamt flossen Daten von 67 Teilnehmern (50 Frauen, 17 Männer) im Alter von 18-50 Jahren ($M = 25$, $SD = 7$) in die Auswertung ein. Alle Teilnehmer verfügten über sehr gute Deutschkenntnisse und berichteten normales Hör- und Sehvermögen. Die Teilnehmer wurden über Aushänge an der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf und Anzeigen in lokalen Zeitungen rekrutiert. Sie wurden wahlweise mit Teilnehmerstunden oder 8 Euro entlohnt.

8.1.2 Material

Das Material entsprach den Experimenten 1 und 2.

8.1.3 Ablauf

Zu Beginn jedes Durchgangs sahen die Teilnehmer 45 s lang eine rote Ampel. In dieser Zeit sollten sie ruhig und konzentriert sitzen bleiben. Sie durften keine Geräusche machen und mussten die Kopfhörer aufbehalten. Nach der Vorphase sahen die Teilnehmer im 1-Sekunden-Takt erst eine gelbe dann eine grüne Ampel. Eine Sekunde danach begann die serielle Reproduktionsaufgabe. Sie war im Wesentlichen analog zu den übrigen Experimenten aufgebaut. Nur die Notwendigkeit, die Abrufphase zeitlich zu kontrollieren, entfiel in diesem Experiment. Denn die Habituation der Orientierungsreaktion musste durch die kurzen Vorphasen nicht mehr von einem Durchgang zum nächsten erhalten bleiben. Die Teilnehmer konnten daher die Abrufphase durch das Drücken einer «Weiter-Taste» selbstständig beenden. Dann sahen sie für 3 s ihren Fortschritt im Experiment und ihre bisher erzielten Punkte, bevor die Vorphase des nächsten Durchgangs begann.

Die Teilnehmer wussten, dass sie manchmal Wörter in der Vorphase und/oder in der seriellen Reproduktionsaufgabe hören würden. Ihnen war klar, dass die Wörter für die Aufgabe irrelevant waren und ignoriert werden sollten. Im Gegensatz zu den Experimenten 2 und 3 herrschte immer Stille während der Abrufphase. Die auditive Situation in der Vorphase bestand entweder aus Ruhe oder der Wiederholung von zwei zufällig ausgewählten Wörtern. Die darauf folgende serielle Reproduktionsaufgabe führten die Teilnehmer ebenfalls entweder in Ruhe oder während der Wiederholung von zwei Wörtern aus. Durch Kombination dieser beiden Faktoren entstanden vier unterschiedliche auditive Situationen, die jeweils 10 Mal in zufälliger Reihenfolge auftraten. Die unterschiedlichen auditiven Situationen sind in Abbildung 17 schematisch dargestellt. Die *klassische Ruhesituation* entstand, wenn die Teilnehmer keine Wörter während der Vorphase und seriellen Reproduktion hörten. In der *klassischen Wortwechselsituation* hörten die Teilnehmer zwar keine Wörter in der Vorphase, jedoch während der Reproduktionsaufgabe. In der kritischen *Habituationssituation* hörten die Teilnehmer mit Beginn der Vorphase bis einschließlich dem Behaltensintervall der Reproduktionsaufgabe immer die gleichen zwei Wörter im Wechsel. In einer zusätzlichen Ruhesituation hörten die Teilnehmer *nur* während der Vorphase zwei Wörter im Wechsel. Diese Bedingung gewährleistete, dass jede auditive Situation in jeder Phase gleich häufig auftrat, so dass Erwartungseffekte ausgeschlossen waren. Vor dem Experiment absolvierten die Teilnehmer zwei Übungsdurchgänge. Das Experiment dauerte ca. 60 min.

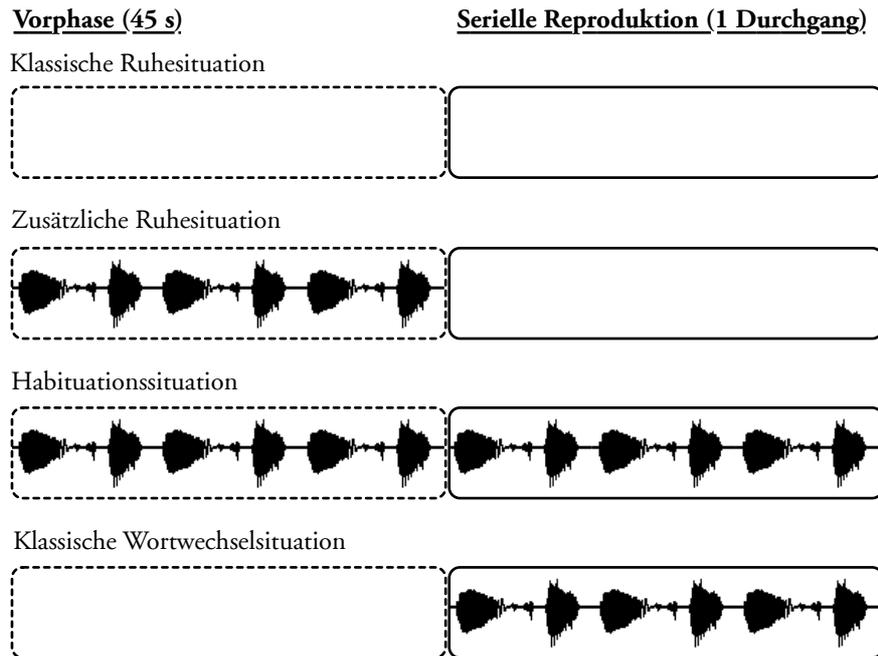


Abbildung 17: Übersicht der vier auditiven Situationen in Experiment 4.

8.1.4 Design

Dem Experiment lag ein $2 \times 2 \times 9$ -faktorielles Design zugrunde. Die auditive Situation in der Vorphase (Ruhe, Wortwechsel) bildete den ersten messwiederholten Faktor, die auditive Situation in der seriellen Reproduktion (Ruhe, Wortwechsel) stellte den zweiten messwiederholten Faktor und die serielle Position (1-9) den dritten messwiederholten Faktor dar. Als abhängige Variable wurde die Anzahl richtiger Ziffern pro Durchgang ermittelt. Eine Ziffer wurde nur dann als richtig gewertet, wenn sie an der richtigen Position wiedergegeben wurde. Die Anzahl richtiger Ziffern wurde an den insgesamt zu erinnernden Ziffern relativiert. Die Sensitivitätsanalyse bezog sich auf die primär interessierende Interaktion zwischen der auditiven Situation in der Vorphase und in der seriellen Reproduktion. Bei einer Stichprobe von $N = 67$ Teilnehmern, einem Alpha-niveau von $\alpha = .05$ und einer Korrelation von $\rho = .50$ kann ein Effekt der Größe $\eta^2 = .05$ mit einer Teststärke von $1 - \beta = .95$ entdeckt werden (berechnet mit G*Power; siehe Faul et al., 2007).

8.2 Ergebnisse

Die Daten wurden mit einer messwiederholten multifaktoriellen multivariaten Varianzanalyse global analysiert. Einzelne Vergleiche zwischen zwei Stufen wurden mit einer messwiederholten einfaktoriellen Varianzanalyse berechnet. Die serielle Position diente nur der Überprüfung, ob die

Teilnehmer tatsächlich die intendierte serielle Erinnerungsstrategie ausgeführt hatten. Dieser Faktor wurde daher lediglich global analysiert. Der Beurteilung der statistischen Signifikanz lag ein Alphaniveau von .05 zugrunde. Als Effektstärkemaß wurde das partielle Eta-Quadrat verwendet. Die Ergebnisse wurden auf zwei Stellen nach dem Komma gerundet. Einzige Ausnahme stellte die Irrtumswahrscheinlichkeit dar, die auf drei Stellen nach dem Komma gerundet wurde.

Der Vergleich zwischen Ruhe und Wortwechsel während der Vorphase ergab keinen signifikanten Unterschied, $F(1, 66) = 0.94$, $p = .336$, $\eta^2 = .01$. Teilnehmer, die die Reproduktionsaufgabe in Ruhe durchführten, erinnerten generell mehr Ziffern in der richtigen Reihenfolge als Teilnehmer, die in dieser Phase Wörter im Wechsel hörten, $F(1, 66) = 87.97$, $p < .001$, $\eta^2 = .57$. Dieser Unterschied war jedoch kleiner, wenn die Teilnehmer bereits Wörter, $F(1, 66) = 37.21$, $p < .001$, $\eta^2 = .36$, anstatt Ruhe während der Vorphase hörten, $F(1, 66) = 69.73$, $p < .001$, $\eta^2 = .51$. Entsprechend ergab sich eine signifikante Interaktion zwischen der auditiven Situation in der Vorphase und der seriellen Reproduktion, $F(1, 66) = 6.39$, $p = .014$, $\eta^2 = .09$. Dabei verbesserte der Wechsel von zwei Wörtern in der Vorphase die Erinnerungsleistung, wenn die Teilnehmer anschließend Wörter während der seriellen Reproduktion hörten, $F(1, 66) = 6.74$, $p = .012$, $\eta^2 = .09$. Dagegen führten Wörter anstatt Ruhe in der Vorphase tendenziell, aber nicht signifikant, zu schlechteren Leistungen, wenn die Teilnehmer die folgende Reproduktionsaufgabe in Ruhe durchführten, $F(1, 66) = 1.11$, $p = .296$, $\eta^2 = .02$. Somit geht die Interaktion primär auf eine Reduktion der beeinträchtigenden Wirkung von Wörtern während der seriellen Reproduktion durch das Hören dieser Wörter in der Vorphase zurück. Abbildung 18 illustriert diesen Zusammenhang.

Analog zu den bisherigen Experimenten nahm die serielle Reproduktionsleistung von der ersten zur achten Position ab und stieg zur letzten Position wieder an, $F(8, 59) = 25.61$, $p < .001$, $\eta^2 = .78$. Die Interaktion zwischen serieller Position und auditiver Präsentation während der seriellen Reproduktion war signifikant, $F(8, 59) = 5.39$, $p < .001$, $\eta^2 = .42$. Diese Interaktion beruht darauf, dass sich der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse stärker in den mittleren Positionen niederschlägt als in den Randpositionen. Diesen Zusammenhang veranschaulicht die Abbildung 19. Die Interaktion zwischen der seriellen Position und der auditiven Situation in der Vorphase, $F(8, 59) = 0.99$, $p = .454$, $\eta^2 = .12$, und die dreifache Interaktion zwischen allen Faktoren, $F(8, 59) = 1.45$, $p = .195$, $\eta^2 = .16$, waren nicht signifikant.

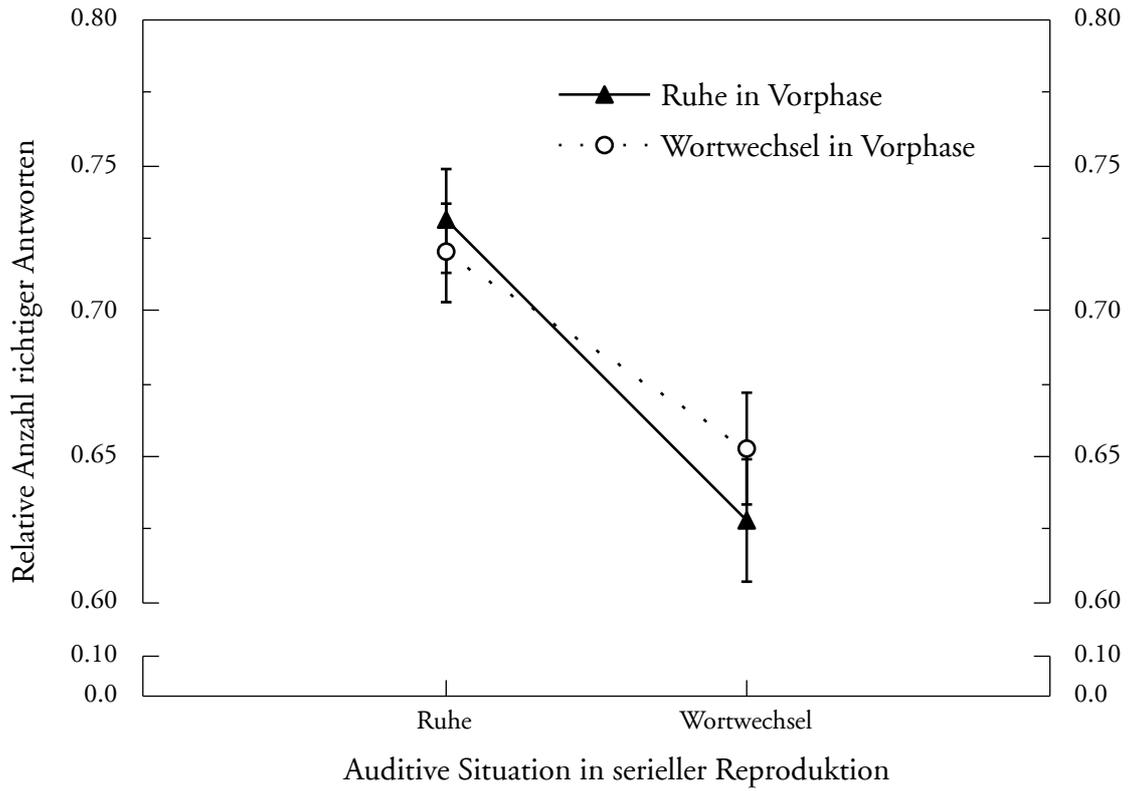


Abbildung 18: Die serielle Reproduktionsleistung in Abhängigkeit von der auditiven Situation in der Vorphase und seriellen Reproduktionsaufgabe. Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler.

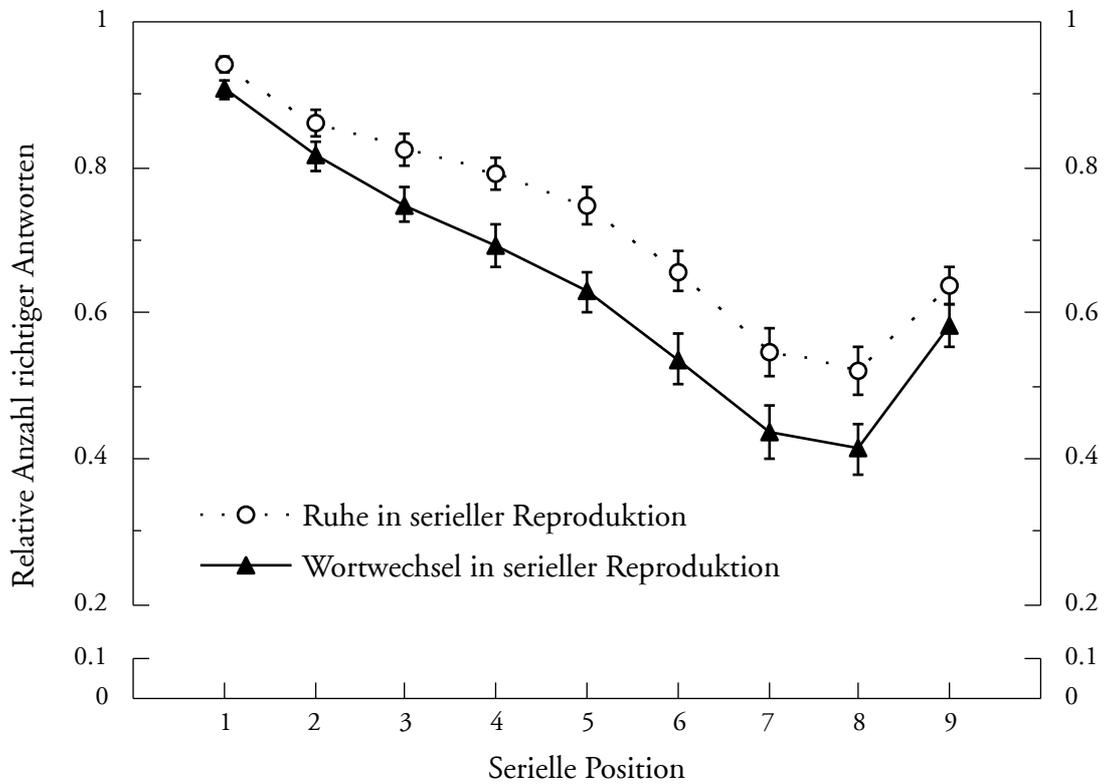


Abbildung 19: Die serielle Reproduktionsleistung im Verlauf der seriellen Positionen in Abhängigkeit von der auditiven Situation während der seriellen Reproduktionsdurchgänge. Die Fehlerbalken bezeichnen den Standardfehler.

8.3 Diskussion

Auch im vierten Experiment zeigte sich der typische Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse (siehe Jones & Morris, 1992, für einen Überblick) in Form einer schlechteren Erinnerungsleistung, wenn die Teilnehmer Wörter während der seriellen Reproduktionsaufgabe hörten. Interessant ist, dass die beeinträchtigende Wirkung der irrelevanten Wörter geringer war, wenn die Teilnehmer diese Wörter bereits in der Vorphase gehört hatten. Dieser Effekt geht nicht auf einen generellen positiven Einfluss von Wörtern in der Vorphase auf die Reproduktionsaufgabe zurück, denn er trat nur auf, wenn die Teilnehmer auch Wörter während der Reproduktionsaufgabe hörten. Führten die Teilnehmer die Reproduktionsaufgabe in Ruhe aus, wirkten sich Wörter während der Vorphase tendenziell sogar negativ aus – die Teilnehmer erinnerten weniger Ziffern in der richtigen Reihenfolge. Die serielle Positionskurve zeigte den für serielle Reproduktionsaufgaben typischen Verlauf (siehe z.B. Madigan, 1980) und bestätigt, dass die Teilnehmer die intendierte serielle Erinnerungsstrategie tatsächlich ausgeführt haben.

Das vierte Experiment bestätigt das zentrale Ergebnis des dritten Experiments: Wortwiederholung senkt den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse, wenn ausreichend Ressourcen für den Aufbau eines neuralen Modells zur Verfügung stehen, so dass Habituation stattfinden kann. Dieser Effekt ist plausibel, wenn man annimmt, dass Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten beteiligt ist. Denn Habituation senkt die Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit durch irrelevante Wörter (siehe Cowan, 1988, 1997, 1999; Näätänen, 1992, pp. 60-68; Öhman, 1979; Siddle, 1991). Es stehen also mehr Aufmerksamkeitsressourcen für das Behalten der relevanten Ziffern zur Verfügung, wenn die Teilnehmer habituierte anstatt nicht-habituierte Wörter hören. Die erhöhte Verfügbarkeit von Aufmerksamkeitsressourcen sollte unwirksam sein, wenn diese Ressourcen nicht für das kurzfristige Behalten nötig sind. Tatsächlich zeigte sich aber eine Verbesserung des kurzfristigen Behaltens. Das vierte Experiment zeigte darüber hinaus, dass ca. 38 Wiederholungen bereits ausreichen, um an die dargebotenen Wortpaare zu habituierten. Der genaue Zusammenhang zwischen der Anzahl der Wiederholungen komplexer Reize und dem Ausmaß an Habituation muss zwar noch untersucht werden, dennoch ist jetzt klar, dass minutenlange Vorphasen unnötig sind. Mit dem vierten Experiment wurde also ein Design entwickelt, das sich besonders gut für weiterführende Untersuchungen eignet, da vergleichsweise wenige Teilnehmer pro Experiment benötigt werden.

9 Allgemeine Diskussion

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der vorgestellten Experimente zusammenfassend dargestellt. Die Einbettung des Befundmusters in den empirischen Hintergrund wird das Gesamtbild ergänzen. Auf dieser Basis wird die Frage beantwortet, ob Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten beteiligt ist oder nicht. Eine kritische Betrachtung der Implikationen der vorliegenden Befunde für die Ursachen des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse und der Konsequenzen für die Praxis runden die Diskussion ab.

9.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das erste Experiment zeigte die Entwicklung des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse im Verlauf von insgesamt 90 Durchgängen. Es trat keine Veränderung der beeinträchtigenden Wirkung der irrelevanten Wörter ein – weder durch die wiederholte Darbietung zweier Wörter über die ersten 85 Durchgänge, noch durch die neuen Wortpaare in den letzten fünf Durchgängen. Das zweite Experiment bestätigte diesen Befund. Diesmal war die auditive Reizsituation nicht nur von einem Durchgang zum nächsten identisch, sondern über alle 85 Durchgänge konstant – das heißt, es fand nicht mal eine Unterbrechung in der Abrufphase statt. Trotzdem blieb die Wortwiederholung im Verlauf der Durchgänge wirkungslos.

Im dritten Experiment ging der eigentlichen Gedächtnisaufgabe eine Vorphase von 20 Minuten voran, in der die Teilnehmer keine Aufgabe hatten. Teilnehmer der kritischen Gruppe hörten in der Vorphase und während der Gedächtnisaufgabe Wörter. Tatsächlich verringerte die Wortdarbietung in der Vorphase die beeinträchtigende Wirkung von irrelevanten Wörtern auf das kurzfristige Behalten. Das vierte Experiment bestätigte diesen Effekt. Diesmal war die Vorphase nur 45 Sekunden lang und ging jedem Durchgang voran. Dadurch war eine messwiederholte Variation der auditiven Situation möglich. Wieder nahm die beeinträchtigende Wirkung von Wörtern während der seriellen Reproduktionsaufgabe durch das Hören dieser Wörter in der Vorphase ab.

9.2 Der Einfluss von Habituation auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse

Die empirische Befundlage zeigte auf den ersten Blick eine Tendenz gegen einen Einfluss von Habituation auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse (Campbell et al., 2002, Exp. 3a;

Hughes & Jones, 2005; Jones et al., 1997; Tremblay, 1997; Tremblay & Jones, 1998). Sie war jedoch nicht eindeutig, da ein Einfluss von Habituation in manchen Experimenten sehr wohl auftrat (Banbury & Berry, 1997, Exp. 3b; Campbell et al., 2002; Campbell et al., 2003; Tremblay & Jones, 1998). Da die Ursachen für dieses unstimmige Bild bisher nicht klar waren, war eine abschließende Bewertung der Befundlage in Hinsicht auf die Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten nicht möglich. Eine kritische Betrachtung der bisherigen Experimente zeigte sogar, dass ein großer Teil der dieser Experimente gar nicht geeignet war, den Einfluss von Habituation zu überprüfen. Die Veränderung der Anzahl verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse (Campbell et al., 2002; Campbell et al., 2003) führte zu einem Befundmuster, dass sowohl mit der Annahme als auch mit dem Ausschluss einer Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten vereinbar ist. Betrachtet man nur die Experimente, deren Aufbau für die Überprüfung der Aufmerksamkeitsfrage prinzipiell geeignet war, halten sich Experimente für (Banbury & Berry, 1997, Exp. 1-3; Morris & Jones, 1990) und wider (Jones et al., 1997, Exp. 1-3; Tremblay, 1997; Tremblay & Jones, 1998, Exp. 3) einen Einfluss von Habituation in etwa die Waage. Methodische Unterschiede könnten die heterogene Datenlage begründen. Dies wurde in der vorliegenden Arbeit systematisch untersucht.

Die Experimente 1 und 2 der vorliegenden Arbeit bestätigten, dass die Wiederholung einer auditiven Situation über mehrere Durchgänge hinweg den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse nicht verändert. Dieses Befundmuster stimmt mit den bisherigen Experimenten zur durchgangsbezogenen Habituation überein (Jones et al., 1997, Exp. 1 und 2; Tremblay, 1997; Tremblay & Jones, 1998, Exp. 3), denn in keinem dieser Experimente trat eine signifikante Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse im Verlauf der Durchgänge auf. Experiment 1 schloss die Unbeständigkeit der auditiven Reizsituation, eine zu niedrige Teststärke und die fehlende zeitliche Kontrolle der Abrufphase als einzige Ursachen für die beobachtete Konstanz des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse aus. Experiment 2 zeigte darüber hinaus, dass auch die Unterbrechung der auditiven Situation durch Ruhe in der Abrufphase nicht maßgeblich für diesen Befund ist. Allerdings ergab das zweite Experiment zumindest eine tendenzielle Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse. Das spricht dafür, dass die Unterbrechung der auditiven Situation durch Ruhe für die Habituation der Orientierungsreaktion grundsätzlich eine Rolle spielt. Es zeigt aber auch, dass die Kontinuität der auditiven Reizsituation für einen substantiellen Einfluss von Habituation auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse nicht ausreicht. Durch den Aus-

schluss alternativer Erklärungen ist jetzt deutlich: Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse bleibt im Verlauf von Durchgängen konstant.

Dieser Befund scheint jedoch im Widerspruch zu den Experimenten zu stehen, in denen die Teilnehmer in der kritischen Gruppe Wörter bereits in der Vorphase hörten. Hier nahm der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse durch Wiederholung der auditiven Reizsituation ab – zumindest in vier (Banbury & Berry, 1997; Morris & Jones, 1990) der fünf bisherigen Experimente. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass der Aufbau eines neuronalen Modells umso besser gelingt, je weniger die verfügbaren Ressourcen in eine willentliche Aufgabe eingebunden sind (Näätänen, 1992, 60-68; Öhman, 1979; Woldorff et al., 1991). Während der Vorphase sind alle Ressourcen frei verfügbar, während der seriellen Reproduktionsaufgabe sind sie jedoch stark eingebunden. Das ist eine plausible Erklärung für die unterschiedlichen Befunde zwischen Experimenten mit Vorphase und durchgangsbezogener Habituation, denn eine Abnahme der Orientierungsreaktion tritt erst dann ein, wenn ein detailliertes neuronales Modell vorhanden ist.

Problematisch war, dass der Zusammenhang zwischen Habituation und der Verfügbarkeit von Verarbeitungsressourcen noch nicht abschließend geklärt ist (siehe Cowan, 1997, pp. 140-141; Näätänen, 1992, pp. 60-68). Gleichzeitig deckte eine kritische Betrachtung der Experimente mit Vorphase methodische Probleme auf, welche die Bewertung der Befunde erschwerten. Experiment 3 der vorliegenden Arbeit zeigte aber, dass der Effekt irrelevanter Wörter durch Wörter in der Vorphase zuverlässig abnimmt und zwar auch dann, wenn die Teststärke hoch ist und die Teilnehmer eine serielle Reproduktionsaufgabe ausführen. Eine Unterbrechung der auditiven Situation durch Ruhe fand in Experiment 3 nicht statt. Es ist wahrscheinlich, dass das die Ursache für das Ausbleiben des Habituationseffekts in dem Experiment von Jones und Kollegen (1997, Exp. 3) war. Experiment 3 spricht außerdem dafür, dass eine Kontinuität in globalen Eigenschaften der auditiven Reizsituation – wie etwa die zeitliche Struktur – bereits zu einer Habituation der Orientierungsreaktion führen kann. Ein analoges Ergebnis berichteten bereits Morris und Jones (1990). Experiment 4 bestätigte die Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse durch Wörter in der Vorphase. Es zeigte darüber hinaus, dass eine Vorphase von 45 s für eine Habituation der Orientierungsreaktion ausreicht. Das ist praktisch, da der Einfluss von kurzen Vorphasen auch messwiederholt getestet werden kann, indem die kurze Vorphase jedem einzelnen Durchgang vorangeht. Dieser Aufbau ist ökonomisch und eignet sich damit besonders gut für weiterführende Untersuchungen.

Insgesamt ergibt sich damit ein klares Bild. Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse bleibt im Verlauf von Durchgängen stabil, da eine Habituation der Orientierungsreaktion in diesem Fall nicht oder nur in geringem Ausmaß stattfinden kann. Stehen ausreichende Verarbeitungsressourcen zur Verfügung, habituiert die Orientierungsreaktion auf irrelevante auditive Ereignisse – vorausgesetzt die auditive Reizsituation ist von Vorphase zur Experimentalphase kontinuierlich. Das bewirkt eine Abnahme der Beeinträchtigung des kurzfristigen Behaltens durch diese Ereignisse. Die Wiederholung einer irrelevanten auditiven Situation verringert also die störende Wirkung irrelevanter auditiver Ereignisse auf das kurzfristige Behalten immer dann, wenn eine Habituation der Orientierungsreaktion stattfinden kann. Voraussetzungen dafür sind eine Kontinuität der auditiven Reizsituation mindestens in globalen Eigenschaften und die ausreichende Verfügbarkeit von Verarbeitungsressourcen. Außerdem muss eine hohe Teststärke gegeben sein, da der Habituationseffekt eher im kleinen bis mittleren Bereich liegt (Experiment 3: $\eta^2 = .02$; Experiment 4: $\eta^2 = .09$). Der experimentelle Aufbau des vierten Experiments ist am besten für künftige Untersuchungen geeignet, da alle Voraussetzungen für eine erfolgreiche Habituation in einer messwiederholten Anordnung umgesetzt sind. Auf diese Weise kann eine ausreichende Teststärke auch bei geringerem Stichprobenumfang erreicht werden.

9.3 Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten

Mittlerweile ist belegt, dass irrelevante auditive Ereignisse während einer seriellen Reproduktionsaufgabe speziell das kurzfristige Behalten stören (Beaman & Jones, 1998; Buchner et al., 2004; Colle, 1980; Ellermeier & Hellbrück, 1998). Die Identifikation von Eigenschaften irrelevanter auditiver Ereignisse mit besonders viel oder besonders wenig Störpotential gibt daher Aufschluss darüber, welche Prozesse am kurzfristigen Behalten beteiligt sind. Die vorliegende Untersuchung zeigte, dass eine erfolgreiche Habituation der Orientierungsreaktion die beeinträchtigende Wirkung irrelevanter auditiver Ereignisse verringert. Da eine Habituation der Orientierungsreaktion die Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit verringert (Cowan, 1988, 1997, 1999; Näätänen, 1992, pp. 60-68; Öhman, 1979; Siddle, 1991), spricht dieses Befundmuster für eine Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten.

Arbeitsgedächtnismodelle, die eine Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten ausschließen, sind mit diesem Befund nicht vereinbar. Nach dem Modell multipler Komponenten (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999) stören irrelevante auditive Ereignisse das

kurzfristige Behalten deswegen, weil sie automatisch in den phonologischen Speicher gelangen. Der phonologische Speicher ist aber auch für die Repräsentation verbaler visueller Ereignisse zuständig. Die gleichzeitige Anwesenheit irrelevanter und relevanter auditiver Ereignisse führt zu Konfusion. Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse sollte nach dem Modell multipler Komponenten eine Funktion der phonologischen Ähnlichkeit zwischen den relevanten und irrelevanten Ereignissen sein. Dieser Zusammenhang konnte aber nicht überzeugend empirisch belegt werden (Bridges & Jones, 1996; Buchner et al., 1996; Jones & Macken, 1995c; Larsen et al., 2000; LeCompte & Shaibe, 1997; Salamé & Baddeley, 1982). Hinzu kommt, dass die Wiederholung irrelevanter auditiver Ereignisse deren phonologische Zusammensetzung nicht verändert. Daher ist die phonologische Erklärung weder mit dem Einfluss von Zustandsveränderungen (Bridges & Jones, 1996; Campbell et al., 2002; Hughes, Tremblay et al., 2005; Jones, 1994; Jones et al., 2000; Jones & Macken, 1993, 1995a, 1995b, 1995c; Jones et al., 1993; Jones et al., 1992) noch mit dem Einfluss der Habituation der Orientierungsreaktion auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse vereinbar. Insgesamt spricht die aktuelle empirische Datenlage zum Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse daher gegen die Annahmen des Modells multipler Komponenten.

Das objektorientierte episodische Speichermodell (Jones, 1993, 1999) ist dagegen besonders gut geeignet, den Einfluss von Zustandsveränderungen auf den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse zu erklären. Nach diesem Modell stören irrelevante auditive Ereignisse deswegen, weil sie automatisch den Seriationsprozess beanspruchen, der für das Behalten der relevanten Ereignisse unverzichtbar ist. Je mehr irrelevante Objekte auf der Schreibtafel abgebildet werden, desto stärker beanspruchen sie den Seriationsprozess. Die Anzahl der Zustandsveränderungen im auditiven Material bestimmt die Anzahl irrelevanter auditiver Objekte auf der Schreibtafel. Die Wiederholung eines auditiven Ereignisses enthält keine Zustandsveränderungen (siehe auch Bridges & Jones, 1996; Jones et al., 1992). Sobald jedoch *verschiedene* auditive Ereignisse auftreten, werden Zustandsveränderungen zwischen diesen Ereignissen entdeckt. Die Anzahl der Zustandsveränderungen bestimmt daher die Anzahl der irrelevanten Objekte, sobald verschiedene irrelevante auditive Ereignisse auftreten. Daher stört ein wiederholtes Ereignis das kurzfristige Behalten nicht, verschiedene irrelevante auditive Ereignisse dagegen schon und zwar umso mehr, je mehr irrelevante auditive Ereignisse insgesamt auftreten (*Distraktordosis*). Die Wiederholung mindestens zweier auditiver Ereignisse verändert die Anzahl der Zustandsveränderungen nicht, solange die Distraktordosis konstant bleibt. Die vorliegende Untersuchung zeigte aber, dass die Wiederho-

lung zweier verschiedener Wörter den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse verringern kann. Dieser Befund widerspricht damit den Annahmen des objektorientierten episodischen Speichermodells.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung entsprechen dagegen den Vorhersagen von Arbeitsgedächtnismodellen, nach denen Aufmerksamkeit für das kurzfristige Behalten wichtig ist. Nach dem Modell eingebetteter Prozesse (Cowan, 1988, 1997, 1999) ist der Fokus der Aufmerksamkeit die Basis des kurzfristigen Behaltens. Denn die Reaktivierung zu erinnernder Ereignisse gelingt nur, indem diese Ereignisse immer wieder in den Fokus der Aufmerksamkeit gelangen. Irrelevante auditive Ereignisse stören, weil sie Aufmerksamkeitsressourcen beanspruchen, die für das Behalten der relevanten Ereignisse unverzichtbar sind. Das Modell eingebetteter Prozesse enthält explizit die Annahme, dass die Orientierungsreaktion und deren Habituation Aufmerksamkeit im Arbeitsgedächtnis passiv steuern. Daraus ergibt sich, dass der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse umso stärker sein sollte, je größer die Orientierungsreaktion ist, die diese Ereignisse hervorrufen. Die Wiederholung eines auditiven Reizmusters führt zur Abnahme der Orientierungsreaktion durch Habituation. Dieser Mechanismus ist eine plausible Erklärung für das unterschiedliche Störpotential eines wiederholtes irrelevanten auditiven Ereignisses und verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse. Im Gegensatz zum objektorientierten episodischen Speichermodell (Jones, 1993, 1999) ergibt sich aber aus dem Modell eingebetteter Prozesse, dass auch die beeinträchtigende Wirkung verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse nachlässt, wenn eine Habituation an diese Ereignisse möglich ist. Das ist der Fall, wenn ein neurales Modell einer wiederholten auditiven Reizsituation angelegt werden kann. Genau diese Vorhersage bestätigte die vorliegende Untersuchung.

Nach dem Merkmalmodell (Nairne, 1988, 1990; Neath, 1999, 2000) gibt es zwei verschiedene Ursachen für den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse. Einerseits gelangen irrelevante auditive Ereignisse automatisch in das primäre Gedächtnis und beeinträchtigen die Repräsentationen der relevanten Ereignisse durch retroaktive Interferenz. Die Folge ist, dass der für das Behalten und Abrufen der relevanten Ereignisse nötige Vergleich zwischen primären und sekundären Repräsentationen schwerer ist. Andererseits moduliert aber auch das Ausmaß verfügbarer Aufmerksamkeitsressourcen diesen Vergleichsprozess. Das Merkmalmodell enthält zwar keine explizite Vorhersage zum Einfluss der Habituation der Orientierungsreaktion, ist aber aufgrund des Aufmerksamkeitsparameters prinzipiell mit der Idee vereinbar, dass eine Habituation der Orientierungsre-

aktion den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse reduziert. Denn eine Habituation der Orientierungsreaktion verringert das Ausmaß von Aufmerksamkeit, das die irrelevanten auditiven Ereignisse beanspruchen. Folglich stehen mehr Aufmerksamkeitsressourcen für den Vergleich primärer und sekundärer Repräsentationen zur Verfügung, so dass dieser besser gelingt. Somit sind die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen auch mit diesem Arbeitsgedächtnismodell vereinbar.

Arbeitsgedächtnismodelle können in zwei Kategorien aufgeteilt werden: Modelle, die eine Beteiligung von Aufmerksamkeit ausschließen und Modelle, in denen Aufmerksamkeit eine zentrale Rolle beim kurzfristigen Behalten spielt (siehe auch Buchner et al., 2008; Buchner & Erdfelder, 2005; Buchner et al., 2006; Buchner et al., 2004; Elliott, 2002; Lange, 2005). Die vorliegende Untersuchung bestätigt die empirische Angemessenheit der zweiten Kategorie von Arbeitsgedächtnismodellen. Denn der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse war kleiner, wenn eine Habituation der Orientierungsreaktion stattfand. Dazu passt, dass signifikante irrelevante auditive Ereignisse, die typischerweise viel Aufmerksamkeit beanspruchen (z.B. emotionshaltige Wörter), das kurzfristige Behalten auch stark beeinträchtigen (Buchner et al., 2008; Buchner & Erdfelder, 2005; Buchner et al., 2006; Buchner et al., 2004). Der Einfluss von Habituation der Orientierungsreaktion erklärt aber darüber hinaus, warum auch neutrale irrelevante auditive Ereignisse das kurzfristige Behalten stören können: Neue und sich verändernde auditive Reizsituationen beanspruchen durch eine Orientierungsreaktion automatisch Aufmerksamkeit. Zusammenfassend spricht die empirische Befundlage zum Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse jetzt deutlich für eine Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten.

9.4 Ursache des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse

Die vorliegenden Befunde sprechen zwar für eine Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten. Eine zweite Frage ist jedoch, ob irrelevante auditive Ereignisse das kurzfristige Behalten *nur* deswegen stören, weil sie Aufmerksamkeit beanspruchen.

In den Experimenten 1 und 2 trat keine Abnahme des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse auf. Es ist wahrscheinlich, dass die Wiederholung der Wörter im Verlauf der Durchgänge nicht zu einer Habituation der Orientierungsreaktion geführt hat. Die störende Wirkung der Wörter könnte daher darauf beruhen, dass sie durch eine automatische Orientierungsreaktion Aufmerksamkeit beansprucht haben. Die Experimente 3 und 4 zeigten, dass die beeinträchtigende Wir-

kung der Wörter abnimmt, wenn die Orientierungsreaktion habituiert. Trotzdem blieb die serielle Reproduktionsleistung im dritten Experiment tendenziell schlechter, wenn die Teilnehmer habituierte Wörter anstatt Ruhe während der Gedächtnisaufgabe hörten. Dieser Unterschied verfehlte nur knapp das Signifikanzniveau ($p = .058$, $\eta^2 = .01$). Im vierten Experiment verringerte die Habituation der Orientierungsreaktion zwar die beeinträchtigende Wirkung der irrelevanten Wörter, schaltete sie jedoch nicht gänzlich aus. Ein substantieller Unterschied zwischen der seriellen Reproduktionsleistung in Ruhe und während habituierter Wörter blieb bestehen ($\eta^2 = .36$). Die Daten weisen also insgesamt daraufhin, dass trotz der Habituation der Orientierungsreaktion ein störender Einfluss der irrelevanten Wörter übrig bleiben kann.

Eine mögliche Erklärung für das verbleibende Störpotential ist, dass die Orientierungsreaktion auf die irrelevanten Wörter in den Experimenten 3 und 4 nicht vollständig habituierte, so dass eine Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit bestehen blieb – wenn auch im geringeren Ausmaß. Künftige Untersuchungen könnten zeigen, ob eine vollständige Habituation der Orientierungsreaktion die beeinträchtigende Wirkung irrelevanter auditiver Ereignisse zuverlässig aufheben kann. Eine wichtige Einflussgröße in diesem Zusammenhang ist sicherlich die Wiederholungsrate. Dafür spricht, dass der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse im dritten Experiment (1000 Wiederholungen pro Wortpaar) im Vergleich zum vierten Experiment (38 Wiederholungen pro Wortpaar) deutlicher abnahm: Im dritten Experiment war die Leistung der Ruhegruppe um 9% besser als die der klassischen Wortwechselgruppe, dagegen nur um 3% besser im Vergleich zur wortspezifischen Habituationsgruppe. Somit sank der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse durch wortspezifische Habituation im Experiment 3 um ca. 67%. Im Experiment 4 sank der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse nur von 10% auf 8% – das entspricht einer Reduktion um 20%. Um im Vorfeld optimale Voraussetzungen für eine Habituation der Orientierungsreaktion schaffen zu können, wären parametrische Studien hilfreich, die den Zusammenhang der Habituation der Orientierungsreaktion und der Wiederholungsrate für Reize unterschiedlicher Komplexität aufdecken. Auf dieser Basis könnte genauer bestimmt werden, wie groß der Einfluss von Aufmerksamkeit auf das kurzfristige Behalten ist. Denn die vorliegenden Befunde schließen nicht aus, dass neben Aufmerksamkeit auch andere Faktoren – wie etwa retroaktive Interferenz (Nairne, 1988, 1990; Neath, 1999, 2000) oder präattentive perzeptuelle Organisationsprozesse (Jones, 1993, 1999) – den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse mitbestimmen.

Eine robuster Befund im Rahmen des Effekts irrelevanter auditiver Ereignisse ist, dass die Wiederholung eines irrelevanten auditiven Ereignisses *innerhalb eines Durchganges* weniger stört als der Wechsel verschiedener irrelevanter auditiver Ereignisse (Bridges & Jones, 1996; Campbell et al., 2002; Hughes, Tremblay et al., 2005; Jones, 1994; Jones et al., 2000; Jones & Macken, 1993, 1995a, 1995b, 1995c; Jones et al., 1993; Jones et al., 1992). Dieser Einfluss kann prinzipiell mit der Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit erklärt werden. Denn die Wiederholung eines irrelevanten auditiven Ereignisses könnte zu einer Habituation der Orientierungsreaktion und somit zu einer Verringerung der beanspruchten Aufmerksamkeit führen. Problematisch ist jedoch, dass die Experimente 1 und 2 der vorliegenden Untersuchung darauf hinweisen, dass eine Habituation der Orientierungsreaktion während einer anstrengenden Primäraufgabe schwierig ist. Eine zusätzliche Annahme kann dieses Problem lösen – nämlich, dass der Aufbau eines neuronalen Modells eines wiederholten Ereignisses deutlich weniger Ressourcen erfordert als der Aufbau eines neuronalen Modells verschiedener Ereignisse. Ist dies der Fall, kann eine Habituation an ein wiederholtes auditives Ereignis während der seriellen Reproduktion stattfinden, eine Habituation an verschiedene auditive Ereignisse aber nicht.

Das objektorientierte episodische Speichermodell (Jones, 1993, 1999) erfordert jedoch keine zusätzliche Annahme, um das unterschiedliche Störpotential wiederholter und wechselnder irrelevanter auditiver Ereignisse innerhalb eines Durchgangs zu erklären. Danach bestimmt bereits die perzeptuelle Organisation der auditiven Reizsituation, wie viele irrelevante Repräsentationen ins Arbeitsgedächtnis gelangen. Wiederholte irrelevante auditive Ereignisse enthalten keine Zustandsveränderungen und führen daher nur zu einer irrelevanten Repräsentation im Arbeitsgedächtnis, wechselnde irrelevante auditive Ereignisse dagegen zu mehreren irrelevanten Repräsentationen, die das kurzfristige Behalten entsprechend stärker stören. Problematisch ist, dass nach dem objektorientierten episodischen Speichermodell eine Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten ausgeschlossen ist. Diese Annahme widerspricht dem Befundmuster der vorliegenden Untersuchung. Denkbar wäre aber, dass die präattentive perzeptuelle Organisation und die Inanspruchnahme von Aufmerksamkeit gemeinsam die störende Wirkung irrelevanter auditiver Ereignisse bestimmen. Ist dies der Fall, müssten bestehende Arbeitsgedächtnismodelle entsprechend erweitert werden.

Eine interessante Frage ist daher, ob die reine Wiederholung eines irrelevanten auditiven Ereignisses bereits eine ausreichende Bedingung für das geringe Störpotential darstellt oder ob die

Wiederholung nur dann die beeinträchtigende Wirkung reduziert, wenn eine Habituation der Orientierungsreaktion stattfindet. Eine Möglichkeit, diese Frage zu überprüfen, wäre die Darbietung eines wiederholten neutralen bzw. signifikanten irrelevanten auditiven Ereignisses innerhalb eines Durchgangs. Bei einem neutralen Ereignis könnte eine Habituation der Orientierungsreaktion möglich, bei einem signifikanten Ereignis dagegen schwierig sein. Denn die Wiederholung verändert die Signifikanz des auditiven Ereignisses nicht, und Signifikanz führt zu einer Orientierungsreaktion (siehe auch Cowan, 1988, 1997, 1999; Gati & Ben Shakhar, 1990; Öhman, 1979; Siddle, 1991; Sokolov, 1975). Stört ein signifikantes irrelevantes auditives Ereignis mehr als ein neutrales, dann ist die reine Wiederholung keine ausreichende Voraussetzung für die fehlende Beeinträchtigung des kurzfristigen Behaltens, stattdessen bestimmt die Stärke der Orientierungsreaktion das Störpotential irrelevanter auditiver Ereignisse. In diesem Zusammenhang ist auch interessant, ob ein in einem Durchgang wiederholtes irrelevantes auditives Ereignis auch dann nicht stört, wenn es eine deutliche Veränderung zur bisherigen Reizsituation darstellt. Beispielsweise könnten in einer kurzen Vorphase vor jedem Durchgang wechselnde auditive Ereignisse dargeboten werden, während der seriellen Reproduktionsaufgabe jedoch ein wiederholtes irrelevantes auditives Ereignis. Ist Wiederholung eine ausreichende Bedingung, sollte die beeinträchtigende Wirkung gering bleiben. Ist das Ausmaß der Orientierungsreaktion entscheidend, sollte die beeinträchtigende Wirkung steigen. Denn die Veränderung der auditiven Reizsituation von Vorphase zu Experimentalphase sollte zunächst zu einer Orientierungsreaktion führen, die erst abnimmt, wenn das bisherige neurale Modell durch eine Repräsentation der neuen Reizsituation ersetzt ist.

Insgesamt erfordert die vollständige Klärung der Ursachen für den Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse weiterführende Untersuchungen. Die vorliegende Arbeit belegt aber, dass Aufmerksamkeit *eine* wichtige Einflussgröße für das Störpotential irrelevanter auditiver Ereignisse ist. Der Beitrag unterschiedlicher Faktoren zum Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse und deren Wechselwirkungen untereinander sind spannende Ausgangspunkte für weitere Untersuchungen.

9.5 Praktische Implikationen

Viele Aufgaben des Berufsalltags beinhalten das kurzfristige Behalten von Ereignissen. Beispielsweise ist es für das Verstehen eines Satzes nötig, die ersten Wörter des Satzes solange zu behalten, bis sich ihre genaue Bedeutung im Kontext der nachfolgenden Wörter erschließt. Irrelevante Geräusche stören jedoch das kurzfristige Behalten relevanter Ereignisse (siehe Jones, 1999; Jones &

Morris, 1992) und das bereits bei moderater Lautstärke (Colle, 1980; Ellermeier & Hellbrück, 1998). Die vorliegende Untersuchung zeigte, dass die beeinträchtigende Wirkung von irrelevanten Geräuschen durch Habituation der Orientierungsreaktion abnimmt. Sie zeigte aber auch, dass eine Habituation an wechselnde auditive Ereignisse während einer anspruchsvollen kognitiven Aufgabe schwierig ist. Daraus ergibt sich, dass anspruchsvolle kognitive Aufgaben am Arbeitsplatz am besten durch die Vermeidung von Zustandsveränderungen in der unmittelbaren Umgebung unterstützt werden können. Eine mögliche Lösung schlugen Jones und Macken (1995a) vor. Die Überlagerung einer irrelevanten Geräuschkulisse durch andere Geräusche könnte Zustandsveränderungen soweit maskieren, dass insgesamt ein kontinuierliches Rauschen entsteht. Tatsächlich zeigten Jones und Macken (1995a) auch, dass sechs überlagerte Stimmen das kurzfristige Behalten weniger stören als nur eine oder zwei Stimmen. Kritisch ist aber, dass eine solche Rauschkulisse wahrscheinlich auch die Wahrnehmung und Verarbeitung relevanter auditiver Ereignisse stört. Optimal sind und bleiben daher Einzelbüros, in denen das Ausmaß irrelevanter Geräusche insgesamt minimiert werden kann.

9.6 Fazit

Die vorliegende Untersuchung zeigte, dass eine Habituation der Orientierungsreaktion die beeinträchtigende Wirkung von irrelevanten auditiven Ereignissen auf das kurzfristige Behalten relevanter Ereignisse verringert. Die bisherigen Untersuchungen in diesem Bereich waren nicht eindeutig interpretierbar. Obwohl eine oberflächliche Bewertung der bisherigen Befunde eine Tendenz gegen einen Einfluss von Habituation ergab, zeigte eine kritische Analyse des experimentellen Aufbaus ein anderes Bild. Schließt man besonders problembehaftete Experimente aus der Gesamtbilanz aus, halten sich Experimente für und wider eines Einflusses von Habituation in etwa die Waage. Diesen Eindruck bestätigte die vorliegende Untersuchung; sie deckte darüber hinaus aber auch Ursachen für das bisher unstimmige Gesamtbild auf. Der Effekt irrelevanter auditiver Ereignisse nimmt durch die Wiederholung einer auditiven Reizsituation nur ab, wenn wesentliche Voraussetzungen für die Habituation der Orientierungsreaktion gegeben sind. Das sind eine Kontinuität mindestens bezüglich globaler Eigenschaften der auditiven Reizsituation und eine ausreichende Verfügbarkeit von Verarbeitungsressourcen zum Aufbau eines neuronalen Modells. Darüber hinaus ist eine angemessene Teststärke zur Entdeckung mittlerer Effekte wichtig, um den Einfluss von Habituation zuverlässig nachweisen zu können. Kurze Vorphasen reichen für eine Habituation der Orientierungsreaktion aus und erlauben vergleichsweise geringe

Stichprobenumfänge in künftigen Untersuchungen, da alle Voraussetzungen für eine Habituation messwiederholt gewährleistet sind. Insgesamt spricht das Befundmuster für die Kategorie von Arbeitsgedächtnismodellen, die eine Beteiligung von Aufmerksamkeit am kurzfristigen Behalten annehmen. Nicht klar ist, ob irrelevante auditive Ereignisse das kurzfristige Behalten *nur* deswegen stören, weil sie Aufmerksamkeit beanspruchen. Dies ist ein wichtiger Ausgangspunkt für weiterführende Untersuchungen. Für die Praxis scheint nach wie vor das Ausmaß an Zustandsveränderungen im irrelevanten auditiven Material entscheidend zu sein, da eine Habituation der Orientierungsreaktion an wechselnde auditive Ereignisse in einer typischen Arbeitssituation, die in der Regel eine hohe kognitive Beanspruchung umfasst, unwahrscheinlich ist.

10 Literaturangaben

- Baayen, R. H., Piepenbrock, R., & van Rijn, H. (1993). *The CELEX lexical database* (Release 1) [CD-ROM]. Philadelphia, PA: Linguistic Data Consortium, University of Pennsylvania [Distributor].
- 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., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *Recent advances in learning und motivation* (pp. 47-90). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). Working memory: The multiple-component model. In A. Miyake, & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 28-61). New York: Cambridge University Press.
- Baddeley, A. D., & Salamé, P. (1986). The unattended speech effect: Perception or memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *12*, 525-529.
- Banbury, S., & Berry, D. C. (1997). Habituation and dishabituation to speech and office noise. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *3*, 181-195.
- 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.
- 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 and 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 and 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 and Cognition, 32*, 722-731.
- 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., & Näätänen, R. (2003). The N1 hypothesis and irrelevant sound: Evidence from token set size effects. *Cognitive Brain Research, 18*, 39-47.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ [u.a.]: Erlbaum.
- Colle, H. A. (1980). Auditory encoding in visual short-term recall: Effects of noise intensity and spatial location. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 19*, 722-735.
- 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. (1997). *Attention and memory: An integrated framework*. New York [u.a.]: 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.
- 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.
- Elliott, E. M. (2002). The irrelevant-speech effect and children: Theoretical implications of developmental change. *Memory and Cognition, 30*, 478-487.
- 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 Shakh, G. (1990). Novelty and significance in orientation and habituation: A feature-matching approach. *Journal of Experimental Psychology: General, 119*, 251-263.

- Hebb, D. O. (1955). Drives and the C. N. S. (conceptual nervous system). *Psychological Review*, 62, 243-254.
- 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 and 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.
- Jones, D. M. (1990). Recent advances in the study of human performance in noise. *Environment International*, 16, 447-458.
- Jones, D. M. (1993). Objects, streams, and threads of auditory attention. In A. D. Baddeley, & L. Weiskrantz (Eds.), *Attention: Selection, awareness, and control: A tribute to Donald Broadbent* (pp. 87-104). New York, NY: Oxford University Press.
- Jones, D. M. (1994). Disruption of memory for lip-read lists by irrelevant speech: Further support for the changing state hypothesis. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 47A, 143-160.
- 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., Macken, W. J., Banbury, S. P., & Tremblay, S. (2000). Interference from degraded auditory stimuli: Linear effects of changing-state in the irrelevant sequence. *Journal of the Acoustical Society of America*, 108, 1082-1088.
- Jones, D. M., & Broadbent, D. E. (1991). Human performance and noise. In C. M. Harris (Ed.), *Handbook of acoustical measurements and noise control* (pp. 24.1-24.24). New York: McGraw-Hill.
- Jones, D. M., & Macken, W. J. (1993). Irrelevant tones produce an irrelevant speech effect: Implications for phonological coding in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 369-381.

- Jones, D. M., & Macken, W. J. (1995a). 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, W. J. (1995b). Organizational factors in the effect of irrelevant speech: The role of spatial location and timing. *Memory and Cognition*, *23*, 192-200.
- Jones, D. M., & Macken, W. J. (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, 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., & Murray, A. C. (1993). Disruption of visual short-term memory by changing-state auditory stimuli: The role of segmentation. *Memory and Cognition*, *21*, 318-328.
- 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*, *44A*, 645-669.
- Jones, D. M., & Morris, N. (1992). Irrelevant speech and serial recall: Implications for theories of attention and working memory. *Scandinavian Journal of Psychology*, *33*, 212-229.
- Lange, E. B. (2005). Disruption of attention by irrelevant stimuli in serial recall. *Journal of Memory and Language*, *53*, 513-531.
- Larsen, J. D., Baddeley, A., & 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*, 1396-1408.
- LeCompte, D. C. (1996). Irrelevant speech, serial rehearsal, and temporal distinctiveness: A new approach to the irrelevant speech effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *22*, 1154-1165.
- 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*, *50A*, 100-118.

- 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.
- Madigan, S. (1980). The serial position curve in immediate serial recall. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *15*, 335-338.
- Malmö, R. B. (1959). Activation: A neuropsychological dimension. *Psychological Review*, *66*, 367-386.
- 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.
- Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1965). *Plans and the structure of behavior*. New York: Holt Rinehart and Winston.
- Miyake, A., & Shah, P. (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Habituation to irrelevant speech: Effects on a visual short-term memory task. *Perception and Psychophysics*, *47*, 291-297.
- Näätänen, R. (Ed.) (1992). *Attention and brain function*. Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Näätänen, R., & Gaillard, A. W. K. (1983). The N2 deflection of ERP and the orienting reflex. In A. W. K. Gaillard, & W. Ritter (Eds.), *Tutorials in event related potential research: Endogenous components* (pp. 119-141). Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Nairne, J. S. (1988). A framework for interpreting recency effects in immediate serial recall. *Memory and Cognition*, *16*, 343-352.
- Nairne, J. S. (1990). A feature model of immediate memory. *Memory and Cognition*, *18*, 251-269.
- Neath, I. (1999). Modelling the disruptive effects of irrelevant speech on order information. *International Journal of Psychology*, *34*, 410-418.
- Neath, I. (2000). Modeling the effects of irrelevant speech on memory. *Psychonomic Bulletin and Review*, *3*, 403-423.
- Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- 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. Van Olst, & J. F. Orlebeke (Eds.), *The orienting reflex in humans* (pp. 443-471). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Pratto, F. (1994). Consciousness and automatic evaluation. In P. M. Niedenthal, & S. Kitayama (Eds.), *The heart's eye: Emotional influences in perception and attention* (pp. 115-143). San Diego, CA: Academic Press.
- 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.
- Salamé, P., & Baddeley, A. (1987). Noise, unattended speech and short-term memory. *Ergonomics*, *30*, 1185-1194.
- 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. (1989). Effects of background music on phonological short-term memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *41*, 107-122.
- Siddle, D. A. (1991). Orienting, habituation, and resource allocation: An associative analysis. *Psychophysiology*, *28*, 245-259.
- Smith, A. P., & Jones, D. M. (1992). Noise and performance. In A. P. Smith, & D. M. Jones (Eds.), *Handbook of human performance, Vol. 1: The physical environment* (pp. 1-28). San Diego, CA: Academic Press.
- Sokolov, E. N. (1963). *Perception and the conditioned reflex*. Oxford [u.a.]: Pergamon Press.
- Sokolov, E. N. (1975). The neuronal mechanisms of the orienting reflex. In E. N. Sokolov, & O. S. Vinogradova (Eds.), *Neuronal mechanisms of the orienting reflex* (pp. 217-236). New York: John Wiley & Sons.
- Thompson, R. F., & Spencer, W. A. (1966). Habituation: A model phenomenon for the study of neuronal substrates of behavior. *Psychological Review*, *73*, 16-43.

- Tremblay, S. (1997). Is there a relationship between habituation to irrelevant sound effect and the spectral complexity of auditory items? In A. Schick, & M. Klatte (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.
- Wentura, D., Rothermund, K., & Bak, P. (2000). Automatic vigilance: The attention-grabbing power of approach- and avoidance-related social information. *Journal of Personality and Social Psychology*, *78*, 1024-1037.
- Woldorff, M. G., Hackley, S. A., & Hillyard, S. A. (1991). The effects of channel-selective attention on the mismatch negativity wave elicited by deviant tones. *Psychophysiology*, *28*, 30-42.
- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit Formation. *Journal of Comparative Neurology & Psychology*, *18*, 459-482.

Erklärung zur Dissertation

Die hier vorgelegte Dissertation habe ich eigenständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt. Die Dissertation wurde in der vorgelegten oder in ähnlicher Form noch bei keiner anderen Institution eingereicht. Ich habe bisher keine erfolglosen Promotionsversuche unternommen.

Neuss, den 24.08.2009

Sandra Dentale

(Sandra Dentale)