

ANTWORTINHIBITION IM AUFGABENWECHSEL- PARADIGMA

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades des
Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

an der Universität Konstanz
Mathematisch-naturwissenschaftliche Sektion
Fachbereich Psychologie

vorgelegt von

Kai Robin Grzyb

Juni 2009

Tag der mündlichen Prüfung: 31. Juli 2009

1. Referent: Prof Dr. Ronald Hübner

2. Referent: Prof Dr. Harald Schupp

DANKSAGUNG

Ich danke zuvorderst Prof. Dr. Ronald Hübner für die Betreuung dieser Arbeit. Persönlich und inhaltlich ist seine Führung in den letzten zweieinhalb Jahren eine große Bereicherung für mich gewesen. Ich freue mich auf weitere Jahre der Zusammenarbeit mit ihm.

Auch danke ich Prof. Dr. Harald Schupp für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Großer Dank geht auch an meine lieben Arbeitskollegen ohne die die Forschertätigkeit nur halb so viel Freude machen würde. Hierbei möchte ich besonders Dr. Martin Maier und PD Dr. Marco Steinhauser hervorheben.

Weiterhin danke ich Dr. Michel Druery für seine geduldige Einführung in die Tiefen der Antwortwiederholungseffekte.

Schließlich geht mein besonderer Dank an meine Eltern und meinen Bruder und meine engsten Freunde, die mich stets in allen meinen Vorhaben unterstützt und ermutigt haben. Meiner Mutter danke ich zusätzlich für das unermüdliche Korrekturlesen. Alle verbleibenden Fehler, die der Leser noch entdecken mag, sind allein meiner Verantwortung zuzuschreiben.

ZUSAMMENFASSUNG

Werden Aufgaben im Wechsel bearbeitet, zeigt sich eine charakteristische Interaktion aus Aufgabenabfolge und Antwortabfolge. Bei einer Wiederholung der Aufgabe werden Vorteile einer Antwortwiederholung beobachtet, bei einem Aufgabenwechsel werden dagegen Kosten einer Antwortwiederholung gefunden. Zur Erklärung dieser Interaktion wurden mehrere Modelle vorgeschlagen. Dieser Arbeit liegt ein Zwei-Prozess-Modell zugrunde, das die Kosten einer Antwortwiederholung durch die Inhibition der zuvor ausgeführten Antwort erklärt. Diese Inhibition muss bei einer Wiederholung der Antwort überwunden werden, wodurch Kosten entstehen. Unter Aufgabenwiederholung sind die Kosten allerdings meist nicht zu sehen, weil sie durch die Vorteile einer Wiederholung der Stimuluskategorie kompensiert werden. Ein zentraler Gedanke dieses Erklärungsansatzes ist es, dass die Inhibition der vorherigen Antwort dazu dient, eine Antwortperseveration zu vermeiden. Daher sollte die Stärke der Antwortinhibition mit dem Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung zunehmen. In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, wie die allgemeine Reizsituation und der aktuell relevante Reiz dieses Risiko beeinflussen können.

In der ersten Studie wurde untersucht, ob die Antwortinhibition bei einem starken Aufgabenkonflikt oder einem starken Antwortkonflikt größer ist. Dem Risikogedanken zufolge, sollte der Antwortkonflikt maßgeblich sein. Überlegungen zur Aufgabenkontrolle legten dagegen eher die Wichtigkeit des Aufgabenkonflikts nahe. Es stellte sich heraus, dass keiner der beiden Konflikttypen direkt mit der Stärke der Antwortinhibition zusammenhängt. In der zweiten Studie wurde überprüft, ob es bei einer Veränderung der Konfliktsituationen zu einer strategischen Anpassung der Antwortinhibition kommt. Es konnte keine kontextbezogene strategische Modulation der Antwortinhibition nachgewiesen werden. Allerdings wurde eine Wechselwirkung zwischen der Größe der Antwortwiederholungskosten und der Kongruenz des aktuellen Reizes gefunden. Dies war – im Sinne einer Anpassung der Antwortinhibitionsstärke – nur durch die Annahme erklärbar, dass die Stärke der Antwortinhibition erst nach Beginn der Reizverarbeitung festgelegt wird. Letztlich zeigte sich aber, dass die Ergebnisse einfacher mit der Modulierung des Kongruenzeffekts durch die Antwortinhibition und ohne die Annahme einer *on-the-fly* Anpassung der Antwortinhibition erklärt werden können.

Schließlich erwies sich diese Betrachtungsweise auch als hilfreich, um mehrere Einzelbefunde der Studien zu erklären, die teilweise im Widerspruch zum Zwei-Prozess-Modell zu stehen schienen. Zusammenfassend zeigt die vorliegende Arbeit, dass die aktuelle Reizverarbeitung keinen Einfluss auf die Antwortinhibitionsstärke hat, sondern dass diese hauptsächlich durch die Aktivierungsstärke der vorherigen Antwort bestimmt wird.

SUMMARY

When switching between two tasks one can see a characteristic interaction between the alternation of tasks and responses. When the task is repeated (task repetition), advantages of repeated responses compared to switched responses are observed. Whereas when the task is switched (task switch) costs of repeated responses compared to switched responses are found. In order to explain this interaction several models have been proposed. The present thesis is based on a two-process model that explains the costs of a response repetition by assuming that the previously executed response gets inhibited. In the case of a response repetition the inhibition has to be overcome and this additional effort can be seen in behavioural costs. These costs cannot be seen under task repetition since they are compensated by the benefits of repetition of the stimulus category. The basic idea of this account is that the inhibition of the last response helps to prevent perseverations. Thus, the strength of the response inhibition should depend on the risk of an accidental re-execution of the last response. The present thesis explored whether this risk is influenced by the global stimulus situation and/or by the actual relevant stimulus.

The first study analyzed whether the strength of the response inhibition depends more on the response conflict or the task conflict. According to the risk-hypothesis the size of the response conflict should determine the strength of the response inhibition. In contrast, considerations of task control emphasize the importance of task conflict. The results show, that neither of the two conflict types directly affects the strength of response inhibition. In a second study the possibility of a strategic adjustment of the response inhibition was examined. The experiments of the second study yielded no evidence for a context dependent strategic modulation of the response inhibition. However, an interaction between the response repetition costs and the congruency of the actual stimulus was found. This result was – in accordance with an adjustment of the strength of response inhibition – only explainable by assuming that the strength of response inhibition would be adjusted only after the actual stimulus was processed. This would indicate an on-the-fly adaptation of the strength of response inhibition. However, in the final analysis it became apparent that these results could be explained more easily by a modulation of the congruency effect, i.e. the processing of irrelevant information, due to an unchanged response inhibition.

Finally, this interpretation proved helpful to reinterpret several single findings of the present studies that seemed to be contradictory to the two-process model. In summary, the present thesis shows that the current stimulus-processing does not influence the strength of response inhibition, but that its strength mainly depends on the size of response activation in the previous trial.

INHALTSVERZEICHNIS

EINFÜHRUNG -----	1
1. KOGNITIVE KONTROLLE	1
1.1. Inhibition als Kontrollmechanismus	2
1.2. Überblick	3
2. AUFGABENWECHSELPARADIGMA	5
2.1. Aufgabenkontrolle und Wechselkosten	6
2.2. Inhibitorische Kontrolle beim Aufgabenwechsel	10
2.3. Zusammenfassung	13
3. WIEDERHOLUNG EINER ANTWORT	14
3.1. Kategorisierbarkeit	15
3.2. Kosten reiner Antwortwiederholungen	17
3.3. Erwartungseffekte	19
3.4. Zusammenfassung	20
4. ANTWORTWIEDERHOLUNGSEFFEKTE IM AUFGABENWECHSELPARADIGMA	20
4.1. Kategorisierbarkeit der Reize	21
4.2. Antwortselektion	23
4.3. Kategorisierbarkeit der Antworten	24
4.4. Valenz der Stimuli	26
4.5. Erwartungseffekte	27
5. THEORIEN ZU DEN ANTWORTWIEDERHOLUNGSKOSTEN	27
5.1. Assoziationsbasierte Ansätze	28
5.2. Rekonfigurationsbasierte Ansätze	32
5.3. Zwei Prozess Modell der Antwortinhibition	33
5.4. Fazit	43
6. AUSBLICK AUF DIE STUDIEN	45
6.1. Antwortkonflikt und Aufgabenkonflikt	45
6.2. Strategien der Antwortinhibition	46
STUDIE 1: AUFGABENKONFLIKT UND ANTWORTKONFLIKT -----	49
1. EINLEITUNG	49
2. EXPERIMENT 1A – UNIVALENT	51
2.1. Methode	53
2.2. Ergebnisse	55
2.3. Diskussion	56
3. EXPERIMENT 1B – BIVALENT	56
3.1. Methode	57
3.2. Ergebnisse	57
3.3. Diskussion	58
4. VERGLEICH VON EXPERIMENT 1A UND 1B	59
4.1. Ergebnisse	59

4.2. Diskussion	60
5. EXPERIMENT 2A – UNIVALENT	65
5.1. Methode	66
5.2. Ergebnisse	69
5.3. Diskussion	72
6. EXPERIMENT 2B – BIVALENT	73
6.1. Methode	73
6.2. Ergebnisse	74
6.3. Diskussion	76
7. VERGLEICH VON EXPERIMENT 2A UND 2B	78
7.1. Ergebnisse	78
7.2. Diskussion	80
8. DISKUSSION VON STUDIE 1	84
STUDIE 2: STRATEGIEN DER ANTWORTINHIBITION -----	89
1. EINLEITUNG	89
2. EXPERIMENT 3 – STRATEGISCHE ANPASSUNG	91
2.1. Methode	93
2.2. Ergebnisse	94
2.3. Diskussion	96
3. EXPERIMENT 4A: ERLERNEN EINER STRATEGIE	99
3.1. Methode	101
3.2. Ergebnisse	103
3.3. Diskussion	107
4. EXPERIMENT 4B: ERLERNEN EINER STRATEGIE	110
4.1. Methode	111
4.2. Ergebnisse	112
4.3. Diskussion	119
5. DISKUSSION VON STUDIE 2	122
GESAMTDISKUSSION -----	127
1. DIE ROLLE VON AUFGABEN- UND ANTWORTKONFLIKT FÜR DIE STÄRKE DER ANTWORTINHIBITION	128
2. STRATEGISCHE ANPASSUNG DER ANTWORTINHIBITION	131
3. ANTWORTINHIBITION UND IRRELEVANTE REIZINFORMATION	133
3.1. Auswirkung der Antwortinhibition auf den Kongruenzeffekt	134
3.2. Die Resultate im Licht der Alternativerklärung	135
4. MODELLE DER ANTWORTWIEDERHOLUNGSKOSTEN	137
5. AUSBLICK	138
LITERATURVERZEICHNIS -----	141

EINFÜHRUNG

The aim of science is to seek the simplest explanation of complex facts. We are apt to fall into the error of thinking that the facts are simple because simplicity is the goal of our quest. The guiding motto in the life of every natural philosopher should be "Seek simplicity and distrust it."

Alfred North Whitehead

1. KOGNITIVE KONTROLLE

In einer komplexen Umwelt muss das Verhalten stets auf seine Zielgerichtetheit hin überprüft und angepasst werden. Nicht immer ist es einfach, seine (Verhaltens-)Ziele zu erreichen. Beispielsweise kann eine Anpassung des Verhaltens nötig sein, wenn sich die Reizsituation ändert. Sich ändernde Verhaltensziele (evtl. aufgrund neuer Informationen aus der Umwelt) erfordern wiederum eine Anpassung der Informationsverarbeitung, wenn etwa derselbe Reiz eine alternative Antwort erfordert. Schließlich wirken auch die vorherige Informationsverarbeitung und die soeben ausgeführte Antwort auf die aktuelle Verarbeitung nach. Das kognitive System muss daher die Informationsverarbeitung beständig kontrollieren (z. B. relevante Reize bevorzugt verarbeiten), überwachen (z. B. erkennen, ob das ausgeführte Verhalten der Erwartung entspricht) und anpassen (z. B. noch stärker auf relevante Reize fokussieren), um zielgerichtetes Verhalten zu gewährleisten.

Dem Zwang zur Flexibilität (und ihrem Nutzen) steht der Bedarf nach Ökonomie und Stabilität gegenüber. Beispielsweise werden durch Lernen und Übung die Verknüpfungen zwischen Reizen und Antworten immer weiter gestärkt, so dass die ressourcenintensive kontrollierte Antwortauswahl mehr und mehr durch eine direkte Assoziation des Reizes mit der korrekten Antwort abgelöst wird. Muss dieser automatischen Antwortaktivierung aber entgegengearbeitet werden, weil die Situation eine alternative Antwort erfordert, ist wieder ein Mehraufwand an kognitiver Kontrolle nötig (MacLeod, 1991; Stroop, 1935). Ebenso stellt sich das System bei der Bearbeitung einer Aufgabe immer besser auf die speziellen Erfordernisse ein. Bei einem Wechsel zu einer neuen Aufgabe wirkt der alte Bearbeitungsmodus noch nach und die Bearbeitung der neuen Aufgabe ist zunächst erschwert (Allport, Styles, & Hsieh, 1994). Die Verhaltenskontrolle findet also in einem Spannungsfeld aus Rigidität und Flexibilität statt (Goschke, 2000). Ein zu hohes Maß an Rigidität äußert sich in Perseverationen, also in unangemessener Wiederholung von Verhalten. Ein zu hohes Maß an Flexibilität widerspricht dem Bedarf nach Öko-

nomie und Automatisierung. Die Balance besteht darin, Verhalten zu einem hohen Grad zu automatisieren und gleichzeitig, die sich daraus ergebenden perseverativen Tendenzen, zu kontrollieren.

Das notwendige Maß an kognitiver Kontrolle kann strategisch aufgrund von Erwartungen bestimmt sein. Beispielsweise kann es innerhalb eines bestimmten Kontextes notwendig sein, die Aufmerksamkeit stärker auf die aufgabenrelevanten Reize zu richten und störende Einflüsse auszublenden (z. B. Gratton, Coles, & Donchin, 1992). Die Kontrolle kann aber auch kurzfristig aufgrund von Erfahrungen bei der vorhergehenden Aufgabenbearbeitung oder aufgrund von Hinweisreizen adjustiert werden (z. B. Ullsperger, Bylsma, & Botvinick, 2005). Sogar noch während der Reizverarbeitung – quasi online – kann das Maß der kognitiven Kontrolle an die Gegebenheiten angepasst werden (z. B. Lehle & Hübner, 2008).

1.1. INHIBITION ALS KONTROLLMECHANISMUS

Ein wichtiger Mechanismus der Kontrolle ist die Inhibition (Logan & Cowan, 1984, Diamond, 2009 #3700). Physiologisch ist die Inhibition einzelner Nervenzellen und ganzer Nervenzellverbände zwingend, da es sonst zu einer sich gegenseitig aufschaukelnden Übererregung des Gehirns käme. Es scheint daher höchst plausibel, dass auf kognitiver Ebene die Inhibition von Repräsentationen ebenso wichtig ist (Anderson & Spellman, 1995).

In der psychologischen Terminologie kann man zwei Formen der Inhibition unterscheiden: *kognitive Inhibition* und *Verhaltensinhibition* (vgl. Nigg, 2000). Kognitive Inhibition bezeichnet die Inhibition von mentalen Repräsentationen oder Prozessen. MacLeod definiert sie als

„ ... the stopping or overriding of a mental process, in whole or in part, with or without intention.“ (MacLeod & Gorfein, 2007, S.5)

Sehr ähnlich lautet die Definition von Kipp:

“Cognitive inhibition involves the control of cognitive contents or processes, and can be intentional and conscious, or unintentional and unavailable for conscious introspection.” (Harnishfeger, Dempster, & Brainerd, 1995, S.184)

Demgegenüber wird unter Verhaltensinhibition oder motorischer Inhibition (*behavioral/motor inhibition*)¹ das Stoppen und Unterdrücken von Bewegungen verstanden:

“Behavioral inhibition involves the (potentially intentional) control of overt behavior, such as resisting temptation, delay of gratification, motor inhibition, and impulse control.” (Harnishfeger, et al., 1995, ebd.)

Trotz dieser theoretischen Abgrenzung gibt es gewisse Überlappungen zwischen den beiden Inhibitionsformen (Adam R. Aron, Monsell, Sahakian, & Robbins, 2004; Friedman & Miyake, 2004). Im Gehirn lassen sich der frontale Cortex (genauer der präfrontale Cortex und insbesondere der rechte inferiore Frontallappen) und die fronto-subkortikalen Schleifen (die den Frontallappen, die Basalganglien und den Thalamus einschließen) mit beiden Inhibitionsleistungen in Verbindung bringen (Aron, 2007 #3602, zu den fronto-subkortikalen Schleifen siehe, Alexander, DeLong, & Strick, 1986; vgl. auch A. R. Aron, Robbins, & Poldrack, 2004; Cummings, 1993; Mega, Cummings, Salloway, Malloy, & Duffy, 2001).

Inhibitorische Kontrolle findet vermutlich auf vielen Stufen der Informationsverarbeitung statt. Häufig ist es jedoch schwierig, diese direkt nachzuweisen. Meistens wird auf die Inhibition von kognitiven Repräsentationen mit Hilfe der Nachwirkung der Inhibition geschlossen. So zeigt sich z. B. auf einer frühen Stufe der Reizidentifikation die Inhibition eines störenden Reizes in einer verlangsamten Verarbeitung dieses Reizes, wenn er später aufgabenrelevant ist (Tipper, 1985; siehe auch Tipper, 2001, für die Diskussion alternativer Erklärungen). Ähnlich wird aus sequentiellen Effekten bei der Bearbeitung verschiedener Aufgaben auf die Inhibition von momentan störenden Aufgabenrepräsentationen geschlossen (backward inhibition, Ulrich Mayr & Keele, 2000). Schließlich kann auf inhibitorische Kontrolle auf einer späten Verarbeitungsstufe durch die Hemmung von Antwortrepräsentationen geschlossen werden (Druey & Hübner, 2008b; Schuch & Koch, 2003).

1.2. ÜBERBLICK

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Inhibition von Antwortrepräsentationen im Aufgabenwechselfaradigma (*task-switching paradigm*). Dieses Paradigma zur

¹ In der englischsprachigen Literatur wird der Begriff *response inhibition* überwiegend für die motorische Verhaltensinhibition, wie sie mit dem Stoppsignal Paradigma (Logan, 1994) gemessen wird, verwendet. Die vorliegende Arbeit bezieht sich mit den Begriffen Antworthemmung bzw. Antwortinhibition allerdings auf einen kognitiven Inhibitionsprozess, der sich auf die Selektion und Aktivierung von Antwort auswirkt.

Untersuchung von Kontroll- und Interferenzprozessen wurde in den letzten 15 Jahren intensiv beforscht (Allport, et al., 1994; Jersild, 1927; Rogers & Monsell, 1995). In der Regel bearbeiten die Versuchsteilnehmer zwei oder mehr Wahlreaktionsaufgaben gleichzeitig, d. h. sie sind immer wieder gefordert, die Aufgabe zu wechseln. Dieses Aufgabenwechselfaradigma erwies sich als sehr effektiv, Fragen zu endogene und exogene Kontrollprozessen, die flexiblen Verhalten zugrunde liegen, zu untersuchen: Wie bereitet sich das kognitive System auf ein neues Verhaltensziel vor? Was trägt zur Aktivierung des relevanten Verarbeitungsmodus bei? Wie wird störender Einfluss durch den jetzt irrelevanten Verarbeitungsmodus kontrolliert? Welche inneren und äußeren Einflüsse begünstigen oder erschweren dabei einen flexiblen Wechsel?

Ein Ansatz zur Untersuchung solcher Fragen ist die Untersuchung sequentieller Effekte der Informationsverarbeitung. So lassen sich in der Abfolge der Aufgaben Wiederholungen und Wechsel unterscheiden. Es zeigt sich, dass es leichter ist, eine Aufgabe zu wiederholen, als zu einer anderen zu wechseln. Rogers und Monsell (1995) erweiterten diese Betrachtung und bezogen die Abfolge der Antworten mit ein, d. h. sie untersuchten die Auswirkung einer Antwortwiederholung bzw. eines Antwortwechsels im Aufgabenwechselfaradigma. Dazu betrachteten sie die Leistungsunterschiede einer Antwortwiederholung im Vergleich zu einem Antwortwechsel (Wiederholungsvorteile oder -nachteile) getrennt für den Fall einer Aufgabenwiederholung oder eines Aufgabenwechsels. Dabei zeigte sich eine robuste Wechselwirkung zwischen Antwortabfolge und Aufgabenabfolge: Während Antwortwiederholungen bei einer gleichzeitigen Aufgabenwiederholung zu Vorteilen führen, bringen Antwortwiederholungen bei gleichzeitigem Aufgabenwechsel Leistungsnachteile mit sich. Dieser Effekt war unerwartet, da allgemein davon ausgegangen wird, dass Wiederholungen Vorteile mit sich bringen (s. o.). Rogers und Monsell vermuten, dass

„A phenomenon as robust as this interaction between response repetition and task-switching must be telling us something interesting about control processes!” (Rogers & Monsell, 1995, S. 227)

Tatsächlich stimulierte ihre grundlegende Studie weitere Forschung, in deren Tradition die vorliegende Arbeit einzuordnen ist.

Im nächsten Abschnitt folgt eine Einführung in das Aufgabenwechselfaradigma (Abschnitt 2). Danach wird die relevante Literatur zu Antwortwiederholungseffekten – zuerst allgemein und dann spezifisch im Aufgabenwechselfaradigma zusammengefasst (Abschnitte 3 und 4). In Abschnitt 5 werden schließlich drei Theorieklassen zur Erklärung

zung der Wechselwirkung zwischen der Aufgabenabfolge und der Antwortabfolge vorgestellt.

2. AUFGABENWECHSELPARADIGMA

Kognitive Kontrolle wurde vielfach mit dem Aufgabenwechselparadigma untersucht, in dem zwischen der Bearbeitung mehrerer Aufgaben gewechselt wird. (Allport, et al., 1994; Jersild, 1927; Rogers & Monsell, 1995). Zwar ist der Begriff Aufgabe nicht klar definiert (vgl. Rogers & Monsell, 1995), aber meist wird darunter eine oder mehrere Regeln verstanden, die Stimuli und Antworten einander zuordnen. So ist, z. B. bei der Aufgabe „auf eine Ampel reagieren“, dem Stimulus „rote Ampel“ die Antwort „Bremsen“, und dem Stimulus „grüne Ampel“ die Antwort „Beschleunigen“ zugeordnet. Im Experiment werden die Aufgabenregeln durch Instruktionen eingeführt. Als Beispiel sei die Aufgabe, zwischen verschiedenen Buchstabenkategorien zu unterscheiden, betrachtet: Konsonanten seien einem linken Tastendruck und Vokale einem rechten Tastendruck zugeordnet. Um die Aufgabe nun erfolgreich zu bearbeiten, muss das kognitive System einen aktiven, repräsentationalen Zustand einnehmen, genannt *task-set* (Aufgabenset), in dem die Verarbeitung der Buchstaben zu der jeweils korrekten Antwort führt. Ohne die exakte Beschaffenheit dieser Zustände zu definieren, wird allgemein davon ausgegangen, dass sie alle notwendigen „Einstellungen“ – also die Konfiguration des Systems – beschreiben, die zur Bearbeitung der Aufgabe erforderlich sind. Sie beinhalten also wenigstens die Zielrepräsentation („Buchstaben klassifizieren“), die Repräsentation der Stimuli und deren kategoriale Zugehörigkeit, die Repräsentation der Antworten und die instruierten Zuordnungsregeln (S-R Regeln: z. B. „Vokal → links“; „Konsonant → rechts“). Werden nun mehrere Aufgabe im Wechsel bearbeitet (z. B. eine zweite Aufgabe bei der Zahlen in gerade oder ungerade klassifiziert werden), so muss das kognitive System zwischen verschiedenen Aufgabensets wechseln, um stets die korrekte Antwort selektieren zu können. Bereits Jersild (1927) verglich Einfach-Bedingungen, in denen nur eine Aufgabe bearbeitet wurde (*single-list*, A-A-A... oder B-B-B...), mit Mix-Bedingungen, in denen zwischen verschiedenen Aufgaben gewechselt werden musste (*mixed-list*, A-B-A-B...). Es zeigten sich schlechtere Leistungen in der Mix-Bedingung. Diese *mixing-costs* könnten durch Kontrollprozesse zustande kommen, die beim Wechsel zwischen den Aufgaben notwendig werden. Allerdings könnten auch höhere Anforderungen des Arbeitsgedächtnisses für die schlechtere Leistung in den Mix-Bedingungen ursächlich sein, denn in der Einfach-Bedingung müssen weniger S-R Regeln (von nur einer Aufgabe) aktiv gehalten werden (Rogers & Monsell, 1995).

Im Mittelpunkt des Forschungsinteresses der letzten 15 Jahre standen daher Aufgabenwechselparadigmen, in denen innerhalb derselben Instruktion zwischen dem Wiederholen und dem Wechsel einer Aufgabe unterschieden werden kann. Diesen Paradigmen ist gemeinsam, dass in bestimmten sequentiellen Folgen zwei Aufgaben (A und B) bearbeitet werden. Ähnlich zu den *mixing-costs* zeigt sich, dass die Leistung bei einem Wechsel der Aufgabe (A-B oder B-A) schlechter ist als bei einer Wiederholung der Aufgabe (A-A oder B-B). Zur Abgrenzung von den *mixing-costs* wird dieses Phänomen als (Aufgaben-)Wechselkosten bezeichnet (*task-shift cost*; z. B. Allport et al., 1994; Meiran, 1996; Rogers & Monsell, 1995).

Das Phänomen der Aufgabenwechselkosten wurde konsistent in verschiedenen Varianten des Paradigmas nachgewiesen (vgl. aber auch Erik M. Altmann, 2007a, für Gegenbeispiele siehe). Die Paradigmen unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der Abfolge der Aufgaben und hinsichtlich der Vorhersehbarkeit dieser Abfolge. Im *alternating runs paradigm* besteht die Aufgabenabfolge aus einer festen Sequenz, bzw. die Ankündigung der nächsten Aufgabe aus dem Gedächtnis der Versuchsperson heraus. (z. B. Rogers & Monsell, 1995). Beispielsweise folgt einer Reihe der Aufgabe A eine Reihe der Aufgabe B (A-A-B-B-A-A usw.). Die Vorhersehbarkeit der Abfolge ist darüber hinaus meist durch eine feste Folge in einer irrelevanten Dimension gegeben. Zum Beispiel werden die Aufgaben im Uhrzeigersinn von einem Quadranten zum nächsten wandernd dargeboten, wobei in den zwei oberen Quadranten immer die Aufgabe A und in den unteren beiden immer die Aufgabe B bearbeitet wird (Rogers & Monsell, 1995). Dagegen werden im *task-cueing paradigm* (auch *explicit cueing*) den Aufgaben bestimmte Hinweisreize (*cues*) zugeordnet. Immer vor der Stimuluspräsentation kündigt ein Hinweisreiz an, welche Aufgabe bearbeitet werden soll (z. B. R. Hübner, Futterer, & Steinhauser, 2001; Sudevan & Taylor, 1987). Der Hinweisreiz ist also ein Stimulus, der aktuell relevante Handlung-Effekt Kontingenzen ankündigt (im Experiment sind die Effekte meist auf Fehlerfeedback beschränkt). Schließlich zeigen sich Wechselkosten auch, wenn Teilnehmer frei entscheiden, welche Aufgabe sie jetzt ausführen wollen (Arrington & Logan, 2004).

2.1. AUFGABENKONTROLLE UND WECHSELKOSTEN

Die Wechselkosten wurden entsprechend der Grundidee des Paradigmas als Effekt der Vorbereitung auf die neue Aufgabe interpretiert (Rekonfiguration, z. B. Goschke, 2000; Meiran, 1996; Rogers & Monsell, 1995). Um zur neuen Aufgabe zu wechseln, rekonfiguriert sich das System entsprechend dem erforderlichen Aufgabenset. Die Evidenz für solch eine endogene Komponente (bzw. top-down Steuerung) stammt aus Vor-

bereitungseffekten, die im *task-cueing* Paradigma untersucht wurden. Dabei wird ausgenutzt, dass ein Hinweisreiz vor dem Stimulus die Aufgabe ankündigt. Durch die Manipulation des Intervalls zwischen Hinweisreiz und Stimulus (*cue-stimulus interval*, CSI) kann die zur Verfügung stehende Vorbereitungszeit kontrolliert werden. Es zeigt sich, dass bei größerem CSI die Wechselkosten kleiner sind (z. B. Rogers & Monsell, 1995). Je früher der Hinweisreiz dargeboten wird, desto mehr Zeit hat das System, sich zu rekonfigurieren. Ist die Rekonfiguration beim Erscheinen des Stimulus noch nicht abgeschlossen, kommt es zu Wechselkosten.

Obwohl solch eine vorbereitende Rekonfiguration nur bei einem Aufgabenwechsel notwendig wäre, scheint die Vorbereitung einer Aufgabe aber ein wechselunspezifischer Prozess zu sein (z. B. Brass & Von Cramon, 2004). Auch zeigt sich, dass die Wechselkosten bei sehr großem CSI nicht völlig verschwinden – es bleiben sogenannte residuale Wechselkosten erhalten (z. B. Rogers & Monsell, 1995). Ein alternativer Vorschlag beruht daher auf der Idee, dass die Wechselkosten eine Folge der überdauernden Aktivierung von Aufgabensets sind (*task-set inertia* Allport, et al., 1994; Allport & Wylie, 1999). Nimmt man an, dass die Aktivierung des vorherigen Aufgabensets nur langsam zerfällt, kommt es zu einem Konflikt zwischen dem alten und dem aktuell relevanten Aufgabenset. Dieser Konflikt muss vom kognitiven System gelöst werden, um die Interferenz der Aufgabensets klein zu halten und die korrekte Antwort auszuwählen (vgl. auch Dreisbach & Haider, 2009). Im Unterschied dazu entsteht bei einer Wiederholung der Aufgabe kein Konflikt. Es ist sogar eher zu vermuten, dass Bahnungseffekte zu einer beschleunigten Verarbeitung führen. Demnach sollte ein größerer zeitlicher Abstand zwischen den Aufgaben zu geringeren Wechselkosten führen. Dies konnte z. B. durch die Verlängerung des Intervalls zwischen der vorhergehenden Antwort und dem aktuellen Hinweisreiz (*response-cue interval*, RCI) nachgewiesen werden (Koch, 2001). Allerdings spielt die Vorbereitung weiterhin eine Rolle: Wird das RCI konstant gehalten (und damit der vermeintliche Zerfall des Aufgabensets kontrolliert) und nur das CSI manipuliert, zeigen sich bei größerem CSI weiterhin kleinere (residuale) Wechselkosten (für einen Überblick siehe Monsell, 2003).

Schließlich wurde auch die Rolle des Hinweisreizes kritisch betrachtet. Im *task-cueing* Paradigma sind Aufgabe und Hinweisreiz normalerweise miteinander konfundiert, d. h. der eigenständige Beitrag des Hinweisreizes zur Aufgabenvorbereitung kann nicht untersucht werden. Daher wurden zwei verschiedene Hinweisreize einer Aufgabe zugeordnet, um zwischen Wechseln der Hinweisreize und des Aufgabenwechsels unterscheiden zu können (Logan & Bundesen, 2003; U. Mayr & Kliegl, 2003). Tatsächlich zeigte sich, dass allein der Wechsel des Hinweisreizes zu Wechselkosten führt. Logan und Bundesen

(2003) veranlasste dieser Befund sogar dazu, dem *task-cueing* Paradigma die Relevanz für die Untersuchung kognitiver Kontrolle gänzlich abzuspreehen. Sie gehen davon aus, dass Verbindungen zwischen Hinweisreiz und Stimuli gelernt werden und auf diese Verbindung assoziativ reagiert wird (*stimulus-compound strategy*). Dies würde jegliche höhere Kontrolle überflüssig machen. Es werden sozusagen nicht mehr verschiedene Aufgaben (je nach Hinweisreiz) auf die Stimuli angewendet, sondern nur noch eine Aufgabe auf den Hinweisreiz-Stimulus-Verbund. Dagegen sehen Mayr und Kiegel (2003) keinen Anlass, die Sichtweise aufzugeben, dass das System auf die aktuell relevante Aufgabe eingestellt werden muss. Sie interpretieren die Kosten beim Wechsel des Hinweisreizes lediglich als erschwerten Abruf des Aufgabensets aus dem Langzeitgedächtnis (siehe auch Koch & Allport, 2006). Entsprechend bestätigen immer mehr Studien, dass die Effekte im *task-cueing* Paradigma nicht allein durch den Wechsel der Hinweisreize erklärt werden können (z. B. Erik M. Altmann, 2007b; Gade & Koch, 2007a).

Über die Aufgabenvorbereitung hinaus, also der endogenen Komponente der Aufgabenkontrolle (Rogers & Monsell, 1995), wird die Konfiguration des Systems auch durch die *Verarbeitung des Stimulus* getrieben. Diese exogene Komponente wird in den residualen Wechselkosten sichtbar (*stimulus-cued completion of reconfiguration*). In der Literatur finden sich unterschiedliche Vorschläge für Prozesse, die hierbei eine Rolle spielen könnten. Retroaktive Anpassungsprozesse (also solche, die nach der Antwortausführung wirksam werden) finden sowohl auf der repräsentationalen Ebene der Stimuli als auch auf der Ebene der Antworten statt (Allport & Wylie, 2000; Meiran, 1996, 2000b; Waszak, Hommel, & Allport, 2003, in press). Die Gruppen um Allport und Hommel gehen beispielweise davon aus, dass sich Assoziationen zwischen Stimuli und Aufgaben bilden (*stimulus-set* bzw. *stimulus-task binding*; siehe auch Koch & Allport, 2006; vgl. auch 5.1 *Assoziationsbasierte Ansätze*). Sind diese Assoziationen stark genug, führt die Verarbeitung des Stimulus automatisch zur Aktivierung des assoziierten Aufgabensets (vgl. aber auch Steinhauser & Huebner, 2007).

Meiran nimmt dagegen an, dass sich das kognitive System, nach der Ausführung einer Aufgabe besser an deren Anforderungen anpasst (vgl. auch *micro-practice hypothesis*, Rogers & Monsell, 1995). Dieses *fine tuning* erschwert einen Aufgabenwechsel: Zum einen hat sich die Aufmerksamkeit auf relevante Stimuluseigenschaften der vorhergehenden Aufgabe ausgerichtet, zum anderen passt sich die Repräsentation der Antwort(taste) an die aufgabenspezifische Bedeutung an (*response-set biasing*). So bedeutet beispielsweise ein rechter Tastendruck in einer Zahlenaufgabe „ungerade“ in einer Buchstabenaufgabe aber „Vokal“. Nachdem die rechte Taste in der Zahlenaufgabe gedrückt wurde, verstärkt sich die Assoziation zwischen der rechten Taste und der Kategorie „ungerade“.

Da die rechte Taste nun vermehrt die Kategorie „ungerade“ repräsentiert kommt es zu Kosten, wenn die Aufgabe wechselt und „Vokal“ durch einen rechten Tastendruck signalisiert werden soll. Im Einklang mit solch einer retroaktiven Anpassung ist die Beobachtung, dass die Aufgabenwechselkosten reduziert sind, wenn bei der vorherigen Aufgabe keine Antwort ausgeführt wurde und es deshalb nicht zu einer Anpassung der Aufgabenrepräsentationen kam (A. M. Philipp, Jolicoeur, Falkenstein, & Koch, 2007).

Überlappende Antwortanordnungen

Oft ist in Aufgabenwechselstudien nicht nur die Reizsituation, sondern sind auch die Antworten multivalent (bzw. überlappend). Beispielsweise werden Zahlen mit zwei Aufgaben bearbeitet (bivalente Stimuli): einem gerade/ungerade-Urteil und einem kleiner/größer-als-5-Urteil. Den Kategorien „gerade“ und „kleiner“ ist eine linke Antworttaste und den Kategorien „ungerade“ und „größer“ eine rechte Taste zugeordnet. Dadurch werden die Antwortrepräsentationen von beiden Aufgabensets geteilt. Folglich verlangen manche Zahlen (z. B. 4) in beiden Aufgaben dieselbe Antwort (linker Tastendruck). Diese Reize werden kongruent genannt. Entsprechend sind inkongruente Reize solche, die unterschiedliche Antworten in den jeweiligen Aufgaben verlangen (z. B. 8: „gerade“ → links, „größer“ → rechts). Der Vergleich zwischen kongruenten und inkongruenten Durchgängen ergibt den (Aufgabenregel-)Kongruenzeffekt: Antworten auf inkongruente Reize sind langsamer und weniger genau als Antworten auf kongruente Reize (Rogers & Monsell, 1995). Der Kongruenzeffekt wird auf unzureichendes Filtern der irrelevanten Information zurückgeführt. Es wird angenommen, dass über die momentan irrelevante Aufgabenregel sowohl die inkorrekte Antwort aktiviert wird (d. h. ein Antwortkonflikt ausgelöst) als auch das irrelevante Aufgabenset (d. h. ein Aufgabenkonflikt ausgelöst, *task-set cueing*). Diese Interferenz wirkt sich auch auf den Aufgabenwechsel aus. Vergleiche der Wechselkosten bei bivalenten Reizen und bei univalenten Reizen (also Reizen, die nur mit einer Regel assoziiert sind) zeigen größere Wechselkosten bei bivalenten Reizen als bei univalenten Reizen (Allport, et al., 1994; Jersild, 1927; U. Mayr, 2001; Meiran, 2000b; Waszak & Hommel, 2007). Allerdings gibt es auch gegenteilige Befunde, wonach sich der höhere Aufgabenkonflikt der bivalenten Reize vor allem in den *mixing-costs* zeigt und nicht in den *switch-costs* (Rubin & Meiran, 2005; Steinhauser & Hübner, in press; Steinhauser & Huebner, 2007). Der höhere Aufgabenkonflikt scheint sich dabei vor allem auf langsame Reaktionen auszuwirken (Steinhauser & Hübner, in press).

Es zeigt sich, dass antwortbezogene Interferenz an der Entstehung der Wechselkosten beteiligt ist (vgl. auch Gade & Koch, 2007b). Dies verdeutlicht sich bei der Untersuchung überlappender Antworten bei konstanter Valenz der Reize. Meiran (2000b) ließ Ver-

suchsteilnehmer zwei räumliche Aufgaben bearbeiten. Sie beurteilten die vertikale (oben/unten) oder die horizontale Position (links/rechts) von bivalenten Reizen. In einem Experiment antworteten die Teilnehmer mit zwei Tasten in beiden Aufgaben (überlappende Antworten), in weiteren Experimenten waren jeder Aufgabe getrennte Antworttasten zugeordnet. Im Vergleich zeigen sich größere Wechselkosten bei überlappenden Antwortsets (siehe auch „Rekodierung“ 5.1 *Assoziationsbasierte Ansätze*).

2.2. INHIBITORISCHE KONTROLLE BEIM AUFGABENWECHSEL

Die Idee der *task-set inertia* führt zu der komplementären Vorstellung einer Unterdrückung von Aufgabesets (Allport, et al., 1994). Wenn die überdauernde Aktivierung der vorherigen Aufgabe zu einem Konflikt mit der aktuell relevanten Aufgabe führt, erscheint ein Kontrollmechanismus sinnvoll, der die jetzt irrelevante Aufgabe inhibiert. Da die Inhibition bei einer späteren Ausführung der Aufgabe überwunden werden muss, würde dieser Mechanismus auch zu den Wechselkosten beitragen. Befunde, die für inhibitorische Kontrollleistungen beim Aufgabenwechsel sprechen, stammen hauptsächlich aus drei Quellen: Untersuchungen zu asymmetrischen Wechselkosten, zu den sogenannten N-2 Wiederholungskosten und Studien die andere inhibitorische Kontrollleistungen mit den Wechselkosten in Beziehung setzen.

Asymmetrische Wechselkosten

Die Wechselkosten sind definiert als die Leistungsdifferenz zwischen Wiederholungs- und Wechseldurchgängen. Daher kann theoretisch nicht unterschieden werden, ob die Wechselkosten aus Vorteilen der Wiederholung (Aktivierung) oder Nachteilen des Wechsels (Interferenz) stammen. Ein Ansatz, zwischen diesen Möglichkeiten zu unterscheiden, ist die Untersuchung asymmetrischer Wechselkosten. Werden Aufgaben von ungleicher Schwierigkeit bearbeitet, so zeigen sich in der Regel höhere Kosten bei einem Wechsel hin zur dominanteren und leichteren Aufgabe (Allport, et al., 1994; N. Yeung & Monsell, 2003). Beispielsweise wechselten die Teilnehmer in der Studie von Allport und Kollegen zwischen dem Lesen von Farbwörtern (z. B. „grün“) und dem Benennen der Schriftfarbe der Wörter (das Wort „grün“ in roter Farbe dargestellt, Stroop-Aufgabe, Stroop, 1935). Das Lesen der Farbwörter war einfacher und die Leistung besser als beim Benennen der Schriftfarbe. Dennoch zeigten sich größere Kosten bei einem Wechsel hin zum Lesen als bei einem Wechsel zum Benennen der Schriftfarbe. Asymmetrische Wechselkosten zeigen sich auch beim Wechsel zwischen Sprachen. Die Wechselkosten hin zur Muttersprache sind höher als zu einer später erlernten Sprache (Meuter & Allport, 1999; Andrea M. Philipp, Gade, & Koch, 2007). Hoch trainierte Bilinguale, bei denen beide

Sprachen vermutlich gleich dominant sind, weisen dagegen keine asymmetrischen Wechselkosten auf (Costa & Santesteban, 2004). Diese Ergebnisse können als Beleg für eine Inhibition der irrelevanten Aufgabe gewertet werden. Wird die schwerere Aufgabe ausgeführt, muss die dominantere stark inhibiert werden, da diese stärker mit der Ausführung der schwereren Aufgabe interferiert. Umgekehrt ist weniger Inhibition der irrelevanten schweren Aufgabe notwendig, wenn die dominante Aufgabe ausgeführt wird. Dies hat zur Folge, dass bei einem Wechsel zur dominanten Aufgabe, mehr Inhibition überwunden werden muss als bei einem Wechsel zur schwereren Aufgabe und folglich höhere Wechselkosten entstehen.

Allerdings lässt sich das Phänomen der asymmetrischen Wechselkosten auch alternativ durch die Aufgabenaktivierung erklären. Denn es sollte auch schwerer sein, sich von einer schwierigeren Aufgabe zu lösen, da diese viel Kontrolle erfordert und so eine hohe Aktivierung erfährt. Folglich käme es (aufgrund der *task-set inertia*) zu stärkerer Interferenz bei einem anschließenden Wechsel zur dominanten Aufgabe. Michael Masson und Kollegen versuchten daher inhibitorische Aufgabenkontrolle mit einer etwas anderen Prozedur nachzuweisen (Masson, Bub, Woodward, & Chan, 2003). Sie ließen die Versuchsteilnehmer abwechselnd ein Wort in schwarzer Schriftfarbe lesen und dann die Farbe von einem zweiten Reiz benennen. Der zweite, farbige Reiz war entweder ebenfalls ein Wort oder ein neutraler Reiz aus Sternchen. Dadurch konnten die Autoren zwischen Aufgabenwechseln unterscheiden bei denen es entweder zu einem Konflikt mit der dominanten Aufgabe (Wort lesen) kam oder kein Konflikt (neutraler Reiz) vorhanden war. Entsprechend der Inhibitionsüberlegung fanden die Autoren in der Konfliktbedingung längere Reaktionszeiten für das Lesen des in schwarz geschriebenen Wortes. Doch auch bei diesem Vorgehen lässt sich die beschriebene Alternativerklärung nicht völlig abschließen.

N-2 Wiederholungskosten

Ein klarerer, wenn auch indirekter Nachweis inhibitorischer Kontrolle ist durch die Untersuchung von N-2 Wiederholungen gelungen (für einen Überblick siehe U. Mayr, 2007). Mayr und Keele (2000) verfolgten die Idee, dass ein Wechsel zu einer neuen Aufgabe die Unterdrückung der alten Aufgabe erfordert. Sie nahmen weiterhin an, dass diese Aufgabeninhibition nur langsam zerfällt. Um die Inhibition der Aufgabe nachzuweisen, konstruierten sie ein Paradigma, in dem zwischen drei Aufgaben (A, B und C) gewechselt wird. Der kritische Vergleich besteht dabei aus möglichst identischen Sequenzen, in denen entweder zu einer zuvor verlassenen Aufgabe zurückgekehrt wird (A-B-A, N-2 Wiederholung) oder nicht (A-B-C). Es zeigte sich, dass die Leistung bei N-2 Wieder-

holungen schlechter ist, als wenn zur dritten Aufgabe gewechselt wird bzw. die Wiederholung länger zurück liegt. Mayr und Keele nannten diesen Effekt *backward inhibition* (Rückwärtshemmung), da sie annahmen, dass eine ausgeführte Aufgabe gehemmt wird und diese Hemmung noch weiter nachwirkt, sodass sie später beim erneuten Ausführen der Aufgabe überwunden werden muss. Allerdings hat der Begriff N-2 Wiederholungskosten den Vorteil, dass er rein phänomenologisch ist und keine theoretische Erklärung impliziert.

Während Mayr und Keele ein recht spezielles Paradigma verwendeten, bei dem der Ort eines perzeptuell abweichenden Reizes signalisiert werden musste, wurden N-2 Wiederholungskosten inzwischen bei einer Vielzahl verschiedener Aufgaben nachgewiesen, darunter der Kategorisierung von Symbolen (z. B. Schuch & Koch, 2003) und auch bei der Verwendung univalenter Reize ohne überlappende Antwortsets (Arbuthnott, 2000 #79, siehe aber auch Gade & Koch, 2007b). Dennoch bleiben einige Fragen offen. So ist letztlich nicht geklärt, *was*, *wie* und *wann* gehemmt wird. Während Mayr und Keele davon ausgingen, dass das gesamte Aufgabenset gehemmt wird, zeigen neuere Studien, dass vor allem antwortbezogene Prozesse inhibitorisch kontrolliert werden (Schneider & Verbruggen, 2008). Bei überlappenden Antwortsets kann durch die Unterdrückung der irrelevanten S-R Regel die Interferenz zwischen den Aufgaben reduziert werden (Schuch & Koch, 2003). Entsprechend finden sich bei geringerer Überlappung der Antwortsets geringere N-2 Wiederholungskosten (Gade & Koch, 2007b). Allerdings gibt es auch Evidenz, dass die Stärke der Inhibition schon während der Aufgabenvorbereitung adjustiert werden kann (Houghton, Pritchard, & Grange, 2009). Folglich schlagen Houghton und Kollegen vor, dass durch jeglichen Konflikt während der Aufgabenbearbeitung die inhibitorische Kontrolle der irrelevanten Aufgabe moduliert werden kann.

Weiterhin wird diskutiert, wie die Inhibition implementiert ist. Während die meisten Autoren davon ausgehen, dass die Aktivierung der relevanten Aufgabe und die Unterdrückung der irrelevanten Aufgabe durch laterale Inhibition gewährleistet wird, gibt es auch Hinweise dafür, dass sich Aktivierung und Inhibition nicht ausschließlich reziprok zueinander verhalten (Gade & Koch, 2007b). Für unabhängige Beiträge von Aktivierung und Inhibition bei der Aufgabenkontrolle spricht ebenfalls, dass sich kein konsistenter Zusammenhang zwischen den Aufgabenwechselkosten und den N-2 Wiederholungskosten findet (A. M. Philipp & Koch, 2006). Während in manchen Studien zwar N-2 Wiederholungskosten aber keine Wechselkosten auftreten (z. B. K. Arbuthnott & Frank, 2000), finden sich in anderen Studien auch Bedingungen ohne N-2 Wiederholungskosten, die dafür aber Wechselkosten aufweisen (K. D. Arbuthnott & Woodward, 2002).

Paradigmen inhibitorischer Kontrolle

Schließlich zeigen sich Zusammenhänge zwischen Aufgabenwechsel und anderen Paradigmen, die inhibitorische Kontrolle erfassen. Dazu gehören vor allem die Kontrolle von (motorischer) Interferenz aufgrund von Ressourcen- oder Reizkonflikten (z. B. im Stroop-Paradigma, Stroop, 1935) und die Inhibition dominanter oder automatischer Reaktionen (z. B. im Stopp-Signal Paradigma, Boucher, Palmeri, Logan, & Schall, 2007; Logan, 1994). In bildgebenden Studien² findet sich sowohl bei der Bearbeitung der Stroop-Aufgabe als auch im Aufgabenwechselfparadigma eine Aktivierung des lateralen Präfrontalcortex (lateralen PFC, Derrfuss, Brass, Neumann, & von Cramon, 2005). Dreher und Berman (2002) untersuchten direkt die N-2 Wiederholungseffekte mit funktionseller Magnetresonanztomographie (fMRT) und fanden eine erhöhte Aktivität im rechten lateralen PFC bei einer N-2 Wiederholung (A-B-A) verglichen mit einer länger zurückliegenden Wiederholung (A-B-C). Bei einem Wechsel zu einer neuen Sequenz von Aufgaben zeigte sich hingegen eine erhöhte Aktivität des anterioren cingulären Cortex (ACC). Unklar bleibt jedoch, ob der laterale PFC die Quelle der Inhibition ist. Während er im Stroop- und Stopp-Signal Paradigma an der inhibitorischen Kontrolle direkt beteiligt zu sein scheint (vgl. A. R. Aron, et al., 2004), schlussfolgern Dreher und Berman (2002), dass seine Aktivierung eher als das Überwinden der residualen Inhibition einer zuvor ausgeführten Aufgabe – oder anders ausgedrückt, als die Aktivierung der relevanten Aufgabe - verstanden werden muss (siehe auch Nick Yeung, Nystrom, Aronson, & Cohen, 2006). Auf der Verhaltensebene ergeben sich ebenfalls Zusammenhänge mit verschiedenen Maßen inhibitorischer Kontrolle. In einer groß angelegten Korrelationsstudie fanden Friedman und Miyake (2004) einen starken Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Wechselkosten und einer latenten Variablen (*Response-Distractor Inhibition*), die die Leistung in Aufgaben zur Kontrolle von Konflikten durch Distraktoren und zur Inhibition dominanter Reaktionen zusammenfasst.

2.3. ZUSAMMENFASSUNG

Nach Meiran (in press) können die Prozesse, die bei der Aufgabenkontrolle eine Rolle spielen, grob in zwei Klassen eingeteilt werden (vgl. auch Ach, 1910). Einerseits in Prozesse, die zu inneren Widerständen führen, d. h. die zur kognitiven Rigidität beitragen (z. B. *task-set inertia*), andererseits in Prozesse, die zur erfolgreichen Zielerreichung führen, d. h. die zur kognitiven Flexibilität beitragen (z. B. Inhibition). Ob ein Prozess zu beobachteten Kosten oder Vorteilen führt, hängt jedoch stark von den experimentellen

² Für eine Diskussion des Beitrags physiologischer Untersuchungen zu Fragen der inhibitorischen Kontrolle siehe Aron (2007).

bzw. den Umweltbedingungen ab. In Situationen die wenig Flexibilität erfordern, zahlt sich etwa Rigidität aus. Daher ist es sinnvoll, die Art der Aufgabenkontrolle und deren zeitliche Dynamik zu betrachten (Meiran, Kessler, & Adi-Japha, 2008). Zum einen üben top-down Prozesse (z. B. Rekonfiguration) während der Aufgabenvorbereitung Kontrolle entsprechend dem aktuellen Ziel aus, zum anderen steuern auch bottom-up Prozesse während der Reizverarbeitung den Informationsfluss (assoziative Aktivierung der Aufgabe). Zusätzlich wirkt die Bearbeitung vorheriger Aufgaben nach (z. B. *task-set inertia*, Aufgabenhinhibition). Zeitlich betrachtet erfolgt die Kontrolle vor allem proaktiv, d. h. es gilt, das System auf die Ausführung der Aufgabe möglichst vollständig vorzubereiten, bevor die relevanten Reize verarbeitet werden sollen (Rekonfiguration, Inhibition von Aufgabensets). Gelingt dies nicht, schiebt sich die Ausführung der Aufgabe auf, da sie noch nicht vollständig implementiert ist. Von der Stimulusverarbeitung selbst stammt der letzte Impuls zu einem vollständigen Wechsel in das relevante Aufgabenset. Das System scheint aber auch in der Lage zu sein, sich an die reizspezifischen Anforderungen auch noch während der Bearbeitung der Aufgabe anzupassen.

3. WIEDERHOLUNG EINER ANTWORT

Die vorliegende Arbeit untersuchte Antwortwiederholungseffekte im Aufgabenwechselfaradigma. Zur besseren Einordnung werden im Folgenden zunächst allgemein Antwortwiederholungseffekte betrachtet, bevor die relevante Literatur zu Antwortwiederholungseffekten im Aufgabenwechselfaradigma berichtet wird.

In den 60er Jahren prägte Bertelson den Begriff *repetition effect* (Wiederholungseffekt) für die Beobachtung, dass die Reaktionszeiten und Fehlerraten geringer sind, wenn im aktuellen Durchgang (N) dieselbe Antwort wie im vorhergehenden Durchgang (N-1) erforderlich ist (z. B. Bertelson, 1963, 1965). Jedoch ist eine Antwortwiederholung in einfachen Wahlreaktionsaufgaben in der Regel mit einer Stimuluswiederholung konfundiert. Die Frage war daher, ob eher frühe perzeptuelle Effekte (Stimuluswiederholung) für die Wiederholungseffekte verantwortlich sind, oder ob eher späte Prozesse auf Ebene der Antwort(-auswahl) ausschlaggebend sind. Um den reinen Effekt einer Antwortwiederholung zu bestimmen, wurde daher die Zuordnung von mehreren Reizen zu einer Antwort untersucht. Beispielweise ordnete Bertelson (1965) die Zahlen 2 und 4 einer linken Antworttaste und die Zahlen 5 und 7 einer rechten Antworttaste zu. Er fand nur einen geringen Vorteil in Durchgängen, in denen sich sowohl der Reiz als auch die Antwort wiederholte (identische Wiederholung, z. B. 2-2) gegenüber Durchgängen, in denen sich nur die Antwort wiederholte (äquivalente Wiederholung, z. B. 2-4) und interpretier-

te dies als Beleg für eine hauptsächlich antwortgetriebene Ursache der Wiederholungseffekte.

3.1. KATEGORISIERBARKEIT

Allerdings hatte Bertelson eine weitere mögliche Konfundierung übersehen. Smith wies (1968) darauf hin, dass es für die Probanden möglich war, die Reize nach „gerade“ (2 und 4) und „ungerade“ (5 und 7) zu kategorisieren und mit dieser vereinfachten Antwortzuordnung die Aufgabe zu bearbeiten. Folglich wäre eine Antwortwiederholung mit einer Wiederholung der Stimuluskategorie konfundiert gewesen. Das würde bedeuten, dass die Wiederholungsvorteile einer äquivalenten Wiederholung überschätzt werden, denn das kognitive System würde zusätzlich von der Wiederholung der Stimuluskategorie profitieren. Daher verwendete Smith Reize, die nicht entsprechend ihrer Zuordnung zu den Antworten kategorisierbar waren. Bei ihm waren einer linken Antworttaste eine rote 1 und eine grüne 2 zugeordnet und einer rechten Antworttaste eine grüne 1 und eine rote 2. Tatsächlich fand Smith viel größere Vorteile für identische versus äquivalente Wiederholungen als Bertelson.

Eine recht detaillierte Untersuchung der Kategorisierbarkeit und Zuordnung von Stimuli zu Antworten unternahm Rabbitt (1968). Er realisierte 4 Bedingungen: Die Zuordnung von 8 Reaktionstasten zu 8 Stimuli (8R/8S; als Reize dienten die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8), 4 Reaktionstasten zu 8 Stimuli (4R/8S), 2 Reaktionstasten zu 8 Stimuli (2R/8S) sowie 2 Reaktionstasten zu 4 Stimuli (2R/4S, als Reize dienten die Zahlen 1, 2, 3, 4). Außerdem wurde der Einfluss der Übung erfasst, indem frühe und späte Durchgänge getrennt ausgewertet wurden. Es zeigte sich, dass mit zunehmender Übung in allen Bedingungen der Beitrag der äquivalenten Wiederholungen zum gesamten Wiederholungseffekt (also Wiederholungen, die von der Kategorisierbarkeit profitieren sollten) größer wurde. So lag der Anteil in der frühen Phase bei 21 %, in der späten Phase dagegen bei 56 % (Prozentangaben nach Druey, 2006). Dabei sind weniger Stimuluskategorien leichter zu handhaben als mehr. In den beiden 2R-Bedingungen war der Vorteil von Wiederholungen der Stimuluskategorie (äquivalente Wiederholungen) schon in der frühen Phase deutlich (27 *ms* bzw. 28 *ms*) während er in der 4R/8S Bedingung sehr klein war (5 *ms*). Numerisch glich sich dieser Unterschied mit zunehmender Übung an, war aber immer noch in dem Beitragsanteil am gesamten Wiederholungseffekt erkennbar (2R-Bedingungen: 73 bzw. 64 %; 4R/8S-Bedingung: 34 %).

Pashler und Baylis (1991b) wiesen darauf hin, dass die Frage nach dem Ort der Wiederholungseffekte (perzeptuelle Verarbeitungsstufe vs. Antwortstufe) nicht allein

durch die Abhängigkeit der Wiederholungseffekte von Stimuluswiederholungen oder Antwortwiederholungen zu entscheiden ist. Die Autoren argumentieren, dass eine verbesserte Leistung bei Stimuluswiederholungen auch aus einer Beschleunigung bei der Antwortauswahl resultieren könne (z. B. einer schnelleren Verknüpfung zwischen Reizrepräsentation und Antwortrepräsentation) und nicht notwendigerweise mit einer beschleunigten Reizverarbeitung einhergehen müsse. Der scheinbare Widerspruch in der Literatur zwischen Ergebnissen die für eine antwortbezogene Ursache sprechen einerseits (z. B. Bertelson, 1965) und Ergebnissen die für eine reizbezogene Ursache sprechen andererseits (z. B. Smith, 1968), könne durch die Berücksichtigung der Kategorisierbarkeit aufgehoben werden. Pashler und Baylis (1991b) untersuchten daher die Frage, ob die Wiederholungseffekte (ähnlich wie Übungseffekte beim prozeduralen Lernen) durch eine Stärkung der Verknüpfung abstrakter Kategorien, d. h. der Stimulus- und Antwortkategorien, zustande kommen (vgl. Pashler & Baylis, 1991a, highest link hypothesis). Sie präsentierten den Probanden kategorisierbare oder nicht kategorisierbare Reize, die drei verschiedenen Antworten zugeordnet waren. Sowohl bei nicht kategorisierbaren als auch bei kategorisierbaren Stimuli zeigten sich große Antwortwiederholungsvorteile bei identischen Stimuluswiederholungen. Für äquivalente Wiederholungen fanden sich jedoch nur bei kategorisierbaren Reizen Antwortwiederholungsvorteile (Pashler & Baylis, 1991b, Experiment 1, 2 und 3). Da die Effekte identischer Stimuluswiederholungen deutlich größer waren als die Effekte äquivalenter Wiederholungen, verwarfen sie die *highest link hypothesis* und interpretierten ihre Befunde als Beleg für einen *shortcut* zwischen Reizidentitäten und Antworten, der die Antwortauswahl bei einer Stimuluswiederholung beschleunigt.

Diese Interpretation ist aber vielleicht zu streng. Denn schließlich bleiben substantielle Vorteile einer Kategoriewiederholung bestehen. Campbell und Proctor (1993) schlussfolgern etwa, dass es für das Auftreten von Wiederholungsvorteilen genügt, dass sich eine saliente Stimuluseigenschaft, in diesem Fall die Kategoriezugehörigkeit, ebenfalls wiederholt. Für einen Nutzen der Kategorisierbarkeit der Stimuli spricht auch, dass die Wiederholungsvorteile größer sind wenn natürliche, auf Vorwissen beruhende Kategorien (z. B. Farben von Spielkarten, Konsonanten vs. Vokale etc.) verwendet werden als bei „willkürlichen“, neuen Zuordnungen (Kleinsorge, 1999).

Abschließend sei die Kategorisierbarkeit der Antwort nicht aus der Blickrichtung der Stimuli sondern aus der Blickrichtung der Antwort betrachtet. Wie wirkt sich die Wiederholung der Antwortkategorie, d. h. der repräsentationalen Bedeutung („links“, „rechts“ etc.) aus, ohne dass sich die exakte motorische Antwort (rechter Zeigefinger etc.) wiederholt? Die kategoriale Zugehörigkeit kann eine räumliche Überlappung einschlie-

ßen (z. B. durch abwechselndes Antworten mit der linken und rechten Hand, Campbell & Proctor, 1993) oder sogar nur rein semantisch oder cross-modal sein (linke oder rechte Taste bzw. „links“ oder „rechts“ sagen, Schuch & Koch, 2004). Es zeigt sich, dass Effekte von Wiederholung der Antwortkategorie auch bei einer räumlich analogen Anordnung der Antworttasten zu beobachten sind. Noch deutlicher weisen die Ergebnisse von Schuch und Koch (2004) darauf hin, dass die Antwortwiederholungseffekte nur zu einem geringen Grad vom tatsächlich eingesetzten Effektor abhängig sind. In zwei Experimenten antworteten die Probanden mit einer links vs. rechts Wahlreaktion auf zwei aufeinanderfolgende Reize. Die erste Antwort wurde verbal gegeben, die zweite durch Tastendruck. Schuch und Koch fanden das gleiche Datenmuster für die Antwortwiederholungseffekte wie in Experimenten, in denen auf beide Reize mittels Tastendruck reagiert wurde (siehe auch Druey & Hübner, 2008a, und *4.2 Kategorisierbarkeit der Antworten*).

3.2. KOSTEN REINER ANTWORTWIEDERHOLUNGEN

Betrachtet man die Ergebnisse aus Experiment 1 von Pashler und Baylis (1991) genauer, so zeigt sich, dass bei der Bearbeitung von nicht kategorisierbaren Stimuli eine Antwortwiederholung im Vergleich zu einem Antwortwechsel sogar zu Kosten führt (Reaktionszeiten: 661 *ms* vs. 642 *ms*; Fehlerraten: 8.5 % vs. 4.6 % - gemittelt über zwei Bedingungen³). Leider berichten die Autoren keine Statistik zu diesem Vergleich. Campbell und Proctor (1993, Experiment 1) replizierten dieses Ergebnis und fanden signifikante Antwortwiederholungskosten zumindest in den Fehlerraten.

Dass Antwortwiederholungen ohne den Vorteil einer Stimuluskategoriewiederholung zu Kosten führen, steht in Einklang mit der bereits zitierten Studie von Smith (1968). Sie konnte zeigen, dass die reine Wiederholung einer Antwort (ohne Kategoriewiederholung) zu Kosten, d. h. zu verlangsamten Reaktionszeiten und erhöhten Fehlerraten, gegenüber Antwortwechseln führte. Dasselbe Datenmuster findet sich auch bei der Verwendung von Farburteilen (Marczinski, Milliken, & Nelson, 2003) und wenn sich eine irrelevante Stimuluseigenschaft ändert, die Antwort aber wiederholt (Terry, Valdes, & Neill, 1994). Smith interpretierte die beobachteten Kosten als einen Effekt von Inhibition. Sie spekulierte, dass das System zögert, im aktuellen Durchgang auf einen anderen Reiz dieselbe Antwort zu geben wie im vorherigen Durchgang auf den „alten“ Reiz. Die der vorliegenden Arbeit zugrundeliegende Theorie geht ebenfalls von einer Inhibition der vorhergehenden Antwort aus. In Abschnitt *5.3 Zwei-Prozess-Modell der Antwortinhibition* werden diese Überlegungen vertieft.

³Pashler und Baylis (1991) variierten auch das zeitliche Intervall zwischen der vorhergehenden Antwort und dem nachfolgenden Stimulus.

Die Effekte von Antwortwiederholungen wurden auch mit akustischen Stimuli untersucht (z. B. Quinlan, 1999). In einer Studie von Mondor und Kollegen (2003) klassifizierten Probanden Töne (500, 550, 3000, 3300 *Hz*) nach der Tonhöhe (tief vs. hoch). Auch sie fanden Kosten bei äquivalenten Antwortwiederholungen im Vergleich zu Antwortwechslern. Im zweiten Experiment der Studie wurde der graduelle Einfluss der Ähnlichkeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stimuli auf die Wiederholungseffekte untersucht. Da relevante Urteile über die physikalischen Eigenschaften der Reize (Tonhöhe/Frequenz) gegeben wurden und nicht über symbolische Kategorien (z. B. gerade vs. ungerade), konnte die Ähnlichkeit der Reize innerhalb der Kategorie systematisch manipuliert werden. Dazu wurden jeweils sieben Abstufungen der tiefen und hohen Töne verwendet (455, 470, 485, 500, 516, 533 und 550 *Hz* bzw. 2727, 2815, 2906, 3000, 3097, 3197 und 3300 *Hz*). Es zeigte sich, dass die Antwortwiederholungskosten für äquivalente Reizwiederholungen (unterschiedliche Reize aus derselben Kategorie) größer werden, je größer der Frequenzunterschied der Töne (also je geringer ihre Ähnlichkeit) in aufeinanderfolgenden Durchgängen war.

Für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit ist noch ein weiteres Ergebnis der Studie von Mondor und Kollegen interessant. Die beobachteten Antwortwiederholungskosten waren deutlich größer, wenn die Abfolge der Tonhöhe in Richtung der alternativen, also der falschen Antwort, ging. Dieser Effekt war wiederum von dem Frequenzunterschied abhängig. Die Kosten einer Antwortwiederholung - im Vergleich zu einem Antwortwechsel - nahmen von geringen Frequenzwechseln in Richtung der falschen Antwort (27 *ms*; 2.9 %) über mittlere Frequenzunterschiede (70 *ms*; 9.0 %) hin zu einem großen Unterschied der Frequenzen (92 *ms*; 13.6 %) stetig zu (Mondor, et al., 2003, Experiment 2). Erstaunlicherweise gehen die Autoren nicht auf diesen deutlichen Zusammenhang ein. Eine Erklärung könnte sich aber durch die Inhibitionshypothese von Smith ergeben. Mit Hilfe der Annahme, dass aufgrund der Inhibition der vorherigen Antwort, das System die Tendenz hat, bei einem Reizwechsel auch einen Antwortwechsel auszuführen, erklärt sich zunächst der Hauptbefund der Studie: Äquivalente Antwortwiederholungen führen im Vergleich zu Antwortwechslern zu Kosten. Auch scheint es plausibel, dass die Wechseltendenz des Systems zunimmt, wenn die Ähnlichkeit der aufeinanderfolgenden Reize abnimmt. Die berichtete Interaktion zwischen der Antwortabfolge und der Abfolge der Tonhöhe kann durch zwei weitere Annahmen erklärt werden. Erstens scheint es wahrscheinlich, dass es in der Versuchsanordnung von Mondor und Kollegen zu einer Überlappung zwischen der Repräsentation der Tonhöhe und der räumlichen Anordnung der Antworten kam. Die Autoren ordneten die Antworten horizontal an (zumindest erschließt sich dies aus der Verwendung der Tasten 0 und 1 auf einer Standardtastatur). Auch sind Tonhöhen räumlich, häufig in einer horizontalen Anord-

nung repräsentiert (Rusconi, 2006 #2569, vgl. auch Lidji, Kolinsky, Lochy, & Morais, 2007). Solch eine Überlappung zwischen Reizeigenschaften und Antworteigenschaften (bzw. deren Repräsentationen) könnte zu einer direkten Aktivierung der korrespondierenden Antwort führen (z. B. Hommel, 1995; Kornblum, Hasbroucq, & Osman, 1990). Zweitens kann spekuliert werden, dass auf ähnliche Weise die Richtung der Abweichung („nach unten“ → tief; „nach oben“ → hoch) auch zu einer Antwortaktivierung führt. Als Beispiel sei der Fall betrachtet, dass im aktuellen Durchgang auf einen hohen Ton erneut ein hoher Ton folgt, der aber nach unten abweicht. Die Tonhöhe selbst ist mit der Antwort „hoch“ und einem rechten Tastendruck assoziiert. Nimmt man an, dass es tatsächlich zu einer Kompatibilität zwischen der Repräsentation der Abweichung „tiefer“ und der Antwort „tief“ kam, so würde über diese Eigenschaft des aktuellen Tons, die falsche Antwort „tief“ aktiviert werden. Dieser Antwortkonflikt wäre mit zunehmender Abweichung stärker, da die falsche Antwort eine stärkere Aktivierung erfährt. Die Inhibition der vorherigen (und jetzt wieder) korrekten Antwort, würde die resultierende Interferenz verstärken.

3.3. ERWARTUNGSEFFEKTE

Ein weiterer Aspekt bei der Betrachtung von Antwortwiederholungen ist das zeitliche Intervall zwischen der vorherigen Antwort und dem nachfolgenden Stimulus (RSI, *response-stimulus interval*). In einigen Studien finden sich bei kurzem RSI (< 500 ms) Antwortwiederholungsvorteile, bei längeren RSI dagegen Nachteile einer Antwortwiederholung. Soetens und Notebaert haben diese RSI-Abhängigkeit für äquivalente Antwortwiederholungen untersucht (Notebaert & Soetens, 2003; Soetens, 1998). In der Studie von Notebaert und Soetens zeigten sich in zwei Experimenten bei kurzem RSI (50 ms) zumindest in den Reaktionszeiten Antwortwiederholungsvorteile. Diese Vorteile waren bei langem RSI (1000 ms) nicht mehr vorhanden. In den Fehlerraten zeigten sich dagegen durchgehend Nachteile einer Antwortwiederholung. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt Soetens (1998). Er fand in vier Experimenten bei kurzem RSI Vorteile einer Antwortwiederholung. Bei langem RSI zeigten sich dagegen keine Vorteile. Notebaert und Soetens interpretieren diese Ergebnisse als ein Zusammenspiel aus automatischer (bottom-up) Faszilitation durch Wiederholung und subjektiver (top-down) Erwartungseffekte (vgl. auch *gambler's fallacy*, Wagenaar, 1972). In der Regel wird die Auftretenswahrscheinlichkeit von Wiederholungen unterschätzt. D. h. es werden mehr Wechsel erwartet, als eine Zufallssequenz beinhaltet. Da eher Antwortwechsel erwartet werden und sich das System folglich auf einen Wechsel vorbereitet, entstehenden bei Antwortwiederholung Nachteile. Diese werden jedoch durch die Vorteile einer Wieder-

holung von Stimuluseigenschaften (Bahnungs- und/oder Stärkungseffekte) überkompensiert. Bei langem RSI fallen die Antwortwiederholungsvorteile durch die Bahnungseffekte im Verhältnis zu den Antwortwiederholungsnachteilen durch die Erwartung eines Antwortwechsels geringer aus, da die Stärke der Bahnungseffekte über die Zeit zerfällt und der Aufbau der Erwartung stärker fortgeschritten ist. Ähnlich wie diese Autoren argumentiert auch Kleinsorge, dass ein Wechsel in einer Stimuluseigenschaft eine allgemeine Tendenz des Systems hin zu einem Wechsel (also auch zu einem Antwortwechsel) auslöst (Kleinsorge, 1999, vergleiche auch *5.2 Rekonfigurationsbasierte Ansätze*). Jedoch sieht er diesen Mechanismus unabhängig von der Größe des RSI. Nur unter univalenten Reizbedingungen berichtet er von einer RSI-Abhängigkeit der Interaktion Kategorieabfolge \times Antwortabfolge (RSI: 150 vs. 750 ms, Experiment 2). Unter bivalenten Reizbedingungen und bei der Verwendung von „natürlichen“ Kategorien (Farbe von Spielkarten; Konsonant vs. Vokal) fanden sich keine Zusammenhänge der Wiederholungseffekte mit dem RSI. Auch in anderen Studien konnte kein Einfluss des RSI auf die Antwortwiederholungseffekte gefunden werden (z. B. Campbell & Proctor, 1993; Pashler & Baylis, 1991b). Zusammenfassen kann es bei sehr große RSI von 1000 ms und mehr zu den beschriebenen Erwartungseffekten kommen. Allerdings zeigt sich in dem Bereich bis 1000 ms eine eher heterogene Befundlage. Wann es dort zur Ausbildung von Erwartungen kommt ist bisher nicht geklärt.

3.4. ZUSAMMENFASSUNG

Insgesamt ergeben die Befunde zu den Antwortwiederholungseffekten kein sehr einheitliches Bild. Sie sind aber wenigstens dahingehend eindeutig, dass eine Stimuluswiederholung (vermutlich durch den Abruf episodischer Erfahrungen) zu Vorteilen führt. Umgekehrt ist eine äquivalente Antwortwiederholung, wenn also auf einen anderen Stimulus aus derselben Kategorie die vorherige Antwort wiederholt wird, keine hinreichende Bedingung für Wiederholungsvorteile (vgl. auch Soetens, 1998). Einige Autoren finden sogar Kosten einer äquivalenten Antwortwiederholung. Die beobachteten Kosten sprechen für eine Tendenz des Systems hin zu einem Wechsel. Dieser mag durch die Hemmung der vorherigen Antwort oder durch Erwartung zustande kommen.

4. ANTWORTWIEDERHOLUNGSEFFEKTE IM AUFGABENWECHSELPARADIGMA

Es wurde bereits besprochen, dass die Kategorisierbarkeit der Stimuli entscheidend für die Richtung der Antwortwiederholungseffekte ist. Wichtig war die Untersuchung der Kategorisierbarkeit vor allem, um eine Konfundierung zwischen Antwort- und Stimuluswiederholung zu vermeiden. Es zeigte sich, dass äquivalente Antwortwiederho-

lungen nur bei kategorisierbaren Stimuli zu robusten Vorteilen führen. Wiederholt sich die Antwort, ohne dass sich gleichzeitig eine Stimuluskategorie wiederholt, können sogar Kosten beobachtet werden. Analog zur Trennung zwischen Stimulus- und Antwortwiederholungen kann man jetzt auf kategorialer Ebene fragen: Lassen sich Antwortwiederholungsvorteile nur aufgrund einer Konfundierung von Antwortwiederholung und Kategoriewiederholung beobachten? Diese Frage lässt sich im Aufgabenwechselfparadigma untersuchen.

4.1. KATEGORISIERBARKEIT DER REIZE

Sind mehrere Kategorien der gleichen Antwort zugeordnet (überlappende Antwortsets) lassen sich Antwortwiederholungen getrennt von Kategoriewiederholungen betrachten. Beispielsweise seien in einer Zahlenaufgabe die Zahlen 2, 4, 6 und 8 der Kategorie „gerade“ einer linken und die Zahlen 3, 5, 7 und 9 der Kategorie „ungerade“ einer rechten Antworttaste zugeordnet. Ebenso sind aber in einer Buchstabenaufgabe die Buchstaben G, K, M und R der Kategorie „Konsonant“ der linken und die Buchstaben A, E, I, und U der Kategorie „Vokal“ der rechten Antworttaste zugeordnet. Folgt in einer Sequenz von Durchgängen nun eine 2 auf eine 6, bedeutet dies eine Wiederholung der Antwort *und* der Kategorie. Folgt aber ein G auf eine 6 (d. h. wechselt die Aufgabe) bedeutet dies eine Wiederholung der Antwort *ohne* eine Kategoriewiederholung.

Genau dies haben Rogers und Monsell (1995) untersucht. In sechs Experimenten werteten sie die Antwortwiederholungseffekte in Abhängigkeit der Aufgabenabfolge aus. In allen Experimenten zeigten sich Antwortwiederholungsvorteile, wenn sich gleichzeitig die Aufgabe – und damit die Kategorie – wiederholte. Wie sahen die Wiederholungseffekte jedoch bei einem Aufgabenwechsel aus, wenn sich nur die Antwort wiederholte nicht aber die Kategorie? In fünf der sechs Experimente gab es reliable Kosten einer Antwortwiederholung. Diese Interaktion zwischen Aufgabenabfolge und Antwortabfolge (Antwortwiederholungsvorteile bei Aufgabenwiederholung, aber Antwortwiederholungskosten bei Aufgabenwechsel) wurde mittlerweile in etlichen Studien repliziert mit verschiedenen Varianten des Aufgabenwechselfparadigmas sowie mit symbolischen, räumlichen und auditorischen Beurteilungen als auch mit manuellen oder vokalen Antworten (z. B. R. Hübner & Druey, 2006; Kleinsorge, 1999; Meiran, 2005; Quinlan, 1999; Schuch & Koch, 2004; Sohn & Carlson, 2000). In einigen Studien zeigten sich die Antwortwiederholungsvorteile unter Aufgabenwiederholung eher in den Reaktionszeiten (z. B. Rogers & Monsell, 1995; Schuch & Koch, 2004) während die Antwortwiederholungskosten unter Aufgabenwechsel stärker in den Fehlerraten sichtbar wurden (z. B. Kleinsorge, 1999; Kleinsorge & Heuer, 1999; Rogers & Monsell, 1995; Schuch & Koch,

2004). Dieser Befund wurde als Verschiebung der motorischen Aktivität hin zu einem Antwortwechsel gewertet, um perseverierenden Tendenzen entgegenzuwirken (Kleinsorge, 1999; Kleinsorge, 1999 #1455, vgl. auch Rogers & Monsell, 1995).

Dass Stimuluskategorien auch eine Rolle spielen, wenn sie nur implizit sind, zeigt sich in einer Studie von Dreisbach und Haider (2008). Sie boten drei Gruppen von Versuchsteilnehmern acht verschiedene Wörter dar, die entweder grün oder rot dargestellt waren und den Kategorien „sich bewegend“ vs. „sich nicht bewegend“ angehörten. Gleichzeitig ließen sich die Wörter in die Kategorien „erster Buchstabe ist Vokal“ vs. „erster Buchstabe ist Konsonant“ sowie „Tier“ vs. „kein Tier“ klassifizieren. Die Reize wurden im Verlauf des Experiments nach und nach eingeführt. Die genaue Instruktion unterschied sich dabei in den Gruppen. Der ersten Gruppe wurde zu jedem neuen Stimulus die Reaktions-taste gesagt (SR Gruppe). Die zweite Gruppe sollte auf die Kategorien „bewegt“ mit einem linken und auf die Kategorie „unbewegt“ mit einem rechten Tastendruck antworten (1TS Gruppe). Die dritte Gruppe (2TS) wurde instruiert, auf rote Wörter das „Konsonant vs. Vokal“-Urteil anzuwenden und auf grüne Wörter das „Tier vs. kein Tier“-Urteil (jeweils linke vs. rechte Taste). Insgesamt war die Zuordnung der Reize zu den Antworttas-ten in allen Gruppen gleich. Die Autoren analysierten die Antwortwiederholungseffekte entsprechend der 2TS Gruppe, d. h. sie werteten die Faktoren Farbabfolge (Wiederho-lung vs. Wechsel) und Antwortabfolge (Wiederholung vs. Wechsel) aus. In der 2TS Gruppe fanden sie das zu erwartende Interaktionsmuster bestehend aus Antwortwieder-holvorteilen bei einer Farbwiederholung (bzw. einer Aufgabenwiederholung) und Antwortwiederholungsnachteilen bei einem Farbwechsel (bzw. Aufgabenwechsel). Inter-ressanterweise fand sich das gleiche Interaktionsmuster in der SR Gruppe, obwohl diese nicht bezüglich der Farbe instruiert wurde. Einzig in der 1TS Gruppe fand sich die Inter-aktion nicht mehr. Die Autoren schlossen daraus, dass die irrelevante Farbinformation in der SR Gruppe (nicht jedoch in der 1TS Gruppe) mitverarbeitet wurde. In der 1TS Grup-pe schütze das Aufgabenset vor der irrelevanten Farbinformation (shielding function of task sets, vgl. auch Dreisbach & Haider, 2009). Anders ausgedrückt verarbeiteten die Teilnehmer der SR Gruppe die Reize implizit entsprechend den Farbkategorien, so dass nur bei einer impliziten Kategoriewiederholung Antwortwiederholungsvorteile beobach-tet werden konnten und sich Nachteile einer Antwortwiederholung ergaben, wenn gleichzeitig die implizite Kategorie wechselte. In der 1TS Gruppe schließlich konnten kei-ne Wiederholungseffekte beobachtet werden, da hier die Abfolge der Kategorie und der Antwort konfundiert waren.

4.2. ANTWORTSELEKTION

Analog zu der Studie von Pashler und Baylis (1991b) kann nun wieder nach dem Ort der Wiederholungseffekte (perzeptuellen Verarbeitungsstufe vs. Antwortstufe) gefragt werden. Wie kann man die Effekte einer Stimuluskategoriewiederholung von den Effekten einer Antwortwiederholung trennen? Dass dabei die Antwortselektion entscheidend ist, zeigt sich in einer Studie von Kleinsorge und Heuer (1999). Sie untersuchten zusätzlich zu den Faktoren Aufgabenabfolge und Antwortabfolge auch den Einfluss wechselnder Antwortzuordnungen. Wie in anderen Aufgabenwechselstudien bearbeiteten die Versuchsteilnehmer zwei Wahlreaktionsaufgaben. Die Reize konnten in zwei verschiedenen Farben und an zwei verschiedenen Positionen erscheinen. Dabei gab die Position der Reize an, welche der beiden Aufgaben zu bearbeiten war. Die Farbe der Reize gab an, welche von zwei alternativen Antwortzuordnungen verwendet werden sollte. Sequentiell konnten Kleinsorge und Heuer (1999) so drei Faktoren (8 Kombinationsmöglichkeiten) betrachten: Aufgabenabfolge (Wiederholung vs. Wechsel), Antwortabfolge (Wiederholung vs. Wechsel) und Antwortzuordnung (Wiederholung vs. Wechsel). Zwar berichten die Autoren keine Statistik gezielt zu den Antwortwiederholungskosten. Aus der grafischen Darstellung der Daten lässt sich aber deutlich erkennen, dass sich Vorteile für eine Antwortwiederholung nur dann zeigten, wenn sich alle anderen relevanten Bedingungen wiederholten. Anders ausgedrückt: auch bei einer Aufgabenwiederholung fanden sich Antwortwiederholungskosten, wenn sich gleichzeitig die Zuordnung der Antworten zu den Stimuluskategorien änderte. Eine alleinige Wiederholung der Stimuluskategorie scheint also noch kein Garant für Antwortwiederholungsvorteile zu sein. Nur eine erneute Aktivierung der gleichen S-R Regel wie im vorhergehenden Durchgang geht mit Vorteilen einher.

Tatsächlich wird durch die Verwendung von überlappenden Antwortzuordnungen in den meisten Aufgabenwechselstudien die Rolle der Antwortselektion nur begrenzt sichtbar. Dem Vorteil dieser Anordnung – der Dekonfundierung von Stimulus- und Antwortkategorien – steht der Nachteil gegenüber, dass Selektionsprozesse auf der Effektorebene (Hand, Finger) schwerer zu untersuchen sind. Daher ordneten Cooper und Marí-Beffa (2008) vier Stimuluskategorien vier Antworttasten (C, V, B, N) eindeutig zu. Die Tasten wurden mit dem Mittel- und Zeigefinger der linken und rechten Hand bedient. Dies ermöglichte eine sequentielle Analyse auf der Effektorebene, sprich der Hand- und Fingertypabfolge. Im ersten Experiment wurden die Reize in zufälliger Reihenfolge präsentiert, wodurch auch die Abfolge der Effektoren zufällig war. Die größten Wiederholungsvorteile zeigten sich bei einer Wiederholung des Effektors (identischer Finger). Weiterhin ergaben sich große Vorteile bei Handwiederholungen und kleinere Vorteile der Wieder-

holung des Fingertyps (z. B. Zeigefinger rechte Hand – Zeigefinger linke Hand). Diese Ergebnisse zeigen, dass die Effektoren nach Händen und nach Fingertypen gruppiert werden, wobei die Gruppierung nach Händen stärker zu sein scheint (vgl. auch Adam, Hommel, & Umiltà, 2003). Im zweiten Experiment wurde die Abfolge der Hände vorangekündigt (A-A-B-B Sequenzen), wodurch Wiederholungen und Wechsel der Hände vorhersagbar wurden. Immer noch ergaben sich Vorteile bei Effektor- und Handwiederholungen. Die Vorteile bei einer Wiederholung des Fingertyps waren allerdings nicht mehr sichtbar. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass die Vorhersagbarkeit der Handabfolge zu einer Stärkung der Gruppierung nach Händen und einer Schwächung der Gruppierung nach Fingertypen geführt hat (vgl. auch Miller & Ulrich, 1998). Das nächste Experiment unterschied sich vom zweiten nur dahingehend, dass die Versuchsteilnehmer mit dem Handwechsel auch einen Aufgabenwechsel vollzogen. Die Einführung einer Aufgabenwechselsituation führte zu Kosten bei der Wiederholung eines Effektors, wobei Handwiederholungen weiterhin mit Vorteilen assoziiert waren. Die Autoren deuten diese Kosten als Inhibition des zuvor aktivierten Effektors. Schließlich untersuchten sie auch die Aufteilung der Aufgaben nach Fingertyp. Das heißt, die beiden Zeigefinger der linken und rechten Hand waren der ersten Aufgabe zugeordnet und die beiden Mittelfinger der zweiten Aufgabe. Nun zeigten sich Wiederholungskosten der Hand. Dagegen ergaben sich Vorteile bei der Wiederholung des Fingertyps.

Insgesamt interpretieren Cooper und Mari-Beffa (2008) die Ergebnisse im Sinne eines Inhibitionsmechanismus, der Perseverationen verhindern und gleichzeitig einen Wechsel erleichtern soll. Wenn nur eine Aufgabe bearbeitet wird, ergeben sich durch die perseverative Tendenz des Systems Vorteile bei der Bearbeitung (Fingertyp- bzw. Handwiederholungen). Ist dagegen in einer Aufgabenwechselsituation mehr Flexibilität gefordert, wirkt das System der Tendenz zur Perseveration bzw. deren Risiko entgegen. Dieses Risiko ist für jene Antworten am stärksten, die am aktivsten sind. Im Falle der Anordnung der Aufgaben nach Händen ist das der Effektor, der zuvor aktiviert wurde. Folglich wird der im letzten Durchgang aktive Effektor gehemmt. Bei der Anordnung nach Fingertyp ist das die zuvor verwendete Hand, da die Präferenz für eine Gruppierung nach Händen dazu führt, dass alle Antworten der zuvor verwendeten Hand in einem erhöhten Maß aktiviert sind. Entsprechend wird die ganze Hand gehemmt. Auf diese Interpretation wird im Abschnitt *5.3 Zwei Prozess Modell* der Antwortinhibition weiter eingegangen.

4.3. KATEGORISIERBARKEIT DER ANTWORTEN

Wie weiter oben aufgeführt, ergeben sich Vorteile einer Antwortwiederholung nicht nur, wenn sich die Stimuluskategorie (bei konstanter Antwortzuordnung) wiederholt.

Die zitierte Arbeit von Schuch und Koch (, 2004 #2649, vgl. auch Milán, Tornay, Quesada, & Hochel, 2006) zeigte weiterhin, dass das gesamte Interaktionsmuster (Antwortwiederholungsvorteile bei Aufgabenwiederholung, aber Antwortwiederholungskosten bei Aufgabenwechsel) erhalten bleibt, wenn die aktuelle Antwort lediglich eine semantische Wiederholung der vorherigen darstellt. Das lässt darauf schließen, dass modalitätsfreie Antwortrepräsentationen an der Entstehung der Wiederholungseffekte beteiligt sind. Dabei können mehrere Antwortrepräsentationen (abstrakt-räumliche, auf Effektoren bezogene etc.) gleichzeitig aktiv sein (R. Hübner & Druey, 2008). Für das Ausmaß der Wiederholungseffekte scheint der Grad der Überlappung zwischen den Antworten entscheidend zu sein, da die Antwortwiederholungseffekte bei motorisch identischen Antworten größer waren. Welche physische Antwort ausgeführt wird, ist zweitrangig. Gibt es aber keine Überlappung zwischen den Antworten, treten keine oder nur sehr kleine Antwortwiederholungseffekte auf (Mayr, 2007 #1843, siehe auch U. Mayr, 2001; Meiran, 2000b).

Wenn es zweitrangig ist, welche physische Antwort ausgeführt wird, ist dann die Ausführung einer Antwort überhaupt für das Auftreten der Wiederholungseffekte erforderlich? Hübner und Druey (2006) untersuchten diese Frage. Sie präsentierten den Probanden zuerst eine Zahl in der Mitte des Bildschirms und nach einem variablen zeitlichen Intervall (SOA, *stimulus onset asynchrony*) in der Hälfte aller Durchgänge eine zweite Zahl links und rechts davon. Ein Hinweisreiz kündigte an, ob ein gerade/ungerade-Urteil oder ein kleiner/größer-als-5-Urteil beim ersten Reiz erforderlich war. In der einen Hälfte der Blöcke wiederholte sich die Aufgabe für den zweiten Reiz, in der anderen Hälfte der Blöcke wechselte die Aufgabe immer. Über alle SOAs hinweg zeigte sich die bekannte Interaktion aus Antwortwiederholungsvorteile bei Aufgabenwiederholung und Antwortwiederholungskosten bei Aufgabenwechsel (R. Hübner & Druey, 2006, Experiment 1). In einem weiteren Experiment sollten die Probanden auf den ersten Reiz nicht antworten, wenn ein zweiter dargeboten wurde. Es ist anzunehmen, dass in solchen Durchgängen die Antwort auf den ersten Reiz zwar schon ausgewählt wurde, die Ausführung dann aber durch die Darbietung des zweiten Reizes unterdrückt wurde. Dennoch wurden „Antwortwiederholungskosten“ (die vorausgegangene Antwort wurde ja nicht ausgeführt) beobachtet. Die Ergebnisse zeigten, dass allein die Selektion der Antwort auf den vorhergehenden Reiz ausreicht, um Antwortwiederholungskosten bei einem Aufgabenwechsel zu beobachten (R. Hübner & Druey, 2006, Experiment 2).

4.4. VALENZ DER STIMULI

In der eben besprochenen Studie von Hübner und Druey zeigte sich auch eine Abhängigkeit der Antwortwiederholungseffekte von der Valenz der Stimuli. Die bisher beschriebenen Aufgabenwechselstudien verwendeten in der Regel bivalente Stimuli, d. h. Reize, die in Bezug auf beide Aufgaben evaluiert werden können. Beispielsweise wechseln die Probanden bei der Beurteilung von Zahlen zwischen gerade/ungerade und kleiner/größer-als-5-Urteilen (wie in Experiment 1 von R. Hübner & Druey, 2006). Dadurch kann die Zahl 2 sowohl als „gerade“ als auch als „kleiner als 5“ klassifiziert werden. Unter diesen bivalenten Reizbedingungen fanden die Autoren die typische Interaktion bestehend aus Vorteilen einer Antwortwiederholung bei Aufgabenwiederholung und Kosten einer Antwortwiederholung bei Aufgabenwechsel. In einem weiteren Experiment wurden univalente Stimuli, die hinsichtlich nur einer Aufgabe evaluiert werden können, dargeboten. Als Aufgaben dienten gerade/ungerade-Urteile und Konsonant/Vokal-Urteile und den Teilnehmern wurden Zahlen oder Buchstaben präsentiert (R. Hübner & Druey, 2006, Experiment 3). Mit diesen univalenten Stimuli zeigten sich größere Vorteile einer Antwortwiederholung bei Aufgabenwiederholung und kleinere bzw. gar keine Kosten einer Antwortwiederholung bei Aufgabenwechsel als in Experiment 1. Insgesamt gibt es also eine Verschiebung hin zu größeren Wiederholungsvorteilen bei univalenten bzw. größeren Kosten bei bivalenten Stimuli. Auch in der klassischen Arbeit von Rogers und Monsell (1995) wurden in Experiment 3 bivalente und in Experiment 4 univalente Stimuli verwendet. Numerisch zeigt sich hier der gleiche Zusammenhang, allerdings berichten die Autoren zu diesem Vergleich keine Statistik. Unter Aufgabenwiederholungsbedingungen fanden sich zumindest in den Reaktionszeiten für bivalente Stimuli kleinere Wiederholungsvorteile als für univalente Stimuli (37 vs. 59 ms; 1.6 vs. 2.7 %). Unter Aufgabenwechselbedingungen zeigten sich für bivalente Stimuli größere Wiederholungskosten als für univalente Reize (16 vs. -2 ms; 3.3 vs. 2.1 %). Weiterhin berichten auch Schuch und Koch (2004) ein Experiment mit bivalenten Stimuli und dessen Replikation mit univalenten Stimuli, analog zu den Studien von Hübner und Druey sowie Rogers und Monsell (Schuch & Koch, 2004, S.577 ff.). Wiederum zeigt sich eine numerische Reduktion der Antwortwiederholungskosten (30 vs. 19 ms; 6.7 vs. 2.2 %; wenn auch diese Lesart nicht der Interpretation der Autoren entspricht). Allerdings wird nicht immer ein signifikanter Unterschied der Aufgabenabfolge × Antwortabfolge Interaktion für uni- oder bivalentes Reizmaterial gefunden (U. Mayr & Bryck, 2007). Auch Kleinsorge (1999) berichtet sowohl bei bivalenten Reizkonstellationen (Experiment 1) als auch bei univalenten Reizen (Experiment 2 und 3) reliable Kosten einer Antwortwiederholung unter Aufgabenwechsel. Bisher bleibt unklar, warum manche Autoren einen Einfluss der Va-

lenz finden andere nicht. Die vorliegende Arbeit wird versuchen zur Klärung der relevanten Einflussfaktoren beizutragen

4.5. ERWARTUNGSEFFEKTE

Zur Erklärung von RSI-Effekten auf die Antwortwiederholungseffekte bei Wahlreaktionsaufgaben wurde von machen Autoren die Hypothese verfolgt, dass ein Wechsel des Stimulus oder einer salienten Stimuluseigenschaft zu einer motorischen Wechseltendenz führt und so zu Antwortwiederholungsnachteilen (*siehe 3.3 Erwartungseffekte*). Lässt sich ein Einfluss des RSI auf die Antwortwiederholungseffekte im Aufgabenwechselfparadigma nachweisen? Rogers und Mosell (Rogers & Monsell, , Experiment 2, 3 und 4) untersuchten dies über eine Spanne mehrerer RSI (150 bis 1200 ms). Nur in einem Experiment 3 ihrer Studie konnten sie einen negativen Einfluss des RSI auf die Vorteile einer Antwortwiederholung bei Aufgabenwiederholung finde. Antwortwiederholungskosten dagegen zeigten keinen statistisch signifikanten Zusammenhang mit RSI. Diese Ergebnisse sprechen gegen einen Einfluss von Erwartungseffekten auf die Antwortwiederholungskosten. Sie sind dagegen mit der Annahme vereinbar, dass die Vorteile einer Wiederholung der vorherigen S-R Episode bei kurzem RSI größer sind.

5. THEORIEN ZU DEN ANTWORTWIEDERHOLUNGSKOSTEN

Schon Rogers und Monsell (1995) schlugen drei grundlegende Ansätze zur Erklärung der Antwortwiederholungskosten vor (nach Rogers & Monsell, 1995, S.226 ff.):

1) Die assoziative Stärke zwischen Stimulusattributen (z. B. Konsonant, Vokal, gerade, ungerade) und motorischen Antworten (z. B. Beugung des rechten oder linken Zeigefingers) wird von Durchgang zu Durchgang angepasst. D. h., die Assoziation zwischen der gerade ausgeführten Antwort und der relevanten Stimuluskategorie wird gestärkt und gleichzeitig die alternativen Assoziationen geschwächt. Diese Inkremente würden über die Zeit zerfallen. Vorübergehend jedoch würden sie zu einer erleichterten Re-Aktivierung der Antwort über dieselbe Stimuluskategorie führen, wohingegen die Aktivierung der Antwort durch eine alternative Stimuluskategorie erschwert wäre.

2) Ein Kontrollmechanismus, der bei einem Wechsel des Aufgabensets vorübergehend alle aktiven Antworten hemmt (da diese zur vorhergehenden Aufgabe gehören), könnte das Datenmuster ebenfalls erklären. Würde eine Antwort, die durch diesen Kontrollmechanismus inhibiert wird, im Laufe der neuen Aufgabe ausgeführt, so wäre eine stärkere Aktivierung dieser Antwort notwendig (bzw. die Aktivierungsschwelle läge höher), um die Inhibition zu überwinden und die Antwort auszuführen.

3) Ein weiterer Ansatz beruht auf der Idee, dass es einen Mechanismus bedarf, der ein perseverierendes, erneutes Ausführen einer Antwort verhindert, wenn die zur Antwort führenden Stimulusbedingungen gleich bleiben. Entweder könnte nach der Ausführung einer Antwort die entsprechende Antwortkategorie inhibiert werden oder ein Kontrollprozess könnte die aktuell geplante Antwort mit der zuvor ausgeführten vergleichen, um eine fehlerhafte Antwortwiederholung zu vermeiden. Stünde die Wiederholung einer Antwort bevor, käme es zu einer Re-Evaluation des Reizes oder einer Überprüfung der Entscheidung. Zusätzlich geht dieser Ansatz davon aus, dass die Kosten, die durch diesen Kontrollmechanismus verursacht werden, normalerweise durch die Vorteile einer sich wiederholten Aktivierung derselben Assoziation zwischen Stimuluskategorie und Antwort überkompensiert werden. Einzig im Fall eines Aufgabenwechsels, bei dem eine Antwortwiederholung nicht mit der Wiederholung derselben Stimuluskategorie konfundiert ist, lassen sich die tatsächlichen Kosten dieser Kontrolle beobachten.

Noch heute herrschen in der Literatur Hypothesen zur Erklärung der Antwortwiederholungskosten vor, die einem dieser drei Bereiche zugeordnet werden können. Im Folgenden sollen die aktuellen „Nachkommen“ dieser Ansätze besprochen werden.

5.1. ASSOZIATIONSBASIERTE ANSÄTZE

Die grundlegende Idee dieser Ansätze ist, dass Repräsentationen von Antworteigenschaften (wie z. B. „ungerade; links“) schlechter aktivierbar sind, wenn sie im vorhergehenden Durchgang an der Repräsentation einer anderen Antwort beteiligt waren (z. B. „Konsonant; links“). Führt eine bestimmte S-R Regel zu einer Antwort (z. B. „ungerade → linke Taste“), so erhöht sich die Wirksamkeit dieser Zuordnung und konkurrierende oder alternative Zuordnungen („Vokal → linke Taste“) verlieren an Wirksamkeit (siehe Abbildung 1). Dies kann beispielsweise dadurch realisiert sein, dass die Assoziationsstärke zwischen der Antwortrepräsentation und der handlungsauslösenden Stimulusrepräsentation erhöht wird und die alternativen Assoziationen geschwächt werden (Rogers & Monsell, 1995). Eine alternative, funktional sehr ähnliche Vorstellung ist, dass Antworten je nach Kontext eine andere Bedeutung haben (Meiran, 2000a; Meiran, Chorev, & Sapir, 2000), da sie durch ihr Resultat repräsentiert sind. So bedeutet die Antwort „links“ im Kontext der Buchstabenaufgabe „Konsonant“ im Kontext der Zahlenaufgabe aber „ungerade“. Ein Wechsel zwischen den Aufgaben macht also eine Anpassung der Antwortbedeutung notwendig. Dieser Prozess wurde Rekodierung (*recoding*) einer Antwort genannt. Wird die linke Taste als Antwort auf die Buchstabenaufgabe gedrückt, so wird dies gelernt und die linke Antwort stärker durch die Bedeutung „Konsonant“ und weniger durch die Bedeutung „ungerade“ repräsentiert. Kommt es dann zu

einem Aufgabenwechsel und als Antwort ist ein linker Tastendruck für „ungerade“ erforderlich, entstehen Kosten, da die Repräsentation der linken Antwort weniger „ungerade“ sondern mehr „Konsonant“ entspricht. Im Falle mehrerer Aufgaben mit überlappenden Antwortsets kann man die Rekodierung einer Antwort als Bindung der Antwort an eine neue Stimulusrepräsentation und der gleichzeitigen Abschwächung der Bindung an die alte bzw. alte alternative Stimulusrepräsentation verstehen (Schuch & Koch, 2004).

Funktionell steht diese Sichtweise dem Konzept der *event files* sehr nahe. (Hommel, 1998, 2004; siehe auch Hommel, Müsseler, Aschersleben, & Prinz, 2001, für einen noch umfassenderen Ansatz; Stoet & Hommel, 1999). Aufbauend auf der Postulierung von *object files*, also Gedächtnisspuren, die unabhängig von Langzeitgedächtnisinhalten ein Objekt als Ergebnis eines visuell-räumlichen Bindungsprozesses von (visuellen) Eigenschaften beinhalten (Kahneman & Treisman, 1984; Kahneman, Treisman, & Gibbs, 1992), erweiterte Hommel dieses Konzept um handlungsbezogene Eigenschaften, sprich Antworteigenschaften. Ein *event file* ist demnach

„ ... an episodic memory trace linking codes of features belonging to an action-relevant object with codes of features characterising the corresponding action.“ (Hommel, 1998, S.187)

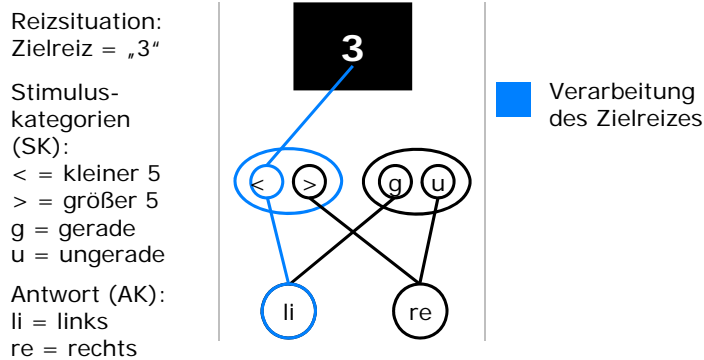
Diese Bindungen bleiben erhalten (zumindest für einige Durchgänge, vgl. Pösse, Waszak, & Hommel, 2006) und müssen „umgebunden“ werden, wenn ein neues Objekt an die zuvor eingebundenen Antworteigenschaften gebunden werden soll.

Ein weiteres eng verwandtes Konzept ist die *instance theory of automatisiation* (Logan, 1988, 2002; Logan & Etherton, 1994; Logan, Taylor, & Etherton, 1999). Im Wesentlichen sagt diese Theorie aus, dass für jede Episode der Informationsverarbeitung (also z. B. der Durchführung einer Aufgabe) oder für jede Instanz eine separate Gedächtnisspur angelegt wird.

„Each encounter with a stimulus is assumed to be represented as a processing episode, which consists of the goal the subject was trying to attain, the stimulus encountered in pursuit of the goal, the interpretation given to the stimulus with respect to the goal, and the response made to the stimulus.“ (Logan, 1988, S.495)

Durch Übung und Lernen werden immer mehr Episoden abgespeichert und die abgespeicherten Episoden werden immer schneller abrufbar. Die Verhaltenssteuerung kann daher mehr und mehr durch den Abruf bereits gelöster Episoden geschehen und wird so automatisiert.

Aufgabe in n – 1: kleiner/größer



Aufgabe in n

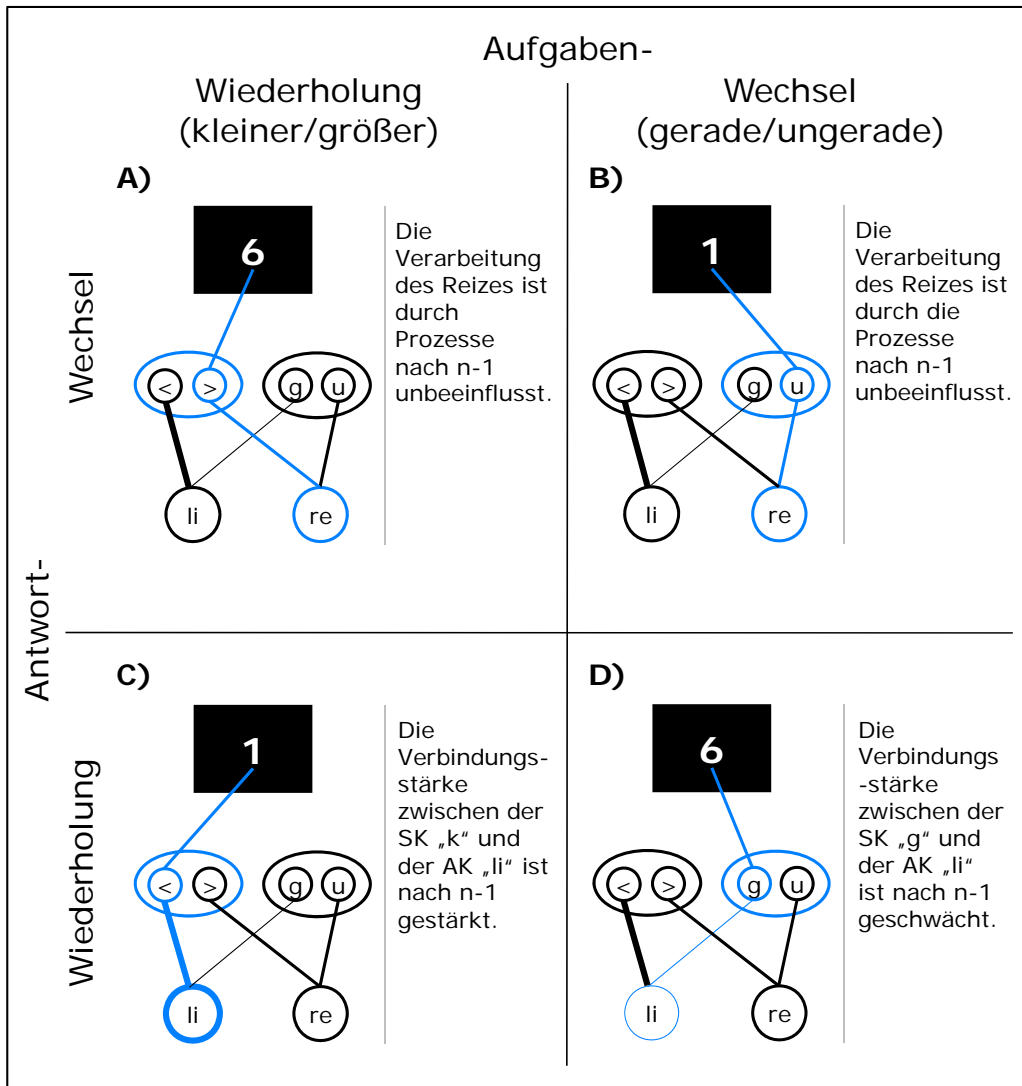


Abbildung 1. Darstellung des assoziationsbasierten Ansatzes. Im vorherigen Durchgang (n-1) wurde die kleiner/größer-Aufgabe bearbeitet und „links“ geantwortet. Daraufhin kommt es zu einer Stärkung der Assoziation zwischen der aktiven Antwortkategorie und der antwortaktivierenden Stimuluskategorie. Die alternative Assoziation zur Stimuluskategorie der anderen Aufgabe wird gleichzeitig geschwächt. Im aktuellen Durchgang kommt es so zu Wiederholungsvorteilen bei Aufgabenwiederholung (Fall A vs. C) und zu Wiederholungskosten bei Aufgabenwechsel (Fall B vs. D).

Meiran (Meiran, 2000a; Meiran & Gotler, 2001) stellte ein quantitatives Modell vor, das die kognitive Kontrolle im Aufgabenwechselfparadigma auf Grundlage der Rekodierung von Antworten und selektiver Aufmerksamkeit erklärt. Das Modell geht davon aus, dass das System vor der Ausführung der Aufgabe bestmöglich auf diese eingestellt wird (Rekonfiguration), um aufgabenrelevante Stimulusinformationen zu selektieren. Die charakteristische Interaktion zwischen Aufgabenabfolge und Antwortabfolge wird einzig durch die Selektion von Stimulusinformationen (entsprechend der relevanten Aufgabe) und der Rekodierung der Antworten erklärt. In dem jüngsten Modell dieser Arbeitsgruppe wird nicht mehr von einer rein proaktiven Verhaltenskontrolle ausgegangen (Meiran, et al., 2008). Nach diesem neuem Modell (genannt *CARIS: control by action representation and input selection*) perseverieren die Kontrolleinstellungen zur Bearbeitung der vorherigen Aufgabe und wirken noch im aktuellen Durchgang. Im Falle eines Aufgabenwechsels wirkt dieser Verzerrung die top-down Kontrolle entgegen, die allerdings hauptsächlich reaktiv auf die aktuelle Aufgabeninstruktion hin (also den Hinweisreiz) initiiert wird. Gemeinsam ist diesen Modellen, dass die Antwortwiederholungskosten in Aufgabenwechselfdurchgängen durch die Rekodierung der Antwortrepräsentationen erklärt werden.

Auf der Ebene der Modellsprache mag hier ein Unterschied zwischen Rekodierung und der Aktivierungsstärke von S-R Regeln liegen. Versteht man die Rekodierung der Antwortrepräsentationen allerdings als einen Bindungsprozess, bedeutet dies bei überlappenden Antwortzuordnungen, dass die durchgeführte Antwort stärker an die relevante Stimuluskategorie gebunden wird und die Bindungen zu alternativen Stimuluskategorien geschwächt werden (Schuch & Koch, 2004). In der Beschreibungsweise von Schuch und Koch heißt das, dass sich eine S-R Regel (*action rule*) gegenüber den alternativen Regeln durchsetzen muss, oder anders gesagt, dass es zu einem relativen Aktivierungsplus der relevanten S-R Regel kommt. Solch ein Aktivierungsvorteil könnte beispielsweise durch eine gegenseitige (laterale) Inhibition der Antworten realisiert sein.

Nach Ansicht von Rogers und Monsell (1995) sollte aus den Annahmen der assoziativen Ansätze folgen, dass die Größe der Vor- und Nachteile der Antwortwiederholungen durch intensives Lernen abnehmen sollte. Denn die Veränderung (Inkrement) der assoziativen Gewichte sollte von Durchgang zu Durchgang mit zunehmender Übung abnehmen, da sie eine Asymptote erreicht. Tatsächlich fanden sich bei längerer Übung reduzierte Antwortwiederholungseffekte, und zwar sowohl reduzierte Kosten bei Aufgabenwechsel als auch reduzierte Vorteile bei Aufgabenwiederholung (Rogers & Monsell, 1995, S.226). Leider wurde dieser Aspekt von keiner anderen der hier zitierten Studien aufgegriffen.

5.2. REKONFIGURATIONSBASIERTE ANSÄTZE

Ein Ansatz der auf der Rekonfiguration des Systems basiert wurde von Kleinsorge und Kollegen ausgearbeitet (Kleinsorge, 1999; Kleinsorge & Heuer, 1999). Diese Autoren gehen jedoch (anders als Rogers und Monsell) nicht davon aus, dass ein Aufgabenwechsel die Hemmung aller Antworten zur Folge hat. Vielmehr sehen Kleinsorge und Kollegen einen Wechselbefehl, der sich bis hin zu den Antwortrepräsentationen ausbreitet, als Ursache der Antwortwechsellvorteile bei Aufgabenwechsel an. Ihrem Ansatz liegt die Annahme zu Grunde, dass der Aufgabenraum (*task space*), der alle aufgabenbezogenen Repräsentationen umfasst, die in einer bestimmten Situation (z. B. der Teilnahme am Laborexperiment) relevant sind, hierarchisch organisiert ist (Kleinsorge, 2004; Kleinsorge & Heuer, 1999; Kleinsorge, Heuer, & Schmidtke, 2001). Genauer gesagt, bilden die abstrakten Aufgaben bzw. die Urteile die erste und oberste Dimension (z. B. gerade vs. ungerade, Konsonant vs. Vokal etc.). Die zweite Dimension wird durch die S-R Regeln gebildet („gerade → links“, „ungerade → rechts“, „Konsonant → links“, „Vokal → rechts“). Die unterste Dimension wird durch die Antwortrepräsentationen gebildet („links“, „rechts“), da die Auswahl und Ausführung der Antwort von der Verarbeitung aller aufgabenrelevanten Informationen abhängt. Wird nun durch top-down Kontrolle ein Wechsel in einer höheren Dimension eingeleitet, breitet sich dieser Wechselimpuls auf die niedrigeren Dimensionen aus. Folglich entsteht im Fall eines Aufgabenwechsels ein Vorteil für einen Antwortwechsel bzw. Kosten für Antwortwiederholungen. Diese Kosten werden durch einen korrektiven Wechsel (*re-switch*) innerhalb der Antwortdimension erklärt (Kleinsorge, 2002 #1457, für eine ähnliche aber noch generellere Theorie vgl. Davidson, Amso, Anderson, & Diamond, 2006; Diamond, 2009). Diese und auch die weitere Vorhersage des Modells, dass auch ein Wechsel des S-R Mappings zur Wechseltendenz auf Antwortebene führen sollte, konnten bestätigt werden (Kleinsorge & Heuer, 1999; siehe *4.1 Kategorisierbarkeit der Reize*).

Zu einer generellen Wechsel- oder generellen Wiederholungstendenz des Systems (global default principle, Diamond, 2009) könnten auch Erwartungseffekte beitragen. Demnach würde bei Ankündigung einer Aufgabenwiederholung eine Antwortwiederholung und bei Ankündigung eines Aufgabenwechsels ein Antwortwechsel erwartet werden. Tatsächlich fanden Mayr und Keele (2000, Experiment 4) bei langer Vorbereitungszeit (vermutlich, wenn genügend Zeit für die Ausbildung einer Erwartung bestand) keine Aufgabenwechselkosten, wenn die Antwort vom vorhergehenden Durchgang zum jetzigen wechselte. Kleinsorge argumentiert allerdings gegen einen grundlegenden Einfluss von Erwartungseffekten. Denn Antwortwiederholungskosten bei Aufgabenwechsel wer-

den auch bei sehr kurzem RSI konsistent beobachtet, d. h. so früh, dass es unwahrscheinlich ist, dass die Zeit ausreichte, um Erwartungen aufzubauen (Kleinsorge, 1999).

5.3. ZWEI PROZESS MODELL DER ANTWORTINHIBITION

Der Vorschlag, die Antwortwiederholungskosten durch das Zusammenwirken von Bahnungs- bzw. Stärkungseffekten und Inhibition zu erklären, wurde von der Gruppe um Ronald Hübner aufgegriffen und weiterentwickelt (Druey & Hübner, 2008a, 2008b; R. Hübner & Druey, 2006; siehe auch R. Hübner & Druey, 2008; Steinhauser & Hübner, 2006; Steinhauser, Hübner, & Druey, 2009). Da die Experimente der vorliegenden Arbeit durch diese Theorie motiviert sind, wird sie im Folgenden zusammen mit empirischen Befunden ausführlicher vorgestellt.

Perseverative Tendenz

Von der Wahrnehmung eines Reizes bis zur Ausführung einer Antwort beeinflusst die Informationsverarbeitung des Gehirns sich selbst in nachfolgenden Verarbeitungsprozessen. Beispielsweise reagiert das kognitive System auf einen Reiz bevorzugt durch den Abruf episodischer Erfahrungen (*event files*) über diesen Reiz, anstatt unter höherem Aufwand die adäquate Antwort erneut zu bestimmen (z. B. Hommel, 1998, 2004, 2007; Logan, 1988; Pashler & Baylis, 1991b). Auch Kontrollprozesse wie die Informationsselektion durch Aufmerksamkeit werden episodisch enkodiert und assoziativ reaktiviert (Tipper, 2001). Schließlich wirkt selbst die bloße Verarbeitung eines Reizes auf die anschließende Informationsverarbeitung nach (Bahnungseffekt oder priming, Henson, 2003, 2009; Richardson-Klavehn & Bjork, 1988; Schacter, Dobbins, & Schnyer, 2004). Im günstigen Fall bilden diese Systemeigenschaften die elementaren Grundlagen für Phänomene wie Gedächtnis und Lernen (Logan, 1988). Im ungünstigen Fall entsteht ein Widerspruch zu flexiblem und/oder kontrolliertem Verhalten. Wird Verhalten aufgrund mangelnder Kontrolle in inadäquater Weise wiederholt, sprechen wir von Perseverationen. Es entsteht daher ein Spannungsfeld aus einerseits Rigidität bzw. perseverative Tendenz und andererseits Flexibilität bzw. kognitiver Kontrolle.

Ist die kognitive Kontrolle beeinträchtigt (z. B. durch eine erworbene Hirnschädigung), kann der kontrollierte Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben gestört sein (Hayes, Davidson, Keele, & Rafal, 1998; Keele & Robert, 2000; U. Mayr, Diedrichsen, Ivry, & Keele, 2006). Yehene und Kollegen untersuchten drei Patientengruppen mit erworbenen Hirnschädigungen entweder des Thalamus, des präfrontalen Kortex oder fokal der Basalganglien (Yehene, Meiran, & Soroker, 2008). Alle Strukturen sind Teil der sogenannten fronto-subkortikalen Schleife. Schädigungen dieser Strukturen sind mit ei-

nem Flexibilitätsverlust in Verhalten und Denken assoziiert (Hayes, et al., 1998). Die Basalganglienpatienten wiesen teilweise sogar einen völligen Verlust der Fähigkeit auf, zwischen Aufgaben innerhalb eines Blocks zu wechseln (BG-No Switch Patienten), wogegen Patienten mit anderen Schädigungen (Thalamus, präfrontaler Kortex) hier keine Beeinträchtigungen zeigten. Den Basalganglien wird beim Aufgabenwechsel die Funktion der Inhibition von konkurrierenden Handlungsregeln (*backward inhibition*) und von irrelevanten Reizinformationen zugeschrieben. Interessanterweise zeigten genau die Patienten, die offensichtlich einen starken Verlust dieser inhibitorischen Kontrolle hatten, in den Antwortwiederholungseffekten global Vorteile. Auch die Basalganglienpatienten, die noch zum Aufgabenwechsel fähig waren, zeigten in den Reaktionszeiten sehr große Wiederholungsvorteile. Die starken perseverierenden Tendenzen der Patienten äußerten sich also nicht nur in der Schwierigkeit, zu einer anderen Aufgabe zu wechseln, sondern auch in Schwierigkeiten, die Antwort zu wechseln.

Diese Befunde verdeutlichen, dass inhibitorische Kontrollprozesse notwendig sind, um den repetitiven Eigenschaften des Systems entgegenzuwirken. Den Vorteilen, die sich durch die perseverierende Tendenz normalerweise ergeben, würde sonst das Risiko nicht flexibel, entsprechend der aktuellen Situation zu handeln, gegenüberstehen. Ist dieses Risiko groß, ist ein hohes Maß an Kontrolle erforderlich.

Risiko einer versehentlichen Antwortwiederholung

Das Risiko einer Perseveration entspricht bei der Antwortauswahl dem Risiko einer versehentlichen Antwortwiederholung. Genau dies ist der zentrale Gedanke des Zwei-Prozess-Modells: Eine soeben ausgeführte Antwort wird automatisch inhibiert⁴, um das Risiko einer unangemessenen und erneuten Ausführung der Antwort zu minimieren.

Nach Sheryl Shook und Kollegen (2005) zeigt das perseverierende Verhalten der Basalganglienpatienten, dass diese Strukturen eine wichtige Rolle bei der inhibitorischen kognitiven Kontrolle spielen und somit Flexibilität erleichtern. Sie untersuchten Parkinson-Patienten einmal mit und einmal ohne L-Dopa Medikation. Die Parkinson-Krankheit geht mit einem massiven Verlust dopaminerger Zellen in der Substantia nigra einher, was einen Abfall des Dopaminlevels in den Basalganglien zur Folge hat und damit zu Funktionseinbußen führt. Ohne eine medikamentöse Anhebung des Dopaminlevels durch L-Dopa zeigten die Patienten erhöhte Aufgabenwechselkosten und verminderte Leistungen beim Wechseln der Antwort. Nach Shook und Kollegen sind diese Ergebnisse mit der Inhibitionstheorie der Antwortwiederholungskosten vereinbar, da ein

⁴ Dies gilt zumindest für Situationen, in denen auch Aufgabenwechsel vorkommen können (Steinhauser, et al., 2009).

Dopaminmangel auch in anderen Studien mit einer verminderten inhibitorischen kognitiven Kontrolle einherging (Filoteo, 2002 #3659, siehe aber auch Stout, Wylie, & Filoteo, 2002). Auch die erbliche Huntington-Krankheit ist (durch das Absterben von Neuronen) mit Funktionsstörungen der Basalganglien verbunden. Adam Aron und Kollegen (2003) gingen der Frage nach, ob Huntington-Patienten aufgrund mangelnder Inhibition erhöhte Aufgabenwechselkosten zeigen. Tatsächlich fanden sich erhöhte Aufgabenwechselkosten, allerdings vor allem in Durchgängen, in denen die Antwort wiederholt wurde. Obwohl die Huntington-Krankheit eher mit kognitiven Inhibitionsdefiziten assoziiert ist (vgl. aber auch A. R. Aron, et al., 2003; z. B. Georgiou, Bradshaw, Phillips, & Bradshaw, 1995), führen Aron und Kollegen die erhöhten Aufgabenwechselkosten entgegen ihren eigenen Erwartungen auf eine exzessive Inhibition der zuvor ausgeführten Antwort zurück. (Die Basalganglien sind eine komplex verschaltete Struktur, in der mangelnde Inhibition einer Teilstruktur zu exzessiver Inhibition anderer Teilstrukturen führen kann.) Zur Sicherung ihrer Interpretation berechneten die Autoren einen Antwortwiederholungsindex, von dem sie annehmen, dass seine Größe vom Ausmaß der Inhibition der zuvor ausgeführten Antwort abhängig ist.⁵ Ihre Vermutung stützend war der Index für die Huntington-Patienten größer als für eine Kontrollgruppe. Darüber hinaus zeigte sich eine starke positive Korrelation zwischen dem berechneten Index und klinischen Maßen, die das Ausmaß der Erkrankung abbilden.

Auch Cooper und Marí-Beffa (2008) sehen die Notwendigkeit, der perseverierenden Tendenz des Systems unter hohen Flexibilitätsanforderungen durch Inhibition entgegenzuwirken. Werden Handlungen schnell hintereinander ausgeführt, erhöht sich das Risiko einer Perseveration durch die residuale Aktivität motorischer Repräsentationen, die zuvor handlungssteuernd waren. Cooper und Marí-Beffa untersuchten die Auswirkung von erhöhten Flexibilitätsanforderungen in mehreren Experimenten (siehe *4.2 Antwortselektion*). Bei der Bearbeitung von nur einer Aufgabe zeigten sich Vorteile für Antworten, die eine repräsentationale Eigenschaft der zuvor ausgeführten Antwort teilten (z. B. den Fingertyp oder die Hand). Unter Aufgabenwechselbedingungen fanden sich hingegen Kosten für Handlungswiederholungen und zwar abhängig vom Aktivierungsgrad der Hand oder des einzelnen Fingers. War die residuale Aktivität des zuvor verwendeten Fingers erhöht, wurde nur der Finger gehemmt. War dagegen nach einem Durchgang der Aktivierungsgrad einer ganzen Hand erhöht, wurde die ganze Hand ge-

⁵ Die Autoren berechneten die Differenz aus dem Antwortwiederholungseffekt unter Aufgabenwechsel (TS) und dem unter Aufgabenwiederholung (TR): $[(RR_{TS} - RS_{TS}) - (RR_{TR} - RS_{TR})]$. Allerdings ist dieser Index nach dem Zwei-Prozess-Modell konstant, wenn die Vorteile durch die Wiederholung der S-R Regel bzw. durch die Bahnung der Stimuluskategorie unter Aufgabenwiederholung konstant bleiben und spiegelt daher wohl eher diesen zweiten Prozess sowie die Aufgabenwechselkosten wider (vgl. Abbildung 3).

hemmt. Die Autoren gehen davon aus, dass die beobachteten Wiederholungsnachteile durch Wechselvorteile (z. B. leichtere Aktivierung des relevanten Aufgabensets) aufgewogen werden. Dies könnte vor allem in alltäglichen Situationen der Fall sein, in denen ein Aufgabenwechsel in der Regel mit einem Wechsel des antwortrelevanten Körperteils (des Fingers oder der Hand) assoziiert ist.

Im Aufgabenwechselparadigma ist die postulierte Inhibition jedoch nicht unter allen Bedingungen beobachtbar, da sie teilweise durch die Vorteile von Bahnungs- oder Stärkungseffekten überlagert wird. Abbildung 2 verdeutlicht das Zusammenspiel von Bahnungseffekten auf Ebene der Stimuluskategorien und der Inhibition auf Antwortebene im Aufgabenwechselparadigma. Angenommen es wird zwischen einem kleiner/größer-als-5-Urteil und einem gerade/ungerade-Urteil über Zahlen gewechselt. Außerdem seien die Antworten zwischen den Aufgaben überlagernd angeordnet. Wurde nun im vorherigen Durchgang die Zahl „3“ als „kleiner 5“ bewertet (Abbildung 2, oben) und mit der zugeordneten Antwort „links“ beantwortet, ist nachfolgend die Antwort „links“ inhibiert (in der Abbildung durch den verkleinerten Kreis symbolisiert). Wechselt die korrekte Antwort im nachfolgenden Durchgang, ist die Reizverarbeitung durch die Inhibition nicht betroffen. Dies gilt sowohl unter Aufgabenwiederholung als auch unter Aufgabenwechsel (Fall A und B in Abbildung 2). Erfordert der nachfolgende Durchgang dagegen eine Wiederholung der Antwort, ist dies durch die andauernde Inhibition erschwert. Allerdings werden im Falle einer Aufgabenwiederholung (Fall C) die Nachteile der Antwortinhibition durch die Vorteile⁶ der Stimuluskategoriewiederholung („kleiner 5“) kompensiert (in der Abbildung durch den vergrößerten Kreis symbolisiert). Einzig unter Aufgabenwechsel ist die Antwortinhibition in den reinen Kosten einer Antwortwiederholung beobachtbar (Fall D).

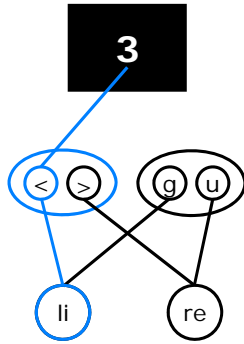
⁶ Die Vorteile durch die Wiederholung der Stimuluskategorie können allein auf Bahnungseffekten beruhen oder aber durch die Stärkung der Assoziation zwischen Stimuluskategorie und Antwortkategorie zustande kommen. Diese Differenzierung ist für das Modell nicht entscheidend. Eine entscheidende Voraussetzung für das Auftreten der Vorteile der Kategoriewiederholungen ist die Wiederholung der S-R Regel (Aufgabenregel) Hinweise dafür stammen aus einer Arbeit von Mayr & Bryck (2005). In ihrer Studie konnte sich die S-R Regel ändern und gleichzeitig der Stimulus und die zugeordnete Antwort wiederholen. Unter diesen Bedingungen fanden sich nur dann Antwortwiederholungsvorteile, wenn sich auch gleichzeitig die S-R Regel wiederholte.

Aufgabe in n – 1: kleiner/größer

Reizsituation:
Zielreiz = „3“

Stimulus-
kategorien
(SK):
< = kleiner 5
> = größer 5
g = gerade
u = ungerade

Antwort (AK):
li = links
re = rechts



■ Verarbeitung
des Zielreizes

Aufgabe in n

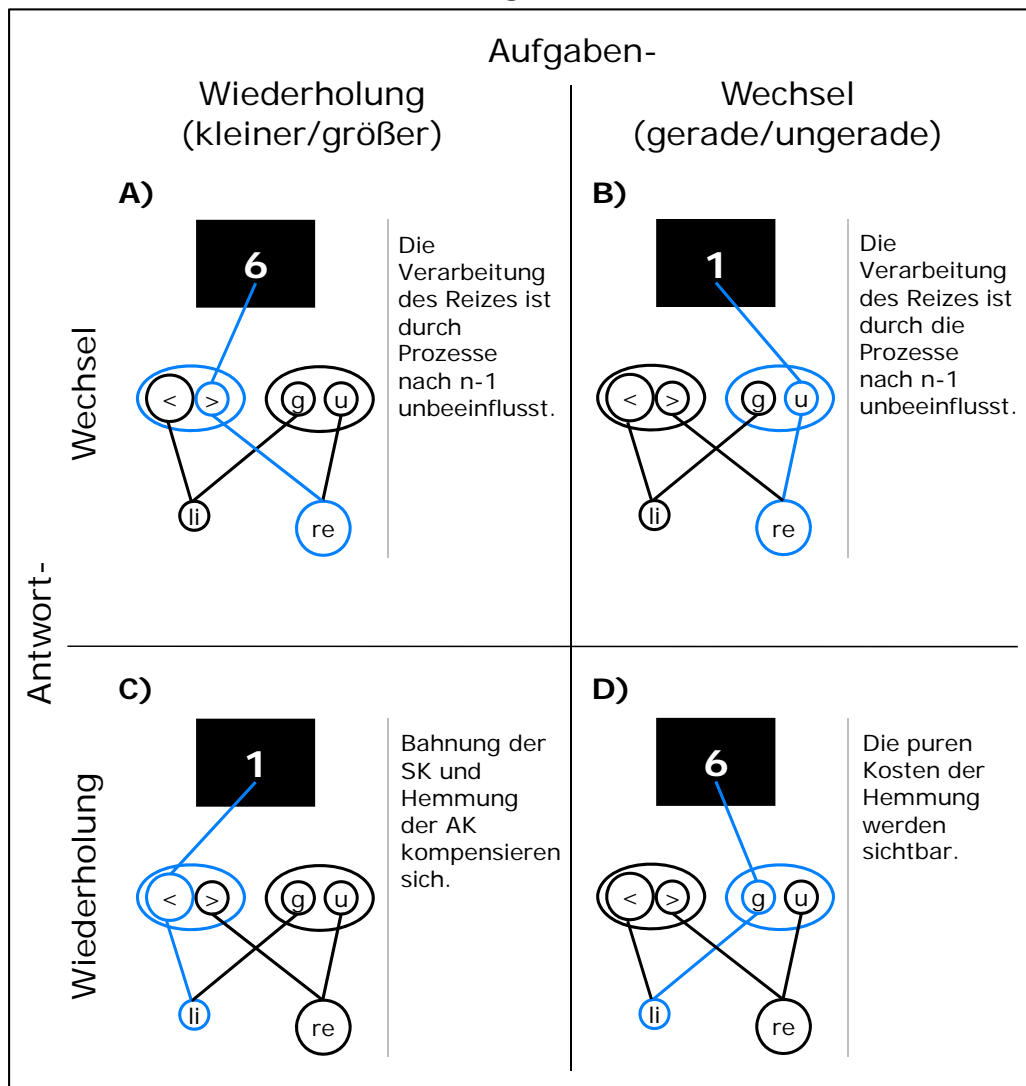


Abbildung 2. Darstellung des Zwei-Prozess-Modells. Im vorherigen Durchgang (n-1) wurde die kleiner/größer-Aufgabe bearbeitet und „links“ geantwortet. Daraufhin kommt es zu einer Hemmung der aktivierten Antwortkategorie. Diese Hemmung kann als Wiederholungskosten bei Aufgabenwechsel (Fall D vs. B) beobachtet werden. Bei einer Aufgabenwiederholung sind die Kosten der Hemmung nicht sichtbar, da es meist zu einer Überkompensation durch die Vorteile einer Stimuluskategoriewiederholung kommt (Fall C vs. A). Ausführliche Erläuterungen siehe Text.

Die Größe der Inhibition sollte dabei vom Risiko einer Perseveration abhängen. D. h., dass mit größerem Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung auch die Stärke der Antwortinhibition größer wird. Aus dem Risikogedanken folgt für das Aufgabenwechselparadigma die spezifische Hypothese, dass ein erhöhtes Risiko größere Kosten einer Antwortwiederholung unter Aufgabenwechselbedingungen zur Folge hat. Unter Aufgabenwiederholungsbedingungen sollten die Vorteile einer Antwortwiederholung entsprechend kleiner ausfallen. Übersteigt die Antwoorthemmung die Vorteile durch die Wiederholung der Reizkategorie bzw. der zuvor angewendeten S-R Regel, würde man selbst unter Aufgabenwiederholungen Antwortwiederholungskosten beobachten. In Abbildung 3 ist die additive Logik der beiden Prozesse dargestellt.

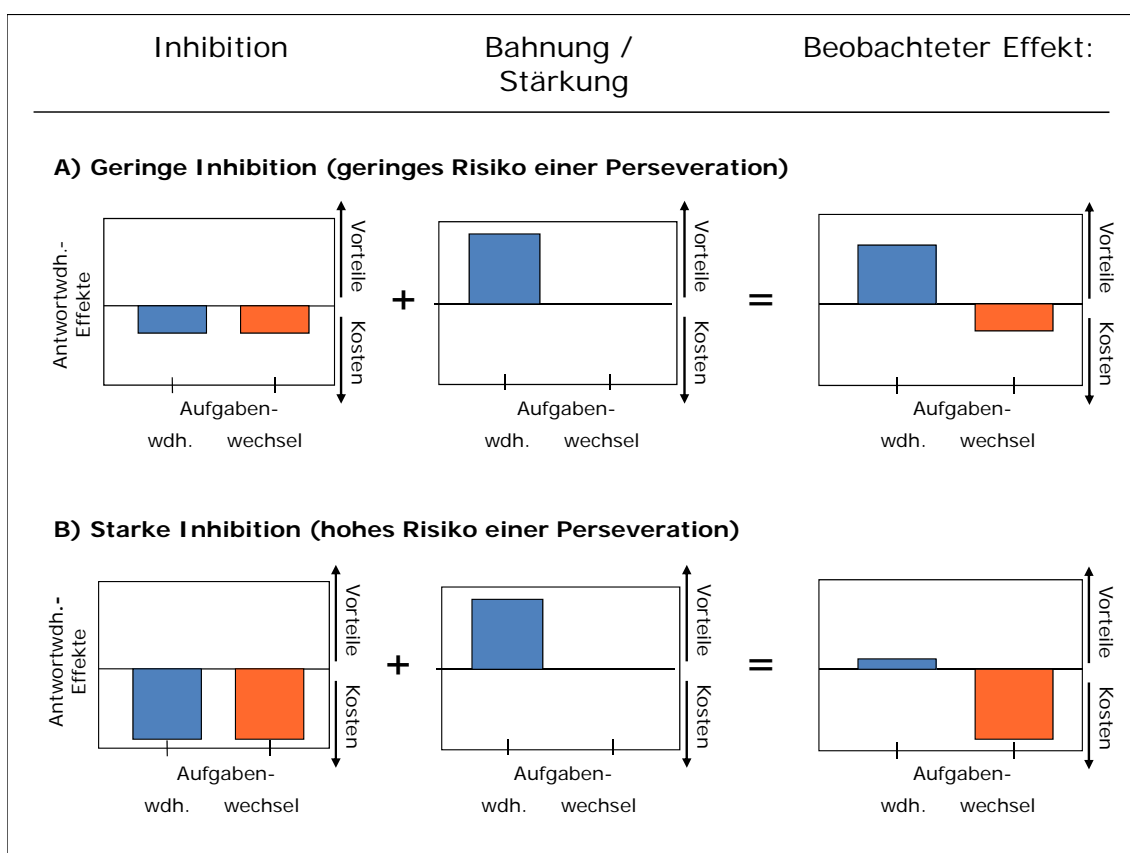


Abbildung 3. Additive Wirkung des Inhibitionsprozesses und des Bahnungs- / oder Stärkungsprozesses. Bei geringer Inhibition (A, Aufgabenwiederholung) fallen die Vorteile einer Antwortwiederholung größer aus als bei starker Inhibition (B, Aufgabenwiederholung). Parallel dazu fallen bei geringer Inhibition (A, Aufgabenwechsel) die Kosten geringer aus als bei starker Inhibition (B, Aufgabenwechsel).

Evidenz

Evidenz für diese Vorhersagen kommt aus insgesamt fünf Studien (Druey & Hübner, 2008a, 2008b; R. Hübner & Druey, 2006; Steinhauser & Hübner, 2006; Steinhauser, et al., 2009). Den Studien von Hübner und Kollegen ist gemeinsam, dass sie als Quelle ei-

nes erhöhten Risikos einer fehlerhaften Antwortwiederholung die Antwortaktivierung des vorhergehenden Durchgangs betrachten.

In einer Abfolge von Durchgängen ist das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung hauptsächlich durch die residuale Aktivierung der vorhergehenden Antwort bedingt. In EEG-Studien zeigt sich, dass diese Aktivierung bis in den nächsten Durchgang bestehen bleibt und so eine Reaktivierung der Antwort erleichtert, da weniger „neue“ Aktivität erforderlich ist (Töllner, Gramann, Müller, Kiss, & Eimer, 2008). Stellt man sich den Prozess der Antwortselektion als Evidenzakkumulation bis zu einem bestimmten Kriterium vor, ist für das erneute Erreichen des Kriteriums nicht mehr so viel „neue“ Aktivierung erforderlich und die Antwort kann schneller wieder ausgeführt werden, weil sie noch aus dem vorhergehenden Durchgang aktiviert ist. Daraus erwächst ein Risiko zur fehlerhaften Wiederholung der Antwort. Dieses Risiko ist groß, wenn die vorhergehende Antwortaktivierung besonders stark war (Druey & Hübner, 2008b; R. Hübner & Druey, 2006). Alternativ kann eine besonders leichte Reaktivierung einer Antwort auch durch ein sehr niedriges Kriterium zustande kommen (Steinhauser & Hübner, 2006). Schließlich könnte das Risiko auch dann erhöht sein, wenn die Reize (über verschiedene Aufgaben) mehreren Antworten zugeordnet sind (bi- oder multivalente Reize) und so (über die falsche Aufgabe) die vorherige Antwort versehentlich auslösen. Das Risiko sollte dagegen sehr klein sein, wenn die Reizsituation eindeutig ist und jeder Reiz mit nur einer Antwort assoziiert ist (R. Hübner & Druey, 2006; Steinhauser, et al., 2009).

Was genau unter der Stärke der Antwortaktivierung zu verstehen ist, bleibt offen. Im Modell einer Evidenzakkumulation könnte dies z. B. die absolute Höhe der Aktivierung bedeuten. Sogenannte *parallel distributed processing* (PDP) Modelle (z. B. Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001) gehen davon aus, dass die Evidenzakkumulation auch nach der Erreichung des Antwortkriteriums weiterläuft. D. h., die maximale Höhe der Aktivierung kann auch noch nach dem Überschreiten des Kriteriums erreicht werden. Alternativ könnte die Stärke der Antwortaktivierung auch mit der Steigung der Akkumulationskurve (quasi dem Impuls des Prozesses) zusammenhängen, oder durch eine Mischung aus Steigung und Höhe kodiert sein. Am plausibelsten erscheint allerdings, dass die Aktivierungsdifferenz zwischen den Antwortalternativen ausschlaggebend ist. In den genannten PDP Modellen wird davon ausgegangen, dass innerhalb einer Repräsentationsebene (also z. B. auf der Ebene der Antwortrepräsentationen) laterale Inhibition zu einer Erhöhung des Signal-Rausch Verhältnisses und der Durchsetzung einer Repräsentation (der Auswahl einer Antwort) beiträgt. Um eine Antwort zu selektieren, könnte daher auch die Aktivierungsdifferenz zwischen den Antwortalternativen das entscheidende Maß für die Stärke der Antwortaktivierung sein. Wie auch immer die Stärke der

Antwortaktivierung modellhaft zu verstehen ist, operationalisiert wird sie in den genannten Studien meist über die Reaktionszeit. Reize die zu einer starken Antwortaktivierung führen, sollten mit schnellen Reaktionen und damit mit einer großen Antwortinhibition im nächsten Durchgang einhergehen. Reize die zu einer geringeren Antwortaktivierung führen, sollten dagegen langsamere Reaktionen und damit eine geringere Antwortinhibition im nächsten Durchgang mit sich bringen.

Erste Belege für diese Hypothese stammen aus der bereits beschriebenen Studie von Hübner und Druery (2006). In zwei Experimenten mit bivalenten Reizen werteten sie die Antwortwiederholungseffekte in Abhängigkeit der Kongruenz des vorhergehenden Durchgangs aus. Kongruente Reize aktivieren auch über die aufgabenirrelevante Reizkategorie die korrekte Antwort. Inkongruente Reize führen dagegen zu einem Antwortkonflikt, da die irrelevante Reizkategorie der falschen Antwort zugeordnet ist. Entsprechend sind die Reaktionen auf kongruente Reize schneller als auf inkongruente Reize und somit sollte die Antwortaktivierung bei kongruenten Reizen stärker sein. Nach dem Zwei-Prozess-Modell würde man also eine größere Antwortinhibition nach einem kongruenten Reiz als nach einem inkongruenten Reiz erwarten. Tatsächlich zeigte sich der vorhergesagte Zusammenhang: Nicht nur waren nach kongruenten Reizen die Antwortwiederholungskosten unter Aufgabenwechsel größer als nach inkongruenten Reizen. Auch zeigten sich die Vorteile einer Antwortwiederholung unter Aufgabenwiederholung nach kongruenten Reizen kleiner als nach inkongruenten Reizen (vgl. Abbildung 3). Allerdings war das von Hübner und Druery benutzte Aufgabendesign recht speziell. Sie verwendeten ein PRP-Prozedur (*psychological refractory period*) bei der immer zuerst auf einen inneren und dann auf einen hinzukommenden, äußeren Flankierreiz geantwortet werden musste.

Daher replizierten und erweiterten sie die Ergebnisse in einem klassischeren Design, das weitgehend für die vorliegende Arbeit übernommen wurde (Druery & Hübner, 2008b). Sie präsentierten den Versuchsteilnehmern nach einem Hinweisreiz immer zwei Aufgaben nacheinander (Zweiersequenzen). Der Hinweisreiz kündigte die erste Aufgabe an und gab Auskunft, ob für auf den zweiten Reiz die Aufgabe wiederholt oder gewechselt werden sollte. Danach wurde der erste Reiz (S1) präsentiert. Nach einem ausreichend langen Antwortintervall (1500 ms) wurde der zweite Reiz (S2) präsentiert. Im ersten Experiment der Studie replizierten sie mit bivalenten Reizen den Effekt der Kongruenz auf die nachfolgende Antwortinhibition. Nach einem kongruenten S1 waren die Kosten einer Antwortwiederholung (und damit die Antwortinhibition) unter Aufgabenwechsel größer als nach einem inkongruenten S1. Entsprechend zeigte sich die stärkere Antwortinhibition unter Aufgabenwiederholung in geringeren Wiederholungsvorteilen bei kongruentem als bei inkongruentem S1. Im zweiten Experiment verwendeten sie eine andere Methode,

um die Stärke der Antwortaktivierung in S1 zu manipulieren. Sie machten sich den Stimulus-Reaktion-Kompatibilitätseffekt (Simon, 1969) zu nutze. Teilen sich der Stimulus und die Reaktion Repräsentationseigenschaften, wie z. B. die räumliche Lage (links vs. rechts), kann es zu einer Kompatibilität (z. B. Stimulus links und Reaktion links) oder einer Inkompatibilität (z. B. Stimulus links und Reaktion rechts) zwischen diesen Reiz- und Reaktionseigenschaften kommen. Selbst wenn die räumliche Eigenschaft des Reizes aufgabenirrelevant ist, wird auf kompatible Reize schneller reagiert als auf inkompatible Reize. Modelle zur Erklärung des S-R Kompatibilitätseffekts gehen davon aus, dass die räumliche Eigenschaft des Reizes direkt die korrespondierende Antwort aktiviert – unabhängig von der parallel laufenden, kontrollierten S-R Übersetzung (z. B. Hommel, 1995; Ridderinkhof, 1997). Daher ist es eine plausible Annahme, dass kompatible Reize zu einer stärkeren Antwortaktivierung führen als inkompatible Reize. Tatsächlich zeigte sich in den Daten des zweiten Experiments das vorhergesagte Muster analog zur Kongruenzmanipulation in Experiment 1. Im dritten Experiment untersuchten die Autoren, wie die beiden Manipulationen zusammenwirken. Tragen beide Manipulationen additiv (d. h. unabhängig) zur Stärke der Antwortaktivierung und damit zur Größe der Antwortinhibition bei? Oder gibt es eine Begrenzung der Antwortinhibition, so dass die Größe der Inhibition bei sehr großer Antwortaktivierung nicht mehr weiter steigt? Die Ergebnisse sprechen gegen die letztere Annahme und für einen unabhängigen Beitrag der beiden Aktivierungsquellen. Die Autoren schlussfolgern, dass es einen linearen Zusammenhang zwischen der Stärke der Antwortaktivierung und dem Ausmaß der Antwortinhibition gibt.

Schließlich lassen sich auch die Antwortwiederholungseffekte in der Studie von Steinhauser und Hübner (2006) mit einer Abhängigkeit der Antwortinhibition von der Aktivierungsstärke im vorhergehenden Durchgang erklären. In dieser Studie mussten die Versuchsteilnehmer unter hohem Zeitdruck innerhalb einer Deadline reagieren. Es zeigte sich, dass dieses Vorgehen zu Antwortwiederholungskosten unabhängig von der Aufgabenabfolge führte. Nach dem Zwei-Prozess-Modell bedeutet dies, dass die Vorteile einer Wiederholung der Stimuluskategorie die großen Nachteile durch die Antwortinhibition nicht mehr kompensierten. Was kann zu solch einer starken Antwortinhibition (im Vergleich zur Größe der Vorteile der Kategoriewiederholung) geführt haben? Wie oben bereits erwähnt, steigt das Risiko einer versehentlichen Antwortwiederholung nicht nur mit einer stärkeren Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang sondern auch, wenn das Antwortkriterium besonders niedrig ist. Auch in diesem Fall ist wenig „neue“ Evidenz erforderlich, um erneut das Antwortkriterium zu erreichen. Für diese Erklärung spricht auch, dass Steinhauser und Hübner keine Antwortwiederholungskosten nach einem Fehler beobachteten. In ihrer Studie wurden die Teilnehmer entweder angewie-

sen, Fehler zu korrigieren, d. h. nach einem Fehler die richtige Antworttaste zu drücken, oder sie wurden instruiert keine Antwortkorrekturen auszuführen. Bei einer Korrektur wird nach der falschen auch die richtige Antwort abgegeben. Beide Antworten wären also im nächsten Durchgang in einem inhibierten Zustand. Auch wenn die Versuchsteilnehmer angewiesen werden, Antwortkorrekturen zu unterlassen, kann man davon ausgehen, dass beide Antworten inhibiert werden, um eine spontane Korrektur zu vermeiden (P. Rabbitt & Rodgers, 1977). Sind beide Antworten inhibiert, hätte der Wechsel keinen Vorteil gegenüber einer Wiederholung und man würde keine oder nur sehr kleine Antwortwiederholungskosten erwarten.

Eine weitere Vorhersage, die sich aus den Überlegungen zum Risiko einer versehentlichen Antwortwiederholung ergibt, ist, dass nicht nur die Stärke der Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang die Antwortwiederholungseffekte beeinflussen sollte, sondern auch die globale Reizsituation. Trägt die Reizsituation allgemein zu einem erhöhten Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung bei, sollte die Antwortinhibition größer sein, als wenn das Risiko durch die Reizsituation gering ist. Beispielsweise sollte das Risiko bei bivalenten Reizen höher sein als bei univalenten Reizen. Denn bei bivalenten Reizen kann es auch durch die Bearbeitung der falschen Aufgabe zu einer fehlerhaften Antwortwiederholung kommen, während dies bei univalenten Reizen nicht der Fall ist. Hübner und Druey (2006) verglichen daher auch die die Stärke der Antwortinhibition bei univalenten und bivalenten Stimuli. Wie bereits berichtet, zeigte sich das durch das Zwei-Prozess-Modell vorhergesagte Schema (vgl. 4.3 *Valenz der Stimuli*). Bei univalentem Reizmaterial waren die Kosten einer Antwortwiederholung unter Aufgabenwechsel kleiner und die Wiederholungsvorteile unter Aufgabenwiederholung größer als bei bivalentem Reizmaterial. Allerdings finden andere Autoren keinen Zusammenhang zwischen der Valenz der Reize und dem Ausmaß der Antwortwiederholungskosten (Kleinsorge, 1999; U. Mayr & Bryck, 2007).

Ein noch direkterer Nachweis für die Antwortinhibition stammt aus einer LRP-Studie von Steinhauser, Hübner und Druey (2009). Das LRP (lateralized readiness potential – lateralisiertes Bereitschaftspotential, De Jong, Wierda, Mulder, & Mulder, 1988; Gratton, Coles, Sirevaag, Eriksen, & Donchin, 1988) gibt die relative Änderung zwischen den Kopfhautpotentialen über den primärmotorischen Gebieten der beiden Reaktionshände wieder. Eine Negativierung bzw. Positivierung wird dabei als Korrelat der Bereitschaft zu einer linken bzw. rechten Handreaktion gesehen⁷. Es zeigte sich, dass die Inhibition der

⁷ Die genaue Richtung hängt dabei von der Berechnung des LRPs ab. Üblicherweise wird eine Doppelte Differenz berechnet (Eimer, 1998): Für rechte und linke Antworten wird getrennt die Potentialdifferenz über dem linken und rechten primärmotorischen Handarealen (C3' und C4') berechnet und danach voneinander subtrahiert.

vorherigen Antwort als eine Verschiebung des LRP in Richtung zur alternativen Antwort erkennbar ist. Entsprechend der Vorhersage des Zwei-Prozess-Modells war diese Verschiebung unabhängig von der Aufgabenabfolge vorhanden. D. h., auch bei Aufgabenwiederholungen war die Antwortinhibition im LRP sichtbar (Experiment 1). Darüber hinaus zeigt die Studie, dass die Antwortinhibition nicht als eine ballistische Selbstinhibition verstanden werden darf, die erst nach der Antwortausführung einsetzt. Zum einen war die Verschiebung des LRP hin zur alternativen Antwort von der Aufgabenvorbereitung abhängig: Beim Vergleich von kurzen zu langen Vorbereitungszeiten (CSI 200 vs. 1000 ms) zeigte sich, dass erst nach der Ankündigung der nächsten Aufgabe, die Verschiebung des LRP hin zur alternativen Antwort einsetzt und sie daher bei kurzer Vorbereitungszeit noch nicht ausgebildet ist, wenn der Stimulus erscheint (Experiment 2). Zum anderen ist die LRP-Verschiebung vom Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung abhängig. Wird nur eine Aufgabe bearbeitet (d. h., die Reize sind den Antworten eindeutig zugeordnet), ist das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung sehr gering, da die vorherige Antwort nie mit dem aktuellen Reiz assoziiert ist. Entsprechend zeigte sich im dritten Experiment, in dem nur eine Aufgabe bearbeitet wurde, keine Tendenz des LRP hin zur alternativen Antwort.

5.4. FAZIT

Man kann drei Klassen von Erklärungsansätzen für die Interaktion zwischen Antwortabfolge und Aufgabenabfolge unterscheiden: assoziations-, rekonfigurations- und inhibitionsbasierte Ansätze. Während die assoziationsbasierten Ansätze davon ausgehen, dass eine erfahrungsbedingte Anpassung der Assoziationsgewichte zwischen Stimuluskategorien und Antworten bzw. eine Anpassung der Repräsentation der Antwort (im Sinne ihrer Bedeutung) die Effekte erklärt, legt der rekonfigurationsbasierte Ansatz eine Verhaltenskontrolle durch einen top-down Wechselbefehl zu Grunde. Der inhibitionsbasierte Ansatz schließlich sieht ein Zusammenspiel von Bahnungs- oder Stärkungseffekten und einer Inhibition der Antwortrepräsentation. So unterschiedlich diese Ansätze auf der verbalen Beschreibungsebene klingen mögen, und sie sich auch auf einer funktionalen Ebene klar unterscheiden lassen, schließen sich einzelne Grundgedanken nicht gegenseitig aus. Beispielsweise sind sowohl die assoziations- als auch die inhibitionsbasierten Ansätze damit vereinbar, dass es bei einem Aufgabenwechsel zu zusätzlichen top-down Kontrollprozessen kommt.

Alle beschriebenen Theorien liefern ein plausibles Erklärungsmodell für die grundsätzliche Interaktion zwischen Antwortabfolge und Aufgabenabfolge. Ein lohnenswerter Weg, um zwischen den verschiedenen Ansätzen zu unterscheiden, ist es daher, spezifi-

sche Vorhersagen der Theorien zu untersuchen. Ein Aspekt der im Rahmen des Zwei-Prozess-Modells erfolgreich untersucht wurde, ist das Risiko einer versehentlichen Antwortwiederholung. Innerhalb der assoziations- oder rekonfigurationsbasierten Ansätze wird der Risikogedanke dagegen nicht thematisiert. Daher ist es nicht verwunderlich, dass diese Theorien die entsprechenden Befunde nicht oder nur mit erheblichen Zusatzannahmen erklären können. Erstens, sind nach diesen beiden Modellen Antwortwiederholungskosten nur unter Aufgabenwechsel (oder bei einem Wechsel der S-R Zuordnungen) vorhersagbar. Das Zwei-Prozess-Modell kann dagegen erklären, wie es auch unter Aufgabenwiederholung zu Antwortwiederholungskosten kommen kann (R. Hübner & Druey, 2006; Steinhauser & Hübner, 2006). Zweitens, lassen sich physiologische Korrelate der Antwortinhibition auch unter Aufgabenwiederholung nachweisen (Steinhauser, et al., 2009). Drittens, macht nur das Zwei-Prozess-Modell eine spezifische Vorhersage zur Abhängigkeit der Antwortwiederholungskosten von der Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang. Empirisch finden sich Belege dafür, dass die Antwortinhibition groß ist, wenn durch eine hohe Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang, das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung erhöht ist. (Druey & Hübner, 2008b; R. Hübner & Druey, 2006). Diese Befundlage spricht deutlich für das Zwei-Prozess-Modell.

Eine durch das Zwei-Prozess-Modell unbeantwortete Frage ist, warum es zu einer Überkompensation für das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung kommt. Warum hemmt das kognitive System so stark, dass es eine Tendenz Richtung Antwortwechsel zeigt, anstatt ein Gleichgewicht zwischen den Antwortalternativen herzustellen? Im Bereich dieser Fragestellung kann bisher nur spekuliert werden. Es könnte sein, dass diese Verzerrung Ausdruck der Wichtigkeit ist, Perseverationen zu vermeiden. Dafür nähme das System fehlerhafte Antwortwechsel in Kauf. Anders gesagt, könnten die Wahrscheinlichkeiten einer fehlerhaften Wiederholung und eines fehlerhaften Wechsels der Antwort unterschiedlich bewertet werden. In eine ähnliche Richtung zielt eine ökologische Überlegung. In natürlichen Umwelten sind Antwortwiederholungen bei einem gleichzeitigen Wechsel der Stimuluskategorie bzw. der Aufgabe wohl höchst selten. In natürlichen Aufgabenwechselsituationen sollte daher die a priori Wahrscheinlichkeit, dass eine Antwortwiederholung einen Fehler darstellt, besonders hoch sein (vgl. auch Soetens, 1998; Wagenaar, 1972). Gleichzeitig hat das System aber eine Tendenz zur Perseveration obwohl unter Aufgabenwechsel eine Tendenz zum Wechsel Vorteile bringen würde. In solchen Situationen wäre also ein Kontrollmechanismus von Nutzen, der zu einer Wechseltendenz führt. Genau dies geschieht durch die Antwortinhibition (Cooper & Mari-Beffa, 2008). Schließlich ist zu berücksichtigen, dass Laborexperimente naturgemäß eine geringe ökologische Validität haben. Auch ist optimales Verhalten bezüglich der im Labor typischerweise erhobenen Maße (Reaktionszeitmittelwerte, Fehlerraten)

nicht unbedingt gleichbedeutend mit optimalem Verhalten in einer natürlichen Umgebung. Eventuell optimiert das System einen Bereich der Informationsverarbeitung, der bisher unbeachtet blieb. Beispielsweise könnte es sein, dass das System besonders auf die Vermeidung schneller Fehler (fast guesses, Gratton, et al., 1988) achtet, die durch Antwortaktivierung vor Präsentation des Stimulus (z. B. residuale Aktivität) provoziert werden.

6. AUSBLICK AUF DIE STUDIEN

Die vorliegende Arbeit untersucht Antwortwiederholungseffekte im Aufgabenwechselparadigma. Den Experimenten liegt die Theorie zugrunde, dass eine Antwort nach ihrer Ausführung gehemmt wird, um das Risiko einer versehentlichen Wiederholung der Antwort zu minimieren. Zum einen wird untersucht, welcher Konflikt maßgeblich dieses Risiko treibt; der Antwortkonflikt oder der Aufgabenkonflikt (Studie 1), zum anderen wird der Frage nachgegangen, ob die Stärke der Antwortinhibition strategisch angepasst werden kann und ob sie durch die Verarbeitung des aktuellen Stimulus beeinflusst wird (Studie 2).

6.1. ANWORTKONFLIKT UND AUFGABENKONFLIKT

Die Vorhersage des Zwei-Prozess-Modells, dass die Antwortinhibition (und damit die Antwortwiederholungskosten) bei steigendem Risiko einer fälschlichen Antwortwiederholung zunimmt, wurde in Studien zur Stärke der Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang bestätigt (Druey & Hübner, 2008b; R. Hübner & Druey, 2006; Steinhauser, et al., 2009). Einen anderen Ansatz zur Manipulation des Risikos verfolgten Hübner und Druey (2006) durch die Variation der Valenz der Reizbedingungen.

Wie bereits beschrieben, verwendeten sie zur Überprüfung dieser Hypothese in einem Experiment bivalente Reize, die mit beiden Aufgaben assoziiert waren und in einem anderen Experiment univalente Reize, die mit jeweils nur einer Aufgabe assoziiert waren. Sie stellten fest, dass die Antwortwiederholungskosten unter bivalenten Reizbedingungen größer sind als bei univalenten Reizbedingungen. Sie begründeten dies ebenfalls mit der Risikoüberlegung. Bei bivalenten Reizen könne – im Gegensatz zu univalenten Reizen – die vorhergehende Antwort auch über die irrelevante Aufgabe erneut aktiviert werden. Daher sei bei bivalenten Reizen das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung erhöht.

Der entscheidende Unterschied zwischen bivalenten und univalenten Reizen für die Größe der Antwortwiederholungskosten scheint nach dieser Erklärung der Antwortkon-

flikt bei den bivalenten Reizen zu sein. Wenn ein Antwortwechsel korrekt wäre, aktiviert die irrelevante Reizinformation die vorhergehende Antwort und erhöht so die perseverative Tendenz des Systems. Allerdings sind bivalente Reize auch mit einem erhöhten Aufgabenkonflikt verbunden. Dieser könnte ebenfalls eine Rolle bei der Entstehung der Antwortwiederholungskosten spielen.

In Studien zur sogenannten *backward inhibition* hat sich gezeigt, dass in Aufgabenwechselsituationen die vorhergehende Aufgabe inhibiert wird um einen Aufgabenwechsel zu erleichtern. Es könnte sein, dass es eine starke Verbindung zwischen Antwortinhibition und Aufgabeninhibition gibt (Cooper & Mari-Beffa, 2008). So wäre es denkbar, dass die Inhibition der Aufgabe sich besonders stark auf die mit der Aufgabe frisch assoziierte Antwort auswirkt. Wird die Aufgabe gehemmt wird die Antwort quasi mitgehemmt. Die Antwortinhibition wäre also gar kein eigenständiger Mechanismus sondern nur ein Beiprodukt der Aufgabeninhibition. Damit wäre der Aufgabenkonflikt das relevante Merkmal der bivalenten Reizbedingung und nicht so sehr der Antwortkonflikt.

In Studie 1 wurde daher in insgesamt vier Experimenten untersucht, ob ein starker Aufgabenkonflikt oder ein starker Antwortkonflikt zu einer Erhöhung der Antwortinhibition führt. Dazu wurden Reizbedingungen untersucht, in denen (anders als bei Hübner und Druey, 2006) Aufgabenkonflikt und Reizkonflikt nicht konfundiert waren. Vielmehr war in jeweils einem Experiment entweder der Aufgabenkonflikt groß und der Antwortkonflikt klein oder der Aufgabenkonflikt klein und der Antwortkonflikt groß. Wäre der Aufgabenkonflikt entscheidend sollten sich im ersteren Fall höhere Antwortwiederholungseffekte zeigen. Wäre dagegen der Antwortkonflikt entscheidend, sollten im letzteren Fall die Antwortwiederholungseffekte stärker ausfallen.

6.2. STRATEGIEN DER ANTWORTINHIBITION

In Studie 2 wurde untersucht, ob bzw. wie die Stärke der Antwortinhibition strategisch an die Häufigkeit eines relevanten Konflikts angepasst wird.

Hinweise auf eine strategische Anpassung der Antwortinhibition finden sich in der Literatur. Das eben nochmals beschriebene Ergebnis von Hübner und Druey (2006) kann auch im Sinne einer strategischen Anpassung an das globale (durch die Reizsituation gegebene) Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung verstanden werden. Außerdem wurde gezeigt, dass die Stärke der Antwortinhibition von der Aktivierungsstärke der vorhergehenden Antwort abhängig ist. Diese Anpassungsleistung wurde ebenfalls als ein

strategischer Mechanismus interpretiert, der auf das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung reagiert (vgl. Druey & Hübner, 2008b; R. Hübner & Druey, 2006).

Die erste Frage, die in Studie 2 gestellt wurde, war, ob die Ergebnisse zur Abhängigkeit der Antwortwiederholungseffekte von der Valenz der Reizbedingung (R. Hübner & Druey, 2006) tatsächlich im Sinne einer strategischen Anpassung der Antwortinhibition verstanden werden können. Von einer strategischen Anpassung kann eigentlich erst dann gesprochen werden, wenn dasselbe Individuum je nach Situationen, Aufgabenumgebung oder Verhaltensziel Unterschiede in der kognitiven Kontrolle zeigt. Deshalb sollten – die Befunde von Hübner und Druey (2006) erweiternd – verschiedene Strategien innerhalb einer Versuchsperson statt zwischen zwei Experimenten nachgewiesen werden. Die zweite Fragestellung war, wie schnell die Antwortinhibition an eine sich verändernde Reizbedingung angepasst wird.

Auf der einen Seite könnte es sein, dass die Stärke der Antwortinhibition eher rigide angepasst wird. Wurde eine bestimmte Stärke der Inhibition „eingestellt“, erfolgt eine erneute Adjustierung nur sehr langsam, wenn sich ein relevanter Aspekt der Reizsituation (z. B. das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung) ändert. Auf der anderen Seite kann eine strategische Anpassung kognitiver Kontrolle auch extrem schnell und flexibel erfolgen und sogar noch nach Beginn der Reizverarbeitung vollzogen werden (vgl. Lehle & Hübner, 2008). Beispielsweise hatten Rogers und Monsell (1995) zur Erklärung der Antwortwiederholungseffekte vorgeschlagen, dass die Antwortinhibition einer Re-Analyse des aktuellen Stimulus dient, die notwendig wird, wenn es zum Konflikt bei der aktuellen Reizverarbeitung kommt. Es war daher interessant zu sehen, wie sich die Antwortwiederholungseffekte verändern würden, wenn sich das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung plötzlich ändert.

Zur Untersuchung der ersten Frage wurde das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung blockweise variiert. Wenn eine strategische Anpassung der Antwortinhibition auch innerhalb eines Experimentes stattfindet, sollten sich Unterschiede in den Antwortwiederholungskosten zwischen den Blocktypen ergeben. Die zweite Frage zur Rigidität oder Flexibilität der Anpassung wurde weiter in Experimenten mit einer Lern- und einer Testphase untersucht. Dabei wurde in den Lernphasen das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung zwischen den Versuchspersonen variiert. In der anschließenden Testphase bearbeiteten alle Gruppen die gleichen Reize. Durch den Vergleich der Antwortwiederholungskosten von der Lern- zur Testphase und den Vergleich der Antwortwiederholungskosten in der Testphase zwischen den Gruppen sollte es möglich sein, zwischen verschiedenen Anpassungsgeschwindigkeiten zu unterscheiden. Eine langsame

Anpassung der Antwortinhibition würde sich vor allem in Gruppenunterschieden der Antwortwiederholungskosten in der Testphase zeigen. Eine sehr schnelle Anpassung der Antwortinhibition würde sich vor allem in unterschiedlichen Antwortwiederholungskosten in der Lern- und Testphase aller Gruppen zeigen.

STUDIE 1: AUFGABENKONFLIKT UND ANTWORTKONFLIKT

1. EINLEITUNG

Zur Erklärung der Interaktion zwischen Aufgabenabfolge und Antwortabfolge wurden verschiedene Theorien vorgeschlagen (R. Hübner & Druey, 2006; Kleinsorge & Heuer, 1999; Meiran, 2000b; Rogers & Monsell, 1995; Schuch & Koch, 2004). Das von Hübner und Druey vorgeschlagene Zwei-Prozess-Modell geht davon aus, dass die vorherige Antwort inhibiert wird, um eine Perseveration zu vermeiden (z. B. Hübner, 2006 #1226, vgl. auch Cooper & Mari-Beffa, 2008; Smith, 1968). Im Falle einer erforderlichen Wiederholung der Antwort entstehen Kosten, da die Inhibition überwunden werden muss. Allerdings sind diese Kosten unter Aufgabenwiederholung in der Regel nicht sichtbar, da die Vorteile durch die Wiederholung der S-R Regel überwiegen.

Eine konkrete Vorhersage des Zwei-Prozess-Modells, dass die Antwortinhibition (und damit die Antwortwiederholungskosten) bei steigendem Perseverationsrisiko zunimmt, konnte in Studien zur Stärke der Antwortaktivierung im vorausgegangenen Durchgang bestätigt werden (Druey & Hübner, 2008b; R. Hübner & Druey, 2006; Steinhauser, et al., 2009). Allerdings ist die Annahme dieser Studien, dass das Perseverationsrisiko mit der Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang zunimmt – wenn auch sehr plausibel – weitestgehend ungeprüft. Einen anderen Ansatz zur Manipulation des Risikos verfolgten Hübner und Druey (2006, Experiment 1 und 3) durch die Variation der Valenz der Reizbedingungen. Dem liegt die Vermutung zugrunde, dass bivalente gegenüber univalenten Reizen das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung erhöhen (vgl. auch *5.3 Zwei Prozess Modell* der Antwortinhibition und Studie 2). Dies wird dadurch erklärt, dass es bei bivalenten Reizen im Gegensatz zu univalenten Reizen auch durch die Verarbeitung der aktuell irrelevanten Reizeigenschaft zu einer fälschlichen Antwortwiederholung kommen kann. Denn bei sich überlappenden Antwortsets kann auch die Bearbeitung der falschen Aufgaben zu einer Aktivierung der falschen Antwort führen (Kongruenzeffekt).

„In cases of bivalent stimuli, i.e., stimuli that can be evaluated according to both tasks, the risk of accidentally re-executing the same response as before is increased due to the fact that the respective stimulus category of the actually irrelevant task may also activate this response again. That is, there can be two sources of erroneous response activation in this case: First, activation left over from the previous task and second, activation due to the respective stimulus category of the actually irrelevant task.” (R. Hübner & Druey, 2006, S.247)

„*The situation is different, however, with univalent stimuli. In this case there is only the residual activation of the response categories from the previous task that affects the response in the current trial.*” (R. Hübner & Druey, 2006, *ebd.*)

Allerdings lässt das Vorgehen von Hübner und Druey (2006) Fragen offen. Obwohl die Autoren erwähnen, dass sich bivalente von univalenten Reizen auch in anderer Hinsicht als dem Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung unterscheiden, gehen sie davon aus, dass andere Effekte der Valenz – wie etwa die automatische Aktivierung des irrelevanten Aufgabensets (*task-set cueing*) und damit die Erhöhung des Aufgabenkonfliktes – keinen Einfluss auf die Antwortwiederholungseffekte haben sollten (R. Hübner & Druey, 2006, S.259). Genau dies könnte aber der Fall sein. Eine plausible Vermutung ist etwa, dass die Inhibitionsprozesse, die zu den beobachteten Antwortwiederholungskosten und den N-2 Wiederholungskosten führen (Antwortinhibition und *backward inhibition*), miteinander in Verbindung stehen. Cooper und Marí-Beffa (2008) argumentieren, dass beide Kontrollprozesse zum Ziel haben, das Perseverationsrisiko zu minimieren (Perseveration des Aufgabensets bzw. der Antwort). Demnach könnte in Bedingungen, unter denen die Inhibition des vorherigen Aufgabensets größer ausfällt, auch die Inhibition der vorherigen Antwort größer ausfallen. Dies ist beispielsweise bei bivalentem Reizmaterial gegeben, wo durch die automatische Aktivierung des irrelevanten Aufgabensets ein erhöhter Aufgabenkonflikt auftritt, der mehr Kontrolle bei der Selektion des Aufgabensets erforderlich macht (M. Hübner, Dreisbach, Haider, & Kluwe, 2003; Ulrich Mayr & Keele, 2000, Experiment 2).

Die schwache Variante dieser Hypothese würde vorhersagen, dass sich ein Zusammenhang zwischen *backward inhibition* und Antwortinhibition zeigt, weil beide Kontrollprozesse in Situationen mit erhöhtem Perseverationsrisiko (bivalente Reizsituationen) verstärkt wirksam sind. Die starke Variante geht noch einen Schritt weiter. Die Inhibition der Antwort könnte nur eine Begleiterscheinung der Inhibition des Aufgabensets sein. Geht man davon aus, dass bei einem Aufgabenwechsel das zuvor relevante Aufgabenset gehemmt wird, könnte sich diese Inhibition vor allem auf die zuvor ausgeführte Antwort auswirken, da diese frisch mit der Aufgabe assoziiert wurde. Somit wäre die Verhinderung einer Antwortperseveration nicht das Ziel des Systems sondern nur eine Nebenwirkung der Aufgabeninhibition. Das heißt, dass für die Größe der Antwortwiederholungskosten entscheidende Merkmal der bivalenten Reizbedingung wäre nicht das Risiko einer Antwortperseveration (gegeben durch die überlappende Antwortanordnung und die Kongruenzeigenschaft der Reize, sprich durch den Antwortkonflikt) sondern vor allem das Risiko einer Aufgabenperseveration (gegeben durch den größeren Aufgabenkonflikt).

Allerdings fanden Mayr und Keele (2000, Experiment 4) keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den N-2 Wiederholungskosten und den Antwortwiederholungskosten. Jedoch schließt ihr Befund die hier vorgestellten Hypothesen nicht vollständig aus. Denn beim Vergleich von A-B-A mit C-B-A Sequenzen würde man einen Zusammenhang zwischen N-2 Wiederholungskosten und Antwortwiederholungskosten nur dann erwarten, wenn die Inhibition der Antwort wenigstens einen Durchgang überdauert bzw. nach einem Durchgang noch stark genug ist, um nachgewiesen werden zu können. Tatsächlich fanden Mayr und Keele (2000) über zwei CSI numerisch höhere Antwortwiederholungskosten in A-B-A Sequenzen, die allerdings nicht statistisch signifikant waren. Nimmt man also an, dass die Antwortinhibition schneller zerfällt, als die Aufgabeninhibition, wäre ein Nachweis über den Vergleich von A-B-A mit C-B-A Sequenzen schwierig.

Hübner und Druey (2006) waren nicht in der Lage, zwischen dem Risiko einer Aufgabenperseveration (Valenz) und dem Risiko einer Antwortperseveration (Kongruenz) zu unterscheiden, da die beiden Dimensionen bei ihnen konfundiert waren. In der folgenden Studie wurden daher Kongruenz und Valenz der Reize unabhängig voneinander variiert, um zu überprüfen, ob das Ausmaß der Antwortwiederholungskosten – und damit der Antwortinhibition – vom Risiko einer fälschlichen Antwortwiederholung oder allein vom Risiko einer fälschlichen Aufgabenwiederholung abhängig ist. Dazu wurden zusammengesetzte Reize verwendet (vgl. Rogers & Monsell, 1995; Steinhauser & Huebner, 2007), die eine Manipulation der Valenz (univalent oder bivalent) der Reizbedingungen erlauben. Anders als in der Studie von Hübner und Druey (2006) erlaubt dieses Vorgehen, kongruente und inkongruente Reize unabhängig von der Valenz darzubieten. Die Valenz der Reize (univalent oder bivalent) wurde zwischen den Versuchspersonen realisiert. In Studien zur Aufgabeninhibition hat sich gezeigt, dass das kognitive System innerhalb eines Kontextes eine generelle Adjustierung der Aufgabeninhibition bevorzugt, anstatt die Stärke der Inhibition von Block zu Block oder gar von Durchgang zu Durchgang anzupassen (A. M. Philipp & Koch, 2006). Daher wäre zu erwarten, dass bei einer Realisierung verschiedener Valenzbedingungen innerhalb der Versuchspersonen es zu eine „Mischstrategie“ kommt, und die potentiellen Unterschiede zwischen den Bedingungen nicht sichtbar werden.

2. EXPERIMENT 1A – UNIVALENT

Die Experimente 1A und 1B wurden zusammen geplant. Ziel war es zu überprüfen, ob die Stärke der Antwortinhibition vom Ausmaß des Aufgabenkonflikts abhängig ist. Dazu wurden in Experiment 1A univalente Reize verwendet (geringer Aufgabenkonflikt) und in

Experiment 1B bivalente Reize (hoher Aufgabenkonflikt). Das Aufgabenwechselfparadigma war an Druey und Hübner (2008b) angelehnt. Es wurden stets zwei Aufgaben pro Durchgang bearbeitet, wobei die Aufgabe vom ersten zum zweiten Reiz immer wechselte. Das Clustern der Aufgaben hat den Vorteil, dass Wiederholungseffekte, die sich über mehr als zwei Aufgaben erstrecken (higher-order repetition effects, vgl. Soetens, 1998) minimiert werden. Deshalb erstreckte sich die Analyse der Wiederholungseffekte nur auf die zweite Antwort.

Als Aufgaben dienten die Klassifikation von Buchstaben in Konsonanten oder Vokale sowie von Zahlen in gerade oder ungerade. Um Valenz und Kongruenz der Reize unabhängig manipulieren zu können, wurden immer zwei Elemente aus den zwei Materialsets (Buchstaben und Zahlen) für einen Gesamtreiz verwendet. Somit konnten univalente Reize (beide Elemente vom selben Materialset, Experiment 1A) und bivalente Reize (Elemente aus beiden Materialsets, Experiment 1B) gebildet werden. Außerdem wurde für die erste Aufgabe stets ein neutraler (univalenter) Reiz verwendet, um den Einfluss des ersten Reizes auf die Antwortwiederholungseffekte zu minimieren (vgl. Druey & Hübner, 2008b, Experiment 2). Bei der zweiten Aufgabe waren kongruente und inkongruente Durchgänge gemischt⁸. Die zusammengesetzten Reize hatten den weiteren Vorteil, dass es zu einer Kontrastierung des Aufgaben- und Antwortkonfliktes kam. Denn die Verwendung des gleichen Reizmaterials zur Bildung kongruenter und inkongruenter Reize (Experiment 1A) sollte den Antwortkonflikt vergrößern, da so das Zielelement einzig räumlich selektiert werden konnte. Gleichzeitig war ein geringer Aufgabenkonflikt zu erwarten. Im Gegensatz dazu war es bei bivalenten Reizen, die aus zwei Materialsets gebildet wurden, zusätzlich möglich über das Reizmaterial das aufgabenrelevante Element auszuwählen, was die Kontrolle des Antwortkonfliktes erleichtern sollte. Gleichzeitig sollte der Aufgabenkonflikt groß sein.

Da es durch die Zusammensetzung der Reize in Experiment 1A nicht mehr ersichtlich war, welches Reizelement aufgabenrelevant war, musste dieses gekennzeichnet werden. Dazu wurde das aufgabenrelevante Reizelement immer unterstrichen (auch in Experiment 1B). Wie sich gezeigt hat, führte dieses Vorgehen zu Schwierigkeiten bei der Interpretation der Ergebnisse. Infolgedessen wurde in den Experimenten 2A und 2B eine andere Form der Kenntlichmachung gewählt.

Entsprechend der vorangestellten Überlegungen wurden in Experiment 1A aufgrund des geringen Aufgabenkonfliktes keine oder nur sehr geringe Antwortwiederholungskos-

⁸ Im Rahmen einer weiteren Fragestellung wurde das Verhältnis von kongruenten zu inkongruenten Reizen 1:3 gewählt. Für die Hauptfragestellung der Studie spielt dies aber keine Rolle und wird daher in der Analyse der Ergebnisse nicht berücksichtigt.

ten erwartet – in Experiment 1B dagegen größere. Für die Größe des Kongruenzeffekts sollte sich das Verhältnis genau andersherum darstellen: In Experiment 1A wurde ein großer Kongruenzeffekt erwartet. Dagegen sollte der Kongruenzeffekt in Experiment 1B kleiner sein.

2.1. METHODE

Versuchsteilnehmer

Teilnehmer des Experiments waren 19 Studenten der Universität Konstanz (6 männliche, 11 weibliche; mittleres Alter 24;4 Jahre; von zwei Teilnehmern lagen keine Angaben vor).

In allen Experimenten (auch denen der Studie 2) wurden die Teilnehmer wahlweise entweder mit 5 € pro Stunde oder mit Bescheinigungen für Versuchspersonenstunden entlohnt. Die Teilnehmer aller Experimente waren rechtsichtig oder trugen eine entsprechende Sehhilfe.

Versuchsaufbau und Reizmaterial

Das Experimente wurden in einem abgedunkelten Raum durchgeführt. Die Reize wurden auf einem 21-Zoll Röhren-Farbmonitor (Sony 500 PS) mit einer Bildschirmauflösung von 1280 x 768 Pixel und einer Bildwiederholfrequenz von 85 *Hz* präsentiert. Die Präsentation der Reize und die Antwortaufzeichnung wurden von einem IBM-kompatiblen PC kontrolliert. Der Auge-Monitor-Abstand betrug ca. 110 *cm*. Als Antworttasten dienten die linke und rechte Taste einer handelsüblichen Maus, die die Versuchsteilnehmer mit dem Zeige- und Mittelfinger ihrer dominanten Hand betätigten.

In jedem Durchgang wurden nacheinander zwei Reize (S1 und S2) in weiß auf schwarzem Hintergrund dargeboten. Die Reize wurden aus dem Buchstabenset G, K, R, A, E, U und dem Zahlenset 2, 4, 6, 3, 5, 7 (jeweils aus dem Font Swis721 LtCn BT) gebildet. Die Reize waren aus zwei Elementen – einem Zielreiz und einem Ablenkreiz – zusammengesetzt, um die Valenz und Kongruenz der Reize in der Studie unabhängig manipulieren zu können. Die örtliche Position des Zielreizes in S2 wurde variiert: Entweder stand der Zielreiz in der Mitte des Bildschirms und wurde zu beiden Seiten vom Ablenkreiz flankiert, oder der Ablenkreiz stand in der Mitte und wurde zu beiden Seiten vom Zielreiz flankiert. Der gesamte Reiz (Ziel- und Ablenkreiz) hatte einen visuellen Winkel von ca. 5.5° (10.5 *cm*) in der Breite und ca. 2.1° (4 *cm*) in der Höhe (leicht unterschiedlich für die verschiedenen Buchstaben und Zahlen). Die visuellen Winkel für S1 maßen ca. 3° in der Breite und ca. 2.1° in der Höhe. Als erster Reiz (S1) diente immer ein neutraler Reiz

(Zielreiz und das neutrale Symbol „*“ als Ablenkreiz). Außerdem wurden in S2 kongruente oder inkongruente Reize dargeboten, die allerdings dennoch univalent waren, d. h., sowohl der Zielreiz als auch der Ablenkreiz waren vom gleichen Reizmaterial (Buchstaben oder Zahlen; z. B. „EKE“, „373“). Bei der Konstruktion der kongruenten Reize (S2) wurden Kombinationen aus identischen Ziel- und Ablenkreizen ausgeschlossen (z. B. „333“). Die Position des Zielreizes wurde durch Unterstreichung gekennzeichnet. Analog wurde auch der Zielreiz in S1 unterstrichen, obwohl dies zum Lösen der Aufgabe nicht nötig war. Insgesamt gab es 24 verschiedene S1 sowie 24 kongruente und 36 inkongruente S2.

Vorgehen/Prozedur

Die Teilnehmer wechselten in Zweier-Sequenzen zwischen einem Konsonant/Vokal-Urteil und einem gerade/ungerade-Urteil. Die Kategorien „Konsonant“ und „gerade“ waren der linken Maustaste zugeordnet und die Kategorien „Vokal“ und „ungerade“ der rechten. Jeder Durchgang begann mit einem Hinweisreiz, der die Aufgabe ankündigte, die auf S1 anzuwenden war. Die relevante Aufgabe für S2 war immer die andere. Als Hinweisreize dienten in roter Farbe die Zeichenfolge „k/v“ für die Konsonant/Vokal-Aufgabe und „g/u“ für die gerade/ungerade-Aufgabe. Nach dem Hinweisreiz wurde ein leerer Bildschirm für 200 *ms* dargeboten, gefolgt von S1. S2 wurde 1500 *ms* nach S1 präsentiert unabhängig davon, ob die Versuchsperson bereits auf S1 geantwortet hatte oder nicht. Die Reize wurden jeweils bis zur Reaktion dargeboten – S1 maximal bis zum Erscheinen von S2. Falsche Reaktionen wurden am Ende des Durchgangs mit einem kurzen Ton (500 *Hz*, 100 *ms*) zurückgemeldet. Der nächste Durchgang begann 1000 *ms* nachdem die zweite Antwort aufgezeichnet wurde. Der zeitliche Ablauf eines Durchgangs ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Teilnehmer wurden instruiert, die relevante Aufgabe immer auf den unterstrichenen Reiz anzuwenden und so schnell und genau wie möglich zu antworten.

Insgesamt bearbeiteten die Versuchsteilnehmer 14 Blöcke à 64 Durchgänge. Davon wurden die ersten beiden Blöcke als Übungsblöcke gewertet. Aus dem Pool aller Reizkombinationsmöglichkeiten wurden Blöcke konstruiert, die hinsichtlich der relevanten Faktoren *erste Aufgabe* (Buchstaben vs. Zahlen), *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel), *Position des Zielreizes* in S1 (innen vs. außen) und *Position des Zielreizes* in S2 (innen vs. außen) balanciert waren. Dabei wurden 25 % kongruente und 75 % inkongruente Durchgänge verwendet

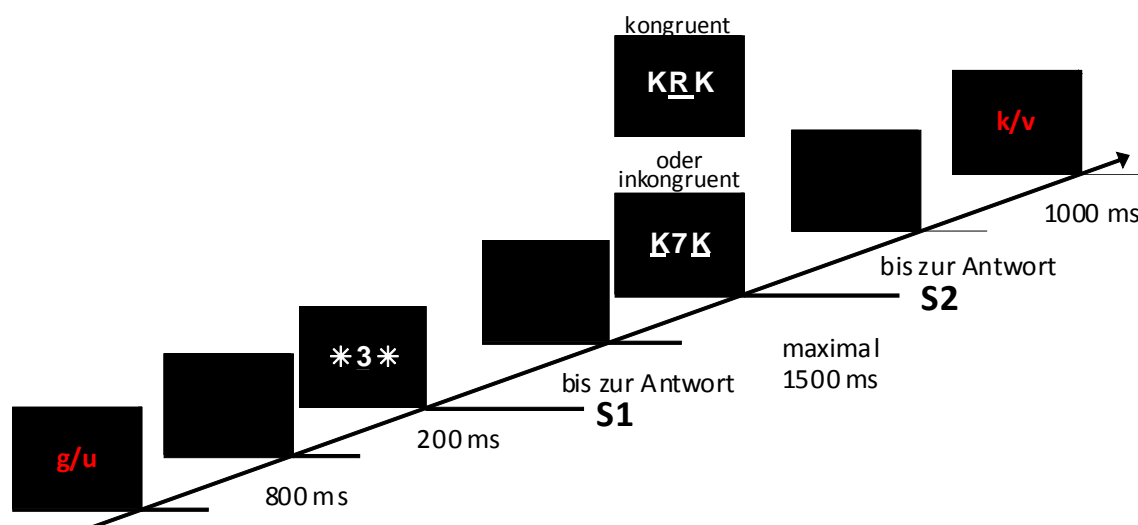


Abbildung 4. Ablauf eines Durchgangs in Experiment 1A. Der Ablauf in Experiment 1B war identisch, bis auf die Verwendung bivalenter Reize in S2. Erläuterungen siehe Text.

Statistische Auswertung

Zur Prüfung der Hypothesen wurden in allen Experimenten der vorliegenden Arbeit ANOVAs (analysis of variance) mit Messwiederholung, einfache Effekte und Post-Hoc-Tests berechnet. Als abhängige Variable diente die Antwort auf den zweiten Reiz eines Durchgangs (R2). Dabei wurden nur solche Durchgänge berücksichtigt, in denen die Antwort auf S1 (R1) korrekt war. In die Analysen gingen getrimmte Mittelwerte der Reaktionszeiten in korrekt beantworteten Durchgängen (R2) und Fehlerraten für jede Versuchsperson und jede Bedingung ein. Dazu wurden die Reaktionszeitverteilungen der korrekten Antworten von Werten bereinigt, die unter- bzw. oberhalb des 5 %- bzw. des 95 %-Perzentil lagen. Zur Vereinfachung der Ergebnisse werden oft Werte oder Statistiken für *Antwortwiederholungskosten* berichtet, die sich immer auf die Differenz der beiden Stufen des Faktors *Antwortabfolge* bezieht:

$$\text{Antwortwiederholungskosten} = \text{Antwortwiederholung} - \text{Antwortwechsel}$$

(bzw.: $RR\text{-Kosten} = RR - RS$)

Das Signifikanzniveau für alle statistischen Tests betrug $\alpha = .05$.

2.2. ERGEBNISSE

Für die mittleren Reaktionszeiten korrekt beantworteter Durchgänge und Fehlerraten der Antworten auf S2 wurden zweifaktorielle ANOVAs (*analysis of variance*) mit Mess-

wiederholung auf den Faktoren *Kongruenz* (kongruent vs. inkongruent) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) berechnet.

Reaktionszeiten

In den Reaktionszeiten zeigte sich der Haupteffekt *Kongruenz* signifikant, $F(1,18) = 69.3$, $p < .001$. Auf inkongruente S2 wurde 29 ms langsamer geantwortet als auf kongruente S2 (639 ms vs. 668 ms). Der Haupteffekt der *Antwortabfolge* sowie die Interaktion der beiden Faktoren waren nicht signifikant, $F_s(1,18) < 1$.

Fehlerraten

Auch in den Fehlerraten war der Kongruenzeffekt signifikant, $F(1,18) = 17.3$, $p = .001$. Die Fehlerrate bei kongruentem S2 war kleiner (3.51 %) als bei inkongruentem S2 (5.37 %). Ebenfalls zeigte sich der Haupteffekt des Faktors *Antwortabfolge* signifikant, $F(1,18) = 8.10$, $p < .05$. Antwortwiederholungen ergaben mehr Fehler als Antwortwechsel (5.62 % vs. 3.26 %). Die Interaktion beider Faktoren war nicht signifikant, $F(1,18) < 1$.

2.3. DISKUSSION

Unter den univalenten Reizbedingungen des Experiments zeigten sich nur in den Fehlerraten signifikante Nachteile einer Wiederholung gegenüber einem Wechsel der Antwort. Diese waren allerdings sehr gering (2.4 %). In den Reaktionszeiten konnten keine Kosten nachgewiesen werden. Die Ergebnisse bestätigen andere Befunde, die nur eine schwache Inhibition der zuvor ausgeführten Antwort unter univalenten Reizbedingungen (R. Hübner & Druery, 2006) finden. Weiterhin sind die Ergebnisse mit der Annahme vereinbar, dass die Antwortinhibition vom Ausmaß des Aufgabenkonflikts abhängig ist. Demnach würde man bei der Verwendung bivalenter Reize eine Zunahme der Antwortinhibition erwarten.

3. EXPERIMENT 1B – BIVALENT

Das Experiment 1B war identisch mit dem Experiment 1A, nur dass jetzt bivalente Reize verwendet wurden. Dazu wurden die Reize aus je einem Element der beiden Materialsets zusammengesetzt. Unter diesen bivalenten Reizbedingungen sollten sich reliable Antwortwiederholungskosten zeigen. Zu beachten ist, dass es nun allein durch die Ankündigung der Aufgabe ersichtlich war, welches Reizelement der Zielreiz war. Das heißt, es war eigentlich gar nicht nötig, den Reiz mit Hilfe der Markierung zu lokalisieren, da dieser immer vom Materialset (Buchstaben, Zahlen) stammte, das zur angekündigten

Aufgabe gehörte. Diese zusätzliche Selektionsmöglichkeit erlaubte eine weitere Vorhersage: Es sollte sich jetzt ein kleiner Kongruenzeffekt zeigen, was wiederum für einen geringen Antwortkonflikt sprechen würde.

3.1. METHODE

Versuchsteilnehmer

An dem Experiment nahmen 18 Studenten der Universität Konstanz teil (4 männliche, 14 weibliche; mittleres Alter 24 Jahre).

Reizmaterial und Prozedur

Als Reize in S2 dienten dieses Mal bivalente Reize, d. h., Ziel- und Ablenkreiz unterschieden sich im Reizmaterial (z. B. „E3E“). Ansonsten wurden die Reize analog zu Experiment 3A konstruiert. Die Prozedur war eine Replikation von Experiment 3A. So wurde wiederum der Zielreiz unterstrichen, auch wenn dies zum Lösen der Aufgaben nicht mehr erforderlich war.

3.2. ERGEBNISSE

Zur statistischen Analyse wurden zweifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung auf den Faktoren *Kongruenz* (kongruent vs. inkongruent) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) für die mittleren Reaktionszeiten korrekt beantworteter Durchgänge und für die Fehlerraten der Antworten auf S2 berechnet.

Reaktionszeiten

Der Haupteffekt *Kongruenz* war marginal signifikant, $F(1,17) = 3.56, p < .1$. Die Reaktionszeiten auf inkongruente S2 waren 8 ms langsamer als auf kongruente S2 (640 ms vs. 648 ms). Der Haupteffekt *Antwortabfolge* war nicht signifikant, $F(1,18) < 1$. Insgesamt war das Datenmuster durch die Interaktion der beiden Faktoren gekennzeichnet, $F(1,17) = 5.26, p < .05$. Während es bei kongruentem S2 zu Antwortwiederholungsvorteilen kam (-11 ms; 635 ms vs. 646 ms), zeigten sich bei inkongruentem S2 Kosten einer Antwortwiederholung (12 ms; 654 ms vs. 642 ms).

Fehlerraten

In den Fehlerraten war der Kongruenzeffekt ebenfalls nur marginal signifikant, $F(1,18) = 3.16, p = .1$. Bei inkongruentem S2 wurden mehr Fehler gemacht (5.30 %) als bei kongruentem S2 (4.13 %). Weiterhin war der Haupteffekt des Faktors *Antwortabfol-*

ge signifikant, $F(1,18) = 5.49$, $p < .05$. Antwortwiederholungen ergaben mehr Fehler als Antwortwechsel (5.83 % vs. 3.60 %). Die Interaktion beider Faktoren wies dasselbe Muster auf wie in den Reaktionszeiten, verfehlte aber die statistische Signifikanz, $F(1,18) = 2.60$, $p = .13$. Numerisch waren die Kosten einer Antwortwiederholung bei kongruentem S2 kleiner (1.59 %) als bei inkongruentem S2 (2.87 %).

3.3. DISKUSSION

Wie erwartet wurde nur ein sehr kleiner Kongruenzeffekt gefunden. Dies spricht dafür, dass der Antwortkonflikt, ausgelöst durch die irrelevanten Reize, klein war. Allerdings waren anders als vorhergesagt die Antwortwiederholungskosten ebenfalls klein bzw. nur in den Fehlerraten sichtbar (2.2 %). Diese Befunde werden diskutiert, nachdem im nächsten Abschnitt die Ergebnisse der beiden Experimente statistisch verglichen wurden.

Ein unerwartetes Ergebnis ist die gefundene Interaktion zwischen Kongruenz und Antwortabfolge. War der aktuelle Reiz kongruent kam es zu Vorteilen bei einer Antwortwiederholung. Dagegen zeigten sich Nachteile einer Antwortwiederholung bei einem inkongruenten Reiz. Dies ist ein neuer Befund, der in keiner der in der Einleitung aufgeführten Studien berichtet wurde. Hübner und Druey (2006) berichteten nur die Auswirkung der Kongruenz in S1. Wie aber könnte die Kongruenz in S2 einen Effekt auf die Antwortwiederholungskosten haben? Ein Erklärungsansatz ergibt sich durch die Generalisierung des Risikogedankens: Von einem eher globalen Risiko, bedingt durch die Reizsituation, hin zu einem eher lokalen Risiko, bedingt durch die aktuelle Reizverarbeitung. Die Stärke der Antwortinhibition wird nicht nur durch die globale Reizsituation beeinflusst (z. B. univalente vs. bivalente Reizbedingungen, R. Hübner & Druey, 2006) sondern auch lokal durch die Reizverarbeitung des vorhergehenden Durchgangs (z. B. Stärke der Antwortaktivierung, Druey & Hübner, 2008b). Es ist vorstellbar, dass die flexible Anpassung der Antwortinhibition auch die aktuelle Reizverarbeitung berücksichtigt. Werden überlappende Antwortzuordnungen verwendet, würden inkongruente Reize das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung weiter erhöhen, da die irrelevante Reizeigenschaft mit der alternativen Antwort assoziiert ist – bei einem Antwortwechsel also mit einer fehlerhaften Antwortwiederholung. Demnach wäre bei inkongruenten Reizen die Antwortinhibition stärker als bei kongruenten Reizen.

Ein anderer Erklärungsansatz ergibt sich durch die genauere Betrachtung der Reizabfolge. Im Falle einer Antwortwiederholung ist der Ablenkreiz in S2 immer von der gleichen Kategorie wie der Zielreiz in S2, d. h., die Verarbeitung des Ablenkreizes entspricht

quasi dem Aufgabenwiederholungsfall. Durch die Bahnung der Reizkategorie bzw. durch die Wiederholung der S-R Regel ist die Verarbeitung des Ablenkreizes erleichtert und die faszilitierende Wirkung auf die Auswahl der korrekten Antwort verstärkt. Dadurch sind Antwortwiederholungen bei kongruentem S2 bevorteilt und die Antwortwiederholungskosten kleiner. Ein Hinweis dafür, dass diese Wiederholungen tatsächlich eine Rolle gespielt haben könnten, liefert eine Analyse unter Ausschluss der relevanten Durchgänge. Tatsächlich zeigt sich, dass die Latenz für Antwortwiederholungen bei kongruentem S2 länger wird und dadurch auch die Interaktion Kongruenz \times Antwortabfolge schwächer wird.

Die Überlegungen zum Einfluss der aktuellen Reizverarbeitung auf die Stärke der Antwortinhibition sind noch sehr spekulativ. In Studie 2 wird dieser Zusammenhang weiter thematisiert.

4. VERGLEICH VON EXPERIMENT 1A UND 1B

4.1. ERGEBNISSE

Zum Vergleich der Experimente 1A (univalent) und 1B (bivalent) wurden dreifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung auf den Faktoren *Kongruenz* (kongruent vs. inkongruent) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Valenz* (univalent vs. bivalent) für die mittleren Reaktionszeiten korrekt beantworteter Durchgänge und für die Fehlerraten der Antworten auf S2 berechnet.

Reaktionszeiten

Es gab keine prinzipiellen Reaktionszeitunterschiede zwischen den Experimenten ($F(1,35) < 1$). Dagegen war der Haupteffekt *Kongruenz* signifikant, $F(1,35) = 46.3$, $p < .001$. Er war weiter durch die Interaktion mit dem Faktor *Valenz* gekennzeichnet, $F(1,35) = 15.1$, $p < .001$. Im Experiment mit univalenten Reizen war der Kongruenzeffekt größer als im Experiment mit bivalenten Reizen. Außerdem zeigte sich eine signifikante Interaktion der Faktoren *Kongruenz* und *Antwortabfolge*, $F(1,35) = 5.93$, $p < .05$. Diese war dadurch gekennzeichnet, dass es bei kongruentem S2 zu Vorteilen einer Antwortwiederholung kam, bei inkongruentem S2 aber zu Nachteilen. Geprägt war das gesamte Datenmuster von der Dreifach-Interaktion aller Faktoren ($F(1,35) = 3.07$, $p < .1$), die aber nur marginal signifikant wurde. Während in Experiment 3B (bivalent) sich die eben beschriebene Interaktion *Kongruenz* \times *Antwortabfolge* zeigte, führten in Experiment 3A

(univalent) Antwortwiederholungen immer zu Kosten, die aber statistisch nicht bedeutsam waren.

Fehlerraten

In den Fehlerraten waren die Haupteffekte der Faktoren *Kongruenz* ($F(1,35) = 14.8$, $p < .001$) und *Antwortabfolge* ($F(1,35) = 13.3$, $p < .001$) signifikant. Insgesamt wurden bei inkongruentem S2 mehr Fehler gemacht (5.33 %) als bei kongruentem S2 (3.82 %) und Antwortwiederholungen ergaben mehr Fehler als Antwortwechsel (5.73 % vs. 3.43 %). Keine weiteren Effekte waren signifikant (2-fach Interaktionen: $F_s(1,35) < 1$; 3-fach Interaktion *Kongruenz* × *Antwortabfolge* × *Valenz*: $F(1,35) = 1.61$.)

4.2. DISKUSSION

Für den Vergleich univalenter und bivalenter Reizbedingungen wurde erwartet, dass unter univalenten Reizbedingungen die Antwortwiederholungskosten kleiner und der Kongruenzeffekt größer ist als unter bivalenten Reizbedingungen. Während sich keine Hinweise für die erste Vorhersage fanden, konnte die zweite Vorhersage bestätigt werden.

Entscheidend für die Variation des Kongruenzeffekts über die Experimente ist, dass die bivalenten Reize aus beiden Materialsets der beiden Aufgaben konstruiert waren, während die univalenten Reize lediglich Elemente aus einem Materialset enthielten. Daher waren in der univalenten Bedingung die aufgabenrelevanten Elemente einzig über die visuelle Markierung (Unterstreichung) erkennbar. Dies ermöglichte zwar eine schnelle und exogen erleichterte Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf das aufgabenrelevante Element (Posner, 1978; Posner & Presti, 1987), die frühe, perzeptuelle Selektion war aber offenbar nicht stark genug, um den Antwortkonflikt durch die störender Elemente vollständig zu kontrollieren. Diese Form der Interferenz (Flanker-Effekt) ist ein klassischer Befund in Studien, die den Einfluss irrelevanter Reize auf die Informationsverarbeitung untersuchen (B. A. Eriksen & Eriksen, 1974). Es wird allgemein angenommen, dass inkongruente Reize, bei denen das irrelevante Element mit einer falschen Antwort assoziiert ist, aufgrund des entstehenden Antwortkonflikts langsamer bearbeitet werden als kongruente Reize, bei denen das irrelevante Element mit der korrekten Antwort assoziiert ist (C. W. Eriksen, 1995). Daher sprechen die beobachteten Kongruenzeffekte für einen reliablen Antwortkonflikt unter univalenten Reizbedingungen.

Anders verhielt es sich bei bivalenten Reizen. Hier waren die aufgabenrelevanten Elemente zusätzlich über das Material erkennbar. Das heißt, über die räumliche Selekti-

on hinaus konnte die relevante Information auch auf kategorialer Ebene selektiert werden (Bundesen, 1990). Dadurch kam es zu einer geringeren Interferenz und einem kleineren Kongruenzeffekt. Abweichend von den univalenten Reizen kommt es bei den bivalenten Reizen nicht über die gleiche sondern über die alternative Aufgabe zur Aktivierung der falschen Antwort und zu einem Antwortkonflikt⁹. Anders ausgedrückt: Gerade der höhere Aufgabenkonflikt bei den bivalenten Reizen führt zu einer stärkeren Kontrolle des Antwortkonflikts (durch die kategoriale Selektion) und damit zu einem geringeren Kongruenzeffekt als bei den univalenten Reizen.

Es wurde angenommen, dass sich diese Konstellation – hoher Antwortkonflikt / geringer Aufgabenkonflikt versus geringer Antwortkonflikt / hoher Aufgabenkonflikt – auf die Größe der Antwortinhibition auswirkt. Dies war aber nicht der Fall. Die Antwortwiederholungseffekte unterschieden sich zwischen den Experimenten nicht. Einerseits konnte also kein Zusammenhang zwischen dem Aufgabenkonflikt und der Antwortinhibition gefunden werden, andererseits spricht dies aber auch nicht für eine Abhängigkeit der Antwortinhibition vom Ausmaß des Antwortkonflikts. Nach der „klassischen“ Interpretation des Zwei-Prozess-Modells, sollte ja unter den Bedingungen eines hohen Antwortkonflikts das Risiko für eine fehlerhafte Antwortwiederholung erhöht sein, da dann eine größere Unsicherheit bezüglich der korrekten Antwort besteht. Dadurch sollte es zu einer größeren Inhibition der vorhergehenden Antwort kommen und folglich größere Antwortwiederholungskosten beobachtet werden. Unter univalenten Reizbedingungen (hoher Antwortkonflikt) kam es aber nicht zu größeren Antwortwiederholungskosten als unter bivalenten Reizbedingungen (geringer Antwortkonflikt).

Wie kann es sein, dass weder eine Abhängigkeit der Antwortinhibition vom Ausmaß des Aufgabenkonflikts noch vom Ausmaß des Antwortkonflikts gefunden wurde? Prinzipiell bieten sich zwei Erklärungsmöglichkeiten an. Erstens könnte die Summe aus beiden Konflikten entscheidend sein. Zweitens könnte die Manipulation nicht die gewünschte Wirkung gehabt haben und die Experimente damit kein valider Test der Hypothesen sein.

Es ist denkbar, dass erst bei einem signifikanten Konflikt auf beiden Ebenen inhibitorische Kontrolle nötig wird, um flexibles Verhalten zu ermöglichen. Zu beachten ist hierbei, dass ja in beiden Experimenten Antwortwiederholungskosten in den Fehlerraten gefunden wurden, nur eben nicht unterschiedlich groß. Demnach wäre in keinem der

⁹ Diese Form der Interferenz wird daher von manchen Autoren auch nicht als Flanker-Kongruenzeffekt sondern als Aufgabenregel-Kongruenzeffekt bezeichnet – zumal in vielen Aufgabenwechselstudien Reize ohne Flanker verwendet werden (Meiran, 2000a; Meiran & Kessler, 2008).

beiden Experimente der Gesamtkonflikt und damit die Antwortinhibition stark genug gewesen, um sowohl in den Reaktionszeiten als auch in den Fehlerraten große Antwortwiederholungskosten zu verursachen. Unter univalenten Reizbedingungen kam es zwar zu einem bedeutenden Antwortkonflikt (zu sehen am Kongruenzeffekt) aber aufgrund der Reizkonstruktion war der Aufgabenkonflikt gering. Umgekehrt war zwar der Aufgabenkonflikt unter bivalenten Reizbedingungen hoch, der Antwortkonflikt jedoch eher gering. Dies würde bedeuten, dass der Aufgabenkonflikt zwar eine notwendige aber keine hinreichende Bedingung für ein erhöhtes Risiko fehlerhafter Antwortwiederholungen ist. Erst durch den zusätzlichen Antwortkonflikt erhöht sich das Risiko soweit, dass das System durch eine stärkere Antwortinhibition gegensteuert.

Eine weitere Erklärung könnte in der methodischen Vorgehensweise liegen. Durch die räumliche Markierung des aufgabenrelevanten Reizelements wird der Einfluss der irrelevanten Reizelemente schwächer, da schon sehr früh, auf einer perzeptuellen Ebene die relevante Information selektiert werden kann (Bundesen, 1990). Sprich, die irrelevante Information wurde weniger tief verarbeitet, als es ohne Markierung des Zielreizes der Fall gewesen wäre. Dies könnte unter bivalenten Reizbedingungen dazu geführt haben, dass die irrelevante Aufgabe nicht so stark wie vermutet aktiviert wurde, also das *task-set cueing* geringer wurde. War der Aufgabenkonflikt tatsächlich schwächer als es durch die Verwendung bivalenter Reize beabsichtigt war, ist es auch nicht weiter verwunderlich, dass die Antwortwiederholungskosten keine Abhängigkeit von der Valenz zeigten.

Ein ähnliches Argument lässt sich auch für die Stärke des Antwortkonflikts anbringen. Zwar war der Kongruenzeffekt unter univalenten stärker als unter bivalenten Reizbedingungen. Dennoch ist davon auszugehen, dass durch die Markierung des Zielreizes der Kongruenzeffekt gegenüber einer Bedingung ohne Markierung reduziert war. Geht man von der ursprünglichen Sichtweise des Zwei-Prozess Modell aus, dass das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung das Ausmaß der Antwortinhibition bestimmt – hier durch die Größe des Antwortkonflikt manipuliert – dann könnte auch im Experiment mit univalenten Reizen der Antwortkonflikt nicht stark genug gewesen sein, damit die Antwortinhibition und dadurch auch die Antwortwiederholungskosten sehr groß wurden. Hier sei wiederum darauf hingewiesen, dass ja auch unter univalenten Reizbedingungen kleine Antwortwiederholungskosten gefunden wurden. Für diese Idee ist ein Vergleich mit den Ergebnissen von Druey und Hübner (2008b) interessant. Sie berichten in einem ähnlichen Paradigma die Kongruenzeffekte und die Antwortwiederholungskosten. Es zeigt sich, dass beide in dem Experiment von Druey und Hübner (2008) größer waren (Kongruenzeffekt: 51 ms bzw. 3.83 %; Antwortwiederholungskosten: 32 ms bzw. 4.86 %) als im vorliegenden Experiment mit univalenten Reizen (Kongruenzeffekt: 29 ms bzw.

1.86 %; Antwortwiederholungskosten: nur in den Fehlerraten signifikant: 2.36 %). Die Unterschiede in der Größe des Kongruenzeffekts und der Antwortwiederholungskosten zwischen den Experimenten sprechen für die Annahme, dass der Antwortkonflikt im vorliegenden Experiment mit univalenten Reizen nicht groß genug war, um große Antwortwiederholungskosten zu finden.

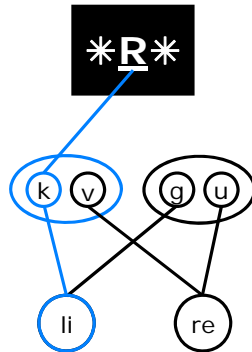
Schließlich ist auch das Verhältnis aus kongruenten und inkongruenten Reizen zu berücksichtigen. In Experiment 1B zeigte sich, dass sich die Kongruenz des aktuellen Reizes auf die Größe der Antwortwiederholungskosten auswirken kann. Bei einer genaueren Betrachtung der Kongruenz zeigt sich, dass die Erhöhung des Risikos einer versehentlichen Antwortwiederholung nach der Erklärung von Hübner und Druery (2006) nur für inkongruente Reize gegeben ist. Abbildung 5 veranschaulicht diesen Zusammenhang: Ist ein Antwortwechsel erforderlich, kann es zu einer fehlerhaften Antwortwiederholung kommen. Im Falle zweier, überlappender Antworten bedeutet eine fehlerhafte Antwortwiederholung, dass die alternative und aktuell inkorrekte Antwort ausgeführt wird. Das heißt, jene Prozesse, welche die aktuell inkorrekte Antwort aktivieren, erhöhen das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung. Bei einem inkongruenten, bivalenten Reiz sollte also das Risiko einerseits durch die residuale Aktivität des vorherigen Durchgangs und andererseits durch die automatische Verarbeitung der irrelevanten Reizeigenschaft erhöht sein. Dagegen sollte bei einem kongruenten, bivalenten Reiz einzig die residuale Aktivität der vorherigen Antwort zu einer Wiederholungstendenz führen. Diese Argumentation trifft aber nicht nur auf bivalente sondern auch auf die hier verwendeten univalenten Reize zu (Abbildung 5, Fall C und D). Anders verhält es sich freilich bei neutralen, univalenten Reizen. Hier gibt es ja keine irrelevante Reizeigenschaft, die mit einer der Antworten assoziiert wäre. Folglich wäre das Risiko in einer bivalenten Reizbedingung nur gegenüber einer neutralen oder kongruenten Reizbedingung erhöht. In Experiment 1A konnten aber dennoch nur sehr kleine Antwortwiederholungskosten gefunden werden. Wie bereits besprochen, kann dies damit begründet werden, dass der Antwortkonflikt nicht groß genug war.

Aufgabe in n – 1: Konsonant/Vokal

Reizsituation:
Zielreiz = „R“

Stimulus-
kategorien:
k = Konsonant
v = Vokal
g = gerade
u = ungerade

Antwort :
li = links
re = rechts



■ Verarbeitung der relevanten Reizeigenschaft
■ Verarbeitung der irrelevanten Reizeigenschaft

Aufgabe in n

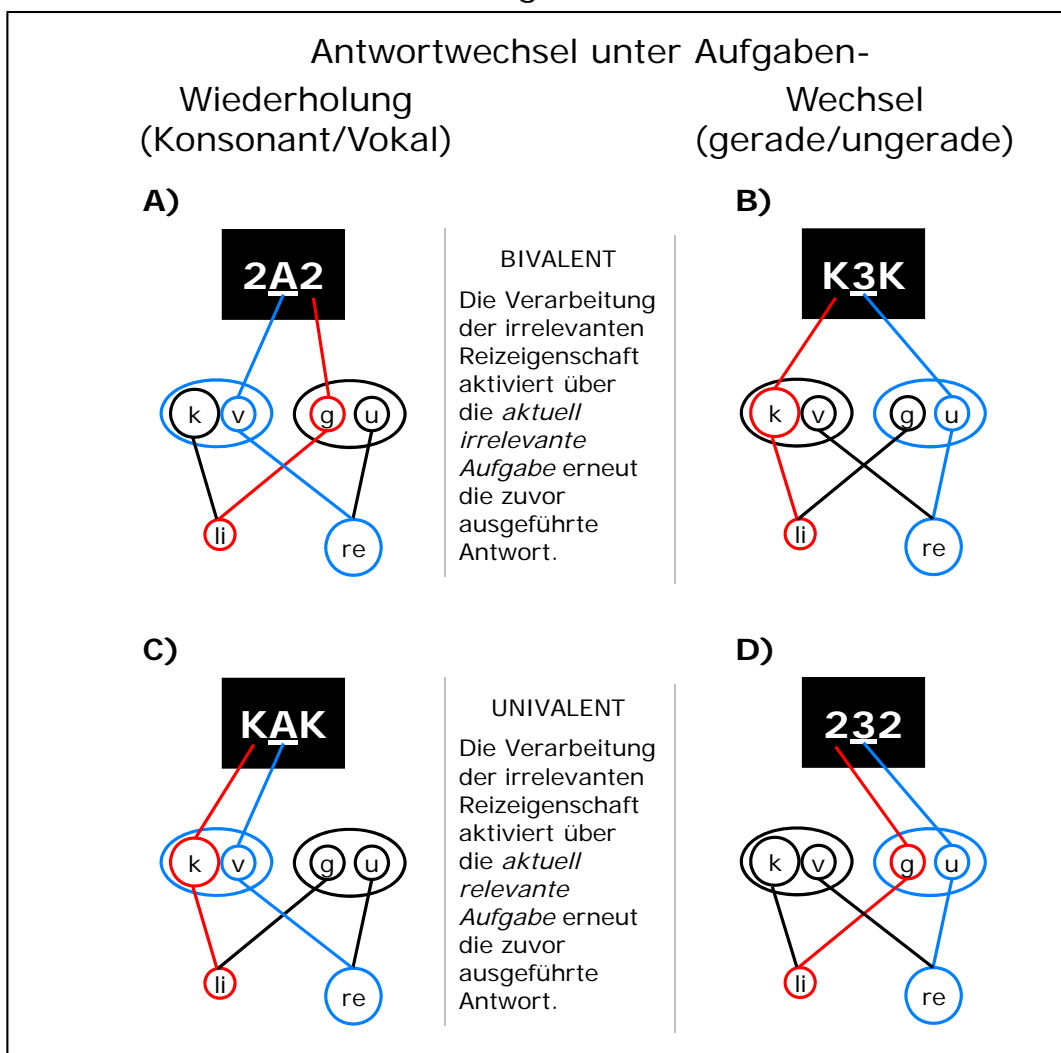


Abbildung 5. Auswirkung der Verarbeitung eines irrelevanten Reizes auf das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung bei korrektem Antwortwechsel. Zur Vereinfachung ist das aufgabenrelevante Reizelement in n immer in der Mitte, flankiert von den irrelevanten Elementen dargestellt. Im Experiment konnten diese Positionen aber auch vertauscht sein. Außerdem gab es den Experimenten 1A und 1B nur Aufgabenwechsel. Weitere Erläuterungen siehe Text.

Obwohl die Ursache der Wechselwirkung zwischen Kongruenz und Antwortwiederholungskosten nicht geklärt ist, so scheint es doch plausibel, dass das Auftreten kongruenter Reize insgesamt das Risiko einer versehentlichen Antwortwiederholung reduziert hat. Dieser Aspekt wird in Studie 2 näher untersucht. Um eventuelle Komplikationen durch die kongruenten Reize zu vermeiden, werden für die weiteren Experimente dieser Studie nur noch inkongruente Reize in S2 verwendet.

5. EXPERIMENT 2A – UNIVALENT

Die bisherigen Experimente konnten nicht den Nachweis liefern, dass allein der Aufgabenkonflikt bzw. die Inhibition der vorangegangenen Aufgabe zur Inhibition der vorherigen Antwort führt. Zwar sprachen die Ergebnisse nicht eindeutig gegen die Bedeutung des Aufgabenkonflikts für die Erhöhung des Perseverationsrisikos unter bivalenten Reizbedingungen – sie sprechen aber eben auch nicht dafür. Daher wurde die gleiche Fragestellung in zwei weiteren Experimenten mit einer veränderten Vorgehensweise weiter untersucht.

Eine Schwierigkeit der Experimente war, dass die irrelevanten Elemente der bivalenten Reize aufgrund der Markierung des relevanten Elements eventuell nicht tief genug verarbeitet wurden, um durch die Aktivierung der falschen Aufgabe (*task-set cueing*) einen ausreichend großen Aufgabenkonflikt bei bivalenten Reizen und um durch die Aktivierung der falschen Antwort einen ausreichend großen Antwortkonflikt bei univalenten Reizen zu verursachen. Daher wurde für die nächsten beiden Experimente eine andere Methode der Markierung verwendet. Anstatt die aufgabenrelevanten Elemente physisch durch Unterstreichung zu markieren, wurde eine symbolische Kenntlichmachung gewählt. Die Schriftfarbe der Reize kodierte, ob der aufgabenrelevante Reiz in der inneren Position oder in den äußeren Positionen stand. Dadurch sollte die Tiefe der Verarbeitung der irrelevanten Elemente zunehmen. Denn jetzt musste zunächst die Farbe enkodiert und dann die entsprechende Zuordnungsregel abgerufen werden. Um den Einfluss der irrelevanten Reize weiter zu erhöhen, wurde der gesamte Reiz an drei verschiedenen Orten präsentiert. Durch die Ortsunsicherheit wurde es für das System erneut schwerer, die relevante Information frühzeitig zu selektieren, da zunächst der Zielreiz an einem von vielen möglichen Orten lokalisiert werden musste.

Eine weitere Veränderung gegenüber den bisherigen Experimenten war, dass Aufgabenwiederholungen eingeführt und die Aufgaben nicht mehr angekündigt wurden. Die Aufgabenwiederholungen boten den Vorteil, das gesamte Muster der Interaktion zwischen Aufgabenabfolge und Antwortabfolge betrachten zu können. Auch war es durch die

Einbeziehung der Aufgabenwiederholungen in beiden Experimenten erforderlich, die Aufgabe und vor allem den Zielreiz über die Farbe bzw. die Position zu erkennen. Denn in den bisherigen Experimenten blieb es unklar, ob die Valenz den erwarteten Einfluss auf die Größe des Aufgabenkonflikts hatte. Zwar wird allgemein davon ausgegangen, dass es unter bivalenten Reizbedingungen zu einem größeren Konflikt als unter univalenten Reizbedingungen kommt (z. B. Rogers & Monsell, 1995), die spezielle Darbietung der Reize (Unterstreichung) ließ es jedoch auch möglich erscheinen, dass die momentan irrelevante Aufgabe durch die bivalenten Reize weniger stark aktiviert wurde als angenommen und der Konflikt leichter gelöst werden konnte.

Schließlich wurden nur inkongruente S2 verwendet obwohl die gefundenen lokalen Effekte der Kongruenz in S2 auf die Antwortwiederholungskosten natürlich sehr interessant sind. Sie werden in Studie 2 näher untersucht. Für die Fragestellung der Studie 1 war allerdings die globale Reizsituation relevant und weniger die lokalen Effekte, weshalb auf kongruente S2 in den Experimentalblöcken verzichtet wurde. Da es dieses Vorgehen aber nicht mehr ermöglichte, den Kongruenzeffekt zu messen und damit die Größe des Antwortkonflikts abzuschätzen, wurden am Ende des Experiments zusätzlich gemischte Blöcke (50 % kongruente, 50 % inkongruente S2) dargeboten.

5.1. METHODE

Versuchsteilnehmer

An dem Experiment nahmen 18 Studenten der Universität Konstanz teil (9 männliche, 9 weibliche; mittleres Alter 22;1 Jahre). Die Teilnehmer wurden zum Teil über eine Datenbank und zum Teil durch persönliches Anwerben auf dem Campus rekrutiert.

Versuchsaufbau und Reizmaterial

Das Experiment wurde zusammen mit dem nächsten Experiment (2B) in Gruppensitzungen von bis zu 10 Teilnehmern durchgeführt. Jeder Arbeitsplatz war durch Sichtschutzwände von den angrenzenden Plätzen abgeschirmt und mit einem IBM-kompatiblen PC ausgestattet, auf dem das Experiment durch die Experimentalsoftware Presentation © gesteuert wurde. Die Reize wurden auf 19-Zoll LCD-Bildschirmen (Dell 1908FP-BLK) mit einer Auflösung von 1280 x 1024 Pixel und einer systemgesteuerten Bildwiederholfrequenz von 60 Hz präsentiert. Der Auge-Monitorabstand betrug ca. 50 cm. Als Antworttasten wurden die linke und rechte Taste einer handelsüblichen Maus verwendet. Die Versuchsteilnehmer bedienten die Tasten mit dem Zeige- und Mit-

telfinger ihrer dominanten Hand. Alle Teilnehmer trugen während des Experiments geschlossene Kopfhörer, über die Feedbacktöne dargeboten wurden. Die Kopfhörer dienten auch zur akustischen Abschirmung.

Wie in den bisherigen Experimenten wurde das Reizmaterial aus einem Buchstaben-set (G, K, M, R, A, E, U, O) und einem Zahlenset (1, 3, 7, 9, 2, 4, 6, 8) gebildet. Ebenfalls wurden wieder zwei Reize (S1 und S2) pro Durchgang auf schwarzem Hintergrund präsentiert. S1 wurde zufällig in jedem Durchgang in weißer Schriftfarbe aus einem Zielreiz (siehe Prozedur) und einem neutralen Reizelement (aus dem Set &, \$, ?, #) gebildet. Der Zielreiz in S1 stand immer in der Mitte des Monitors und war von dem neutralen Symbol links und rechts flankiert. Insgesamt konnten 64 verschiedene S1 auftreten. S2 wurde analog zu Experiment 1A aus einem Zielreiz und einem Ablenkreiz konstruiert, d. h. es gab univalente Reize, die entweder kongruent (z. B. „GMG“) oder inkongruent (z. B. „383“) waren. Im Unterschied zu Experiment 1 war der Zielreiz nicht durch Unterstreichung sondern durch farbliche Hervorhebung kenntlich gemacht. Der gesamte Reiz S2 wurde entweder in roter oder in grüner Farbe dargestellt. Rot bedeutete, dass der Zielreiz in der mittleren Position stand, Grün, dass er in den äußeren Positionen stand. Zusätzlich konnte S2 an drei verschiedenen Orten dargeboten werden. Im mittleren Präsentationsort lag der Zielreiz genau in Bildschirmmitte. Im linken Präsentationsort lag der Zielreiz auf der sonst linken Flankenposition und im rechten Präsentationsort entsprechend auf der sonst rechten Flankenposition (vgl. Abbildung 6). Die Reize hatten einen visuellen Winkel von ca. 4.9° (4.3 cm) in der Breite und ca. 1.7° (1.5 cm) in der Höhe (leicht unterschiedlich für die verschiedenen Buchstaben und Zahlen). Der visuelle Winkel für die Ortsverschiebung nach links oder rechts betrug ca. 1.8° (1.6 cm; gemessen von Mitte zu Mitte der Reizorte). Insgesamt ergaben sich so 128 kongruente und 128 inkongruente S2, die an drei verschiedenen Orten dargeboten werden konnten.

Vorgehen/Prozedur

Die Teilnehmer wechselten zwischen einem Konsonant/Vokal-Urteil und einem gerade/ungerade-Urteil. Wie in allen Experimenten waren die Kategorien „Konsonant“ und „gerade“ der linken Maustaste zugeordnet und die Kategorien „Vokal“ und „ungerade“ der rechten. Jeder Durchgang startete mit einem Fixationskreuz in der Mitte des Monitors für 800 ms und anschließend einem leeren Bildschirm für 200 ms. Danach wurde S1 und nach weiteren 1500 ms wurde S2 dargeboten. Die Reize wurden jeweils bis zur Reaktion dargeboten – S1 maximal bis zum Erscheinen von S2. Für falsche Reaktionen wurde ein akustisches Feedback gegeben. Der nächste Durchgang startete 1000 ms nach der zweiten Antwort.

5.2. ERGEBNISSE

Die ersten beiden Blöcke wurden als Übungsblöcke betrachtet und nicht ausgewertet. Zur Überprüfung der Antwortwiederholungseffekte wurden die restlichen sechs 100 % inkongruenten Blöcke analysiert. Dazu wurden zweifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung auf den Faktoren *Aufgabenabfolge* (Aufgabenwiederholung vs. Aufgabenwechsel) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) für den Median der Reaktionszeiten korrekt beantworteter Durchgänge und für die Fehlerraten der Antworten auf S2 berechnet. Die Datensätze von zwei Versuchspersonen wurden bei der Analyse nicht berücksichtigt, da jeweils in mindestens einer Bedingung die Fehlerrate über 35 % lag.

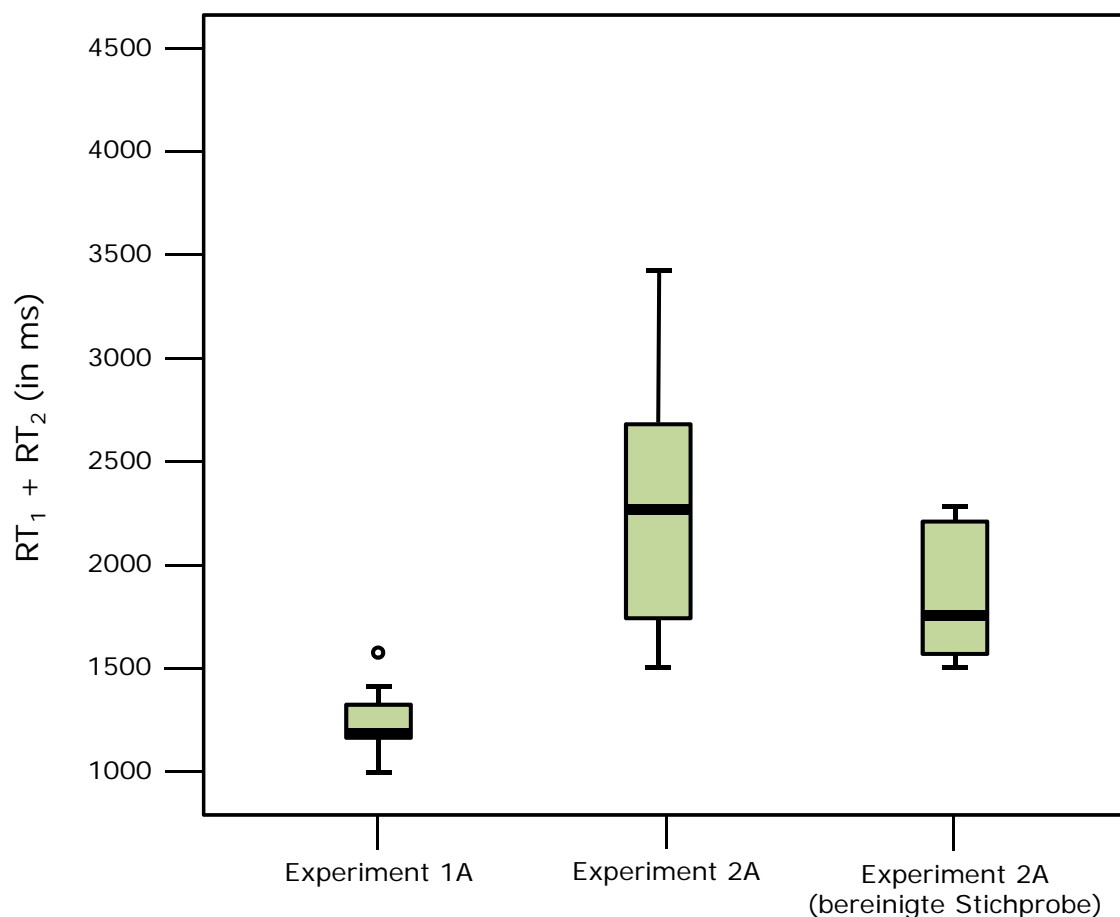


Abbildung 7. Verteilung der Summe der Reaktionszeiten auf S1 und S2 für die Experimente mit univalenten Reizbedingungen.

Auffallend waren die großen Leistungsunterschiede in der Stichprobe. In Abbildung 7 ist die Verteilung der Summe aus den Reaktionszeiten auf S1 und S2 ($RT_1 + RT_2$) dargestellt. Dieses Leistungsmaß reicht von 1384 ms bis 3860 ms. Die langsamsten Versuchspersonen haben also im Mittel fast 2 Sekunden für die Beantwortung der Aufgaben gebraucht. Die Spanne für die Reaktionszeiten auf S2 in der Stichprobe reichte von 876 ms

bis 1927 *ms* (Mittelwert: 1345 *ms*, Standardabweichung: 297 *ms*). Die Fehlerverteilung erstreckte sich von 1.04 % bis 12.81 % (Mittelwert: 6.68 %, Standardabweichung: 3.32 %). Verglichen mit Experiment 1A (Bereich für RT1 + RT2: 1002 *ms* bis 1572 *ms*) sind diese Werte sehr hoch. Allerdings war auch mit einer deutlichen Zunahme der Reaktionszeiten zu rechnen, da das Experiment sehr viel schwieriger war: Die Aufgaben wurden nicht mehr vorangekündigt (das CSI war sozusagen Null), die relative Position des Zielreizes musste über eine symbolische Regel gefunden werden und der Ort des Gesamtreizes variierte. Entsprechend finden sich auch in anderen Aufgabenwechselstudien mit sehr kurzem CSI Reaktionszeiten von über einer Sekunde (z. B. E. M. Altmann, 2004; Koch, 2001).

Allerdings könnte die starke Streuung der Reaktionszeiten auch andere Ursachen als die Aufgabenschwierigkeit gehabt haben. Es ist denkbar, dass sich die schnellen von den langsamen Versuchspersonen in bestimmten Merkmalen unterschieden, etwa der Art wie die Aufgaben repräsentiert wurden. Auch ist es nicht völlig auszuschließen, dass die Leistungsmotivation in der Stichprobe schwankte. Experiment 2A und 2B waren die ersten, die in einem neuen Großraumlabor durchgeführt wurden. Im Unterschied zum Ablauf der anderen hier berichteten Experimente 1A und 1B und konnte der Versuchsleiter hier nicht individuell die Leistung der Versuchsteilnehmer kontrollieren. Um diese potentiellen Störeffekte zu kontrollieren, wurde ein Mediansplit anhand des Summenmaßes durchgeführt. Die schnellere Hälfte der Stichprobe wird hier „bereinigte Stichprobe“ genannt. Innerhalb der bereinigten Stichprobe sollten solche Störeinflüsse minimiert sein. Die Spanne für die Reaktionen auf S2 in der bereinigten Stichprobe betrug 876 *ms* bis 1544 *ms* (Mittelwert: 1173 *ms*, Standardabweichung: 235 *ms*). Die Fehlerverteilung reichte von 2.97 % bis 12.81 % (Mittelwert: 7.07 %, Standardabweichung: 3.17 %). Für die langsamere Stichprobenhälfte betrug diese Eckdaten 1367 *ms* bis 1927 *ms* für die Reaktion auf S2 (Mittelwert: 1567 *ms*, Standardabweichung: 213 *ms*). Die Fehlerverteilung reichte von 1.04 % bis 10.33 % (Mittelwert: 6.19 %, Standardabweichung: 3.69 %).¹⁰

Alle Analysen wurden sowohl für die gesamte als auch die bereinigte Stichprobe berechnet. Immer wenn die beiden Analysen qualitativ unterschiedliche Ergebnisse lieferten, werden im Folgenden beide Ergebnisse berichtet. Ansonsten wird nur das Ergebnis für die gesamte Stichprobe aufgeführt. Auf eventuelle Probleme bei der Interpretation der Ergebnisse, die sich durch die ungewöhnliche Leistungsverteilung in der Stichprobe

¹⁰ Zwischen den Teilstichproben gab es keinen bedeutenden Geschwindigkeits-Genauigkeits-Austausch (*speed-accuracy trade-off*). Zwar wurden in der schnelleren Hälfte der Stichprobe geringfügig mehr Fehler (0.88 %) bei der Beantwortung von S2 gemacht als in der langsameren Hälfte, jedoch ist dieser Unterschied statistisch nicht signifikant ($F(1,15) < 1$).

ergeben könnten, wird in Abschnitt 0 bei der Diskussion beider Experimente (2A und 2B) eingegangen.¹¹

Reaktionszeiten

Die beiden Haupteffekte *Aufgabenabfolge* ($F(1,15) = 26.3, p < .001$) und *Antwortabfolge* ($F(1,15) = 5.37, p < .05$) waren in den Reaktionszeiten signifikant. Aufgabenwiederholungen (1295 ms) wurden schneller beantwortet als Aufgabenwechsel (1396 ms). Die Aufgabenwechselkosten waren in der bereinigten Stichprobe auch reliabel aber kleiner (63 ms). Auch fanden sich Kosten einer Antwortwiederholung (1364 ms vs. 1327 ms). Die Interaktion der beiden Faktoren war nicht signifikant, $F(1,15) = 1.14$. Zwar zeigten sich numerisch kleinere Antwortwiederholungskosten bei einer Aufgabenwiederholung (18 ms) als bei einem Aufgabenwechsel (56 ms), dieser Effekt war aber auch in der bereinigten Stichprobe nicht signifikant (35 ms vs. 50 ms; $F(1,8) < 1$).

Fehlerraten

In den Fehlerraten waren ebenfalls die Haupteffekte *Aufgabenabfolge* ($F(1,15) = 20.7, p < .001$) und *Antwortabfolge* ($F(1,15) = 13.8, p < .01$) signifikant. Unter Aufgabenwiederholung (4.77 %) waren die Antworten genauer als unter Aufgabenwechsel (8.60 %). Auch zeigten sich wie in den Reaktionszeiten Kosten einer Antwortwiederholung (8.17 % vs. 5.20 %). Die Interaktion *Aufgabenabfolge* × *Antwortabfolge* war nicht signifikant, $F(1,15) = 1.14$ (bereinigte Stichprobe: $F(1,8) < 1$).

Kongruenzeffekt

Zur Überprüfung des Kongruenzeffekts wurden für die letzten zwei gemischten Blöcke einfaktorielles ANOVAs mit Messwiederholung des Faktors *Kongruenz* (kongruent vs. inkongruent) berechnet. Sowohl in den Reaktionszeiten ($F(1,15) = 29.8, p < .001$) als auch in den Fehlerraten ($F(1,15) = 19.1, p < .01$) fand sich ein reliabler Kongruenzeffekt. Auf kongruente S2 wurde 277 ms schneller geantwortet als auf inkongruente S2

¹¹ Diese Vorgehensweise mag naiv wirken, da nach einem Mediansplit der Stichprobe die allgemeine Reaktionsgeschwindigkeit (RT1 + RT2) auch als zweistufiger Faktor (schnellere Hälfte vs. langsamere Hälfte) in die Analyse mit einbezogen werden könnte. Alternativ könnte man auch die allgemeine Reaktionsgeschwindigkeit als kardinal skalierte Kovariate bei der Analyse berücksichtigen. Der simple Vergleich der Analysen sollte aber für die vorliegende Fragestellung genügen. Für eine gezielte Betrachtung von Effekten der allgemeinen Verarbeitungsgeschwindigkeit war die Stichprobe ohnehin deutlich zu klein. Außerdem war dies keine originäre Fragestellung des Experiments. Sollten sich unterschiedliche Ergebnisse der beiden Analysen zeigen, ist dies für die vorliegende Fragestellung zur Bedeutung der Valenz bzw. des Aufgabenkonflikts nur insofern relevant, als dass Unterschiede zwischen Experiment 2A und 2B äußerst vorsichtig zu interpretieren sind.

(1050 *ms* vs. 1327 *ms*). Entsprechend lag die Fehlerrate bei kongruenten S2 (6.61 %) gegenüber inkongruenten S2 (12.6 %) um 5.99 % niedriger.

5.3. DISKUSSION

Die Analyse der gesamten Stichprobe und die Analyse der bereinigten Stichprobe (der schnelleren Hälfte der Versuchspersonen) lieferten alles in allem das gleiche Datenmuster. Einzig die Aufgabenwechselkosten waren in der bereinigten Stichprobe deutlich kleiner. Ein Vergleich der schnellen Hälfte mit der langsamen Hälfte der Stichprobe bestätigt dies. Während die Aufgabenwechselkosten in der schnellen Hälfte 63 *ms* betragen waren es in der langsamen Hälfte 150 *ms* ($F(1,14) = 6.52, p < .05$). Dieser Befund erweitert bisherige Ergebnisse. Bei der Analyse von Reaktionszeitverteilungen innerhalb einer Versuchsperson werden zunehmende Aufgabenwechselkosten in den längeren Reaktionszeiten gefunden (z. B. Steinhauser & Hübner, 2008). Die große Varianz der Reaktionszeiten in der Stichprobe wirkte sich also nicht qualitativ auf die Ergebnisse aus. Insofern ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse trotz der starken Leistungsschwankungen in der Stichprobe verlässlich sind.

Die methodischen Veränderungen gegenüber Experiment 1A und 1B waren insofern erfolgreich, als dass sich ein sehr großer Kongruenzeffekt vor allem in den Reaktionszeiten zeigte. Die Größe des Kongruenzeffekts spricht dafür, dass die irrelevante Reizinformation tief verarbeitet wurde. Durch die Notwendigkeit, zunächst über die Farbe das aufgabenrelevante Reizelement zu bestimmen und durch die zusätzliche Variabilität des Präsentationsortes, dauerte es länger bis die relevante Information selektiert bzw. die irrelevante Information ausgefiltert werden konnte. Das heißt, es ist von einem großen Antwortkonflikt auszugehen, der sich in der starken Interferenz bei der Antwortselektion zeigte.

Allerdings fanden sich nun auch deutlich größere Antwortwiederholungskosten als in Experiment 1A. Eine Überlegung, um die klassische Sichtweise der Wichtigkeit des Risikos einer Antwortperseveration für das Ausmaß der Antwortinhibition zu retten, war ja, dass in Experiment 1A durch die frühe Selektion der relevanten Reizinformation der Antwortkonflikt nicht groß genug war, um reliable Antwortwiederholungskosten zu finden. Demnach sprechen die Ergebnisse also zunächst für die Vermutung, dass die geringen Antwortwiederholungskosten in Experiment 1A nicht auf die univalenten Reizeigenschaften (sprich den geringen Aufgabenkonflikt) sondern auf die methodische Vorgehensweise, also der physischen Markierung des Zielreizes und den dadurch moderaten Antwortkonflikt, zurückzuführen sind. So sprechen die Befunde beider Experimente ge-

gen die Bedeutung des Aufgabenkonflikts beim Auftreten der Antwortinhibition. Darüber hinaus sind die Ergebnisse mit der Sichtweise vereinbar, dass die Größe des Antwortkonflikts entscheidend für die Stärke der Antwortinhibition ist. Allerdings muss der Antwortkonflikt substantiell sein, da die Inhibition der Antwort sonst sehr klein ist (vgl. Experiment 1A).

Ein weiteres interessantes Ergebnis ist, dass im Unterschied zu den meisten Befunden in der Literatur (z. B. Druey & Hübner, 2008b; R. Hübner & Druey, 2006; Meiran, 2000b; Rogers & Monsell, 1995) keine Interaktion zwischen Aufgabenabfolge und Antwortabfolge gefunden wurde. Üblicherweise werden Vorteile (bzw. kleinere Kosten) einer Antwortwiederholung unter Aufgabenwiederholung und Kosten (bzw. größere Kosten) unter Aufgabenwechsel beobachtet. Wie kann es also zu globalen Kosten einer Antwortwiederholung kommen? Diese Frage wird in der Diskussion beider Experimente (7.2) wieder aufgenommen.

6. EXPERIMENT 2B – BIVALENT

Experiment 2B wurde wiederum parallel zu Experiment 2A designt. Die einzige Veränderung war, dass statt der univalenten Reize nun bivalente Reize unter Verwendung beider Materialsets konstruiert wurden. Aufgrund der automatischen Aktivierung des alternativen Aufgabensets (*task-set cueing*) durch das irrelevante Reizelement sollte der Aufgabenkonflikt stark erhöht sein. Da nun die relevante Reizinformation mit Hilfe des Reizmaterials besser selektiert werden konnte, war die erste Vorhersage, dass der Kongruenzeffekt deutlich kleiner als in Experiment 2A ausfallen sollte. Zweitens war die Frage, ob die Antwortwiederholungskosten größer oder kleiner als in Experiment 2A sein würden. Unter der Erfüllung der ersten Vorhersage (kleinerer Kongruenzeffekt) würden größere Antwortwiederholungskosten für die Bedeutung des Aufgabenkonflikts bzw. kleinere Kosten für die Bedeutung des Antwortkonflikts bei der Antwortinhibition sprechen. Die Ergebnisse der bisherigen Experimente legten eine größere Bedeutung des Antwortkonflikts für die Antwortinhibition nahe. Daher war zu erwarten, dass die Antwortwiederholungseffekte abnehmen werden.

6.1. METHODE

Versuchsteilnehmer

Teilnehmer des Experiments waren 19 Studenten der Universität Konstanz (10 männliche, 9 weibliche; mittleres Alter 22;9 Jahre). Die Versuchspersonen wurden zusammen

mit den Teilnehmern des vorherigen Experiments über eine Datenbank und durch persönliches Anwerben auf dem Campus rekrutiert.

Reizmaterial und Prozedur

Reizmaterial und Prozedur waren identisch zu Experiment 2A, nur dass bivalente Reize, die Reizelemente aus beiden Materialsets beinhalteten (z. B. „8K8“), in S2 verwendet wurden.

6.2. ERGEBNISSE

Wiederum wurden die ersten zwei Übungsblöcke für die Analyse nicht berücksichtigt. Für den Median der Reaktionszeiten korrekt beantworteter Durchgänge und für die Fehlerraten der Antworten auf S2 aus den restlichen sechs 100 % inkongruenten Blöcken wurden zweifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung auf den Faktoren *Aufgabenabfolge* (Aufgabenwiederholung vs. Aufgabenwechsel) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) berechnet. Eine Versuchsperson wurde von der Analyse aufgrund einer Fehlerrate von über 35 % in mindestens einer Bedingung ausgeschlossen.

Wie schon bei Experiment 2A zeigte sich eine ungewöhnlich breite Streuung der Leistung in der Stichprobe. Die Spannweite der Reaktionszeiten auf S2 in der Stichprobe reichte von 750 *ms* bis 2306 *ms* (Mittelwert: 1363 *ms*, Standardabweichung: 415 *ms*). Die Fehlerverteilung ging vom Minimum 2.37 % bis zum Maximum 15.38 % (Mittelwert: 7.63 %, Standardabweichung: 3.94 %). Da die beiden Experimente parallel durchgeführt wurden, sprechen die gleichen Gründe wie bei der Analyse von Experiment 2A für eine zusätzliche Analyse der schnelleren Hälfte der Stichprobe (bereinigte Stichprobe). Die Spannweite der Reaktionszeitmittelwerte auf S2 umfasste in der bereinigten Stichprobe 750 *ms* bis 1155 *ms* (Mittelwert: 1030 *ms*, Standardabweichung: 140 *ms*). Die Spannweite der Fehler betrug 2.37 % bis 10.78 % (Mittelwert: 8.20 %, Standardabweichung: 3.28 %). Für die langsamere Stichprobenhälfte betragen diese Eckdaten 1222 *ms* bis 2306 *ms* für die Reaktion auf S2 (Mittelwert: 1696 *ms*, Standardabweichung: 312 *ms*). Die Fehlerverteilung ging von 2.61 % bis 15.38 % (Mittelwert: 7.07 %, Standardabweichung: 4.63 %).¹² Wie zuvor werden Ergebnisse für die bereinigte Stichprobe nur berichtet, wenn sie sich qualitativ von denen der Gesamtstichprobe unterscheiden.

¹² Wie in Experiment 2A zeigte sich zwischen den Teilstichproben kein bedeutender Geschwindigkeits-Genauigkeits-Austausch (*speed-accuracy trade-off*), $F(1,17) < 1$.

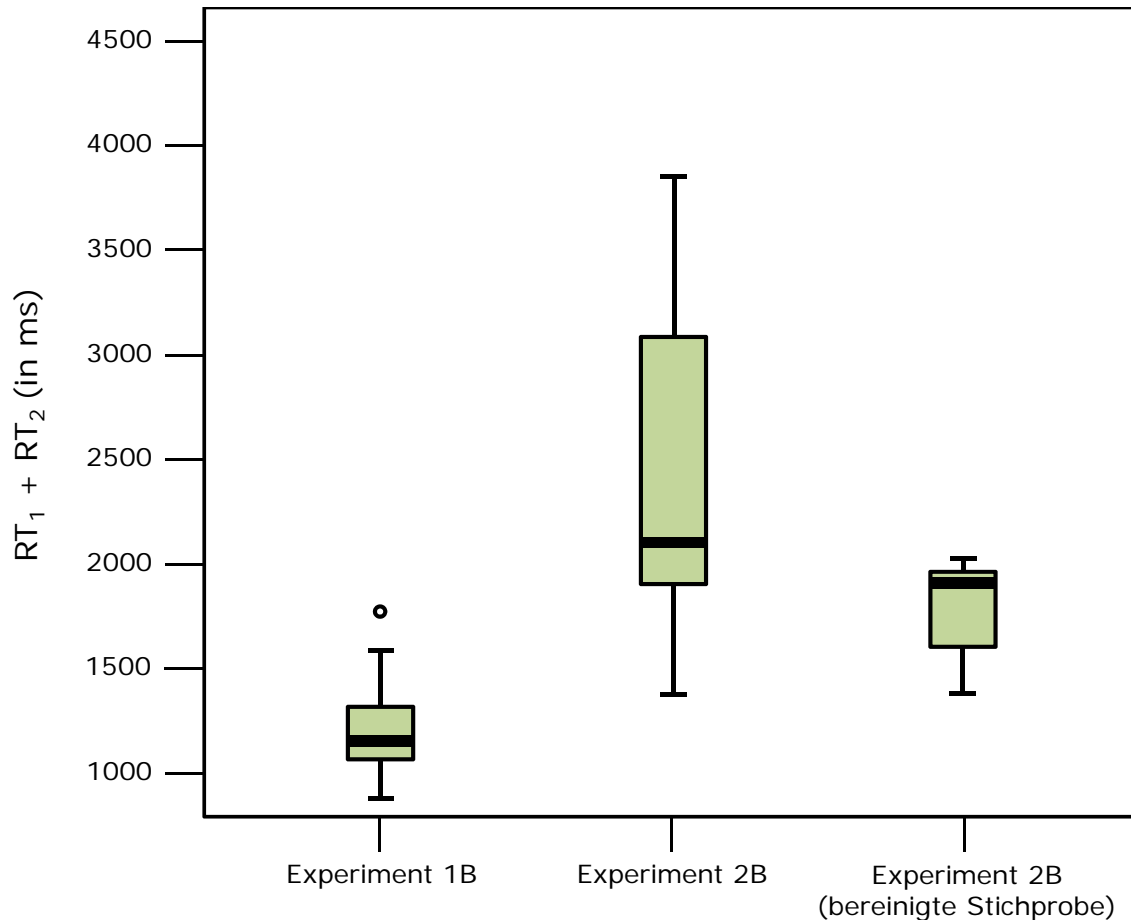


Abbildung 8. Verteilung der Summe der Reaktionszeiten auf S1 und S2 für die Experimente mit bivalenten Reizbedingungen.

Reaktionszeiten

Aufgabenwechsel (1385 ms) führten gegenüber Aufgabenwiederholungen (1341 ms) zu Kosten. Wiederum war dieser Effekt in der gesamten Stichprobe (44 ms , $F(1,17) = 5.41$, $p < .05$) größer als in der bereinigten Stichprobe (21 ms , $F(1,8) = 3.22$, $p = .11$). In der gesamten Stichprobe fanden sich signifikante Antwortwiederholungskosten (20 ms ; $F(1,17) = 4.04$, $p < .05$). Bei Antwortwiederholungen (1373 ms) wurde im Mittel langsamer geantwortet als bei Antwortwechseln (1353 ms). Für die bereinigte Stichprobe gerechnet zeigten sich dagegen keine Antwortwiederholungskosten (-4 ms ; 1028 ms vs. 1032 ms ; $F(1,8) < 1$). Eine Interaktion der beiden Faktoren zeigte sich ebenfalls nur in der gesamten Stichprobe signifikant, $F(1,17) = 4.96$, $p < .05$ (bereinigte Stichprobe: $F(1,8) < 1$). Es fand sich das typische Muster aus Vorteilen einer Antwortwiederholung unter Aufgabenwiederholung (-14 ms) und Kosten unter Aufgabenwechsel (55 ms).

Fehlerraten

In den Fehlerraten war der Haupteffekt *Aufgabenabfolge* nicht signifikant, $F(1,17) < 1$ (bereinigte Stichprobe: $F(1,8) < 2.90$, $p = .13$). Der Haupteffekt des Faktors *Antwortabfolge* zeigte sich hingegen signifikant ($F(1,17) = 20.6$, $p < .001$). Wiederholte sich die Antwort kam es zu mehr Fehlern (9.35 %) als wenn die Antwort wechselte (5.92 %). Dieser Effekt war charakterisiert durch eine marginal signifikante Interaktion mit dem Faktor *Aufgabenabfolge*, $F(1,17) = 2.82$, $p = .11$ (bereinigte Stichprobe: $F(1,8) < 3.72$, $p = .09$). Unter Aufgabenwiederholung waren die Antwortwiederholungskosten (2.21 %; 8.54 % vs. 6.33 %) tendenziell kleiner als unter Aufgabenwechsel (4.69 %; 10.16 % vs. 5.51 %).

Kongruenzeffekt

Zur Überprüfung des Kongruenzeffekts wurden wiederum für die letzten zwei gemischten Blöcke einfaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung des Faktors *Kongruenz* (kongruent vs. inkongruent) berechnet. Im Unterschied zu Experiment 2A fand sich in den Reaktionszeiten ($F(1,17) < 1$) kein reliabler Kongruenzeffekt. In den Fehlerraten war dieser jedoch signifikant, $F(1,17) = 12.0$, $p < .05$. Bei kongruentem S2 wurden 4.79 % mehr Fehler gemacht als bei inkongruentem S2 (5.31 % vs. 10.1 %).

6.3. DISKUSSION

Wie erwartet war der Kongruenzeffekt nur schwach ausgeprägt. Einzig in den Fehlerraten fand sich ein signifikanter Kongruenzeffekt. Dies entspricht der Vorhersage, dass die Möglichkeit, über das Reizmaterial die relevante Reizinformation (den Zielreiz) zu selektieren bzw. die irrelevante Reizinformation (den Ablenkreiz) heraus zu filtern, zu einer Reduktion des Kongruenzeffekts führt. Auch stimmt der schwache Kongruenzeffekt mit den Ergebnissen aus Experiment 1B überein. Dort wurde ebenfalls unter bivalenten Reizbedingungen nur ein kleiner Kongruenzeffekt gefunden.

Aufgabenwechselkosten zeigten sich nur in den Reaktionszeiten. Wie schon in Experiment 2A waren die Aufgabenwechselkosten in der schnelleren Stichprobenhälfte kleiner. Auch bei den Antwortwiederholungseffekten fanden sich in den Reaktionszeiten teilweise unterschiedliche Ergebnisse für die gesamte und die bereinigte Stichprobe. Bei der Analyse der Daten der gesamten Stichprobe zeigte sich das klassische Muster aus Antwortwiederholungsvorteilen unter Aufgabenwiederholung und Antwortwiederholungskosten unter Aufgabenwechsel. In der bereinigten Stichprobe gab es hingegen keine signifikanten Effekte einer Antwortwiederholung. Eindeutiger war das Bild in den Feh-

lerraten. Hier zeigten sich unabhängig von der analysierten Stichprobe Kosten einer Antwortwiederholung. Diese waren abermals unter Aufgabenwiederholung kleiner als unter Aufgabenwechsel.

Insgesamt zeigten sich die Effekte (insbesondere die Antwortwiederholungseffekte) im Vergleich zu Experiment 2A weniger stabil über die beiden Teilstichproben. Interessant war dabei, dass sich in der schnelleren Stichprobenhälfte zumindest in den Reaktionszeiten kein Einfluss der Aufgabenabfolge auf die Antwortwiederholungskosten zeigte. Nach dem Zwei-Prozess-Modell würde dies bedeuten, dass die Vorteile bei einer Aufgabenwiederholung durch die Wiederholung der S-R Regel bzw. durch die Bahnung der Stimuluskategorie sehr gering waren. Denn die Antwortinhibition wirkt wechselunspezifisch, d. h. sie beeinflusst die Antwortwiederholungskosten im Aufgabenwechselfall genauso wie im Aufgabenwiederholungsfall. Diese Annahme des Modells konnte kürzlich in LRP-Experimenten bestätigt werden (Steinhauser, et al., 2009). Da die Antwortinhibition unspezifisch wirkt, kommt die Interaktion zwischen Aufgabenabfolge und Antwortabfolge nur durch die wiederholungsspezifischen Vorteile zustande. Folglich lässt sich von der Größe der Interaktion auf die Stärke der Wiederholungsvorteile schließen. Es scheint jedoch kontraintuitiv, dass die Vorteile durch die Wiederholung der S-R Regel bzw. durch die Bahnung der Stimuluskategorie ausgerechnet in der schnelleren Hälfte der Probanden geringer ausfallen sollte. Zukünftigen Studien sollten dies näher untersuchen und überprüfen, ob z. B. unterschiedliche Verarbeitungsstrategien der schnellen und langsamen Probanden ursächlich sind. Für die vorliegende Fragestellung war dies jedoch nicht entscheidend. Denn auch die schnellere Stichprobenhälfte zeigte in den Fehlerraten die klassische Wechselwirkung zwischen Aufgabenabfolge und Antwortabfolge zumindest tendenziell. Deshalb ist durchaus davon auszugehen, dass die Antwortwiederholungseffekte in der gesamten Stichprobe ein reliables Maß für die Stärke der Antwortinhibition sind.

Insgesamt scheinen die Resultate, gegen eine dominante Rolle des Aufgabenkonflikts für die Stärke der Antwortinhibition zu sprechen. Um den Einfluss des Antwortkonflikts (Kongruenzeffekt) und des Aufgabenkonflikts (Valenz) genauer zu untersuchen, werden im nächsten Abschnitt die Ergebnisse von Experiment 2A und 2B statistisch verglichen.

7. VERGLEICH VON EXPERIMENT 2A UND 2B

7.1. ERGEBNISSE

Für den Vergleich der Experimente 2A (univalent) und 2B (bivalent) wurden dreifaktorielle ANOVAs mit dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Valenz* (univalent vs. bivalent) und mit Messwiederholung der Faktoren *Aufgabenabfolge* (Aufgabenwiederholung vs. Aufgabenwechsel) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) berechnet. Zur Untersuchung des Kongruenzeffekts wurde eine weitere ANOVA mit Messwiederholung auf dem Faktor *Kongruenz* (kongruent vs. inkongruent) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Valenz* (univalent vs. bivalent) durchgeführt. Wie schon bei der Analyse der einzelnen Experimente beziehen sich die Ergebnisse auf die gesamte Stichprobe. Falls die Ergebnisse der bereinigten Stichprobe davon qualitativ abweichen, werden sie ebenfalls aufgeführt.

In Tabelle 1 sind die Aufgabenwechselkosten, die Antwortwiederholungskosten und sowie der Kongruenzeffekt für die beiden Experimente gegenüber gestellt.

Reaktionszeiten

Statistisch gab es keinen signifikanten Unterschied in der mittleren Reaktionszeit (1354 ms) der beiden Experimente, $F(1,32) < 1$ (bereinigte Stichprobe: $F(1,16) = 2.48$, $p = .14$). Signifikant waren hingegen die Haupteffekte *Aufgabenabfolge* ($F(1,32) = 28.1$, $p < .001$) und *Antwortabfolge* ($F(1,32) = 9.62$, $p < .01$). Insgesamt wurden Aufgabenwiederholungen (1318 ms) schneller bearbeitet als Aufgabenwechsel (1391 ms). Auch zeigten sich Kosten einer Antwortwiederholung (1369 ms) gegenüber einem Wechsel der Antwort (1340 ms). In der Analyse der Daten der gesamten Stichprobe war die Interaktion der beiden Faktoren ebenfalls signifikant, $F(1,32) = 5.16$, $p < .05$. Es gab praktisch keine Kosten einer Antwortwiederholung wenn sich gleichzeitig die Aufgabe wiederholte (2 ms), wohl aber wenn die Aufgabe wechselte (55 ms). In der bereinigten Stichprobe war dieser Zusammenhang allerdings nicht vorhanden, $F(1,16) < 1$. Am wichtigsten waren eventuelle Gruppenunterschiede. Die Interaktion *Valenz* × *Aufgabenabfolge* zeigte sich in der gesamten ($F(1,32) = 4.31$, $p < .05$) signifikant und in der bereinigten Stichprobe als Trend ($F(1,16) = 3.37$, $p < .10$). Interessanterweise war der Unterschied in den Aufgabenwechselkosten anders als erwartet: Die Wechselkosten waren unter univalenten Reizbedingungen größer (101 ms) als unter bivalenten Reizbedingungen (44 ms). Die Interaktion der Faktoren *Valenz* und *Antwortabfolge* war in der gesamten Stichprobe nicht signifikant, $F(1,32) < 1$. Das Datenmuster mit größeren Antwortwiederholungskos-

ten unter univalenten (20 ms) als unter bivalenten Reizbedingungen (37 ms) entsprach aber dem der bereinigten Stichprobe. Dort fanden sich unter bivalenten Reizbedingungen keine Antwortwiederholungskosten (numerisch sogar Vorteile: -4 ms), während unter univalenten Reizbedingungen Kosten (42 ms) beobachtet wurden, $F(1,16) = 7.68$, $p < .05$. Die Dreifach-Interaktion *Valenz* × *Aufgabenabfolge* × *Antwortabfolge* war nicht signifikant, $F(1,32) < 1$.

Effekt			Reizbedingung		
			univalent	bivalent	
Aufgabenabfolge	Wiederholung (TR)	RT	1295	1341	
		ERR	4.77	7.43	
	Wechsel (TS)	RT	1396	1385	
		ERR	8.60	7.84	
	Wechselkosten		RT	101	44
	(TS – TR)		ERR	3.83	0.40
Antwortabfolge	Wiederholung (RR)	RT	1364	1373	
		ERR	8.17	9.35	
	Wechsel (RS)	RT	1327	1353	
		ERR	5.20	5.92	
	Wiederholungskosten		RT	37	20
	(RR – RS)		ERR	2.97	3.43
Antwortwiederholungskosten (RR – RS)	bei Aufgabenwiederholung	RT	18	-14	
		ERR	2.44	2.21	
	bei Aufgabenwechsel	RT	56	55	
		ERR	3.49	4.69	
	Kongruenz	kongruent	RT	1050	1227
			ERR	6.61	5.31
inkongruent		RT	1327	1200	
		ERR	12.6	10.1	
Kongruenzeffekt		RT	277	- 27	
(ink. – kon.)		ERR	5.99	4.79	

Tabelle 1. Vergleich der Experimente 2A (univalent) und 2B (bivalent). TR: Aufgabenwiederholung, TS: Aufgabenwechsel, RR: Antwortwiederholung, RS: Antwortwechsel, RT: Reaktionszeit in Millisekunden, ERR: Fehlerrate in Prozent.

Bei der Analyse des Kongruenzeffekts zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt, $F(1,32) = 19.6$, $p < .001$. Noch wichtiger ist jedoch, dass auch die Interaktion zwischen *Valenz* und *Kongruenz* signifikant war, $F(1,32) = 28.9$, $p < .001$. Während sich im Experiment mit univalenten Reizen ein deutlicher Kongruenzeffekt zeigte (277 ms), gab es in dem Experiment mit bivalenten Reizen keinen statistisch bedeutsamen Unterschied zwischen den Reaktionszeiten auf kongruente und inkongruente Reize.

Fehlerraten

In den globalen Fehlerraten gab es zwischen den Experimenten keinen Unterschied (7.16 %), $F(1,32) < 1$. Die Haupteffekte der Faktoren *Aufgabenabfolge* ($F(1,32) = 14.7$, $p < .01$) und *Antwortabfolge* ($F(1,32) = 33.8$, $p < .001$) waren hingegen signifikant. Bei Aufgabenwiederholungen (6.10 %) wurde genauer geantwortet als bei Aufgabenwechseln (8.22 %). Außerdem wurden bei Antwortwiederholungen (8.76 %) mehr Fehler gemacht als bei Antwortwechseln (5.56 %). Die Interaktion *Aufgabenabfolge* \times *Antwortabfolge* war marginal signifikant, $F(1,32) = 3.51$, $p < .10$. Tendenziell waren die Antwortwiederholungskosten unter Aufgabenwiederholung (2.32 %) kleiner als unter Aufgabenwechsel (4.11 %). Von den relevanten Interaktionen mit dem Faktor *Valenz* zeigte sich nur die Wechselwirkung mit dem Faktor *Aufgabenabfolge* signifikant, $F(1,32) = 9.61$, $p < .01$. Wie auch in den Reaktionszeiten waren die Aufgabenwechselkosten unter univalenten Reizbedingungen (3.84 %) größer als unter bivalenten Reizbedingungen (0.40 %). Dieses Muster fand sich auch in der bereinigten Stichprobe (3.94 % vs. 1.72 %), war dort aber nicht signifikant ($F(1,16) = 2.14$, $p = .16$).

Die Auswertung des Kongruenzeffekts ergab einen signifikanten Haupteffekt, $F(1,32) = 30.5$, $p < .001$. Die Interaktion zwischen *Valenz* und *Kongruenz* war allerdings nicht signifikant, $F(1,32) < 1$. Im Mittel wurden in beiden Experimenten bei kongruentem S2 (5.96 %) weniger Fehler gemacht als bei inkongruentem S2 (11.4 %).

7.2. DISKUSSION

Die Experimente 2A und 2B untersuchten erneut die Rolle des Aufgabenkonflikts für die Größe der Antwortwiederholungskosten. Dazu wurden die Größe des Aufgabenkonflikts und die Größe des Antwortkonflikts so manipuliert, dass in Experiment 2A der Aufgabenkonflikt klein war aber der Antwortkonflikt groß in Experiment 2B dagegen der Aufgabenkonflikt groß und der Antwortkonflikt klein. Dies wurde erreicht, indem univalente Reizbedingungen (niedriger Aufgabenkonflikt) und bivalente Reizbedingungen (hoher Aufgabenkonflikt) verwendet wurden. Anders als in bisherigen Experimenten die den Einfluss der Valenz auf die Antwortinhibition untersucht haben (z. B. R. Hübner & Druey, 2006) wurde die Valenz hier durch zusammengesetzte Reize manipuliert. Dieses Vorgehen erlaubte es, auch bei univalenten Reizzusammensetzungen kongruente und inkongruente Reize zu konstruieren. Durch die Kontrastierung von Aufgaben- und Antwortkonflikt konnte zwischen zwei Möglichkeiten experimentell differenziert werden: Hängt die Stärke der Antwortinhibition vor allem vom Aufgabenkonflikt ab, sollten sich größere Antwortwiederholungskosten unter bivalenten Reizbedingungen als unter univa-

lenten Reizbedingungen zeigen. Hängt dagegen die Stärke der Antwortinhibition vor allem vom Antwortkonflikt ab, sollten sich größere Antwortwiederholungskosten unter univalenten Reizbedingungen als unter bivalenten Reizbedingungen zeigen.

Voraussetzung für diesen Vergleich war, dass der Kongruenzeffekt wie beabsichtigt unter univalenten Reizbedingungen stärker ausfiel, als unter bivalenten Bedingungen. Genau dieser Zusammenhang wurde gefunden. Im Experiment mit univalenten Reizen war ausschließlich eine räumliche Selektion des Zielreizes über die Farbinformation möglich. Im Unterschied dazu war es bei den bivalenten Reizen zusätzlich möglich, mit Hilfe des Reizmaterials (Zahlen oder Buchstaben) kategorial das relevante Reizelement zu selektieren. Dadurch konnte die irrelevante Reizinformation die falsche Antwort weniger stark aktivieren, was einen kleineren Antwortkonflikt zur Folge hatte. Welchen Einfluss hatte also die Manipulation des Aufgabenkonfliktes?

Die Größe des Aufgabenkonflikts wirkte sich nicht auf die Größe der Antwortwiederholungskosten aus. In beiden Experimenten wurden reliable Antwortwiederholungskosten gefunden, die sich nicht voneinander unterschieden. Im Unterschied zu Experiment 1B war es in Experiment 2B nicht mehr möglich die relevante Reizinformation schnell anhand der physischen Markierung des Zielreizes zu selektieren. Dadurch ist es unwahrscheinlich, dass es trotz der Bivalenz der Reize nur zu einem geringen Aufgabenkonflikt kam. Folglich sprechen die Ergebnisse gegen einen direkten Zusammenhang zwischen Aufgabeninhibition und Antwortinhibition.

Alternativ könnte nach der Argumentation von Hübner und Druey (2006) nicht der Aufgabenkonflikt sondern der Antwortkonflikt entscheidend für die Stärke der Antwortinhibition sein. Entsprechend der Vorhersage war der Kongruenzeffekt bei bivalenten Reizen¹³ in S2 (Experiment 2B) deutlich kleiner als bei univalenten Reizen (Experiment 2A). In den Reaktionszeiten trat bei bivalenten Reizen sogar überhaupt kein Kongruenzeffekt auf. Dennoch zeigte sich kein Unterschied in den Antwortwiederholungskosten. Allerdings ergab die Analyse der schnelleren Stichprobenhälfte ein anderes Bild. Hier konnten bei kleinem Antwortkonflikt (Experiment 2A) keine Antwortwiederholungskosten gefunden werden dafür aber bei großem Antwortkonflikt (Experiment 2B). Die Rolle des Antwortkonflikts für das Zustandekommen der Antwortwiederholungskosten bleibt somit weiter undeutlich.

¹³ Zu beachten ist, dass sich bei den vorliegenden Experimenten die Größe des Antwortkonfliktes in Bezug auf die Bivalenz genau umgekehrt verhielt wie in der Studie von Hübner und Druey (2006). Bei ihnen war der Antwortkonflikt unter bivalenten Reizbedingungen höher als unter neutralen Reizbedingungen. Dagegen war hier der Antwortkonflikt unter bivalenten Reizbedingungen kleiner als unter univalenten Reizbedingungen.

Interessant war dabei aber, dass es unter univalenten Reizbedingungen (Experiment 2A) zu tendenziell geringeren Antwortwiederholungsvorteilen bei einer Aufgabenwiederholung kam als unter bivalenten Reizbedingungen. Dies äußerte sich in eher globalen Antwortwiederholungskosten in Experiment 2A. Ebenso fand sich in der schnelleren Stichprobenhälfte in Experiment 2B kein Unterschied zwischen den Antwortwiederholungseffekten unter Aufgabenwiederholung oder Aufgabenwechsel. Globale Antwortwiederholungskosten wurden auch von anderen Autoren berichtet. So zeigten sich etwa in der Studie von Steinhauser und Hübner (2006, Experiment 1) unabhängig von der Aufgabenabfolge Kosten einer Antwortwiederholung. Die Autoren begründeten dies mit dem besonders hohen Perseverationsrisiko in ihrer Studie. Sie verwendeten eine Deadline vor der die Probanden aufgefordert waren zu antworten. Aufgrund des hohen Zeitdrucks lag das Antwortkriterium sehr niedrig. Dadurch war die Unsicherheit bezüglich der korrekten Antwort und damit das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung besonders hoch – folglich auch die Antwortinhibition sehr stark. Gleichzeitig müssen aber auch die Antwortwiederholungsvorteile bei einem Aufgabenwechsel gering gewesen sein. Ähnlich war durch den hohen Antwortkonflikt in Experiment 2A die Unsicherheit bezüglich der korrekten Antwort hoch. Allerdings wirkte sich der Antwortkonflikt wie eben besprochen nicht auf die Antwortwiederholungskosten aus. Jedoch könnte die hohe Unsicherheit bezüglich der korrekten Antwort sich auf das Ausmaß der Antwortwiederholungsvorteile unter Aufgabenwechsel ausgewirkt haben (also die Wiederholung der S-R Regel bzw. der Bahnung der Stimuluskategorie). Folgt man dieser Linie, kann man mit Hilfe des Zwei-Prozess-Modell spekulieren, dass der Antwortkonflikt eher mit dem zweiten Prozess, der zu Antwortwiederholungsvorteilen führt, zusammenhängt als mit dem Inhibitionsprozess. Allerdings ist unklar, wie dieser Zusammenhang aussehen könnte. Es ist bekannt, dass bei sehr großem RSI die Wiederholungsvorteile kleiner werden, z. B. aufgrund des Zerfalls der Bahnungseffekte (Steinhauser, et al., 2009). Analog zu einem langen RSI könnte hier die Antwortselektion lange nach hinten aufgeschoben worden sein, damit die Information über den Zielreiz die korrekte Antwort aktivieren kann. Auch dadurch könnte es zu einem Zerfall von Bahnungseffekten kommen. Alternativ könnte durch den hohen Antwortkonflikt bzw. die Unsicherheit bezüglich der korrekten Antwort ein zusätzlicher Kontrollmechanismus aktiv werden, der quasi die Wiederholungsvorteile „ausschaltet“. Denn in Kontexten mit hohem Konflikt kann es durchaus vorteilhaft sein, eher auf einen Wechsel als auf eine Wiederholung zu setzen (Cooper & Marí-Beffa, 2008).

Schließlich mögen die geringeren Aufgabenwechselkosten unter univalenten Reizbedingungen überraschend sein. In der Einleitung zu Studie 1 wurde argumentiert, dass die automatische Aktivierung des alternativen Aufgabensets (*task-set cueing*), zu einem höheren Aufgabenkonflikt unter bivalenten Reizbedingungen führt. Daher könnte man an-

nehmen, dass der größere Aufgabenkonflikt größere Aufgabenwechselkosten zur Folge haben sollte. Tatsächlich wurden höhere Aufgabenwechselkosten unter bivalenten Reizbedingungen im Vergleich zu univalenten Reizbedingungen berichtet (z. B. Allport, et al., 1994; Waszak, et al., 2003). Die Annahme, dass der Aufgabenkonflikt sich direkt in den Aufgabenwechselkosten zeigt, ist aber umstritten (Rubin & Meiran, 2005; Steinhauser & Huebner, 2007). Beispielsweise fanden Steinhauser und Hübner (in press), dass der Aufgabenkonflikt nur die *mixing costs* (also die Differenz zwischen Aufgabenwiederholungen in Blöcken mit nur einer Aufgabe und Blöcken mit mehreren Aufgaben) beeinflusst, nicht aber die Aufgabenwechselkosten (*switch-costs*, die Differenz zwischen Aufgabenwiederholungen und Aufgabenwechseln). So könnte der höhere Aufgabenkonflikt unter bivalenten Reizbedingungen eine verstärkte Inhibition der zuvor ausgeführten Aufgabe zur Folge haben (*backward inhibition*). Dies erleichtert den Wechsel der Aufgabe und minimiert aber die Vorteile bei einer Aufgabenwiederholung, wodurch die Aufgabenwechselkosten kleiner werden. Tatsächlich ist im Vergleich zwischen univalenter und bivalenter Reizbedingung vor allem die Leistung in den Aufgabenwiederholungsdurchgängen schlechter (vgl. Tabelle 1).

Eine andere Erklärung könnte in der Höhe des Antwortkonflikts liegen. Unter univalenten Reizbedingungen war der Antwortkonflikt sehr groß. Nicht nur ist, wie oben ausgeführt, die Selektion der relevanten Information erschwert, auch aktivieren die irrelevanten Reizelemente die falsche Antwort über die korrekte Aufgabe. Gleichzeitig ist anzunehmen, dass die korrekte Aufgabe aufgrund des geringeren Aufgabenkonflikts viel stärker aktiviert wird als unter bivalenten Reizbedingungen. Daher könnte es zur Kontrolle der Antwortselektion vorteilhaft sein, zunächst die Aufgabe zu hemmen, damit es nicht zu einer vorschnellen Aktivierung der falschen Antwort kommt. Danach kann dann die Selektion des aufgabenrelevanten Reizelementes stattfinden. Erst wenn dieses identifiziert ist, kann die richtige Antwort ausgewählt werden. Allerdings muss dazu wieder die korrekte Aufgabe enthemmt werden. Im Falle einer Aufgabenwiederholung ist die Aufgabe schon aufgrund der Rückwärtshemmung (*backward inhibition*) zur Kontrolle der *task-set inertia* gehemmt (Ulrich Mayr & Keele, 2000). Dadurch sollte der Antwortkonflikt kleiner sein. Im Falle eines Aufgabenwechsels würden allerdings beide Aufgaben gehemmt werden: Die vorherige um der *task-set inertia* entgegenzuwirken (*backward inhibition*) und die jetzige, um den Antwortkonflikt zu kontrollieren. Auf diese Weise würden sich die Aufgabenwechselkosten erhöhen.

Allerdings könnte auch gegenteilig argumentiert werden, dass aus einem unbekanntem Grund der Aufgabenkonflikt in Experiment 2A mit univalenten Reizen größer war als in Experiment 2B mit bivalenten Reizen. Das Ausmaß der Aufgabenwechselkosten würde

also als direktes Abbild des Aufgabenkonflikts betrachtet werden. Selbst wenn diese Argumentation zuträfe, bliebe die Schlussfolgerung, dass die Stärke der Antwortinhibition keine unmittelbare Abhängigkeit vom Ausmaß des Aufgabenkonflikts zeigte, bestehen. Denn egal in welchem Experiment der Aufgabenkonflikt letztlich größer war – im Vergleich der Experimente konnte kein Unterschied in den Antwortwiederholungseffekten gefunden werden.

8. DISKUSSION VON STUDIE 1

In Studie 1 wurde die Rolle des Aufgabenkonflikts für die Entstehung der Antwortwiederholungskosten untersucht. In früheren Studien hatte sich gezeigt, dass es unter bivalenten Reizbedingungen, in denen die Reize mit beiden Aufgaben assoziiert sind, zu höheren Antwortwiederholungskosten unter Aufgabenwechsel kommt als unter univalenten Reizbedingungen, in denen die Reize eindeutig den Aufgaben zugeordnet sind (R. Hübner & Druey, 2006). Dies wurde mit Hilfe des Zwei-Prozess-Modells der Antwortinhibition erklärt (z. B. Druey & Hübner, 2008b; R. Hübner & Druey, 2006; Steinhauser, et al., 2009). In diesem Modell werden die Kosten einer Antwortwiederholung durch die Inhibition der zuvor aktivierten Antwort erklärt. Die Stärke der Inhibition sollte dabei vom Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung abhängen (z. B. Druey & Hübner, 2008b). Dieser Gedanke wurde auf die Effekte der Reizvalenz übertragen. Bei bivalenten Reizen kann die zuvor aktivierte Antwort auch durch die aktuell falsche Aufgabe reaktiviert werden. Dies ist bei univalenten Reizen nicht der Fall. Somit ist das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung bei bivalenten Reizen erhöht und folglich die Antwortinhibition stärker (R. Hübner & Druey, 2006).

Bei dieser Erklärung bleibt jedoch unklar, was der entscheidende Punkt bei der Erhöhung des Perseverationsrisikos ist: Die unkontrollierte Aktivierung der irrelevanten Aufgabe – also der erhöhte Aufgabenkonflikt – oder die unkontrollierte Aktivierung der zuvor ausgeführten Antwort – also der Antwortkonflikt. Die Begründung von Hübner und Druey legt nahe, dass der Antwortkonflikt entscheidend ist. Allerdings war in ihrer Studie Antwortkonflikt und Aufgabenkonflikt konfundiert. Erstens waren die univalenten Reize, die sie verwendeten, auch bezüglich des Antwortkonflikts neutral, d. h. es gab keine irrelevante Reizeigenschaft, die die falsche Aufgabe oder die falsche Antwort hätte aktivieren können. Zweitens waren die bivalenten Reize sowohl mit einem höheren Aufgabenkonflikt als auch mit einem höheren Antwortkonflikt assoziiert.

Daher wäre auch ein Zusammenhang zwischen Aufgabenkonflikt und Antwortinhibition denkbar. Die Inhibition der zuvor ausgeführten Aufgabe wird als ein wichtiger Me-

chanismus angesehen, um unter Aufgabenwechselbedingungen den Aufgabenkonflikt zu kontrollieren und eine fehlerhafte Wiederholung der Aufgabe zu verhindern (Allport, et al., 1994; Ulrich Mayr & Keele, 2000). Also ist es durchaus plausibel anzunehmen, dass Aufgabeninhibition und Antwortinhibition verknüpft sind, weil sie beide dazu dienen, Perseverationen zu verhindern (Cooper & Marí-Beffa, 2008). Diese Verknüpfung könnte einerseits rein korrelativer Natur sein, da Konfliktsituationen sowohl höhere Anforderungen an die kontrollierte Auswahl des korrekten Aufgabensets als auch die kontrollierte Auswahl der korrekten Antwort stellen. Andererseits könnte die Antwortinhibition schlicht eine kausale Folge der Aufgabeninhibition sein. Wird das zuvor handlungsrelevante Aufgabenset gehemmt, könnte sich diese Inhibition vor allem auf die zuvor frisch mit der Aufgabe assoziierte Antwort auswirken. Hier sollte zunächst die Frage beantwortet werden, ob es überhaupt einen starken Zusammenhang zwischen Aufgabenkonflikt und Antwortinhibition gibt.

Die entscheidenden Bedingungen, um zwischen den beiden Konflikttypen (Aufgabenkonflikt und Antwortkonflikt) zu differenzieren, sind univalente Reize mit hohem Antwortkonflikt bzw. bivalente Reize mit geringem Antwortkonflikt. Genau diese beiden Reizbedingungen wurden in der vorliegenden Studie untersucht. Dazu wurden in vier Experimenten zusammengesetzte Reize verwendet, die entweder Reizmaterial aus nur einer Aufgabe beinhalteten (univalent) oder Reizmaterial aus beiden Aufgaben (bivalent). Gleichzeitig konnten die Reizelemente mit derselben Antwort (kongruent) oder mit beiden alternativen Antworten assoziiert sein (inkongruent). Durch die Valenz der Reize wurde der Aufgabenkonflikt manipuliert. Die Größe des Antwortkonflikts sollte ebenfalls mit der Valenz zusammenhängen, jedoch genau in entgegengesetzter Weise wie bei Hübner und Druey (2006). Dadurch, dass bei univalenten Reizen der Zielreiz einzig über die Position in der Reizeanordnung erkennbar war, wurde hier ein größerer Antwortkonflikt erwartet, als bei bivalenten Reizen, bei denen der Zielreiz auch anhand des Reizmaterials erkennbar war. In allen vier Experimenten zeigte sich kein Einfluss des Aufgabenkonflikts auf die Antwortinhibition. Gleichzeitig wurde aber auch kein eindeutiger Einfluss des Antwortkonflikts gefunden.

In Experiment 1A (geringer Aufgabenkonflikt) und 1B (hoher Aufgabenkonflikt) zeigte sich kein Unterschied in den Antwortwiederholungseffekten. In beiden Experimenten waren die Antwortwiederholungskosten klein und nur in den Fehlerraten sichtbar. Der Antwortkonflikt verhielt sich wie vorhergesagt. Unter univalenten Reizbedingungen war der Kongruenzeffekt größer als unter bivalenten Reizbedingungen. Doch auch dies beeinflusste nicht die Antwortwiederholungskosten.

In zwei weiteren Experimenten (2A und 2B) wurde die Aufgabenschwierigkeit erhöht, um sicherzustellen, dass die irrelevante Reizinformation tief genug verarbeitet wird, um substantielle Effekte des Aufgabenkonfliktes und des Antwortkonfliktes erwarten zu können. Auch wurden Aufgabenwiederholungen eingeführt, um das gesamte Muster der Wechselwirkung zwischen Aufgabenabfolge und Antwortabfolge betrachten zu können. Tatsächlich fanden sich nun unter univalenten Reizbedingungen massive Kongruenzeffekte, während unter bivalenten Reizbedingungen nur in den Fehlerraten ein mittlerer Effekt gefunden wurde. Unter diesen Voraussetzungen zeigte sich abermals keine Modulation der Antwortinhibition über die Valenzbedingungen. Dessen ungeachtet kam es zu globalen Antwortwiederholungskosten. Außerdem wurden diese zumindest unter univalenten Reizbedingungen nicht von der Aufgabenabfolge beeinflusst. Normalerweise werden unter Aufgabenwiederholung Vorteile einer Antwortwiederholung gefunden oder zumindest geringere Kosten als unter Aufgabenwechsel. In der Sichtweise des Zwei-Prozess-Modells bedeutet dies, dass der zweite Prozess, der zu Vorteilen einer Antwortwiederholung bei Aufgabenwiederholung führt, sich kaum auf die Leistung auswirkte. Es könnte daher sein, dass sich der Antwortkonflikt (also die Unsicherheit bezüglich der korrekten Antwort) besonders auf diesen zweiten Prozess auswirkt und weniger auf die Stärke der Antwortinhibition.

Das vorliegende Datenmuster der Antwortwiederholungskosten spricht gegen einen direkten Zusammenhang zwischen Antwortinhibition und Aufgabeninhibition. Anscheinend dienen zwar beide Mechanismen dem Schutz vor Perseverationen, deshalb müssen sie aber nicht (unmittelbar) zusammenhängen (Cooper & Marí-Beffa, 2008). Allerdings sprechen die Daten auch nicht für die alternative Sichtweise, nämlich dass die Größe des Antwortkonflikts für die Stärke der Antwortinhibition entscheidend ist. So bleibt im Moment die Quelle, der höheren Antwortwiederholungskosten bei bivalenten Reizen in der Studie von Hübner und Druey (2006) unklar.

Eine Möglichkeit wäre, dass beides – das Ausmaß des Antwortkonflikts und des Aufgabenkonflikts – die Stärke der Antwortinhibition beeinflusst. Betrachtet man Antwort- und Aufgabenkonflikt in den vorliegenden Experimenten zusammen, ergibt sich jeweils für die paarweise designten Experimenten eine mittlere Konfliktsituation. In den Experimenten 1A war der Antwortkonflikt moderat, der Aufgabenkonflikt aber klein. Dagegen war in Experiment 1B der Antwortkonflikt sehr klein dafür der Aufgabenkonflikt größer als in 1A. Weiterhin war in Experiment 2A der Antwortkonflikt massiv, der Aufgabenkonflikt aber klein. Umgekehrt kam es in Experiment 2B nur zu einem kleinen Antwortkonflikt bei gleichzeitig großem Aufgabenkonflikt. Wenn also immer die mittlere Konfliktlage ausschlaggebend für die Antwortwiederholungskosten wäre, würde man in den jewei-

ligen Vergleichen der Experimente keinen Unterschied erwarten. Außerdem würde diese erklären, warum in den Experiment 1A und 1B nur sehr kleine Kosten einer Antwortwiederholung gefunden wurden, während es in Experiment 2A und 2B zu deutlichen Kosten kam. Denn die mittlere Konfliktsituation in den Experimenten 2A und 2B war sicherlich deutlich höher als in den Experimenten 1A und 1B.

Die erhöhte Konfliktsituation spiegelt sich auch in den mittleren Reaktionszeiten wieder: In den Experimenten 2A und 2B waren die Reaktionszeiten gegenüber 1A und 1B klar erhöht. Entsprechend waren auch die Antwortwiederholungskosten in den Experimenten 2A und 2B größer als in 1A und 1B. Im Unterschied dazu konnte aber in den jeweiligen Vergleichen der Experimente 1A und 1B bzw. 2A und 2B kein Unterschied in den mittleren Reaktionszeiten gefunden werden. Entsprechend zeigten sich auch die Antwortwiederholungskosten alles in allem konstant. Interessanterweise berichten Hübner und Druey (2006) deutlich längere Reaktionszeiten unter bivalenten (1094 *ms*) als unter univalenten Reizbedingungen (823 *ms*). Dies deutet darauf hin, dass die mittlere Konfliktsituation in ihrer Studie unter bivalenten Reizbedingungen deutlich größer war als unter univalenten.

Schließlich finden nicht alle Autoren größere Antwortwiederholungskosten unter bivalenten Reizbedingungen (Kleinsorge, 1999; U. Mayr & Bryck, 2007). In anderen Studien ist der Zusammenhang wiederum nur sehr schwach zu finden (Rogers & Monsell, 1995; Schuch & Koch, 2004). Eventuell könnte also auch diese heterogene Befundlage durch die beschriebene Mischhypothese erklärt werden. Eine alternative Möglichkeit wäre natürlich, dass keiner der Konflikttypen die Stärke der Antwortinhibition beeinflusst. Dass dies tatsächlich zutreffen könnte, wird in der Gesamtdiskussion thematisiert werden.

Die Größe des Antwortkonflikts wurde über den Kongruenzeffekt operationalisiert. Hierzu kann man kritisch anmerken, dass der Kongruenzeffekt ja nicht direkt den Antwortkonflikt widerspiegelt, sondern vielmehr die Folge der Kontrolle des Antwortkonfliktes ist. Dieser Einwand sollte jedoch kein Problem für die Validität der Operationalisierung darstellen. Es ist höchst unwahrscheinlich, dass das kognitive System im Falle eines erhöhten Antwortkonflikts nicht auch mehr Kontrolle aufbringt, um die Interferenz zwischen den Antworten gering zu halten und die korrekte Antwort auszuwählen. Genauso ist es umgekehrt unwahrscheinlich, dass bei einem geringen Konflikt quasi zu wenig Kontrolle aufgebracht wird und es so zu einem großen Kongruenzeffekt kommt. Einzig eine Erschöpfung oder ein „Brachliegen“ von Kontrollressourcen könnte daher den direkten Zusammenhang von Antwortkonflikt und Kongruenzeffekt stören. Dies sollte sich

aber in stark erhöhten Fehlerraten zeigen, wofür es in den vorliegenden Daten keinen Hinweis gibt.

Die Ergebnisse der Studie sind weder mit den assoziationsbasierten noch mit den rekonfigurationsbasierten Ansätzen zur Erklärung der Antwortwiederholungskosten vereinbar (Kleinsorge, 1999; Kleinsorge & Heuer, 1999; Meiran, 2000b; Schuch & Koch, 2004). Die assoziationsbasierten Ansätze gehen davon aus, dass die Vor- und Nachteile von Antwortwiederholungen durch die Stärkung und Schwächung von Assoziationen zwischen Reiz- und Antwortkategorien erklärbar sind. Die Assoziation der eben ausgeführten Antwort mit der dazugehörigen Reizkategorie wird verstärkt, während die Assoziationen zu allen alternativen Reizkategorien geschwächt werden. Eine Antwortwiederholung ist daher von Vorteil, wenn sich auch die Reizkategorie (d. h. auch die Aufgabe) wiederholt, da dann die soeben gestärkte Verbindung genutzt werden kann. Nachteilig ist eine Antwortwiederholung indessen, wenn die Reizkategorie (d. h. auch die Aufgabe) wechselt. Dann muss die Antwort über die soeben geschwächte Verbindung aktiviert werden. In diesem Modell sind Antwortwiederholungskosten bei einer Wiederholung der Reizkategorie nicht möglich. Im Rekonfigurationsansatz von Kleinsorge und Kollegen wird davon ausgegangen, dass sich ein Wechselimpuls auf Aufgabenebene in der hierarchisch repräsentierten Aufgabe auf tieferen Ebenen (Antwortregeln, Antwortrepräsentationen) ausbreitet. Dadurch kommt es zu einer Wechseltendenz auf Antwortebene und somit zu Antwortwiederholungskosten bei Aufgabenwechsel. Dieses Modell erläutert die Kosten mit einem wechselfpezifischen Mechanismus und kann folglich ebenfalls keine Antwortwiederholungskosten unter Aufgabenwiederholung erklären.

Ein unerwarteter Befund der Studie war die Abhängigkeit der Antwortwiederholungskosten von der Kongruenz des aktuellen Reizes. In Experiment 1B fanden sich in den Reaktionszeiten bei einem kongruenten S2 Vorteile und bei einem inkongruenten S2 Kosten einer Antwortwiederholung unter Aufgabenwechsel. Dieser Befund wird in Studie 2 mit der Fragestellung untersucht, ob die aktuelle Reizverarbeitung sich auf die Antwortinhibition auswirkt. Des Weiteren wird der Frage nachgegangen, ob es eine strategische Anpassung der Antwortinhibition gibt.

STUDIE 2: STRATEGIEN DER ANTWORTINHIBITION

1. EINLEITUNG

In Studie 1 wurde untersucht, welchen Beitrag die Intensität verschiedener Konflikttypen (Aufgabenkonflikt oder Antwortkonflikt) zu einer stärkeren Inhibition der zuvor ausgeführten Antwort leistet. Es zeigte sich, dass die Stärke der Antwortinhibition nicht direkt mit dem Ausmaß des Aufgabenkonflikts zusammenhängt. Auch zeigte sich kein eindeutiger Zusammenhang mit dem Ausmaß des Antwortkonflikts. Zur Interpretation der Ergebnisse wurde eine Mischhypothese vorgeschlagen, wonach beide Konflikttypen zusammen für die Stärke der Antwortinhibition relevant sind. Diese Interpretation ist mit den Ergebnissen von Hübner und Druey (2006) vereinbar. Die Autoren fanden eine Zunahme der Antwortwiederholungskosten unter bivalenten gegenüber univalenten, neutralen Reizbedingungen. Sie erklärten dies dadurch, dass bivalente Reize über einen in anderen Durchgängen relevanten Verarbeitungspfad die inkorrekte Antwort aktivieren könnten. Dadurch wäre dann das Risiko erhöht, eine fehlerhafte Antwortwiederholung zu begehen. Die Ergebnisse von Studie 1 sind mit dieser Überlegung insofern vereinbar, als bei bivalenten Reizen (und überlappender Antwortzuordnungen) dieses Risiko gegenüber univalenten, neutralen Reizen erhöht ist und zumindest ein Teil dieser Erhöhung durch die Assoziation irrelevanter Stimuluseigenschaften mit der aktuell inkorrekten Antwort zustande kommt.

In der zweiten Studie der vorliegenden Arbeit sollte nun untersucht werden, wie die Stärke der Antwortinhibition strategisch an die Häufigkeit eines relevanten Konflikts angepasst wird. Vorhergehende Arbeiten haben gezeigt, dass die Inhibitionsstärke adaptiv ist (z. B. R. Hübner & Druey, 2006, Druey, 2008 #3567). Diese Flexibilität scheint sowohl eine generelle Adjustierung an die globale Reizsituation zu umfassen als auch eine *trial-by-trial* Anpassung gemäß der Antwortaktivierungsstärke im vorhergehenden Durchgang. Jedoch wird aus diesen Befunden nicht ersichtlich, ob es sich um eine rein reaktive Anpassung handelt, oder ob dafür auch ein proaktiver, strategischer Kontrollmechanismus ursächlich ist.

Die Anpassung von Strategien der kognitiven Kontrolle wurde vielfach im Stroop- und Flanker-Paradigma untersucht (Botvinick, et al., 2001; R. Hübner & Lehle, 2004; R. Hübner & Lehle, 2007; Lehle & Hübner, 2008; Logan, 1983 #1696, eine Übersicht bietet Logan, 1985, zum Flanker-Paradigma z. B. ; zum Stroop-Paradigma z. B. Logan & Zbrodoff, 1979; Logan & Zbrodoff, 1982; Ullsperger, et al., 2005). Nach Logan (1985) versteht man unter einer Strategie die Art und Weise in der eine Aufgabe bearbeitet wird

(z. B. schnell oder genau). Formal wird eine Strategie definiert als eine optionale Organisation kognitiver Ressourcen oder Fähigkeiten, die so gestaltet ist, dass ein bestimmtes Ziel in einer bestimmten Aufgabenumgebung erreicht wird (Logan & Zbrodoff, 1982; Logan, Zbrodoff, & Fostey, 1983). Entscheidend ist dabei natürlich, dass es verschiedene Organisationsoptionen (Strategien) der kognitiven Ressource(n) gibt. Dann hat das Individuum die Möglichkeit, zwischen verschiedenen Strategien zu wählen. In experimentellen Studien wird daher meist versucht, durch die Veränderung der Reizbedingungen oder der Aufgabe, die Auswahl einer Strategie zu beeinflussen und so die Existenz verschiedener Strategien nachzuweisen. Die Manipulation der Reizbedingungen kann dabei über spezielle Hinweisreize (z. B. Gratton, et al., 1992), über Eigenschaften der Zielreize selbst, wie Ort (Crump, Gong, & Milliken, 2006) oder Farbe (Lehle & Hübner, 2008) oder über die Häufigkeit bestimmter Zielreize erfolgen (Gratton, et al., 1992). In den folgenden Experimenten wurde die Variation der Häufigkeit konfligierender Reize verwendet.

Bisherige Studien zeigten eine Abhängigkeit der Antwortwiederholungseffekte von der Häufigkeit eines relevanten Konfliktes nur zwischen verschiedenen Experimenten/Versuchspersonen (R. Hübner & Druey, 2006). Zwar weisen diese Ergebnisse auf verschiedene Strategien der Antwortinhibition hin, sie zeigen aber noch nicht eine flexible Auswahl einer Strategie bei sich verändernden Reizbedingungen. Daher wurde im ersten Experiment (3) dieser Studie versucht, eine strategische Anpassung der Antwortinhibition innerhalb eines Experiments/ einer Versuchsperson nachzuweisen. Die weiteren Experimente (4A und 4B) verwendeten ein Lernparadigma zur Untersuchung von Strategien. Dazu wurde die Häufigkeit eines relevanten Konflikts durch unterschiedliche Reizsituationen zwischen den Versuchspersonen variiert. Nach dieser Lernphase wurde in einer Testphase, in der alle Personen dieselben Reize bearbeiteten, überprüft, ob sich die Antwortinhibition flexibel an die neue Reizsituation anpasst, oder ob sie entsprechend der anfänglichen Lernerfahrung rigide beibehalten wird.

In jüngster Zeit wurden Untersuchungen berichtet, wonach es auch zu einer sehr kurzfristigen Anpassung der Strategie während der aktuellen Reizverarbeitung kommen kann (*on-the-fly* adaptation, Lehle & Hübner, 2008). Dabei dient eine Reizeigenschaft (z. B. Farbe) als Signal für die Auswahl einer bestimmten Strategie. In Experiment 1B der vorliegenden Arbeit zeigte sich in den Reaktionszeiten eine Interaktion zwischen der Kongruenz des aktuellen Reizes und der Antwortabfolge. Während es bei kongruentem S2 zu Antwortwiederholungsvorteilen kam, fanden sich bei inkongruentem S2 Kosten einer Antwortwiederholung. In den Fehlerraten zeigte sich der Zusammenhang zwar numerisch, war aber nicht signifikant. Diesem Effekt könnte eine *on-the-fly* Anpassung

der Inhibitionsstrategie zugrunde liegen. Birgt der aktuelle Reiz einen hohen Konflikt (bivalent, inkongruent) wird die Antwortinhibition verstärkt, um dem wachsenden Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung entgegenzuwirken (vgl. Abbildung 5 in 4.2). Bei einem Reiz mit geringem Konflikt (bivalent, kongruent) ist dies nicht notwendig. In allen Experimenten wurde daher auch analysiert, ob auch die aktuelle Reizverarbeitung die Stärke der Antwortinhibition beeinflussen kann.

2. EXPERIMENT 3 – STRATEGISCHE ANPASSUNG

Das Hauptziel des ersten Experiments war es, zu klären, ob die Stärke der Antwortinhibition strategisch an das Risiko, eine fehlerhafte Antwortwiederholung zu begehen, angepasst werden kann. Die Ergebnisse von Studie 1 und von Hübner und Druey (2006) legen nahe, dass dieses Risiko bei Reizen erhöht ist, die einen hohen Aufgabenkonflikt und einen hohen Antwortkonflikt tragen. Minimiert wird das Risiko hingegen durch neutrale Reize, die weder einen Aufgabenkonflikt noch einen Antwortkonflikt bewirken. Daher wurde das Risiko einer fälschlichen Antwortwiederholung blockweise durch den Anteil an bivalenten, inkongruenten bzw. neutralen Reizen manipuliert. In Blöcken mit hohem Risiko waren 80 % der Reize bivalent, in Blöcken mit geringem Risiko waren es nur 20 %.

In einer Pilotstudie wurde dies innerhalb einer kontinuierlichen Abfolge von Aufgaben und Antworten realisiert, indem vor jedem Reiz die Aufgabe mit einem Hinweisreiz (*task-cueing*) angekündigt wurde (Grzyb & Hübner, 2008). Leider lieferte die Pilotstudie ein uneinheitliches Bild bezüglich der Auswirkung der Anteilsmanipulation. Da es möglich erschien, dass es bei einer zufälligen Abfolge von bivalenten und neutralen Durchgängen zu unerwünschten Überlagerungen von strategischen Anpassungen kommen kann, wurde für Studie 2 dasselbe Aufgabenwechseparadigma gewählt wie für Studie 1 (vgl. Druey & Hübner, 2008b), bei dem immer Zweier-Sequenzen dargeboten werden. Der Hinweisreiz hatte dabei im Unterschied zu Studie 1 stets zwei Bedeutungen: einmal zeigte er die erste Aufgabe an und zusätzlich, ob es zur zweiten Aufgabe eine Wiederholung oder einen Wechsel geben würde. Wie schon in Studie 1 wurde als erster Reiz einer Zweier-Sequenz immer ein neutraler Reiz gewählt. Dadurch sollten mögliche Wechselwirkungen zwischen der Antwortaktivierung bei der ersten Aufgabe und der Risikomanipulation vermieden werden (vgl. auch Druey & Hübner, 2008b).

Um die Wahrscheinlichkeit eines Strategiewechsels zwischen den einzelnen Blocktypen zu erhöhen, wurden die Teilnehmer vor jedem Block verbal instruiert, ob ein Block mit vielen neutralen Reizen an der Reihe ist, oder einer mit wenig neutralen Reizen. Aus

den verbalen Rückmeldungen der Versuchspersonen ist zu schließen, dass diese Ankündigung für sie informativ war und sie subjektiv klar zwischen den einzelnen Blocktypen unterscheiden konnten.

Aus Studien zur Untersuchung von kognitiven Selektionsstrategien ist bekannt, dass sich eine solche Instruktion auf die Verarbeitung der irrelevanten Reizinformation auswirkt. Beispielsweise ist in Blöcken mit einem geringen Anteil inkongruenter Reize der Kongruenzeffekt größer als in Blöcken mit einem hohen Anteil inkongruenter Reize (Gratton, et al., 1992). Dies wird auf eine Anpassung von Verarbeitungsstrategien oder Selektionsstrategien zurückgeführt. Für das vorliegende Experiment wurde daher erwartet, dass der Kongruenzeffekt in mehrheitlich neutralen Blöcken kleiner ist als in mehrheitlich inkongruenten Blöcken.

Eine strategische Anpassung der Antwortinhibitionsstärke wiederum würde sich in den Antwortwiederholungseffekten zeigen. In mehrheitlich neutralen Blöcken sollten aufgrund des geringen Risikos einer fehlerhaften Antwortwiederholung die Vorteile unter Aufgabenwiederholung groß und die Kosten unter Aufgabenwechsel klein sein. Dagegen sollten aufgrund des hohen Risikos in mehrheitlich bivalent inkongruenten Blöcken die Vorteile einer Antwortwiederholung unter Aufgabenwiederholung kleiner sein und die Kosten unter Aufgabenwechsel größer sein.

Eine weitere Fragestellung war, ob die aktuelle Reizverarbeitung die Stärke der Antwortinhibition beeinflussen kann. Ein solcher Einfluss könnte auf eine *on-the-fly* Adaption der Inhibition hinweisen. Demzufolge würde man eine schwache Antwortinhibition bei neutralen Reizen und eine starke Inhibition bei bivalent inkongruenten Reizen erwarten. Entsprechend sollten die Antwortwiederholungseffekte ausfallen: Bei einem neutralen Reiz wäre mit großen Vorteilen unter Aufgabenwiederholung und geringen Kosten unter Aufgabenwechsel zu rechnen. Bei einem bivalent inkongruenten Reiz sollten dagegen kleinere Vorteile unter Aufgabenwiederholung und größere Kosten unter Aufgabenwechsel sichtbar werden. Erste Hinweise zu einer Beantwortung dieser Frage ergeben sich aus Studie 1. In Experiment 1B zeigte sich in den Reaktionszeiten eine Interaktion zwischen der Kongruenz des aktuellen Reizes und der Antwortabfolge. Während es bei kongruentem S2 (geringes Risiko) zu Antwortwiederholungsvorteilen kam, zeigten sich bei inkongruentem S2 (hohes Risiko) Kosten einer Antwortwiederholung. In den Fehleraten zeigte sich numerisch der gleiche Zusammenhang.

Würde dieser Befund in Experiment 3 repliziert werden können, wäre es weiterhin interessant zu sehen, ob sich strategische Anpassungseffekte zwischen verschiedenen Reizsituationen (hier zwischen den Blöcken) allein durch die schnelle Adaption aufgrund des

aktuellen Risikos erklären lassen könnten. Demnach könnten die Valenzeffekte in der Studie von Hübner und Druey (2006) nicht die Folge einer strategischen Anpassung an das globale Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung sein, sondern allein durch die Verarbeitung der einzelnen (neutralen oder bivalenten) Reize erklärt werden.

2.1. METHODE

Versuchsteilnehmer

An dem Experiment nahmen 14 Studenten (5 männliche, 9 weibliche; mittleres Alter 22;0 Jahre) der Universität Konstanz teil.

Versuchsaufbau und Reizmaterial

Das folgende und die weiteren Experimente wurden in einem abgedunkelten Raum durchgeführt. Die Reize wurden auf einem 21-Zoll Röhren-Farbmonitor (Sony 500 PS) mit einer Bildschirmauflösung von 1280 x 768 Pixel und einer Bildwiederholfrequenz von 85 Hz präsentiert. Die Präsentation der Reize und die Antwortaufzeichnung wurden von einem IBM-kompatiblen PC kontrolliert. Der Auge-Monitor-Abstand betrug ca. 110 cm. Als Antworttasten dienten die linke und rechte Taste einer handelsüblichen Maus, die die Versuchsteilnehmer mit dem Zeige- und Mittelfinger ihrer dominanten Hand betätigten.

Wie in den Experimenten der Studie 1 wurden in jedem Durchgang nacheinander zwei Reize (S1 und S2) in weiß auf schwarzem Hintergrund dargeboten. S1 bestand aus einem einzelnen Zielreiz, der in der Mitte des Monitors präsentiert wurde. S2 bestand wieder aus zwei unterschiedlichen Reizelementen, einem Zielreiz und einem Ablenkreiz. Auch wurde wieder die örtliche Position des Zielreizes in S2 variiert, so dass der Zielreiz entweder in der Mitte stand und vom Ablenkreiz flankiert wurde, oder umgekehrt. S1 und der Zielreiz in S2 waren entweder ein Buchstabe aus dem Set G, K, M, R, A, E, O, U oder eine Zahl aus dem Set 2, 4, 6, 8, 1, 3, 7, 9 jeweils aus dem Font Swis721 LtCn BT. Die Maße und visuellen Winkel der Reize entsprachen Experiment 1A und 1B. Der Ablenkreiz wurde so gewählt, dass S2 entweder bivalent oder neutral war. Bei bivalentem S2 war der Ablenkreiz stets ein Element aus der anderen Kategorie (d. h., der Zielreiz ein Buchstabe und der Ablenkreiz eine Ziffer oder umgekehrt). Bei neutralem S2 diente ein neutrales Symbol (ein Stern: *) als Ablenkreiz. Zusätzlich war S2 immer inkongruent, d. h. dem Ziel- bzw. Ablenkreiz waren unterschiedliche Antworttasten zugeordnet. Auf diese Weise wurden 32 neutrale und 64 bivalente S2 konstruiert.

Vorgehen/Prozedur

2.2. ERGEBNISSE

Für die mittleren Reaktionszeiten korrekt beantworteter Durchgänge und für die Fehlerraten der Antworten auf S2 wurden vierfaktorielle ANOVAS mit Messwiederholung auf den Faktoren *Blocktyp* (mehrheitlich neutrale Blöcke vs. mehrheitlich inkongruente Blöcke), *Kongruenz* (neutral vs. inkongruent), *Aufgabenabfolge* (Aufgabenwiederholung vs. Aufgabenwechsel) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) berechnet.

Reaktionszeiten

Die Haupteffekte der Faktoren *Aufgabenfolge* ($F(1,13) = 31.6, p < .001$) und *Kongruenz* ($F(1,13) = 50.2, p < .001$) wurden signifikant. In Durchgängen, in denen die Aufgabe wechselte waren die Reaktionszeiten länger (755 ms) als in Durchgängen mit sich wiederholender Aufgabe (647 ms). Auch waren die Reaktionszeiten bei inkongruentem S2 länger (777 ms) als bei neutralem S2 (624 ms). Der Haupteffekt des Faktors *Blocktyp* zeigte sich als Trend, $F(1,13) = 4.50, p < .06$. Die Reaktionszeiten in den mehrheitlich neutralen Blöcken waren schneller (688 ms) als in den mehrheitlich inkongruenten Blöcken (713 ms). Dieser Effekt wurde charakterisiert durch die Interaktion der Faktoren *Blocktyp* und *Kongruenz*, $F(1,13) = 24.3, p < .001$. In mehrheitlich neutralen Blöcken war die Reaktionszeitverlängerung bei inkongruenten S2 (814 ms) gegenüber neutralen S2 (612 ms) stärker ausgeprägt als in mehrheitlich inkongruenten Blöcken (739 ms vs. 636 ms). Außerdem war die Interaktion der Faktoren *Aufgabenabfolge* und *Antwortabfolge* signifikant, $F(1,13) = 15.1, p < .005$. Unter Aufgabenwiederholung gab es Vorteile einer Antwortwiederholung (618 ms) gegenüber einem Antwortwechsel (674 ms) während unter Aufgabenwechsel Nachteile einer Antwortwiederholung (773 ms) gegenüber einem Antwortwechsel (736 ms) beobachtet wurden. Schließlich zeigte sich noch ein Trend für eine 3fach-Interaktion der Faktoren *Blocktyp*, *Kongruenz* und *Antwortabfolge*, $F(1,13) = 3.62, p < .10$. Um sich diesen Trend zu vergegenwärtigen, kann man die beschriebene Interaktion der Faktoren *Blocktyp* und *Kongruenz* – also die Reduktion des Kongruenzeffekts in mehrheitlich inkongruenten Blöcken – in Abhängigkeit des Faktors *Antwortabfolge* betrachten. Dann wird ersichtlich, dass bei einem Antwortwechsel die Interaktion *Blocktyp* × *Kongruenz* (Reduktion des Kongruenzeffekts: 124 ms)¹⁴ stärker ausgeprägt war als im Falle einer Antwortwiederholung (Reduktion des

¹⁴ Mehrheitlich neutrale Blöcke: 218 ms Kongruenzeffekt, 611 ms (S2 neutral) vs. 829 ms (S2 inkongruent); mehrheitlich inkongruente Blöcke: 94 ms Kongruenzeffekt, 644 ms (S2 neutral) vs. 738 ms (S2 inkongruent).

Kongruenzeffekts: 74 ms).¹⁵ Die relevanten Interaktionen *Blocktyp* × *Aufgabenabfolge* × *Antwortabfolge* ($F(1,13) = 1.16$) sowie *Kongruenz* × *Aufgabenabfolge* × *Antwortabfolge* ($F(1,13) = 2.33$) erreichten nicht das Signifikanzniveau. Alle anderen Effekte waren ebenfalls nicht signifikant, $F_s(1,13) < 1.51$.

Fehlerraten

In den Fehlerraten waren die Haupteffekte aller vier Faktoren signifikant: *Blocktyp* ($F(1,13) = 6.39$, $p < .05$), *Aufgabenabfolge* ($F(1,13) = 8.84$, $p < .05$), *Kongruenz* ($F(1,13) = 22.7$, $p < .001$) und *Antwortabfolge* ($F(1,13) = 21.9$, $p < .001$). Diese Haupteffekte waren durch verschiedene Interaktionen charakterisiert. Wie für die gemittelten Reaktionszeiten erreichte die Interaktion *Blocktyp* × *Kongruenz* statistische Signifikanz, $F(1,13) = 10.1$, $p < .01$. In mehrheitlich neutralen Blöcken war die Fehlerrate bei neutralem S2 (4.93 %) deutlich kleiner als bei inkongruentem S2 (15.5 %). In mehrheitlich inkongruenten Blöcken war dieser Unterschied geringer (S2 neutral: 4.93 % vs. S2 inkongruent: 12.3 %). Weiterhin zeigte sich die Interaktion *Kongruenz* × *Aufgabenabfolge* als Trend, $F(1,13) = 3.87$, $p < .10$. Bei Aufgabenwiederholungen lag die Fehlerrate bei neutralem S2 im Mittel bei 3.38 % bei inkongruentem S2 waren es 10.3 %. Unter Aufgabenwechselbedingungen betrug die Fehlerraten dagegen bei neutralem S2 6.06 % und bei inkongruentem S2 17.5 %. Von den Wechselwirkungen mit dem Faktor *Antwortabfolge* war zunächst die bekannte Interaktion *Aufgabenabfolge* × *Antwortabfolge* signifikant, $F(1,13) = 17.0$, $p < .001$. Unter Aufgabenwiederholung war die Fehlerrate bei einer Antwortwiederholung (6.88 %) und bei einem Antwortwechsel (6.75 %) in etwa gleich groß. Jedoch waren unter Aufgabenwechselbedingungen die Fehlerraten für Antwortwiederholungen größer (15.6 %) als für Antwortwechsel (8.02 %). Außerdem zeigte sich die Größe der Antwortwiederholungskosten abhängig vom Faktor *Kongruenz*, $F(1,13) = 4.81$, $p < .05$. Bei neutralem S2 kam es zu kleineren Kosten einer Antwortwiederholung (5.94 %) gegenüber einem Antwortwechsel (3.49 %) als bei inkongruentem S2 (16.5 % vs. 11.3 %). Weitere Effekte waren nicht signifikant, $F_s(1,13) < 1$.

¹⁵ Mehrheitlich neutrale Blöcke: 186 ms Kongruenzeffekt, 614 ms (S2 neutral) vs. 800 ms (S2 inkongruent); mehrheitlich inkongruente Blöcke: 112 ms Kongruenzeffekt, 629 ms (S2 neutral) vs. 741 ms (S2 inkongruent).

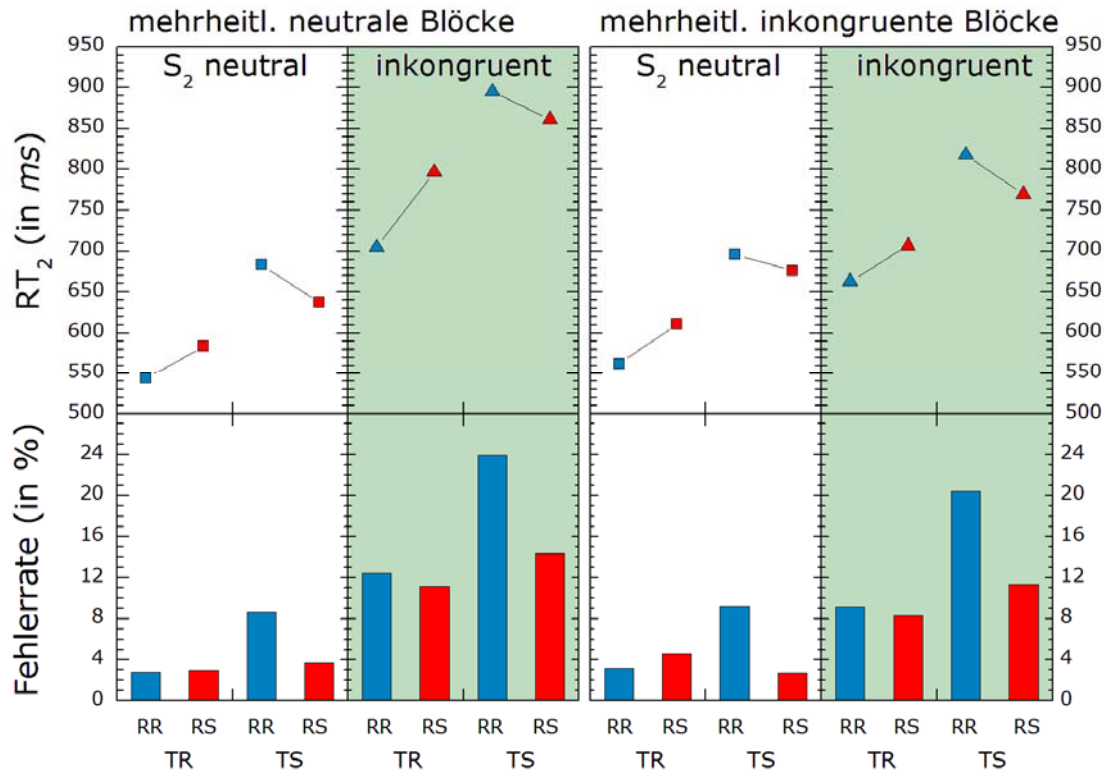


Abbildung 9. Reaktionszeiten auf den zweiten Reiz (RT₂) und Fehlerraten in Experiment 3. In der linken Abbildungshälfte sind Daten aus mehrheitlich neutralen Blöcken zu sehen in der rechten aus mehrheitlich inkongruenten Blöcken. Die farbig unterlegten Bereiche grenzen die Durchgänge mit inkongruenten S₂ von Durchgängen mit neutralem S₂ ab. Innerhalb der vier Felder ist jeweils die Wechselwirkung der Faktoren Aufgabenabfolge × Antwortabfolge dargestellt. Nach rechts ansteigende Verbindungslinien geben Vorteile einer Antwortwiederholung wieder, nach rechts abfallende Verbindungslinien Kosten. TR: Aufgabenwiederholung, TS: Aufgabenwechsel, RR: Antwortwiederholung, RS: Antwortwechsel.

2.3. DISKUSSION

Die Häufigkeit bivalenter, inkongruenter Reize wurde blockweise manipuliert um, verschiedene Verarbeitungsstrategien zu induzieren. Dies sollte sich in unterschiedlichen Effekten der Kongruenz und der Antwortwiederholung in den jeweiligen Blocktypen äußern. Die Variation des Kongruenzeffekts über die beiden Blocktypen spricht dafür, dass die Versuchspersonen ihre Verarbeitungs- bzw. Selektionsstrategien tatsächlich an den jeweiligen Blocktyp angepasst haben. In mehrheitlich inkongruenten Blöcken war der Kongruenzeffekt kleiner als in mehrheitlich neutralen Blöcken. Dies lag vor allem an einer schnelleren und genaueren Verarbeitung der inkongruenten Reize. Anders ausgedrückt, wurde der störende Einfluss der irrelevanten Reizinformation der inkongruenten Reize in den mehrheitlich inkongruenten Blöcken besser kontrolliert als in den mehrheitlich neutralen Blöcken.

Eine strategische Anpassung der Antwortinhibition würde sich in einer Veränderung der klassischen Wechselwirkung zwischen Aufgabenabfolge und Antwortabfolge je nach Blocktyp zeigen. Der entsprechende Effekt war aber nicht signifikant. Unter Aufgabenwiederholung führten Antwortwiederholungen gegenüber Antwortwechseln zu Vorteilen bzw. geringeren Kosten als unter Aufgabenwechsel. Für die Verteilung der Kosten bzw. Vorteile spielte der Anteil der bivalenten, inkongruenten Reize, die das Risiko einer versehentlichen Antwortwiederholung erhöhen sollten, aber keine Rolle. Es konnte also keine strategische Anpassung der Antwortinhibition innerhalb eines Experiments gefunden werden.

Eine zweite Fragestellung war, ob die Abhängigkeit der Antwortwiederholungseffekte von der Kongruenz des aktuellen Reizes, die in Experiment 1B gefunden wurde, repliziert werden kann. In Experiment 1B wurden unter Aufgabenwechsel Vorteile einer Antwortwiederholung bei kongruenten Reizen dagegen Kosten bei inkongruenten Reizen beobachtet. Im vorliegenden Experiment wurden daher bei inkongruentem S2 größere Antwortwiederholungskosten unter Aufgabenwechsel erwartet als bei neutralem S2. Die entsprechende Interaktion verfehlte aber das Signifikanzniveau ($p = .15$). Allerdings zeigte sich für die Fehlerraten ein allgemeinerer Einfluss der Kongruenz auf die Antwortwiederholungskosten. Bei inkongruentem S2 kam es insgesamt zu größeren Kosten einer Antwortwiederholung als bei neutralem S2. Dies ist ein weiterer Hinweis auf eine schnelle Anpassung der Antwortinhibition.

Jedoch ist mit Hilfe des Zwei-Prozess-Modells eine spezifischere Vorhersage gemacht worden. Eine stärkere Antwortinhibition bei der Bearbeitung eines inkongruenten Reizes, sollte sich unterschiedlich auswirken, je nachdem, ob ein Aufgabenwechsel oder eine Aufgabenwiederholung vorliegt. Unter Aufgabenwechsel sind (wie in Experiment 1B beobachtet) größere Antwortwiederholungskosten bei stärkerer Antwortinhibition zu erwarten. Dagegen sollte sich unter Aufgabenwiederholung (was in Experiment 1B nicht vorkam) eine stärkere Antwortinhibition in kleineren Vorteilen (im Extremfall auch Kosten) einer Antwortwiederholung niederschlagen. Daher wurde in einer post-hoc Analyse die gefundene Wechselwirkung zwischen Kongruenz und Antwortabfolge getrennt für Aufgabenwiederholungen und Aufgabenwechsel ausgewertet. In den Fehlerraten zeigten sich unter Aufgabenwechsel kleinere Antwortwiederholungskosten bei neutralem S2 im Vergleich zu inkongruentem S2 ($F(1,14) = 5.01, p < .05$). Alle anderen Analysen erbrachten kein statistisch signifikantes Ergebnis ($F(1,14) < 1.07$). Im Ganzen sind die Daten also durchaus mit der Annahme vereinbar, dass die Stärke der Antwortinhibition bei einem akut, durch die aktuelle Reizverarbeitung erhöhten Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung *on-the-fly* angepasst werden kann.

Insgesamt sind im Vergleich zu Experiment 1A und vor allem 1B die hohen Antwortwiederholungskosten auffallend. Während in den Experimenten der ersten Studie nur sehr kleine Wiederholungskosten in den Fehlerraten gefunden wurden, waren im vorliegenden Experiment Antwortwiederholungen unter Aufgabenwechsel mit durchgehend hohen Kosten assoziiert (37 *ms* bzw. 7.54 %). Dies ist in Einklang mit der in Studie 1 aufgestellten Mischhypothese. Die mittlere Konfliktsituation aus Aufgaben- und Antwortkonflikt bestimmt die Stärke der Antwortinhibition. In Experiment 1B war zwar ein Aufgabenkonflikt vorhanden, aufgrund der einfachen Filterung der irrelevanten Reizinformation jedoch nur ein kleiner Antwortkonflikt. Am hohen Kongruenzeffekt (153 *ms* bzw. 9.17 %) im aktuellen Experiment ist erkennbar dass der Antwortkonflikt hier wesentlich größer war. Entsprechend waren die Antwortinhibition und damit die Antwortwiederholungskosten größer als in den Experimenten 1B.

Zusammenfassend konnte kein Hinweis für eine strategisch an die Aufgabenumgebung angepasste Antwortinhibition gefunden werden. Zwischen Blöcken mit hohem oder geringem Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung gab es keinen Unterschied in den Antwortwiederholungskosten. Auf der einen Seite könnte dies den schlichten Grund haben, dass die Stärke der Antwortinhibition nicht so flexibel angepasst werden kann, wie es das experimentelle Design verlangte. Auf der anderen Seite könnten auch mehrere Charakteristika des Experiments dazu geführt haben, dass es besonders schwierig war, eine strategische Anpassung der Antwortinhibition nachzuweisen. Erstens könnte es sein, dass die Unterschiede im Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung zwischen den Blöcken nicht stark genug waren, um eine Adjustierung der Antwortinhibition auszulösen. Zwar ist eine Anteilsvariation von 80 zu 20 eine übliche Größe, um strategische Anpassung zu untersuchen (Gratton, et al., 1992), jedoch wurde bereits in Studie 1 diskutiert, dass ein relevanter Anteil an Durchgängen mit geringem Risiko (hier die neutralen Reize in mehrheitlich inkongruenten Blöcken) zu einer Reduktion der Antwortinhibition führen könnte. Genauso könnten umgekehrt die wenigen inkongruenten Durchgänge in mehrheitlich neutralen Blöcken einer Erhöhung der Antwortinhibition zur Folge gehabt haben. Zusammen würde dann die Differenz zwischen den Blöcken geringer werden.

Zweitens könnte es sein, dass die Antwortinhibition nicht von Block zu Block angepasst wird, sondern ein Maß gewählt wird, dass für die gesamte experimentelle Situation am geeignetsten ist. Das heißt, die Stärke der Antwortinhibition würde inkrementell entsprechend der bisherigen Erfahrung angepasst werden. Die einzelnen Inkremente würden dann über das Experiment immer kleiner werden. Auch bei einer inkrementellen Anpassung sollten sich unterschiedliche Strategien nachweisen lassen: Zum einen bei der Betrachtung des ersten Blocks des Experiments, denn die eine Hälfte der Versuchsperso-

nen begann mit mehrheitlich neutralen die andere mit mehrheitlich inkongruenten Blöcken, zum anderen innerhalb der Versuchspersonen über die ersten zwei Blöcke des Experiments, da hier die einzelnen Inkremente noch groß genug sein sollten.¹⁶ Um diese Möglichkeiten zu überprüfen wurden post-hoc Analysen für den ersten bzw. die ersten beiden Experimentalblöcke gerechnet. Auch diese zusätzlichen Analysen erbrachten keinen Nachweis für eine strategische Anpassung der Antwortinhibitionsstärke.

Drittens könnte es sein, dass die Stärke der Antwortinhibition schon während der ersten Lernerfahrungen in einer neuen Aufgabenumgebung festgelegt wird und dann relativ rigide beibehalten wird. Die Versuchspersonen hätten demnach in den anteilmäßig ausgeglichenen Übungsblöcken zu Beginn des Experiments ein mittleres Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung erlebt und die danach eingestellte Stärke der Antwortinhibition über die weiteren Blöcke nicht erneut angepasst.

Aufgrund dieser Überlegungen wurde in den nachfolgenden Experimenten eine Vorgehensweise gewählt, die es ermöglichen sollte, trotzdem eine strategische Anpassung der Antwortinhibition nachzuweisen. Dazu wurde das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung nicht mehr von Block zu Block variiert, sondern eine Lernphase und eine Testphase eingeführt. So konnte untersucht werden, ob eine Anpassung der Antwortinhibition an die Aufgabenumgebung der Lernphase in der neuen Reizsituation der Testphase rigide beibehalten wird oder ob es zu einer fortlaufenden Anpassung kommt. Es wurden vier verschiedene Lernumgebungen zwischen den Versuchspersonen realisiert. Jeweils zwei der Lernumgebungen werden im Folgenden zusammengefasst als Experiment 4A und 4B berichtet.

3. EXPERIMENT 4A: ERLERNEN EINER STRATEGIE

Das gemeinsame Ziel dieses und des nächsten Experimentes war es, zu überprüfen, wie rigide oder flexibel die Adjustierung der Antwortinhibitionsstärke aufgrund einer sich verändernden Reizsituation ist. Genauer wurde untersucht, wie sich Lernerfahrungen einer ersten Phase auf die Stärke der Antwortinhibition in einer anschließenden Testphase auswirkten. In der Lernphase bearbeiteten die einzelnen Gruppen verschiedene Reize, die das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung unterschiedlich stark erhöhen sollten. Die Idee war, dass abhängig vom Risiko in der Lernphase eine bestimmte Stärke der Antwortinhibition „erlernt“ wird. Entscheidend war dann die Testphase. Hier bearbeiteten jeweils zwei Gruppen mit unterschiedlicher Lernerfahrung die gleichen Reize (Experiment 4A bzw. 4B).

¹⁶ Für eine sehr ähnliche Argumentation zur Anpassung der Inhibition einer zuvor ausgeführten Aufgabe (*backward inhibition*) siehe Philipp und Koch (2006).

Die kritische Fragestellung war, ob die an die Lernphase angepasste Stärke der Antwortinhibition in der Testphase rigide beibehalten wird, oder ob sich eine flexible Anpassung an die neuen Reizgegebenheiten in der Testphase zeigt. Um die Chance zu erhöhen, einen Einfluss der Lernphase auf die Testphase nachzuweisen, sollten die ausgebildeten Inhibitionsstrategien möglichst stark kontrastieren. Daher wurden entsprechend der Überlegungen von Studie 1 und von Experiment 3 in der Lernphase entweder 100 % neutrale oder 100 % (bivalente) inkongruente Reize in S2 dargeboten. In der Testphase wurden dann in S2 allen Gruppen neutrale und inkongruente Reize 50/50 gemischt präsentiert. Dadurch werden in der Testphase in allen Gruppen neue Reize bearbeitet: Die Gruppen die mit neutralen S2 lernten, bearbeiten in der Testphase auch inkongruente S2. Die Gruppen die mit inkongruenten S2 lernten, bearbeiten in der Testphase auch neutrale S2. Um das Versuchsdesign zu vereinfachen, wurden nur Aufgabenwechseldurchgänge dargeboten.

Eine rigider Anpassungsmechanismus der Antwortinhibition würde sich zum einen darin äußern, dass es innerhalb der jeweiligen Gruppe keinen Unterschied in den Antwortwiederholungskosten zwischen Lern- und Testphase gibt, zum anderen darin, dass in einem Vergleich der Gruppen unterschiedliche Antwortwiederholungskosten in der Testphase gefunden werden.

Für einen flexiblen Anpassungsmechanismus dagegen spräche zuvorderst ein Unterschied in den Antwortwiederholungskosten zwischen Lern- und Testphase. Ist die Anpassung eher inkrementell und geschieht langsam, würden darüber hinaus unterschiedliche Antwortwiederholungskosten in der Testphase zu beobachten sein, da sich die Antwortinhibition in den verschiedenen Gruppen in der Testphase nur langsam aneinander angleicht. Bei einer schnelleren Anpassung der Antwortinhibitionsstärke würden keine Gruppenunterschiede in der Testphase nachweisbar sein. Letztlich würde sich eine extrem flexible Anpassung im Sinne einer *on-the-fly* Adaption darin äußern, dass es deutliche Unterschiede in den Antwortwiederholungskosten in Anhängigkeit der Kongruenz in S2 gibt.

In Experiment 4A wurde die für das verwendete Paradigma denkbar risikoreichste Reizsituation gewählt. Beide Gruppen bearbeiteten nur kongruente Reize in S1. Weiterhin hatte die kon-ntr benannte Gruppe ausschließlich neutrale S2, die kon-ink Gruppe dagegen ausschließlich inkongruente S2. Die Gruppe kon-ink, in welcher also immer auf einen kongruenten Reiz folgend ein inkongruenter Reiz dargeboten wurde, stellt nach den bisherigen Erkenntnissen die Bedingung mit dem höchsten Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung dar. Denn durch den kongruenten Reiz in S1 wird die Antwort

stark aktiviert. Der (bivalent) inkongruente Reiz in S2 erhöht nach den Überlegungen aus Studie 1 das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung weiter. Beides führt zu einer verstärkten Antwortinhibition (vgl. Druey & Hübner, 2008b; R. Hübner & Druey, 2006). In der kon-ntr Gruppe war dagegen das Risiko nur durch die starke Aktivierung der Antwort auf den kongruenten S1 erhöht. Sie diente daher als Vergleich.

3.1. METHODE

Versuchsteilnehmer

An dem Experiment nahmen insgesamt 23 Studenten der Universität Konstanz teil. In die Analyse gingen letztlich 15 Versuchsteilnehmer (4 männliche, 11 weibliche; mittleres Alter 23;11 Jahre) ein. Drei Teilnehmer wurden aufgrund sehr langer Reaktionszeiten von der Stichprobe exkludiert, was keinen qualitativen Einfluss auf die Ergebnisse hatte. Die Exklusion weiterer 5 Versuchsteilnehmer wird weiter unten (Vorgehen/Prozedur) begründet.

Versuchsaufbau und Reizmaterial

Die Geräte und der Versuchsaufbau entsprachen Experiment 3. Auch wurden wieder zwei Reize pro Durchgang (S1 und S2) dargeboten. Im Unterschied zu Experiment 3 bestanden jetzt jedoch auch der neutrale S1 - wie vorher schon S2 - aus zwei Reizelementen, einem Zielreiz und einem Ablenkreiz. Wiederum wurde die örtliche Position des Zielreizes variiert: Entweder stand der Zielreiz in der Mitte und wurde zu beiden Seiten vom Ablenkreiz flankiert, oder der Ablenkreiz stand in der Mitte und wurde zu beiden Seiten vom Zielreiz flankiert. Die Zielreize und Ablenkreize wurden aus dem Buchstaben-set G, K, R, A, E, U und dem Zahlenset 4, 6, 8, 3, 5, 7 gezogen. Die Reize waren gleich groß wie in Experiment 3. Im Unterschied zu Experiment 3 war S1 immer kongruent, d. h. Ziel- sowie Ablenkreiz (der immer aus dem andern Aufgabenset stammte) waren derselben Antworttaste zugeordnet. Wie in Experiment 3 war S2 entweder neutral oder inkongruent. Bei neutralem S2 diente ein neutrales Symbol (ein Stern: *) als Ablenkreiz. Insgesamt gab es also 36 verschiedene S1 sowie 24 neutrale und 36 inkongruente S2.

Vorgehen/Prozedur

Das Vorgehen entsprach bis auf folgende Änderungen dem in Experiment 3: Es wurden ausschließlich Durchgänge mit Aufgabenwechsel (also auch nur rote Hinweisreize) dargeboten und die Versuchsteilnehmer entsprechend instruiert. Aus allen Reizen wurden drei Blocktypen gebildet, die sich nur in S2 unterschieden: neutrale Blöcke mit ausschließlich neutralem S2, inkongruente Blöcke mit ausschließlich inkongruentem S2 und

gemischte Blöcke in denen die Anteile an Durchgängen mit neutralem und inkongruentem S2 gleich groß waren. Wie in Experiment 3 wurden die entsprechenden Kombinationsmöglichkeiten von S1 und S2 über die Versuchspersonen hinweg pseudorandomisiert mit der Beschränkung, dass die Faktoren „erste Aufgabe“ (Buchstaben vs. Zahlen), „Antwortfolge“ (Wiederholung vs. Wechsel) „Position des Zielreizes“ in S1 (innen vs. außen) und „Position des Zielreizes“ in S2 (innen vs. außen) innerhalb eines Blocks balanciert waren.

Die Teilnehmer wurden zufällig einer von zwei Experimentalgruppen zugewiesen. Beide Gruppen durchliefen zwei Phasen. Die *kon-ntr* Gruppe bearbeitete in der ersten Phase, der *Lernphase*, nur neutrale Blöcke (S2 immer neutral), die *kon-ink* Gruppe bearbeitete entsprechend nur inkongruente Blöcke (S2 immer inkongruent). In der zweiten Phase des Experiments, der *Testphase*, bearbeiteten beide Gruppen gemischte Blöcke (50 % der S2 inkongruent, 50 % neutral). Die erste Phase umfasste 12 Blöcke mit jeweils 72 Durchgängen wovon die ersten zwei Blöcke als Übungsblöcke dienten und nicht ausgewertet wurden. Die zweite Phase bestand aus vier Blöcken.

Da S1 immer kongruent war, bestand für die Teilnehmer die Möglichkeit, entgegen der Instruktion Aufgabenwiederholungen statt Aufgabenwechsel durchzuführen. Denn aufgrund der kongruenten Reize in S1 war die Antwort immer richtig, unabhängig ob die instruierte Aufgabe auf den Zielreiz oder die alternative Aufgabe auf den Ablenkreiz angewandt wurde. Beispielsweise sei S1 „6K6“ und S2 „E8E“. Der Hinweisreiz „k/v“ signalisiert das Konsonant/Vokal-Urteil als erste Aufgabe und folglich das gerade/ungerade-Urteil als zweite Aufgabe. Antwortet eine Versuchsperson nun in S1 statt auf den Zielreiz „K“ auf den Ablenkreiz „6“, so drückt sie dennoch korrekterweise die linke Antworttaste (da sowohl „Konsonant → links“ als auch „gerade → links“). In S2 antwortet die Versuchsperson instruktionsgemäß auf den Zielreiz „8“. Insgesamt hat die Versuchsperson also zweimal auf eine Zahl geantwortet, sprich die gerade/ungerade-Aufgabe wiederholt, ohne einen beobachtbaren Fehler gemacht zu haben. Mit Hilfe dieser Strategie könnten die Versuchsteilnehmer sich Vorteile verschaffen und die Aufgabenwechselkosten umgehen. Zur Überprüfung solcher, im Sinne des Experiments unerwünschter Strategien wurden die Versuchsteilnehmer nach dem Experiment befragt. Es sollte geprüft werden, ob den Versuchsteilnehmern aufgefallen war, dass ihre Antwort in S1 immer richtig ist, egal auf welches Reizelement (Ziel- oder Ablenkreiz) sie antworten und somit eine Aufgabenwiederholungsstrategie wahrscheinlich war. Nach dem Experiment wurden folgende vier Fragen vom Versuchsleiter gestellt: 1) Hast du eine bestimmte Strategie verfolgt? 2) Ist dir etwas an den Reizen oder den Aufgaben aufgefallen? 3) Ist dir etwas an der ersten Aufgabe aufgefallen? 4) Hast du bemerkt, dass die unterschiedlichen Reize bei der

ersten Aufgabe beide dieselbe Antwort erfordern? Wenn die letzte Frage mit „Ja“ beantwortet wurde oder eine Antwort auf die Fragen 1) – 3) einen Hinweis für eine Bearbeitung entgegen der Instruktion ergab, dann wurde die Versuchsperson aus der Analyse ausgeschlossen. Dies war bei fünf Versuchspersonen der Fall. Interessanterweise gehörten diese alle zur kon-ntr Gruppe. Man könnte spekulieren, ob in dieser Gruppe in der Lernphase, in der nur neutrale S2 dargeboten wurden, mehr Kapazität zur Verfügung stand und so die Wahrscheinlichkeit, die Vorteile kongruenter S1 zu entdecken, größer war. Entsprechend wäre in der kon-ink Gruppe die Aufmerksamkeitskapazität durch die Aufgabe so belastet, dass die Entdeckungswahrscheinlichkeit gering war. Es wäre interessant, dieser Möglichkeit in einem zukünftigen Experiment nachzugehen. Da sie im Rahmen der vorliegenden Arbeit aber keine Rolle zu spielen scheint, wurde sie nicht weiter untersucht.

3.2. ERGEBNISSE

Für die mittleren Reaktionszeiten korrekt beantworteter Durchgänge und Fehlerraten der Antworten auf S2 wurden dreifaktorielle ANOVAS mit Messwiederholung auf den Faktoren *Phase* (Lernphase vs. Testphase) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) sowie dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Gruppe* (kon-ntr Gruppe vs. kon-ink Gruppe) berechnet. In die statistische Auswertung gingen letztlich aus der kon-ntr Gruppe acht und aus der kon-ink Gruppe sieben Versuchspersonen ein.

Reaktionszeiten

Der Haupteffekt *Antwortabfolge* zeigte sich signifikant, $F(1,13) = 26.8$, $p < .001$. Der Haupteffekt *Gruppe* verfehlte dagegen die Signifikanz ($F(1,13) = 1.69$) und der Haupteffekt *Phase* zeigte sich als Trend, $F(1,13) = 3.63$, $p < .1$. Darüber hinaus war die Interaktion *Gruppe* \times *Phase* signifikant, $F(1,13) = 28.8$, $p < .001$. Dies zeigte sich in einer Zunahme der Reaktionszeiten von der Lern- zur Testphase in der kon-ntr Gruppe (524 ms vs. 586 ms; $t(7) = 4.51$, $p < .01$), während sie in der kon-ink Gruppe abnahmen (640 ms vs. 606 ms; $t(6) = 3.13$, $p < .05$). Außerdem gab es eine Tendenz zu einer *Gruppe* \times *Antwortabfolge* Interaktion, $F(1,13) = 3.13$, $p = .10$. Die Kosten einer Antwortwiederholung gegenüber einem Antwortwechsel waren in der kon-ntr Gruppe tendenziell kleiner (42 ms; 575 ms vs. 535 ms) als in der kon-ink Gruppe (82 ms; 664 ms vs. 582 ms).

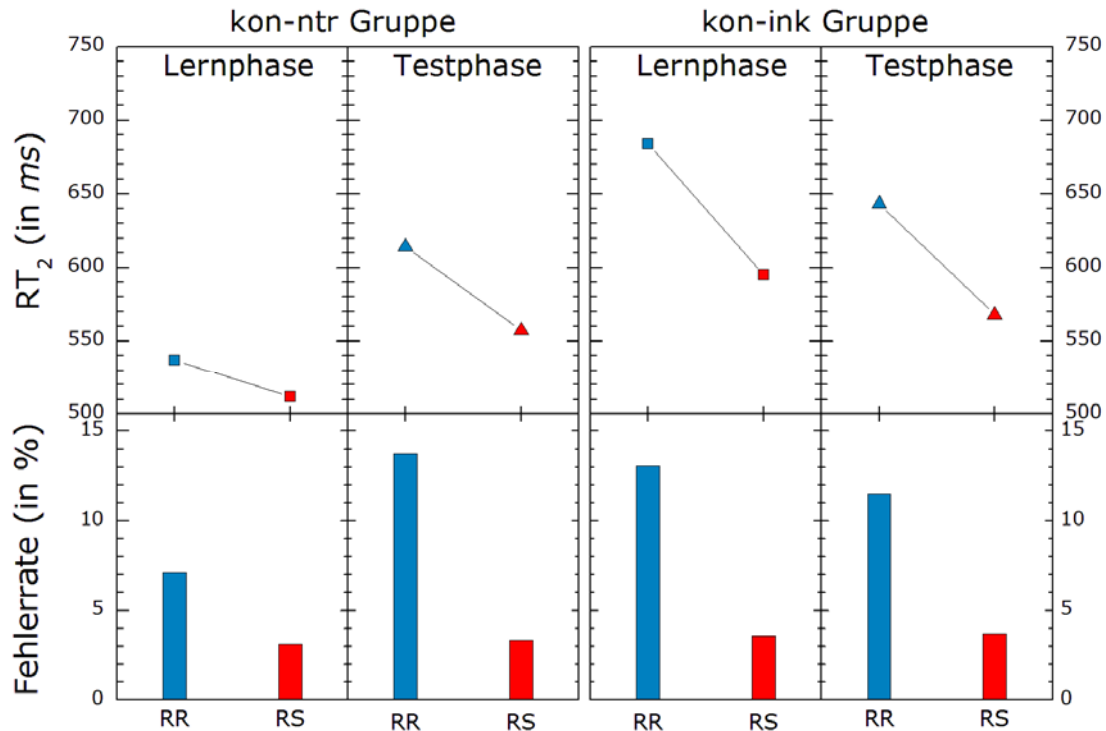


Abbildung 10. Reaktionszeiten auf den zweiten Reiz (RT₂) und Fehlerraten in Experiment 4a. In der linken Abbildungshälfte sind die Ergebnisse für die kon-ntr Gruppe (in der Lernphase nur neutrale S₂) in der rechten für die kon-ink Gruppe (in der Lernphase nur inkongruente S₂) dargestellt. In der Testphase war für beide Gruppen die Häufigkeit von neutralen und inkongruenten S₂ identisch. RR: Antwortwiederholung, RS: Antwortwechsel.

Das gesamte Datenmuster war charakterisiert durch die dreifach Interaktion *Gruppe* × *Phase* × *Antwortabfolge*, $F(1,13) = 7.28$, $p < .05$. Betrachtet man die beiden Gruppen getrennt, so zeigt sich eine signifikante Interaktion *Phase* × *Antwortabfolge* in der kon-ntr Gruppe ($F(1,7) = 6.05$, $p < .05$) nicht jedoch in der kon-ink Gruppe ($F(1,6) = 1.77$, $p > .2$). Wie in Abbildung 11 zu sehen ist, nahm in der kon-ntr Gruppe der Nachteil von Antwortwiederholungen gegenüber Antwortwechseln in der Testphase deutlich zu (zu sehen an der größeren Steigung der Verbindungslinien; 25 ms vs. 57 ms ; $t(7) = 2.46$, $p < .2$). In der kon-ink Gruppe war keine statistisch signifikante Veränderung zu beobachten (89 ms vs. 75 ms ; $t(6) = -1.33$, $p > .2$)¹⁷. Auch kann die dreifach Interaktion *Gruppe* × *Phase* × *Antwortabfolge* durch eine getrennte Betrachtung der beiden Phasen aufgeschlüsselt werden. Die Interaktion der Faktoren *Gruppe* und *Antwortabfolge* zeigte

¹⁷ Da die Interaktion *Phase* × *Antwortabfolge* nicht den vorhandenen Niveauunterschied zwischen der Lern- und der Testphase berücksichtigt, wurde zur Kompensation des Niveauunterschiedes ein proportionales Maß für die Antwortwiederholungskosten nach der Formel $\text{Antwortwiederholungskosten} = \text{RR}/\text{RS}$ gebildet. Ein paarweiser Vergleich zwischen der Lern- und Testphase für die kon-ntr Gruppe ergab auch für das proportionale Maß eine signifikante Zunahme der Antwortwiederholungskosten, $t(7) = 2.47$, $p < .05$.

sich nur in der Lernphase signifikant ($F(1,13) = 10.3, p < .01$), nicht jedoch in der Testphase ($F(1,13) < 1$).

Berücksichtigung der Kongruenz in S2. Eine genauere Betrachtung der Veränderung in der Stärke der Antworthemmung von der Lern- zur Testphase ergibt sich durch den Vergleich von Durchgängen mit identischer Kongruenz in S2. Beispielsweise sollte sich eine generelle Zunahme der Antwortinhibition von der Lern- zur Testphase in einer Zunahme der Antwortwiederholungskosten zeigen. Höhere Antwortwiederholungskosten könnten aber auch Folge einer spezifischen (*on-the-fly*) Anpassung an die in der Testphase neu hinzugekommenen Durchgänge sein (z. B. Durchgänge mit inkongruentem S2 für die kon-ntr Gruppe). Evidenz für eine generell höhere Antwortinhibition in der Testphase liefert daher vor allem der Vergleich von Durchgängen mit identischer Kongruenz in S2. Daher wurde erneut eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung auf den Faktoren *Phase* (Lernphase vs. Testphase) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Gruppe* (kon-ntr Gruppe vs. kon-ink Gruppe) berechnet, wobei für die jeweilige Gruppe nur Durchgänge aus der Testphase berücksichtigt wurden, in denen die Kongruenz in S2 identisch gegenüber der Lernphase war (d. h., für die kon-ntr Gruppe in der Testphase nur Durchgänge mit neutralem S2 und für die kon-ink Gruppe in der Testphase nur Durchgänge mit inkongruentem S2). Es werden nur die relevanten Interaktionen, also *Gruppe* \times *Antwortabfolge*, *Phase* \times *Antwortabfolge* und die Interaktion aller drei Faktoren berichtet. Prinzipiell zeigten sich höhere Antwortwiederholungskosten in der kon-ink Gruppe (95 ms) als in der kon-ntr Gruppe (35 ms), $F(1,13) = 5.21, p < .05$. Die Interaktion *Phase* \times *Antwortabfolge* ($F(1,13) = 2.12, p = .17$) sowie die dreifach Interaktion wurde nicht signifikant, $F(1,13) < 1$.

Testphase. Schließlich soll in einer ANOVA mit Messwiederholung auf den Faktoren *Kongruenz in S2* (neutral vs. inkongruent) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Gruppe* (kon-ntr Gruppe vs. kon-ink Gruppe) die Testphase näher betrachtet werden. Es fanden sich Haupteffekte der Faktoren *Kongruenz in S2* ($F(1,13) = 54.4, p < .001$) und *Antwortabfolge* ($F(1,13) = 21.9, p < .001$). Diese waren charakterisiert durch die Interaktion der beiden Faktoren, $F(1,13) = 6.06, p < .05$. In Durchgängen mit neutralem S2 waren die Reaktionszeiten schneller (559 ms vs. 649 ms) und die Antwortwiederholungskosten kleiner als in Durchgängen mit inkongruentem S2 (58 ms vs. 89 ms; $t(14) = 2.55, p < .05$). Außerdem gab es einen Trend zu einer *Gruppe* \times *Kongruenz* Interaktion, $F(1,13) = 4.34, p < .10$. In der kon-ntr Gruppe war der Kongruenzeffekt ausgeprägter

(539 ms vs. 651 ms) als in der kon-ink Gruppe (583 ms vs. 645 ms). Keine anderen Effekte wurden signifikant, $F_s(1,13) < 1$.

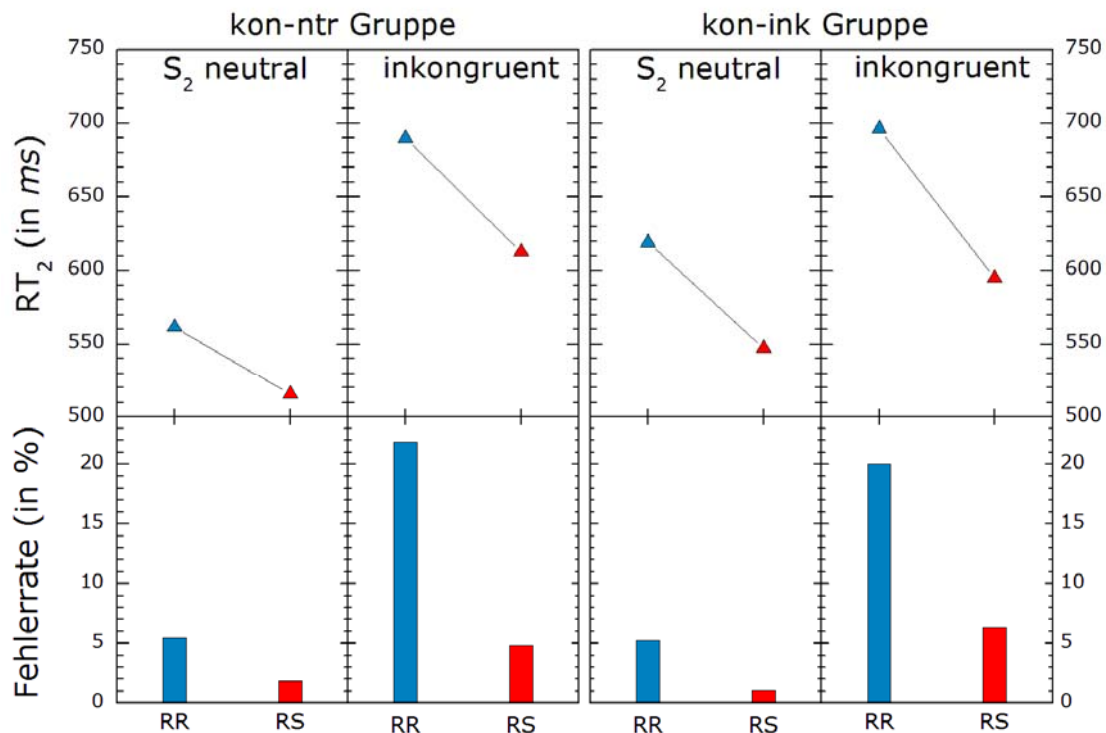


Abbildung 11. Reaktionszeiten auf den zweiten Reiz (RT₂) und Fehlerraten in der Testphase des Experiments 4a in Abhängigkeit von der Kongruenz des zweiten Reizes (S₂) eines Durchgangs. In der linken Abbildungshälfte sind die Ergebnisse für die kon-ntr Gruppe (in der vorausgehenden Lernphase nur neutrale S₂) in der rechten für die kon-ink Gruppe (in der vorausgehenden Lernphase nur inkongruente S₂) dargestellt. In der Testphase war für beide Gruppen die Häufigkeit von neutralen und inkongruenten S₂ identisch. RR: Antwortwiederholung, RS: Antwortwechsel.

Fehlerraten

Statistische Signifikanz erreichten die Haupteffekte *Phase* ($F(1,13) = 5.52$, $p < .05$) und *Antwortabfolge* ($F(1,13) = 35.5$, $p < .001$). Auch die Interaktion der Faktoren *Gruppe* und *Phase* war signifikant, $F(1,13) = 10.9$, $p < .01$. Außerdem fand sich eine Tendenz zu einer *Phase* × *Antwortabfolge* Interaktion, $F(1,13) = 3.15$, $p < .1$. Wie in den Reaktionszeiten waren die Effekte durch die Interaktion aller drei Faktoren charakterisiert, $F(1,13) = 7.47$, $p < .05$. Auch hier verdeutlicht eine getrennte Betrachtung für die Gruppen den Zusammenhang. Während es in der kon-ntr Gruppe zu einer spezifischen Zunahme der Fehlerrate bei Antwortwiederholungen (7.13 % vs. 13.7 %; $t(7) = 3.73$, $p < .01$) in der folgenden Testphase kam (mit konstanter Fehlerrate bei Antwortwechseln, vgl. Abbildung 11), zeigte sich in der kon-ink Gruppe keine Interaktion der Faktoren *Phase* und *Antwortabfolge* ($F(1,6) < 1$). Entsprechend zeigte eine Aufschlüsselung der dreifach

Interaktion nach *Phase* einen numerisch großen Unterschied der Antwortwiederholungskosten zwischen den Gruppen in der Lernphase (wiederum vor allem in den Antwortwiederholungen, vgl. Abbildung 11), der allerdings statistisch nicht signifikant war, $F(1,13) = 2.82, p = .12$. Auch in der Testphase ist die entsprechende Gruppe \times Phase Interaktion nicht signifikant, $F(1,13) < 1$.

Berücksichtigung der Kongruenz in S2. Entsprechend dem Vorgehen bei der Analyse der Reaktionszeiten wurden in einer weiteren ANOVA mit Messwiederholung auf den Faktoren *Phase* (Lernphase vs. Testphase) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Gruppe* (kon-ntr Gruppe vs. kon-ink Gruppe) für die jeweilige Gruppe nur Durchgänge aus der Testphase berücksichtigt, in denen die Kongruenz in S2 identisch gegenüber der Lernphase war. Die relevante Interaktion der Faktoren *Gruppe*, *Phase* und *Antwortabfolge* zeigte sich als Trend, $F(1,13) = 3.69, p < .10$. Für die Gruppen getrennt betrachtet bedeutet dieser Trend, dass es in der kon-ink Gruppe tendenziell zu einer Zunahme der Antwortwiederholungskosten bei inkongruentem S2 von der Lern- zur Testphase kam (9.49 % vs. 13.7 %, $F(1,6) = 4.41, p < .10$), während die kon-ntr Gruppe keine Veränderung der Antwortwiederholungskosten bei neutralem S2 zeigte, $F(1,7) < 1$.

Testphase. Wie für die Reaktionszeiten wurde eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung auf den Faktoren *Kongruenz in S2* (neutral vs. inkongruent) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Gruppe* (kon-ntr Gruppe vs. kon-ink Gruppe) berechnet, um die Testphase genauer zu betrachten. Die Ergebnisse spiegelten die der Reaktionszeiten. Neben den Haupteffekten der Faktoren *Kongruenz in S2* ($F(1,13) = 20.0, p < .01$) und *Antwortabfolge* ($F(1,13) = 40.5, p < .001$) war auch die Interaktion der beiden Faktoren signifikant, $F(1,13) = 14.89, p < .01$. Gab es in Durchgängen mit neutralem S2 bereits Nachteile von Antwortwiederholungen gegenüber Antwortwechselln (5.38 % vs. 1.45 %, $t(14) = 3.57, p < .01$), wurden in Durchgängen mit inkongruentem S2 die Nachteile noch größer (21.0 % vs. 5.52 %, $t(14) = 5.66, p < .001$). Alle anderen Effekte waren nicht signifikant, $F_s(1,13) < 1$.

3.3. DISKUSSION

Die Maximierung des Risikos einer fehlerhaften Antwortwiederholung hatte eine deutliche Wirkung auf die Stärke der Antwortinhibition: In der kon-ink Gruppe wurden in der Lernphase sehr große Antwortwiederholungskosten beobachtet (89 *ms* bzw. 9.49 %). Im Gegensatz dazu waren die Kosten einer Antwortwiederholung in der kon-ntr

Gruppe wesentlich kleiner, wenn auch immer noch substantiell (25 *ms* bzw. 4.01 %). Wie veränderten sich diese Unterschiede in der Testphase?

In der kon-ntr Gruppe zeigte sich eine Zunahme der Antwortwiederholungskosten von der Lern- zur Testphase, bei der kon-ink Gruppe gab es dagegen keinen Unterschied. Die Ergebnisse sprechen zumindest dafür, dass in der kon-ntr Gruppe die Antwortinhibition an das gestiegene Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung angepasst wurde. Die Daten der kon-ink Gruppe zeigen aber auch, dass auf ein herabgesenktes Risiko weniger flexibel reagiert wurde. Hier sprechen die Ergebnisse eher für Rigidität. Es könnte also sein, dass es eine Tendenz des Systems gibt, im Falle eines steigenden Risikos die Antwortinhibition zu erhöhen, diese dann aber nur zögerlich wieder abzusenken. Dazu würde auch passen, dass es in der Testphase keinen Unterschied mehr in den Antwortwiederholungskosten zwischen den Gruppen gab. Die kon-ntr Gruppe hatte das gleiche Niveau erreicht wie die kon-ink Gruppe.

Die Analyse der Testphase ergibt hingegen ein anderes Bild: Die Größe der Antwortwiederholungskosten war vor allem von der Kongruenz des aktuellen Reizes abhängig. Bei einem neutralen Reiz waren die Kosten kleiner als bei einem (bivalent) inkongruenten Reiz. Dieser Effekt zeigte sich in den Reaktionszeiten und in den Fehlerraten deutlich. Weiterhin lässt ein Blick auf Abbildung 12 sowie die statistische Analyse klar erkennen, dass diese Wechselwirkung nicht von der Lernphase (also dem Faktor *Gruppe*) abhängig war. Im Unterschied zur Betrachtung des voneinander abweichenden Verlaufs von der Lern- zur Testphase sprechen diese Ergebnisse für einen *on-the-fly* Anpassung der Antwortinhibition und nicht für eine inkrementelle Anpassung. Erhöht sich durch die Verarbeitung des aktuellen Reizes das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung, wird die Antwortinhibition sofort verstärkt.

Darüber hinaus zeigt die Analyse der Testphase, dass das hier angewendete Paradigma tatsächlich in der Lage war, verschiedene Verarbeitungsstrategien nachzuweisen. So zeigte sich der Kongruenzeffekt abhängig von der Lernerfahrung aus der ersten Phase. In der kon-ntr Gruppe war der Kongruenzeffekt größer als in der kon-ink Gruppe. Dieses Resultat stimmt mit Befunden überein, wonach verschiedene Selektionsstrategien erlernt werden können, die sich dann auf den Einfluss irrelevanter Reizinformation auswirken und so den Kongruenzeffekt modulieren (Hübner, 2007 #1022, vgl. auch Gratton, et al., 1992).

Die Interpretation der Ergebnisse im Sinne einer *on-the-fly* Adaption der Antwortinhibitionsstärke wird auch durch die Analyse bestätigt, in der für jede Gruppe nur solche Durchgänge der Testphase berücksichtigt wurden, in denen die Kongruenz in S2 iden-

tisch gegenüber der Lernphase war. Trotz des allgemeinen Anstiegs der Antwortinhibition von der Lern- zur Testphase in der kon-ntr Gruppe, findet sich kein Unterschied zwischen den Phasen in den Antwortwiederholungskosten für Durchgänge mit neutralem S2. Das heißt, die Antwortinhibition scheint in der kon-ntr Gruppe von der Lern- zur Testphase nur deshalb zuzunehmen, weil Durchgänge mit inkongruentem S2 hinzukommen, in denen die Antwortinhibition nur lokal erhöht ist.

In Experiment 1B wurde ein ähnlicher Effekt gefunden. Dort zeigten sich die Antwortwiederholungskosten bei kongruenten gegenüber inkongruenten S2 kleiner. Es wurde spekuliert, dass die Reduktion auf eine erleichterte Verarbeitung des kongruenten Ablenkereizes zurückzuführen ist, da dieser im Falle einer Antwortwiederholung immer von der gleichen Stimuluskategorie stammte wie der Zielreiz in S1 und so die Antwortselektion in S2 beschleunigt. Diese alternative Erklärung ist im vorliegenden Experiment nicht mehr zwingend, da es einen solchen Vorteil bei den neutralen Reizen nicht gab.

Einzig in der Betrachtung der Fehlerraten zeigte sich ein Resultat, das der Idee einer schnellen Adaption der Antwortinhibition zu widersprechen scheint. Tendenziell fand sich für die kon-ink Gruppe eine Zunahme der Antwortwiederholungskosten bei inkongruentem S2 von der Test- zur Lernphase. Dies ist insofern merkwürdig, da nach den bisherigen Überlegungen höchstens eine Abnahme der Kosten zu erwarten gewesen wäre, keinesfalls aber eine Zunahme. Weil sich dieser Effekt aber statistisch nur als Trend zeigte, ist es für eine solide Interpretation ratsam, eine eventuelle Replikation im nächsten Experiment abzuwarten, zumal der Effekt in den Reaktionszeiten nicht vorhanden war.

Zusammenfassend zeigen die Befunde klar eine Abhängigkeit der Antwortwiederholungskosten von der Kongruenzeigenschaft des aktuellen Reizes. Warum wurde so eine Abhängigkeit bisher nicht berichtet? Die einfachste Erklärung ist, dass sie noch nicht untersucht wurde. Es erscheint spontan doch recht unwahrscheinlich, dass die Stärke der Antwortinhibition, erst nachdem eine akute Risikoerhöhung für eine fehlerhafte Antwortwiederholung entdeckt wurde, noch erhöht werden kann bzw. eine potentielle Erhöhung so massive Effekte bewirkt. Die Reizverarbeitung ist zu diesem Zeitpunkt ja schon weit fortgeschritten. Auch die alternative Vorstellung, dass die Antwortinhibition beim Fehlen eines Konfliktes (neutraler Reiz) quasi gestoppt wird, scheint nur schwer verdaulich. Gleichwohl gibt es in jüngster Zeit Befunde, die nahelegen, dass das kognitive System auch noch nach der Reizpräsentation Aufmerksamkeitsressourcen umverteilen kann (z. B. Lehle & Hübner, 2008). Darüber hinaus deuten die im vorliegenden Experiment gefundenen Effekte darauf hin, dass auch die Stärke der Antwortinhibition noch nach

Beginn der Reizverarbeitung sehr schnell angepasst werden kann. Dies muss nicht zwingendermaßen auf der Information über einen Antwortkonflikt beruhen. Alternativ könnten auch andere visuelle Merkmale der Reize genutzt werden, um die Risikoerhöhung zu erkennen. So unterschieden sich im aktuellen Experiment die inkongruenten von den neutralen S2 auch durch das Auftreten eines neutralen Symbols.

4. EXPERIMENT 4B: ERLERNEN EINER STRATEGIE

Das Experiment 4B wurde parallel zu Experiment 4A geplant. Bis auf zwei Unterschiede waren die Experimente identisch.

Im Gegensatz zu Experiment 4A wurden jetzt immer neutrale Reize in S1 verwendet. Dadurch ergaben sich Gruppen mit neutralem S1 und neutralem S2 (ntr-ntr) sowie mit neutralem S1 und inkongruentem S2 (ntr-ink). Die ntr-ntr Gruppe stellt dabei eine Art Kontrollbedingung oder Baseline für das vorliegende Paradigma dar. In dieser Bedingung ist das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung weder durch eine starke Aktivierung der vorhergehenden Antwort erhöht noch durch die Bearbeitung (bivalent) inkongruenter Reize.

Die zweite Veränderung war, dass in der ntr-ntr Gruppe eine zusätzliche Manipulation der Antwortaktivierung eingeführt wurde. Dazu wurde der Zielreiz in S1 entweder links oder rechts der Bildschirmmitte dargeboten. Da die Antwortalternativen *links* oder *rechts* waren, entspricht die Manipulation der Position des Zielreizes in S1 einer klassischen Manipulation zum Simon-Effekt (Simon, 1969). Das heißt, es bestand entweder eine räumliche Kompatibilität zwischen der Position des Reizes in S1 und der korrekten Antwort (beide rechts bzw. beide links) oder nicht (unterschiedliche räumliche Positionen). Der Simon-Effekt besteht darin, dass auf räumlich kompatible Reiz-Reaktions-Anordnungen schneller und genauer reagiert wird als auf räumlich inkompatible Anordnungen. Dieser Effekt tritt auch dann auf, wenn die räumliche Position des Zielreizes für die Aufgabe irrelevant ist (für einen Überblick siehe Lu & Proctor, 1995). Der Simon-Effekt wird dadurch erklärt, dass die irrelevante Stimuluseigenschaft automatisch die korrespondierende Antwort aktiviert (vgl. aber Wühr & Ansorge, 2007). Dadurch wird ein Antwortkriterium im kompatiblen Fall schneller erreicht als in einem inkompatiblen Fall. Wie in der Einführung besprochen nutzten Druey und Hübner (2008) diesen Effekt zur Modulation der Antwortaktivierung und fanden erhöhte Antwortwiederholungskosten nach einem kompatiblen im Vergleich zu einem inkompatiblen Reiz. Zusätzlich zeigte sich in ihrer Studie, dass sowohl die Kompatibilität als auch die Kongruenz des ersten Reizes (vgl. Experiment 4A) die Antwortinhibition gleichzeitig beeinflussen können. Im

vorliegenden Experiment wurde in ähnlicher Weise gefragt, ob die Kompatibilität des ersten Reizes und die Kongruenz des zweiten Reizes gleichzeitig die Antwortinhibition beeinflussen können.

Insgesamt sollten die beiden Experimente 4A und 4B einen schönen Überblick über eine Bandbreite an Risiken einer fehlerhaften Antwortwiederholung ergeben. Die ntr-ntr Gruppe diente als Kontrollbedingung. Hier war erkenntlich, wie die Antwortwiederholungseffekte unter Aufgabenwechsel ausfallen, denn in dieser Gruppe war das Risiko weder durch die Antwortaktivierung noch durch die Reizsituation erhöht. Die nächste Stufe sollten die kon-ntr Gruppe bzw. die kompatible Simon-Bedingung darstellen, da hier die Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang erhöht sein sollte. Als dritte Stufe wurde die ntr-ntr Bedingung erwartet, weil sich die starke Wirkung eines hohen Aufgaben- und Antwortkonflikts niederschlagen sollten. Die finale Stufe sollte durch die kon-ntr Gruppe repräsentiert sein, in der beide Risikofaktoren zusammen auftraten.

Die Hauptfragestellung war natürlich, ob sich im Verlauf von der Lern- zur Testphase wieder zeigen würde, dass die Antwortwiederholungskosten allein von der Kongruenz des aktuellen Reizes abhängen. Schließlich war eine weitere Frage auch, ob der Befund aus Experiment 4A mit zunehmenden Antwortwiederholungskosten von der Lern- zur Testphase in Durchgängen mit inkongruentem S2 repliziert werden kann.

4.1. METHODE

Versuchsteilnehmer

An dem Experiment nahmen insgesamt 35 Studenten der Universität Konstanz teil. 7 Teilnehmer wurden aufgrund sehr langer Reaktionszeiten (> 1000 ms) oder sehr hoher Fehlerraten (> 40 %) von der Stichprobe exkludiert. Dies veränderte die Ergebnisse jedoch nicht qualitativ. In die Analyse gingen daher 28 Versuchsteilnehmer (7 männliche, 21 weibliche; mittleres Alter 21;6 Jahre) ein.

Versuchsaufbau und Reizmaterial

Bis auf zwei Unterschiede waren Versuchsaufbau und Reizmaterial wie in Experiment 4A. Zum einen war S1 immer neutral anstatt kongruent. Zum anderen stand in S1 der Ablenkreuz (neutrales Symbol: *) immer in der Mitte des Bildschirms und der Zielreiz links oder rechts davon – in der gleichen Position wie die äußeren Reizelemente in S2.

Vorgehen/Prozedur

Die Prozedur entsprach der in Experiment 4A jedoch ohne, dass die Versuchsteilnehmer nach dem Experiment zu unerwünschten Antwortstrategien in Bezug auf S1 befragt wurden. Der Faktor *Kompatibilität* (inkompatibel vs. kompatibel), der sich durch die Manipulation des Präsentationsortes in S1 ergab, wurde bei der Randomisierung der Durchgänge zusätzlich berücksichtigt. Es ergaben sich also insgesamt 24 verschiedene S1 sowie 24 neutrale und 36 inkongruente S2.

4.2. ERGEBNISSE

Für die mittleren Reaktionszeiten korrekt beantworteter Durchgänge und Fehlerraten der Antworten auf S2 wurden dreifaktorielle ANOVAS mit Messwiederholung auf den Faktoren *Phase* (Lernphase vs. Testphase) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Gruppe* (ntr-ntr Gruppe vs. ntr-ink Gruppe) berechnet. In die statistische Auswertung gingen letztlich aus der ntr-ntr Gruppe 12 und aus der ntr-ink Gruppe 16 Versuchspersonen ein. Der Faktor *Kompatibilität* wurde in einer zusätzlichen Auswertung berücksichtigt (s. u.).

Reaktionszeiten

In der Analyse der Reaktionszeiten wurden signifikante Haupteffekte der Faktoren *Phase* ($F(1,26) = 10.8, p < .01$) und *Antwortabfolge* ($F(1,26) = 19.6, p < .001$) gefunden. Weiterhin war die Interaktion der Faktoren *Gruppe* und *Phase* signifikant, $F(1,26) = 27.9, p < .001$. In der ntr-ntr Gruppe nahmen die Reaktionszeiten von der Lern- zur Testphase zu (565 ms vs. 736 ms, $t(11) = 5.09, p < .001$), wohingegen es in der ntr-ink Gruppe keine statistisch signifikante Änderung gab ($t(15) = -1.19$).

Schließlich war auch die Interaktion aller drei Faktoren, *Gruppe*, *Phase* und *Antwortabfolge* signifikant, $F(1,26) = 16.1, p < .001$. Wiederum wurde die dreifach Interaktion getrennt für die beiden Gruppen betrachtet. In beiden Gruppen war die *Phase* × *Antwortabfolge* Interaktion signifikant (ntr-ntr Gruppe: $F(1,11) = 16.1, p < .001$; ntr-ink Gruppe, $F(1,15) = 16.1, p < .001$) allerdings zeigten die Antwortwiederholungskosten eine gegenläufige Entwicklung. Während es in der ntr-ntr Gruppe in der Lernphase keine Kosten einer Antwortwiederholungen gegenüber einem Antwortwechseln gab (568 ms vs. 563 ms, $t(11) < 1$) fanden sich reliable Kosten in der Testphase (5 ms vs. 30 ms, $t(11) = 2.34, p < .05$). In der ntr-ink Gruppe waren dagegen die Kosten einer Antwortwiederholung in der Lernphase kleiner als in der Testphase (50 ms vs. 26 ms, $t(15) = -3.44, p < .01$). Eine Analyse der *Gruppe* × *Antwortabfolge* In-

teraktion nach Phasen getrennt zeigte, dass es einen signifikanten Gruppenunterschied hinsichtlich der Antwortwiederholungskosten nur in der Lernphase ($F(1,26) = 9.45$, $p < .01$) nicht aber in der Testphase ($F(1,26) < 1$) gab.

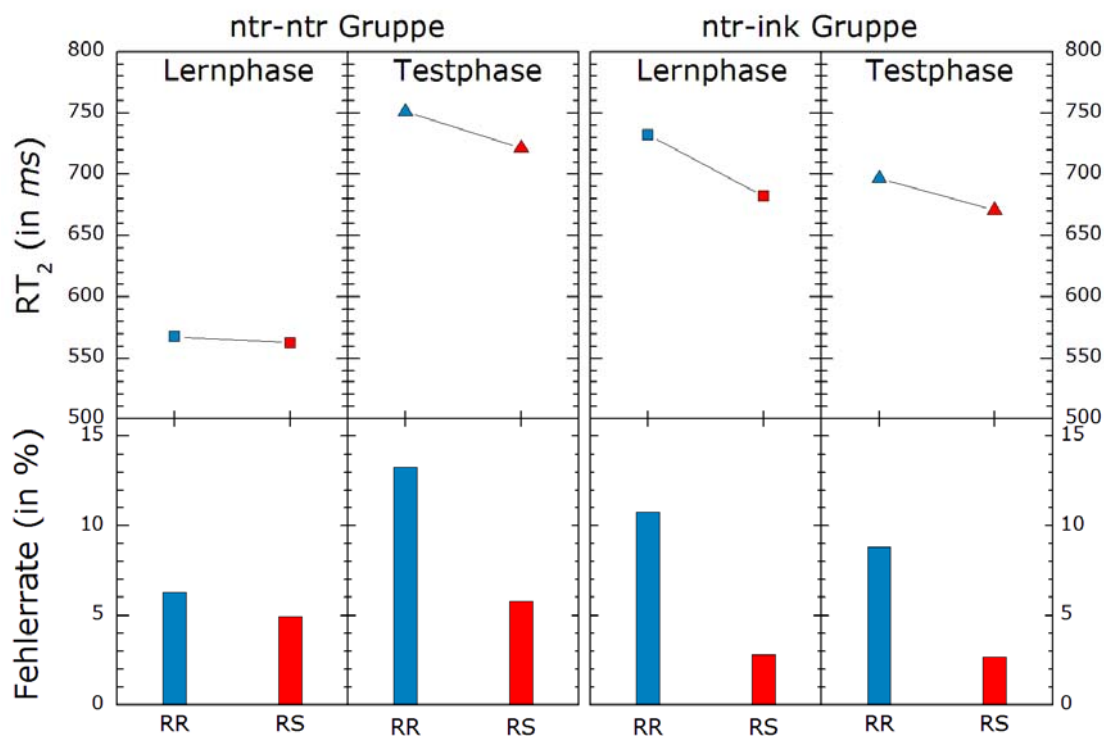


Abbildung 12. Reaktionszeiten auf den zweiten Reiz (RT₂) und Fehlerraten in Experiment 4B. In der linken Abbildungshälfte sind die Ergebnisse für die ntr-ntr Gruppe (in der Lernphase nur neutrale S2) in der rechten für die ntr-ink Gruppe (in der Lernphase nur inkongruente S2) dargestellt. In der Testphase war für beide Gruppen die Häufigkeit von neutralen und inkongruenten S2 identisch. RR: Antwortwiederholung, RS: Antwortwechsel.

Berücksichtigung der Kongruenz in S2. Wie bei der Analyse von Experiment 4A wurden in einer weiteren ANOVA mit Messwiederholung auf den Faktoren *Phase* (Lernphase vs. Testphase) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Gruppe* (ntr-ntr Gruppe vs. ntr-ink Gruppe) für die jeweilige Gruppe nur Durchgänge aus der Testphase berücksichtigt, in denen die Kongruenz in S2 identisch gegenüber der Lernphase war. Es werden nur die relevanten Interaktionen mit dem Faktor *Antwortabfolge* berichtet. Die Interaktion mit dem Faktor *Gruppe* war signifikant, $F(1,26) = 7.90$, $p < .01$. Die Interaktion mit dem Faktor *Phase* ($F(1,26) = 1.42$) sowie die dreifach Interaktion mit den Faktoren *Gruppe*, *Phase* waren nicht signifikant ($F(1,26) < 1$). Auch ein Punktvergleich der Antwortwiederholungskosten in der ntr-ink Gruppe zwischen der Lern- und der Testphase war nicht signifikant (50 ms vs. 61 ms, $t(15) < 1$.)

Testphase. Die Testphase wurde mit Hilfe einer ANOVA mit Messwiederholung auf den Faktoren *Kongruenz in S2* (neutral vs. inkongruent) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Gruppe* (kon-ntr Gruppe vs. kon-ink Gruppe) genauer betrachtet. Die Haupteffekte der Faktoren *Kongruenz in S2* ($F(1,26) = 91.9$, $p < .001$) und *Antwortabfolge* ($F(1,26) = 19.7$, $p < .001$) waren signifikant. Diese waren charakterisiert durch die Interaktion der beiden, $F(1,26) = 9.51$, $p < .01$. In Durchgängen mit neutralem S2 waren die Reaktionszeiten schneller und die Antwortwiederholungskosten kleiner (636 ms; 31 ms) als in Durchgängen mit inkongruentem S2 (794 ms; 57 ms). Alle anderen Effekte wurden nicht signifikant, $F_s(1,26) < 1.8$.

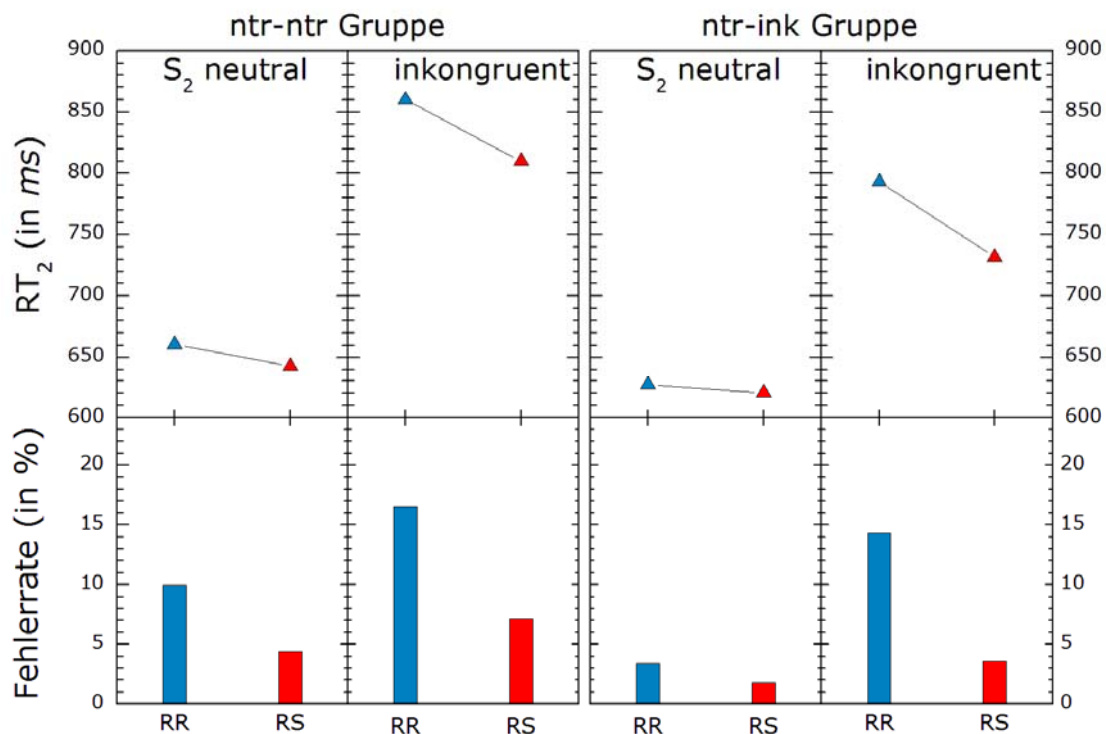


Abbildung 13. Reaktionszeiten auf den zweiten Reiz (RT₂) und Fehlerraten in der Testphase des Experiments 4B in Abhängigkeit von der Kongruenz des zweiten Reizes (S₂) eines Durchgangs. In der linken Abbildungshälfte sind die Ergebnisse für die ntr-ntr Gruppe (in der vorausgehenden Lernphase nur neutrale S₂) dargestellt, und in der rechten Hälfte die Ergebnisse für die ntr-ink Gruppe (in der vorausgehenden Lernphase nur inkongruente S₂). In der Testphase war für beide Gruppen die Häufigkeit von neutralen und inkongruenten S₂ identisch. RR: Antwortwiederholung, RS: Antwortwechsel.

Kompatibilität. Eine weitere Analyse sollte klären, ob die Stärke der Antwortwiederholungseffekte von der Kompatibilität in S₁ abhängig war. In die Analyse gingen nur die Daten aus der Lernphase ein. Zunächst wurde geklärt, ob die Manipulation der Kompatibilität in S₁ einen Effekt auf die Reaktionszeiten hatte. Dazu wurde eine ANOVA mit

Messwiederholung auf den Faktoren *Kompatibilität* (inkompatibel vs. kompatibel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Gruppe* (ntr-ntr vs. ntr-ink) berechnet. Als abhängige Variable diente die gemittelte Reaktionszeit korrekter Antworten auf den ersten Reiz. Es zeigte sich nur ein Haupteffekt für den Faktor *Kompatibilität*, $F(1,26) = 4.25$, $p < .05$. In inkompatiblen Durchgängen waren die Reaktionszeiten langsamer (621 ms) als in kompatiblen Durchgängen (613 ms). Es gab keinen Unterschied bezüglich der beiden Gruppen, $F(1,26) < 1.5$. Danach wurde eine weitere ANOVA mit Messwiederholung auf den Faktoren *Kompatibilität* (inkompatibel vs. kompatibel) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Gruppe* (ntr-ntr vs. ntr-ink) berechnet. Die abhängige Variable war wie zuvor bei der Analyse der Antwortwiederholungseffekte wieder die gemittelte Reaktionszeit auf den zweiten Reiz korrekt beantworteter Durchgänge. Die vorhergehenden Analysen bestätigend fanden sich signifikante Effekte für die Faktoren *Gruppe* ($F(1,26) = 12.6$, $p < .01$), *Antwortabfolge* ($F(1,26) = 18.4$, $p < .001$) und die Interaktion *Gruppe* × *Antwortabfolge* ($F(1,26) = 9.32$, $p < .01$). Zusätzlich war die Interaktion *Kompatibilität* × *Antwortabfolge* marginal signifikant, $F(1,26) = 4.08$, $p = .054$. Es zeigte sich, dass die Nachteile von Antwortwiederholungen gegenüber Antwortwechseln in kompatiblen Durchgängen tendenziell größer waren (666 ms vs. 628 ms, $t(27) = 4.22$, $p < .001$), als in inkompatiblen Durchgängen (659 ms vs. 634 ms), $t(27) = 2.81$, $p < .01$).

Vergleich der Experimente 4A und 4B. In einer letzten Analyse wurde untersucht, wie sich die Kongruenz in S1 auf die Antwortwiederholungseffekte auswirkt. Dazu wurde eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung auf dem Faktor *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und den zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktoren *Kongruenz in S1*¹⁸ (kongruent vs. neutral) und *Kongruenz in S2*¹⁹ (neutral vs. inkongruent) berechnet. In die Analyse gingen nur die Daten aus der Lernphase ein. Es wurden signifikante Effekte der Faktoren *Kongruenz in S2* ($F(1,39) = 14.5$, $p < .001$) und *Antwortabfolge* ($F(1,39) = 46.6$, $p < .001$) gefunden. Der Haupteffekt des Faktors *Kongruenz in S1* war nicht signifikant ($F(1,39) = 2.59$, $p = .12$). Die Haupteffekte waren durch mehrere Interaktionen charakterisiert. Es zeigte sich die Interaktion *Kongruenz in S1* × *Antwortabfolge* signifikant, $F(1,39) = 5.53$, $p < .05$. Zwar waren die Reaktionszeiten²⁰ bei kongruentem S1 kürzer als bei neutralem S2 (578 ms vs. 646 ms, $t(41) = 1.74$, $p < .05$, einseitig), aber die Nachteile für Antwortwiederholungen gegenüber

¹⁸ Die Stufen des Faktors *Kongruenz in S1* entsprechen den Experimenten 4A (kongruent) und 4B (neutral).

¹⁹ Die Stufen des Faktors *Kongruenz in S1* entsprechen in der Lernphase den Stufen des Faktors *Gruppe* der Experimente 4A und 4B (neutral entspricht kon-ntr bzw. ntr-ntr und inkongruent entspricht kon-ink- bzw. ntr-ink).

²⁰ Es werden nach wie vor die Reaktionszeiten auf S2 (also RT₂) berichtet.

Antwortwechseln waren bei kongruentem S1 tendenziell größer als bei neutralem S1, wenn auch nur marginal signifikant (55 ms vs. 31 ms , $t(41) = -1.61$, $p < .10$, einseitig). Die Interaktion *Kongruenz in S2* \times *Antwortabfolge* war ebenfalls signifikant, $F(1,39) = 19.7$, $p < .001$. Hier waren die Reaktionszeiten bei neutralem S2 kürzer als bei inkongruentem S2 (549 ms vs. 687 ms , $t(41) = 4.25$, $p < .001$). Weiterhin waren die Antwortwiederholungskosten bei neutralem S2 kleiner als bei inkongruentem S2 (13 ms vs. 62 ms , $t(41) = 3.97$, $p < .001$). Die dreifach Interaktion war nicht signifikant, $F(1,39) < 1$.

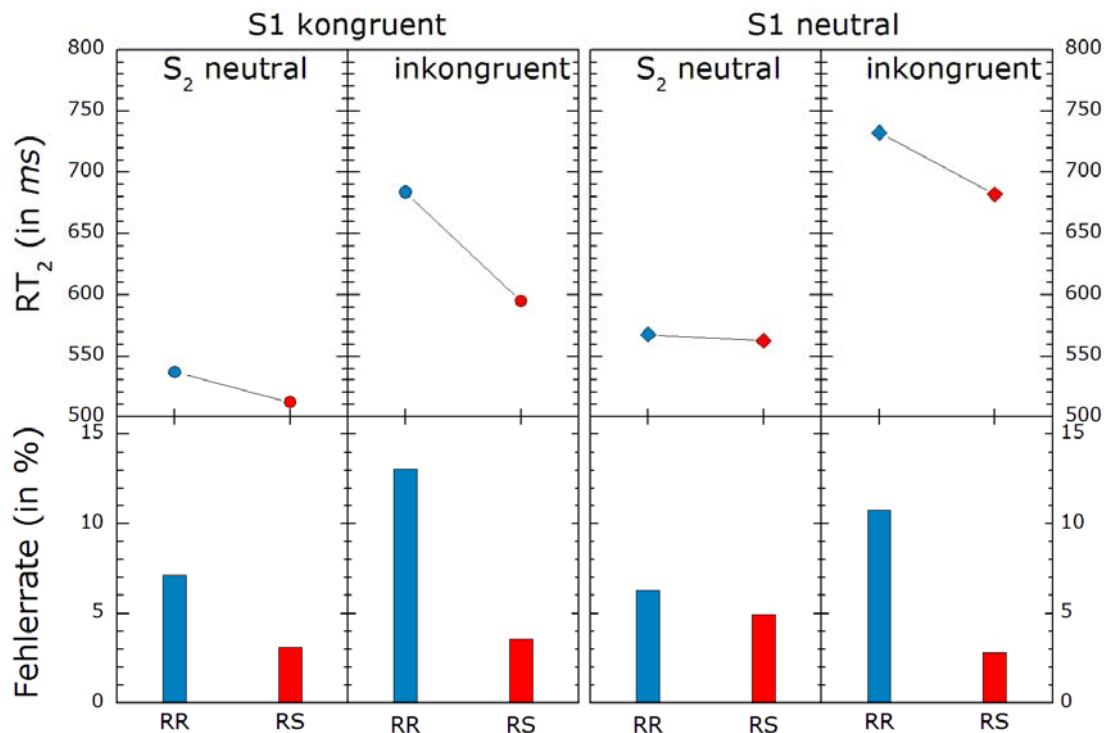


Abbildung 14. Vergleich der Experimente 4A und 4B. Dargestellt sind Reaktionszeiten auf den zweiten Reiz (RT₂) und Fehlerraten in der Lernphase der Experimente in Abhängigkeit der Kongruenz des zweiten Reizes (S₂) und der Antwortabfolge. In der linken Abbildungshälfte sind die Ergebnisse des Experiments 4A zu sehen, in dem der erste Reiz (S₁) immer kongruent war. In der rechten Hälfte sind die Ergebnisse des Experiments 4B dargestellt, in dem der erste Reiz immer neutral war. RR: Antwortwiederholung, RS: Antwortwechsel.

Fehlerraten

Die Analyse der Fehlerraten ergab einen signifikanten Haupteffekt des Faktors *Antwortabfolge* ($F(1,26) = 49.3$, $p < .001$) und einen Trend für den Faktor *Phase* ($F(1,26) = 3.23$, $p < .10$). Weiterhin war die Interaktion der Faktoren *Gruppe* und *Phase* signifikant, $F(1,26) = 16.1$, $p < .001$. In der ntr-ntn Gruppe nahmen die Fehlerraten von der Lern- zur Testphase zu (5.63% vs. 9.51% , $t(11) = 3.12$, $p < .01$), wohingegen sie in der ntr-ink Gruppe tendenziell abnahmen ($t(15) = -2.01$, $p < .10$). Außerdem fand sich eine

Tendenz zu einer *Phase* × *Antwortabfolge* Interaktion, $F(1,26) = 3.08$, $p < .10$. Numerisch waren die Antwortwiederholungskosten in der Lernphase kleiner als in der Testphase (5.13 % vs. 6.71 %).

Das gesamte Datenmuster war charakterisiert durch die Interaktion aller drei Faktoren, *Gruppe*, *Phase* und *Antwortabfolge*, $F(1,26) = 16.1$, $p < .001$. Bei getrennter Betrachtung der beiden Gruppen zeigte sich die *Phase* × *Antwortabfolge* Interaktion jeweils signifikant (ntr-ntr Gruppe: $F(1,11) = 10.1$, $p < .01$; ntr-ink Gruppe, $F(1,15) = 6.52$, $p < .05$). Wie für die Reaktionszeiten zeigten die Antwortwiederholungskosten dabei eine gegenläufige Entwicklung. Während die Kosten einer Antwortwiederholung in der ntr-ntr Gruppe zunahm (1.33 % vs. 7.48 %, $t(11) = 3.26$, $p < .01$), wurde sie in der ntr-ink Gruppe von der Lern- zur Testphase kleiner (7.97 % vs. 6.13 %, $t(15) = -2.55$, $p < .05$). Eine Analyse der *Gruppe* × *Antwortabfolge* Interaktion nach Phasen getrennt zeigte, dass es einen signifikanten Gruppenunterschied hinsichtlich der Antwortwiederholungskosten nur in der Lernphase ($F(1,26) = 12.5$, $p < .01$) nicht aber in der Testphase ($F(1,26) < 1$) gab.

Berücksichtigung der Kongruenz in S2. Eine weitere ANOVA mit Messwiederholung auf den Faktoren *Phase* (Lernphase vs. Testphase) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Gruppe* (ntr-ntr Gruppe vs. ntr-ink Gruppe) berücksichtigte für die jeweilige Gruppe nur solche Durchgänge aus der Testphase, in denen die Kongruenz in S2 identisch gegenüber der Lernphase war. Es werden wiederum nur die relevanten Interaktionen mit dem Faktor *Antwortabfolge* berichtet. Es wurden signifikante *Gruppe* × *Antwortabfolge* ($F(1,26) = 7.94$, $p < .01$) sowie *Phase* × *Antwortabfolge* ($F(1,26) = 7.97$, $p < .01$) Interaktionen gefunden. Zum einen waren die Antwortwiederholungskosten in der ntr-ntr Gruppe kleiner als in der ntr-ink Gruppe, zum andern waren die Kosten in der Testphase größer als in der Lernphase. Die dreifach Interaktion war nicht signifikant, $F(1,26) < 1$. Ein Punktvergleich der Antwortwiederholungskosten zwischen der Lern- und Testphase deckte aber eine Zunahme der Kosten in der ntr-ink Gruppe auf (7.97 % vs. 10.8 %, $t(15) < .01$).

Testphase. Eine ANOVA mit Messwiederholung auf den Faktoren *Kongruenz in S2* (neutral vs. inkongruent) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Gruppe* (kon-ntr Gruppe vs. kon-ink Gruppe) ergab signifikante Haupteffekte der Faktoren *Gruppe* ($F(1,26) = 4.95$, $p < .05$), *Kongruenz in S2* ($F(1,26) = 24.3$, $p < .001$) und *Antwortabfolge* ($F(1,26) = 46.5$, $p < .001$). Ebenfalls zeigte sich die Interaktion der beiden Faktoren *Kongruenz* und *Antwortabfolge* signifikant, $F(1,26) = 20.3$, $p < .001$. In Durchgängen mit neutralem S2 wa-

ren die Fehlerraten (4.55 % vs. 10.2 %) und die Antwortwiederholungskosten kleiner als in Durchgängen mit inkongruentem S2 (3.33 % vs. 10.2 %). Schließlich fand sich auch eine marginal signifikante dreifach Interaktion *Gruppe* \times *Kongruenz in S2* \times *Antwortabfolge*, $F(1,26) = 3.11$, $p < .10$. Vergleicht man die Antwortwiederholungskosten zeigt sich, dass es nur bei neutralem S2 einen Gruppenunterschied in den Antwortwiederholungskosten gab (ntr-ntr: 5.62 % vs. ntr-ink: 1.60 %, $t(26) = 1.85$, $p = .038$, einseitig), und sie sich bei inkongruentem S2 statistisch nicht signifikant unterschieden (ntr-ntr: 9.38 % vs. ntr-ink: 10.8 %, $t(26) < 1$).

Kompatibilität. Wie für die Reaktionszeiten wurde in einer weiteren Analyse untersucht, ob die Stärke der Antwortwiederholungseffekte von der Kompatibilität in S1 abhängig war. In die Analyse gingen nur die Daten aus der Lernphase ein. In einer ersten Analyse wurde die erfolgreiche Manipulation der Kompatibilität in S1 geprüft. Dazu wurde eine ANOVA mit Messwiederholung auf des Faktors *Kompatibilität* (inkompatibel vs. kompatibel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktor *Gruppe* (ntr-ntr vs. ntr-ink) berechnet. Als abhängige Variable diente die mittlere Fehlerrate auf den ersten Reiz. Der Haupteffekt für den Faktor *Kompatibilität*, war marginal signifikant, $F(1,26) = 3.91$, $p = .059$. In inkompatiblen Durchgängen waren die Fehlerraten tendenziell höher (4.61 %) als in kompatiblen Durchgängen (3.84 %). Außerdem war der Haupteffekt *Gruppe* signifikant, $F(1,26) = 8.30$, $p < .01$. In der Lernphase war die Fehler rate bei der Reaktion auf den ersten Reiz in der ntr-ntr Gruppe etwas höher (5.26 %) als in der ntr-ink Gruppe (3.18 %). Die Interaktion beider Faktoren war nicht signifikant, $F_s(1,26) < 1.5$. In einer zweiten Analyse wurde eine ANOVA mit Messwiederholung auf den Faktoren *Kompatibilität* (inkompatibel vs. kompatibel) und *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und dem zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktoren *Gruppe* (ntr-ntr vs. ntr-ink) berechnet. Als abhängige Variable diente nun wieder die gemittelte Reaktionszeit auf den zweiten Reiz korrekt beantworteter Durchgänge. Wie in den vorhergehenden Analysen war der Haupteffekt *Antwortabfolge* ($F(1,26) = 30.4$, $p < .001$) und die Interaktion *Gruppe* \times *Antwortabfolge* ($F(1,26) = 12.5$, $p < .01$) signifikant. Weitere Effekt erreichten keine Signifikanz, $F_s(1,26) < 1.7$.

Vergleich der Experimente 4A und 4B. Auch für die Fehlerraten wurde untersucht, wie sich die Kongruenz in S1 auf die Antwortwiederholungseffekte auswirkt. Dazu wurde eine ANOVA mit Messwiederholung auf dem Faktor *Antwortabfolge* (Wiederholung vs. Wechsel) und den zwischen den Versuchspersonen realisierten Faktoren *Kongruenz in S1* (kongruent vs. neutral) und *Kongruenz in S2* (neutral vs. inkongruent) berechnet in die nur die Daten aus der Lernphase eingingen. Der Haupteffekt des Faktors *Antwortabfolge* war signifikant ($F(1,39) = 42.8$, $p < .001$). Der Haupteffekt des Faktors

Kongruenz in S2 wurde marginal signifikant ($F(1,39) = 2.88, p < .10$). Charakterisiert waren diese Effekte durch die Interaktion *Kongruenz in S2* × *Antwortabfolge*, $F(1,39) = 12.1, p < .001$. Diese spiegelt wider, dass die Antwortwiederholungskosten kleiner waren, wenn S2 neutral war als wenn S2 inkongruent war (2.67 % vs. 8.73 %). Alle andern Effekte waren nicht signifikant, $F_s(1,39) < 1.5$.

4.3. DISKUSSION

Entsprechend den Erwartungen wurden im Vergleich zu Experiment 4A kleinere Antwortwiederholungskosten beobachtet. Diese stuften sich wiederum nach der Kongruenz des zweiten Reizes ab. In der ntr-ink Gruppe lagen die Kosten mit 50 *ms* bzw. 7.97 % genau zwischen der kon-ink Gruppe (89 *ms* bzw. 9.49 %) und der kon-ntr Gruppe (25 *ms* bzw. 4.01 %). In der ntr-ntr Gruppe zeigte sich, wie die Antwortwiederholungskosten ausfallen, wenn das Risiko einer fehlerhaften Wiederholung der Antwort weder durch die vorherige Antwortaktivierung noch durch die aktuelle Reizverarbeitung erhöht ist. Es wurden nur in den Fehlerraten minimale Kosten (1.33 %, $t(11) = 1.53, p = .076$, einseitig) gefunden. In Abbildung 15 ist die Abstufung der Antwortwiederholungskosten in Abhängigkeit der Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang (Kongruenz des ersten Reizes) und der Kongruenz des zweiten Reizes dargestellt.

Interessant war in diesem Zusammenhang auch die Auswirkung der Kompatibilität des ersten Reizes. Es zeigte sich, dass in kompatiblen Durchgängen schneller geantwortet wurde, als in inkompatiblen Durchgängen. Dies wirkte sich auf die Kosten einer Antwortwiederholung aus. Nach kompatiblen Reizen waren die Antwortwiederholungskosten in den Reaktionszeiten größer als nach inkompatiblen Reizen. Diese Ergebnisse stimmen mit den Befunden von Druey und Hübner (2008) überein. Sie fanden ebenfalls eine Abhängigkeit der Antwortwiederholungskosten von der Kompatibilitätsbedingung des vorhergehenden Reizes. Sie interpretierten dies als eine Anpassung der Antwortinhibition an das gestiegene Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung, verursacht durch die starke Aktivierung der vorausgegangenen Antwort. Weiterhin stimmen die vorliegenden Ergebnisse mit der Studie von Druey und Hübner (2008) darin überein, dass dieses Risiko durch mehrere Faktoren gleichzeitig und unabhängig erhöht werden kann. Dies spiegelte sich zum einen in der Auswirkung der Kompatibilität in S1 auf die Antwortwiederholungskosten wider, zum anderen in der Auswirkung der Kongruenz des zweiten Reizes.

Analog zu Experiment 4A zeigte sich in der ntr-ntr Gruppe von der Lern- zur Testphase eine Zunahme der Antwortwiederholungskosten. Dagegen fand sich in der ntr-ink

Gruppe eine Abnahme der Kosten. Entsprechend konnte in der Testphase kein Gruppenunterschied mehr in den Kosten einer Antwortwiederholung nachgewiesen werden. Die Resultate von Experiment 4A weisen aber darauf hin, dass sich diese Effekte allein durch Effekte der aktuellen Reizverarbeitung erklären lassen.

Die Ergebnisse des aktuellen Experiments stimmen mit dieser Interpretation weitestgehend überein. Bei der Analyse der Testphase zeigte sich die Größe der Antwortwiederholungskosten hauptsächlich von der Kongruenz des aktuellen Reizes abhängig. Die unterschiedlichen Lernerfahrungen aus der ersten Phase wirkten sich nur auf die Antwortwiederholungskosten bei neutralen S2 aus. Bei diesen Reizen waren die Antwortwiederholungskosten in der ntr-ntn Gruppe größer als in der ntr-ink Gruppe. Der Effekt stellt sich jedoch genau umgekehrt dar, wie es durch eine inkrementelle Adjustierung der Antwortinhibition zu erwarten wäre. Das Resultat deutet daher eher auf ein „Überschießen“ bei der Anpassung der Antwortinhibition hin. Konfrontiert mit dem gegenüber der Lernphase stark erhöhten Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung, wurde die Antwortinhibition in der ntr-ntn Gruppe stärker erhöht als notwendig – bzw. stärker als es, gemessen an der ntr-ink Gruppe, notwendig gewesen wäre.

Ganz ähnlich waren die Ergebnisse einer Analyse, bei der für jede Gruppe nur solche Durchgänge der Testphase berücksichtigt wurden, in denen die Kongruenz in S2 identisch gegenüber der Lernphase war. Gerade in solchen Durchgängen sollte sich ja eine potentiell unterschiedliche Stärke der Antwortinhibition in den Gruppen nachweisen lassen. Aber hier zeigte sich nur in den Fehlerraten ein tendenzieller Gruppenunterschied. Die Antwortwiederholungskosten in der ntr-ntn Gruppe nahmen von der Lern- zur Testphase zu. Dies stimmt mit dem zuvor beschriebenen Resultat überein, dass in der ntr-ntn Gruppe bei einem neutralen ersten Reiz die Antworthemmung in der Testphase besonders hoch war. Wäre die Antwortinhibitionsstärke immer perfekt – *on-the-fly* – an das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung des aktuellen Reizes angepasst, könnte man diesen Unterschied nicht erwarten. Das heißt, die in der ntr-ntn Gruppe insgesamt höhere Antwortinhibition in der Test- gegenüber der Lernphase (aufgrund der neuen inkongruenten S2) wirkte sich auch auf die Durchgänge mit neutralem S2 aus.

Insgesamt bestätigen die Befunde, dass die Antwortinhibition sehr schnell während der aktuellen Reizverarbeitung vom kognitiven System adjustiert werden kann. Tritt ein Reiz auf, der das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung akut erhöht (z. B. aufgrund eines hohen Aufgaben- und Antwortkonflikts) kann die Antwortinhibition auch noch nach Erscheinen des Reizes verstärkt werden. Jedoch scheinen dieser hohen Flexibilität Grenzen gesetzt. Der ntr-ntn Gruppe war es nicht möglich, die Antwortinhibition

bei einem durch den aktuellen Reiz sehr geringem Risiko soweit „herunterzufahren“ wie es die ntr-ink Gruppe zeigte. Die gegenwärtigen Daten liefern leider keinen festen Anhaltspunkt, was hierbei der entscheidende Unterschied zwischen den Gruppen sein könnte. Außerdem wurde keine entsprechende Evidenz in Experiment 4A gefunden, so dass es sich letztlich auch um einen Fehler erster Art (α -Fehler) handeln könnte. Eine sehr spekulative Möglichkeit wäre dennoch, dass das Antwortkriterium in der ntr-ntr Gruppe etwas niedriger lag als in der ntr-ink Gruppe. Ein niedriges Antwortkriterium bei der vorherigen Reaktion kann sich auf die Größe der Antwortwiederholungskosten auswirken (Steinhauser, et al., 2009). Ein schwacher Hinweis auf unterschiedliche Antwortkriterien zwischen den Gruppen ergibt sich aus der Betrachtung der Antworten auf den ersten Reiz bei der Analyse des Simon-Effekts. Dort war die Fehlerrate in der ntr-ntr Gruppe gegenüber der ntr-ink Gruppe erhöht. Allerdings zeigte sich kein vollständiger Geschwindigkeits-Genauigkeits-Austausch (*speed-accuracy trade-off*), da es in den Reaktionszeiten keinen Unterschied gab.

Eine weitere Fragestellung des Experimentes war es, ob der unerwartete Befund von Experiment 4A repliziert werden kann. Dieser bestand darin, dass es in der kon-ink Gruppe bei inkongruenten S2 zu einer Zunahme der Antwortwiederholungskosten von der Lern- zur Testphase kam. Tatsächlich ergab sich in Experiment 4B der analoge Effekt in der ntr-ink Gruppe: Auch hier nahmen die Antwortwiederholungskosten von der Test- zur Lernphase bei den inkongruenten S2 zu, obwohl für diese Gruppe das allgemeine Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung von der Test- zur Lernphase eigentlich abnehmen sollte. Dies könnte mit dem Einfluss der konfligierenden Reizeigenschaft der inkongruenten Reize tun haben. Die erhöhten Antwortwiederholungskosten lassen darauf schließen, dass diese Information in der Testphase einen stärkeren Einfluss ausübte als in der Lernphase. Dadurch könnte das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung gestiegen sein was eine stärkere Antwortinhibition zur Folge hatte. Unterschiedliche Selektionsstrategien bzw. Verarbeitungsstrategien der irrelevanten Reizinformation in der Lern- und Testphase sind aufgrund der unterschiedlichen Anteile inkongruenter Reize zu erwarten (z. B. Gratton, et al., 1992; R. Hübner & Lehle, 2007). So kann man annehmen, dass die irrelevante Information stärker gefiltert wird, wenn der Anteil inkongruenter Reize hoch ist. Ist der Anteil dagegen gering, wird die irrelevante Information weniger stark gefiltert. Die Anteile inkongruenter S2 (bzw. inkongruenter Reize allgemein) betragen für die kon-ink Gruppe in Experiment 4A und für die ntr-ink Gruppe in Experiment 4B jeweils 100 % (bzw. 50 % allgemein) in der Lern- und 50 % (25 %) in der Testphase. Wie die irrelevante Reizinformation die Antwortwiederholungseffekte beeinflusst haben könnte wird in der Diskussion von Studie 2 weiter vertieft werden.

5. DISKUSSION VON STUDIE 2

Im Zwei-Prozess-Modell von Hübner und Druey (z. B. Druey & Hübner, 2008b; R. Hübner & Druey, 2006) wird angenommen, dass die vorhergehende Antwort gehemmt wird, um das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung zu minimieren. Der Grundbetrag dieses Risikos entstammt der Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang. Diese Aktivierung wirkt im aktuellen Durchgang residual nach und erleichtert so eine erneute Aktivierung der gleichen Antwort (Töllner, et al., 2008). Daraus ergeben sich üblicherweise Vorteile für eine Wiederholung einer Antwort. Diese Tendenz zur Wiederholung ist aber in Situationen nachteilig, die hohe Flexibilitätsanforderungen stellen bzw. in denen es zu starken Konflikten bei der Reizverarbeitung kommt (Cooper & Marí-Beffa, 2008). Hier scheint eher eine Wechseltendenz vorteilhaft. Daher stellt die perseverative Antworttendenz ein Risiko zur fehlerhaften Wiederholung der Antwort dar. Das Aufgabenwechsel-Paradigma repräsentiert eine Umweltbedingung, in der viele Wechsel erforderlich sind. Entsprechend kommt es unter Aufgabenwechselbedingungen, nicht aber unter reinen Aufgabenwiederholungsbedingungen, zur Inhibition der vorhergehenden Antwort, um das Risiko einer fehlerhaften Wiederholung der Antwort zu minimieren (Steinhauser, et al., 2009). Ist in Aufgabenwechselsituationen die Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang besonders stark, erhöht sich dadurch das perseverative Risiko und es kommt zur verstärkten Inhibition der entsprechenden Antwort (Druey & Hübner, 2008a; R. Hübner & Druey, 2006).

Studie 2 sollte klären, ob sich die Stärke der Antwortinhibition auch an eine globale Risikoerhöhung anpasst. Wie in Studie 1 bereits ausgeführt wurde, sollte das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung bei Reizen, die zu einem starken Konflikt auf Aufgaben- und Antwortebene führen, erhöht sein. Dies gilt insbesondere bei Aufgaben mit sich überlappender Anordnung zweier Antworten. So zeigt sich die Antwortinhibition erhöht, wenn bivalente (statt univalente) Reize bearbeitet werden, bei denen über beide Aufgaben die vorherige Antwort erneut aktiviert werden kann (R. Hübner & Druey, 2006).

Die zweite Fragestellung von Studie 2 war, ob dieser Einfluss der Konfliktsituation auf die Antwortwiederholungseffekte allein durch eine lokale (*on-the-fly*) Anpassung der Antwortinhibition erklärt werden kann, oder ob es sich tatsächlich um eine strategische Anpassung handelt, als Reaktion auf ein durch die globale Reizsituation erhöhtes Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung. Dazu wurde in mehreren Experimenten, in denen immer zwei Reize in einem Durchgang nacheinander zu bearbeiten waren, das Risiko mit Hilfe des Aufgaben- und Antwortkonflikts - ausgelöst durch den zweiten Reiz -

manipuliert: Es wurden entweder neutrale Reize oder bivalent inkongruente Reize dargeboten.

Bei einer blockweisen Manipulation der Konfliktsituation in Experiment 3 konnte keine Evidenz für eine strategische Anpassung der Antwortinhibition innerhalb eines Experiments gefunden werden. Die Antwortwiederholungseffekte in Blöcken mit hohem Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung unterschieden sich nicht von Blöcken mit niedrigem Risiko. Dagegen gab es nach Experiment 1B in Studie 1 weitere Hinweise für eine sehr schnelle Anpassung der Antwortinhibition auch nach Erscheinen des Reizes: Bei inkongruenten Reizen waren die Antwortwiederholungskosten größer als bei neutralen Reizen.

Um zu überprüfen, inwieweit die Ergebnisse von Experiment 3 spezifisch für eine blockweise Manipulation des Risikos sind, wurde in Experiment 4A und 4B eine andere Vorgehensweise gewählt. Diese Experimente bestanden aus zwei Phasen in denen nur Aufgabenwechsel bearbeitet wurden: einer Lernphase und einer Testphase. In der Lernphase bearbeiteten jeweils zwei Gruppen unterschiedliche Reize. Dabei war in Experiment 4A der erste Reiz immer kongruent in Experiment 4B immer neutral. Da die Antwortinhibition abhängig von der Aktivierungsstärke der vorhergehenden Antwort ist (Druey & Hübner, 2008b), sollten sich in Experiment 4A höhere Antwortwiederholungskosten zeigen als in Experiment 4B. Weiterhin war bei beiden Experimenten in einer Gruppe der zweite Reiz immer neutral und trug dadurch nicht zu einer Erhöhung des Risikos einer fehlerhaften Antwortwiederholung bei. In der anderen Gruppe war der zweite Reiz immer (bivalent) inkongruent wodurch sich das Risiko stark erhöhte. In der anschließenden Testphase waren die zweiten Reize für beide Gruppen des jeweiligen Experiments gleich, also 50 % neutrale und 50 % inkongruente Reize. Dieses Design sollte es ermöglichen, mehrere potentielle Auswirkungen einer strategischen Anpassung der Antwortinhibition an die globale Reizsituation nachzuweisen: Einerseits durch den Verlauf der Antwortwiederholungskosten von der Lern- zur Testphase, andererseits durch den Vergleich der Antwortwiederholungskosten in den Testphasen der beiden Gruppen.

Interessant war zunächst die klare Abstufung der Antwortwiederholungseffekte über die vier Gruppen der beiden Experimente. Praktisch keine Kosten einer Antwortwiederholung zeigten sich in der Gruppe mit neutralem ersten und zweiten Reiz. Höher waren die Kosten in der Gruppe mit einem kongruenten ersten Reiz und einem neutralen zweiten Reiz. An dritter Stelle stand die Gruppe mit einem neutralen ersten und einem inkongruenten zweiten Reiz. Am größten waren die Kosten einer Antwortwiederholung in der Gruppe mit einem kongruenten ersten und einem inkongruenten zweiten Reiz. Die

Kosten ordneten sich also sowohl nach der Konfliktstärke, ausgelöst durch den zweiten Reiz, als auch nach der Stärke der vorhergehenden Antwortaktivierung, bestimmt durch die Kongruenz des ersten Reizes.

Bei der Überprüfung der Antwortwiederholungskosten in Abhängigkeit von der Lernsituation zeigte sich, dass diese kaum einen Einfluss hatte. Einzig für Durchgänge mit neutralem zweiten Reiz zeigten sich in der Testphase von Experiment 4B höhere Antwortwiederholungskosten für die Gruppe, die mit neutralen Reizen gelernt hatte, als für die Gruppe, die mit inkongruenten Reizen gelernt hatte. Dieser Effekt war zudem nur in den Fehlerraten sichtbar. Alle anderen Analysen innerhalb der beiden Experimente bestätigten, dass die Antwortwiederholungskosten allein von der Konfliktsituation des aktuellen Reizes abhängen. Es fand sich also kein Einfluss der Lernbedingung auf die Wiederholungseffekte und somit auch kein Nachweis einer strategischen Anpassung der Antwortinhibition aufgrund sich verändernder Reizbedingungen.

Die Ergebnisse könnten dafür sprechen, dass die Stärke der Antwortinhibition hoch flexibel ist und *on-the-fly*, also während der aktuellen Reizverarbeitung angepasst werden kann. Nach dieser Vorstellung würde nicht das mittlere Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung, wie es sich durch die globale Reizsituation ergibt, die Antwortinhibitionsstärke bestimmen, sondern vielmehr nur das lokale Risiko. Das lokale Risiko würde sich vor allem durch zwei Faktoren ergeben: Erstens durch die Aktivierungsstärke der vorhergehenden Antwort, wobei die residuale Aktivität zu einer Risikoerhöhung beiträgt, und zweitens durch das Ausmaß des Aufgaben- und Antwortkonfliktes, ausgelöst durch den aktuellen Reiz.

Mit aktuellen Ergebnissen aus der LRP-Studie von Steinhauser und Kollegen (2009) ist diese Vorstellung aber nur schwer vereinbar. Diese Arbeit hat gezeigt, dass die Antwortinhibition mit der Aufgabenvorbereitung einsetzt, sich bis zum Erscheinen des Reizes aufbaut und mit der Reizdarbietung ihren Höhepunkt erreicht. Nur bei einem sehr kurzen Intervall zwischen der Ankündigung der nächsten Aufgabe und dem Erscheinen des Stimulus fand sich eine Erhöhung der Antwortinhibition noch nach der Reizdarbietung. In der vorliegenden Studie war das Vorbereitungsintervall aber sehr viel länger, so dass ausreichend Zeit für die Implementierung der Antwortinhibition war.

Im Folgenden soll daher eine alternative Erklärung für den Zusammenhang zwischen der Größe der Antwortwiederholungskosten und dem Ausmaß des Aufgaben- bzw. Antwortkonflikts gegeben werden, die auf eine *on-the-fly* Adaption der Antwortinhibition verzichtet. In Studie 1 wurde bereits die genaue Wirkungsweise der irrelevanten Reizinformation bivalent inkongruenter Reize (die letztlich zum Aufgaben- und Antwortkon-

flikt führt) auf die Aktivierung der vorhergehenden Antwort untersucht. Es zeigte sich, dass im Falle einer Antwortwiederholung die irrelevante Reizinformation die alternative Antwort aktiviert und so die Antwortselektion in Richtung eines Wechsels beeinflusst. Umgekehrt aktiviert die irrelevante Reizinformation im Falle eines Antwortwechsels die zuvor bereits ausgeführte Antwort und beeinflusst dadurch die Antwortselektion in Richtung einer Wiederholung. Es wurde argumentiert, dass dies das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung (wenn also ein Wechsel richtig wäre) erhöht.

Allerdings kann dieser Sachverhalt auch aus einem anderen Blickwinkel betrachtet werden. Anstatt zu fragen, wie sich die Inkongruenz des Reizes auf das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung auswirkt, kann auch gefragt werden, wie sich die Antwortinhibition auf die Verarbeitung der irrelevanten Reizinformation auswirkt. Dabei ergibt sich ein interessantes Bild. Im Fall einer Antwortwiederholung aktiviert die aufgabenrelevante Reizinformation die vorherige Antwort, also die Antwort, die aufgrund der Antwortinhibition gehemmt ist. Dagegen aktiviert im Fall eines Antwortwechsels die aufgabenrelevante Reizinformation die alternative Antwort, die nicht gehemmt ist. Dieser Zusammenhang konstituiert ja dann die Antwortwiederholungskosten unter Aufgabenwechsel, da die Inhibition im Fall einer Antwortwiederholung überwunden werden muss. Umgekehrt aktiviert die irrelevante Reizinformation im Fall einer Antwortwiederholung die alternative Antwort. Da die korrekte Antwort aber inhibiert ist, dauert die Antwortselektion länger, wodurch sich der Einfluss der irrelevanten Reizinformation stärker auf die Selektion auswirken sollte. Im Fall eines Antwortwechsels dagegen aktiviert die irrelevante Reizinformation die inhibierte Antwort. Dadurch sollte sich der störende Einfluss eher reduzieren.²¹ Es ergibt sich also das Bild, dass durch die Antwortinhibition im Fall einer Antwortwiederholung der Kongruenzeffekt verstärkt wird, im Fall eines Antwortwechsels dagegen nicht.

Diese alternative Erklärung geht also davon aus, dass die aktuelle Konfliktsituation für die Stärke der Antwortinhibition keine Rolle spielt. Einzig durch die Verstärkung oder Schwächung des Kongruenzeffekts aufgrund der Antwortinhibition wird eine Wechselwirkung mit der aktuellen Reizverarbeitung beobachtet. Anders ausgedrückt spiegeln die Daten keine Modulation der Antwortinhibitionsstärke wider sondern „nur“ eine Modulation des Kongruenzeffekts durch die Antwortinhibition: Der Kongruenzeffekt ist unter Antwortwiederholungen größer als unter Antwortwechseln.

²¹ Allerdings ist im bivalent inkongruenten Fall dies nicht zwingend. Denn die irrelevante Reizinformation wirkt über die zuvor relevante Aufgabe. Dieser Verarbeitungsweg stellt sozusagen den Fall einer Antwortwiederholung unter Aufgabenwiederholung dar. Es könnten sich also auch Vorteile durch die Wiederholung der S-R Regel bzw. durch die Bahnung der Reizkategorie ergeben. Jedoch ist zu bedenken, dass die vorherige Aufgabe aufgrund der *backward inhibition* gehemmt sein sollte. Daher ist zu erwarten, dass diese Vorteile, wenn überhaupt, dann nur sehr gering sind.

Mit diesem Ansatz können auch die unerwarteten Befunde aus Experiment 4A und 4B erklärt werden. Dort kam es in den Gruppen die unter hohem Konflikt gelernt hatten (kon-ink und ntr-ink Gruppe) zu einer Zunahme der Antwortwiederholungskosten von der Lern- zur Testphase spezifisch bei inkongruenten zweiten Reizen. Mit dem alten Ansatz ist dies nicht vereinbar, da eine schnelle Adaption der Antwortinhibition zu konstanten Wiederholungseffekten in der Test- und Lernphase führen sollte. Selbst wenn sich die Antwortinhibitionsstärke an das für diese Gruppen niedrigere Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung in der Testphase strategisch angepasst haben sollte, wäre allenfalls mit einer Abnahme der Antwortwiederholungskosten zu rechnen. Anders stellt es sich dagegen dar, wenn man die Auswirkung der Kongruenz betrachtet. Denn genau in diesen Gruppen sollte es aufgrund des geringeren Anteils inkongruenter Reize in der Test- gegenüber der Lernphase zu einer Abnahme der Selektivität bei der Reizverarbeitung kommen (Gratton, et al., 1992). In Experiment 4A zeigte sich dies statistisch darin, dass der Kongruenzeffekt in der Testphase bei der kon-ink Gruppe größer war als bei der kon-ntr Gruppe, für die der Anteil inkongruenter Reize von der Lern- zur Testphase ja zunahm. Der Kongruenzeffekt wurde also durch zwei Faktoren moduliert: Erstens durch die Antwortinhibition und zweitens durch die Veränderung des Anteils inkongruenter Reize von der Test- zur Lernphase.

Diese Alternativerklärung ist in ihrer Einfachheit bestechend und wird in der Gesamtdiskussion weiter erörtert.

GESAMTDISKUSSION

Die vorliegende Arbeit untersuchte Antwortwiederholungseffekte im Aufgabenwechselfparadigma. Hierbei kommt es zu einer Wechselwirkung zwischen Aufgabenabfolge und Antwortabfolge. Wenn sich eine Aufgabe wiederholt, werden Vorteile einer Antwortwiederholung beobachtet. Wechselt dagegen die Aufgabe, kommt es zu Kosten einer Antwortwiederholung. Mehrere Modelle wurden für die Erklärung dieser Antwortwiederholungseffekte vorgeschlagen. In der vorliegenden Arbeit wurde der Idee gefolgt, dass sich die Kosten einer Antwortwiederholung durch die Inhibition der zuvor ausgeführten Antwort erklären lassen. Ein zentraler Gedanke dieses Erklärungsansatzes ist es, dass die Stärke der Antwortinhibition zunimmt, wenn das Risiko für eine fehlerhafte Wiederholung der vorherigen Antwort zunimmt.

Die Fragestellung der vorliegenden Arbeit war zweifach. Auf der einen Seite wurde gefragt, welcher Konflikt die Stärke dieser Antwortinhibition treibt – ein hoher Aufgabenkonflikt oder ein hoher Antwortkonflikt. Dem Risikogedanken zufolge sollte vor allem der Antwortkonflikt von Belang sein. Die Ergebnisse zeigen, dass keiner der beiden Konflikttypen allein die Stärke der Antwortinhibition bestimmt. Nur wenn der Gesamtkonflikt hoch war, konnten erhöhte Kosten einer Antwortwiederholung beobachtet werden. Jedoch konnten die Ergebnisse auch durch die Annahme erklärt werden, dass keiner der beiden Konflikttypen eine wesentliche Rolle spielt und die zwischen den Experimenten gefundenen Unterschiede in den Antwortwiederholungskosten auf andere Faktoren zurückzuführen sind.

Auf der anderen Seite stellte sich die Frage, ob die Stärke der Antwortinhibition strategisch an sich verändernde Konfliktsituationen angepasst werden kann. Dabei wurde auch gefragt, wie schnell solch eine Anpassung stattfindet. Die Ergebnisse waren prinzipiell mit der Vorstellung vereinbar, dass die Anpassung hoch flexibel und sehr schnell ist, d. h. dass die Stärke der Antwortinhibition hauptsächlich nach Beginn der Reizverarbeitung festgelegt wird. Denn bei bivalent inkongruenten Reizen waren die Antwortwiederholungskosten größer als bei neutralen Reizen. Allerdings ließen sich die Ergebnisse auch mit einer simpleren Lesart deuten. Dabei wird die Größe des Kongruenzeffekts in Abhängigkeit von der Antwortabfolge betrachtet. Es zeigt sich dann, dass die Antwortinhibition bei einer Antwortwiederholung – im Vergleich zu einem Antwortwechsel – zu einer Verstärkung des Kongruenzeffekts führt. Mit Hilfe dieser Alternativerklärung lassen sich die größeren Antwortwiederholungskosten bei bivalent inkongruenten Reizen ohne eine Veränderung in der Stärke der Antwortinhibition verstehen.

1. DIE ROLLE VON AUFGABEN- UND ANTWORTKONFLIKT FÜR DIE STÄRKE DER ANTWORTINHIBITION

Um die Wechselwirkung von Aufgabenabfolge und Antwortabfolge zu erklären, wurden verschiedene Theorien vorgeschlagen (Hübner & Druey, 2006; Kleinsorge & Heuer, 1999; Meiran, 2000b; Rogers & Monsell, 1995; Schuch & Koch, 2004). Die assoziationsbasierten Ansätze nehmen an, dass die Antwortwiederholungseffekte durch die Stärkung und Schwächung von Assoziationen zwischen Reiz- und Antwortkategorien zustande kommen (z. B. Meiran, 2000b; Schuch & Koch, 2004). Nach der Ausführung einer Antwort wird die Assoziation zwischen der Antwort und der dazugehörigen Reizkategorie verstärkt. Dagegen werden die anderen Assoziationen zu den alternativen Reizkategorien geschwächt. Nach dieser Vorstellung ergeben sich Antwortwiederholungsvorteile, weil bei einer Aufgabenwiederholung und gleichzeitiger Wiederholung der Reizkategorie die soeben gestärkte Verbindung genutzt werden kann. Kosten einer Antwortwiederholung ergeben sich stattdessen, wenn Aufgabe- und Reizkategorie wechseln. Dann muss die Antwort über die soeben geschwächte Verbindung aktiviert werden.

Nach einer anderen Theorie sind die Antwortwiederholungskosten eine Folge der Rekonfiguration des Systems bei einem Aufgabenwechsel (Kleinsorge & Heuer, 1999). Diesem Ansatz nach sind die Aufgaben hierarchisch repräsentiert. Im Falle eines Aufgabenwechsels geht von der hohen Aufgabenebene ein Wechselimpuls aus, der sich auf die tieferen Ebenen in denen die Antwortregeln und die Antworten repräsentiert sind, ausbreitet. Dies führt zu einer Wechseltendenz auf Antwortebene und somit zu Kosten bei einer Antwortwiederholung.

Das von Hübner und Druey vorgeschlagene Zwei-Prozess-Modell schließlich geht davon aus, dass die vorherige Antwort inhibiert wird, um eine Perseveration derselben zu vermeiden (z. B. Hübner & Druey, 2006). Im Falle einer erforderlichen Wiederholung der Antwort entstehen Kosten, da die Inhibition überwunden werden muss. Unter Aufgabenwiederholung sind diese Kosten in der Regel nicht sichtbar, da es dann bei einer Antwortwiederholung auch zu einer Wiederholung der Reizkategorie bzw. der S-R Regel kommt. Durch die Bahnung bzw. durch die Wiederholung der S-R Regel entstehen aber Vorteile, die meist die Nachteile durch die Inhibition überwiegen. Ein entscheidender Unterschied zwischen diesem Modell und den anderen Ansätzen ist, dass es auch spezifische Vorhersagen für den Aufgabenwiederholungsfall macht. Nimmt die Antwortinhibition zu, sollten nicht nur die Kosten einer Antwortwiederholung unter Aufgabenwiederholung zunehmen sondern auch die Vorteile einer Antwortwiederholung unter Aufgabenwechsel abnehmen. Überwiegt die Inhibition die Vorteile der

Reizkategoriewiederholung können Antwortwiederholungskosten sogar unter Aufgabenwiederholung beobachtet werden (z. B. Steinhauser & Hübner, 2006).

Bestimmender Faktor für die Stärke der Antwortinhibition ist nach diesem Modell das Risiko einer Perseveration der Antwort, also einer fehlerhaften Antwortwiederholung. Dieses Risiko ist zum einen durch die Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang bestimmt. Diese Aktivierung ist im aktuellen Durchgang noch residual vorhanden und begünstigt so die Perseveration der Antwort. Entsprechend konnte gezeigt werden, dass die Antwortwiederholungskosten unter Aufgabenwechsel zunehmen, wenn die Aktivierungsstärke im vorhergehenden Durchgang erhöht war (Druey & Hübner, 2008b; Hübner & Druey, 2006). Hübner und Druey (2006) haben argumentiert, dass das Risiko zum anderen auch durch die globale Reizsituation erhöht sein kann. Beispielsweise sei das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung bei bivalenten gegenüber univalenten, neutralen Reizen erhöht, da es durch die Verarbeitung der aktuell irrelevanten Reizeigenschaft zu einer fälschlichen Antwortwiederholung kommen kann. Denn bei sich überlappenden Antwortsets kann auch die Bearbeitung der falschen Aufgaben zu einer Aktivierung der falschen Antwort führen.

Demnach würde also die Eigenschaft bivalenter Reize, über die irrelevante Reizinformation die falsche Antwort zu aktivieren, zu einer Erhöhung des Risikos einer fehlerhaften Antwortwiederholung führen. Dieser Eigenschaft entspricht der Antwortkonflikt, der durch die Verarbeitung der irrelevanten Reizinformation ausgelöst wird. Nach dieser Vorstellung steigt das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung mit dem Ausmaß des Antwortkonflikts. Allerdings tragen bivalente Reize im Unterschied zu univalenten Reizen auch die Eigenschaft, die falsche Aufgabe zu aktivieren, also einen Aufgabenkonflikt auszulösen. Es ist daher nicht zwingend, dass bei der Verarbeitung bivalenter Reize nur der Antwortkonflikt bestimmend für das Ausmaß der Antwortinhibition ist. Der Aufgabenkonflikt könnte ebenso relevant sein.

Tatsächlich wurde spekuliert, dass die Inhibition einer Aufgabe und die Inhibition einer Antwort eng verbundene Mechanismen sind, die beide dazu dienen, das Perseverationsrisiko zu mindern (Cooper & Marí-Beffa, 2008). Die Inhibition der vorhergehenden Aufgabe wird als ein elementarer Mechanismus angesehen, der den Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben ermöglicht. Durch die Aufgabeninhibition wird der Aufgabenkonflikt zwischen der aktuell relevanten Aufgabe und der zuvor aktivierten Aufgabe kontrolliert (Mayr & Keele, 2000). Die Aufgabeninhibition wird daher vor allem in Aufgabenwechselsituationen beobachtet, also genau unter den Bedingungen, unter denen auch

Antwortwiederholungskosten beobachtet werden. Es könnte daher sein, dass der Aufgabenkonflikt eine entscheidende Rolle bei der Stärke der Antwortinhibition spielt.

In Studie 1 wurde untersucht, welcher Konflikttyp für die Stärke der Antwortinhibition entscheidend ist. Dazu wurden in paarweise geplanten Experimenten Reize verwendet, bei deren Verarbeitung entweder ein kleiner Aufgabenkonflikt und ein großer Antwortkonflikt (Experiment 1A und 2A) oder ein großer Aufgabenkonflikt und ein kleiner Antwortkonflikt entsteht (Experiment 1B und 2B). Dazu wurde (wie in allen Experimenten der Arbeit) ein Aufgabenwechsel-Paradigma verwendet das stark an Druey und Hübner (2008) angelehnt war. Dabei wurden Aufgabensequenzen dargeboten in denen immer zwei Reize nacheinander bearbeitet werden mussten. Der Konflikttyp wurde mit Hilfe des zweiten Reizes manipuliert. Dieser war aus mehreren Reizelementen zusammengesetzt, so dass sich bei der Reizverarbeitung dann entweder ein hoher Aufgaben- oder ein hoher Antwortkonflikt ergeben sollte. Die Frage war, ob sich in den Experimenten mit hohem Antwortkonflikt oder in den Experimenten mit hohem Aufgabenkonflikt die größeren Antwortwiederholungskosten unter Aufgabenwechsel zeigen würden, was einen Rückschluss auf eine stärkere Antwortinhibition zulassen würde.

Es zeigte sich keine Dominanz von einem der beiden Konflikttypen. Die Antwortwiederholungseffekte waren in den Experimenten 1A und 1B bzw. 2A und 2B gleich groß. Interessanterweise zeigten sich in den Experimenten 1A und 1B nur sehr geringe Antwortwiederholungskosten in den Experimenten 2A und 2B dagegen große Kosten einer Antwortwiederholung, die in Experiment 2A sogar unter Aufgabenwiederholung reliabel zu beobachten waren. Aufgrund der Resultate und des Versuchsaufbaus, war davon auszugehen, dass sowohl der Aufgabenkonflikt als auch der Antwortkonflikt in den Experimenten 2A und 2B größer waren als in den Experimenten 1A und 1B. Diese Beobachtung schien eher die Spekulation zu favorisieren, dass beide Konflikttypen wichtig sind und die Antwortinhibitionsstärke mit der Größe des Gesamtkonflikts zusammenhängt. Allerdings war auch eine alternative Erklärung der Befunde denkbar, nämlich dass keiner der beiden Konflikttypen direkt mit der Stärke der Antwortinhibition zusammenhängt.

In dieser Frage war ein unerwarteter Befund interessant. So fand sich in Experiment 1B ein Zusammenhang zwischen der Kongruenz des aktuellen Reizes und der Größe der Antwortwiederholungskosten. Während es bei einem kongruenten Reiz zu Vorteilen einer Antwortwiederholung kam, zeigten sich bei einem inkongruenten Reiz Kosten unter Aufgabenwechsel. Zunächst schien dieser Befund darauf hinzuweisen, dass sich die aktuelle Reizverarbeitung auf die Antwortinhibition auswirkt. Denn es sind gerade die inkongruenten Reize, die im Falle eines eigentlichen Antwortwechsels durch die Verarbeitung

der irrelevanten Reizinformation das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung erhöhen. Demnach wären die in der Literatur gefundenen Effekte der Reizvalenz auf die Antwortwiederholungskosten (Hübner & Druey, 2006) weniger die Folge einer proaktiven Anpassung an das globale Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung aufgrund der Valenz der Reizsituation, sondern vielmehr die Auswirkung einer reaktiven Anpassung an das akute Risiko aufgrund der aktuellen Reizverarbeitung. Diese neue Perspektive und die Untersuchung strategischer Effekte bei der Anpassung der Antwortinhibitionsstärke, waren Inhalt der Fragestellungen der zweiten Studie.

2. STRATEGISCHE ANPASSUNG DER ANTWORTINHIBITION

Strategische Anpassungen kognitiver Kontrolle wurden bisher hauptsächlich im Stroop- und Flanker-Paradigma untersucht (z. B. Hübner & Lehle, 2007; Lehle & Hübner, 2008; Logan, et al., 1983). Die Anpassung der Antwortinhibition an die Aktivierungsstärke der vorherigen Antwort (z. B. Druey & Hübner, 2008b) und die Effekte der Reizvalenz auf die Antwortwiederholungskosten (Hübner & Druey, 2006) gaben Anlass zu der Vermutung, dass die Stärke der Antwortinhibition strategisch moduliert werden kann.

In Experiment 3 sollte daher geklärt werden, ob es eine kontextabhängige Anpassung der Antwortinhibition gibt. Entsprechend der Argumentation von Hübner und Druey (2006) wurden dazu die Anteile bivalent inkongruenter und univalent neutraler Reize blockweise manipuliert. In mehrheitlich neutralen Blöcken sollten die Antwortwiederholungskosten kleiner ausfallen als in mehrheitlich inkongruenten Blöcken, da in letzteren das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung durch die inkongruenten Reize erhöht war. Trotz der Ankündigung des Blocktyps fanden sich aber keine Hinweise auf eine blockweise Anpassung der Antwortinhibitionsstärke. Vielmehr ergaben sich weitere Hinweise für eine Abhängigkeit der Antwortwiederholungseffekte von der Kongruenz des aktuellen Reizes. Bei inkongruenten Reizen waren die Antwortwiederholungskosten größer als bei neutralen Reizen. Allerdings zeigte sich dieses Mal der Zusammenhang unabhängig von der Aufgabenabfolge.

In den weiteren Experimenten wurde dann eine andere Vorgehensweise für die Untersuchung strategischer Effekte der Antwortinhibition gewählt. In einer Lern- und einer Testphase bearbeiteten jeweils zwei Gruppen Aufgabenwechselfolgen mit unterschiedlichen Reizen. In Experiment 4A war der erste Reiz immer kongruent in Experiment 4B immer neutral. Durch die stärkere Antwortaktivierung der kongruenten Reize sollten sich in Experiment 4A höhere Antwortwiederholungskosten zeigen als in Experi-

ment 4B (vgl. Druery & Hübner, 2008b). Jeweils zwei Gruppen der beiden Experimente bearbeiteten unterschiedliche zweite Reize. In der ersten Gruppe war der zweite Reiz immer neutral und trug dadurch nicht zu einer Erhöhung des Risikos einer fehlerhaften Antwortwiederholung bei. In der zweiten Gruppe war der zweite Reiz immer bivalent inkongruent wodurch sich das Risiko stark erhöhte. In der anschließenden Testphase bearbeiteten die beiden Gruppen der einzelnen Experimente jeweils die gleichen Reize, also 50 % neutrale und 50 % inkongruente Reize. In der Zusammenschau beider Experimente ergaben sich also vier Gruppen, die sich nach der Kongruenz des ersten und des zweiten Reizes in der Lernphase unterschieden. In der Testphase waren die Kongruenzbedingungen innerhalb der einzelnen Experimente identisch. Durch den Verlauf in den Antwortwiederholungskosten von der Lern- zur Testphase und durch den Vergleich der Antwortwiederholungskosten zwischen den beiden Gruppen in den Testphasen der jeweiligen Experimente sollte sich so ein guter Überblick ergeben, wie schnell und wie flexibel die Anpassung der Antwortinhibition ist.

In den Ergebnissen war zu sehen, wie sich die Kongruenz des ersten Reizes und die Kongruenz des zweiten Reizes auf die Antwortwiederholungskosten in der Lernphase auswirkten. Die Größe der Kosten ergab eine klare Reihenfolge der vier Gruppen. Fast keine Kosten zeigten sich in der Gruppe, bei der der erste und der zweite Reiz neutral waren. Größere Kosten zeigte die Gruppe mit einem kongruenten ersten Reiz und einem neutralen zweiten Reiz. Weiter erhöht waren die Antwortwiederholungseffekte in der Gruppe mit einem neutralen ersten und einem inkongruenten zweiten Reiz. Am größten waren die Kosten in der Gruppe, bei der der erste Reiz kongruent und der zweite Reiz inkongruent war. Die Kosten ordneten sich also sowohl nach der Konfliktstärke, ausgelöst durch den zweiten Reiz, als auch nach der Stärke der vorhergehenden Antwortaktivierung, bestimmt durch die Kongruenz des ersten Reizes.

In der anschließenden Testphase hatten die unterschiedlichen Lernerfahrungen praktisch keinen Einfluss. Die Analysen innerhalb der beiden Experimente bestätigten, dass die Antwortwiederholungskosten allein von der Konfliktsituation des aktuellen Reizes abhängen. Somit konnte kein Nachweis einer strategischen Anpassung der Antwortinhibition erbracht werden.

Zu betonen ist, dass unter dem Begriff „strategische Anpassung“ hier nur die Anpassung kognitiver Kontrolle aufgrund sich verändernder Aufgabenumgebungen, Reizsituationen, Zielen usw. verstanden wurde. Dieser Anpassung muss nicht notwendigerweise ein bewusster Entscheidungsprozess vorausgehen und sie muss auch nicht bewusst werden.

Eine weitere Form strategischer Kontrolle, die hier nicht untersucht wurde, basiert auf der Selbstüberwachung des kognitiven Systems (*self-monitoring*, Botvinick, et al., 2001). Dabei passt sich die Verarbeitungsstrategie des Systems flexibel von Durchgang zu Durchgang an, um durch eine optimierte Strategie die Zielerreichung sicherzustellen. Ausschlaggebend für die Anpassung der Strategie ist die Erfahrung im vorhergehenden Durchgang. Zum Beispiel wird, nachdem im vorhergehenden Durchgang ein starker Konflikt auftrat, die Selektivität der Informationsverarbeitung erhöht, um die Interferenz im nächsten Durchgang zu minimieren (Ullsperger, et al., 2005). Dabei handelt es sich um einen reaktiven (als Reaktion auf den vorausgehenden Konflikt) Anpassungsprozess. Die Antwortinhibition scheint aber eher ein proaktiver Mechanismus zu sein. So zeigt sich in LRP-Experimenten, dass die Antwortinhibition mit der Aufgabenvorbereitung einsetzt (Steinhauser, et al., 2009). Weiterhin ist die Größe der Antwortinhibition von der Aktivierungsstärke der vorausgehenden Antwort abhängig (Druey & Hübner, 2008b). Dabei handelt es sich zwar auch um eine Anpassung der Kontrolle, sprich der Antwortinhibition, allerdings nicht aufgrund mangelnder Kontrolle im vorhergehenden Durchgang sondern proaktiv, als Vorbereitung für die bevorstehende Antwortselektion.

3. ANTWORTINHIBITION UND IRRELEVANTE REIZINFORMATION

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind mit der Annahme vereinbar, dass die Stärke der Antwortinhibition vom Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung bestimmt wird. Nur weil ein Faktor theoretisch zu diesem Risiko beiträgt, hat er aber noch nicht zwingend einen Einfluss auf die Stärke der Antwortinhibition. Ein Faktor, von dem bekannt ist, dass er die Stärke der Antwortinhibition beeinflusst, ist die Aktivierungsstärke der vorhergehenden Antwort (z. B. Druey & Hübner, 2008b). Ein Hauptziel der vorliegenden Arbeit war es, zu untersuchen, ob die Valenz der Reizsituation ein weiterer Faktor ist – was die Studie von Hübner und Druey (2006) nahegelegt hatte – bzw. welche Eigenschaft bivalenter Reize letztlich die Antwortinhibition beeinflusst. Die Überlegung dabei war, dass bivalente Reize zwei Konflikte auslösen können: einen Antwortkonflikt und einen Aufgabenkonflikt, wobei sich der Antwortkonflikt vor allem bei inkongruenten Reizen ergibt. Daher wurde die Frage gestellt, welcher dieser beiden Konflikttypen für die Stärke der Antwortinhibition relevant ist. Es zeigte sich, dass die Größe des Aufgabenkonflikts nicht mit der Größe der Antwortwiederholungskosten zusammenhängt. Auch gab es in Studie 1 keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Antwortkonflikt und den Antwortwiederholungskosten. Die Ergebnisse ließen daher die Schlussfolgerung zu, dass keiner der beiden Konflikte allein zu einer Erhöhung der Antwortinhibition führt. Allerdings ließen die Daten auch die zweite Möglichkeit zu, dass keiner der

beiden Konflikttypen die Stärke der Antwortinhibition wesentlich beeinflusst. Für diese alternative Sichtweise soll im Folgenden plädiert werden.

3.1. AUSWIRKUNG DER ANTWORTINHIBITION AUF DEN KONGRUENZEFFEKT

In Studie 2 wurde das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung durch bivalent inkongruente oder neutrale Reize variiert. Dabei zeigten sich unter Aufgabenwechsel größere Antwortwiederholungskosten wenn der aktuelle Reiz inkongruent war als wenn er neutral war. Diese Ergebnisse können durch die Annahme erklärt werden, dass sich die Antwortinhibition sehr schnell noch nach Beginn der Reizverarbeitung an das Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung anpassen kann. Bei dieser Betrachtungsweise der Antwortwiederholungseffekte wird geschaut, wie sich die Antwortinhibition auf die Selektion der korrekten Antwort bei einem inkongruenten oder neutralen Reiz auswirkt – sprich es werden die Antwortwiederholungseffekte in Abhängigkeit der Kongruenz beschrieben. Im Fall einer Antwortwiederholung wirkt sie erschwerend, im Fall eines Antwortwechsels erleichternd. Da die Antwortinhibition bei inkongruenten Reizen sprunghaft zuzunehmen scheint, wäre die Wirkung bei diesen Reizen stärker als bei neutralen Reizen.

Allerdings ist aus LRP-Experimenten bekannt, dass sich die Antwortinhibition bereits während der Aufgabenvorbereitung beginnt aufzubauen (Steinhauser, et al., 2009). Daher würde es mehr Sinn machen, sich zu überlegen, wie sich die Kongruenz auf die Selektion der korrekten Antwort auswirkt, abhängig davon ob die korrekte Antwort gerade inhibiert ist oder nicht – also den Kongruenzeffekt in Abhängigkeit der Antwortabfolge zu betrachten. Aus diesem Blickwinkel ist der Kongruenzeffekt bei einer Antwortwiederholung größer als bei einem Antwortwechsel. Dies deutet darauf hin, dass die irrelevante Reizinformation des inkongruenten Reizes, die zum Aufgaben- und Antwortkonflikt führt, bei einer Antwortwiederholung mehr Einfluss hat und die falsche Antwort stärker aktiviert als bei einem Antwortwechsel.

Durch die Antwortinhibition ist im Falle einer Antwortwiederholung die korrekte Antwort inhibiert, im Falle eines Antwortwechsels die falsche Antwort.²² Daher führt die Aktivierung der falschen Antwort durch die aktuell irrelevante Reizeigenschaft des inkongruenten Reizes im Fall einer Antwortwiederholung zu größerer Interferenz als im Fall eines Antwortwechsels. Die größere Interferenz wird im Kongruenzeffekt sichtbar. Dieser alternative Erklärungsansatz beschreibt die Interaktion von Antwortabfolge und Kongruenz des aktuellen Reizes ohne die Annahme, dass sich die Antwortinhibition noch

²² Diese Überlegungen beschränken sich auf Aufgaben mit zwei Antwortalternativen, sind aber prinzipiell auch generalisierbar.

nach Beginn der Reizverarbeitung anpassen kann. Die Stärke der Antwortinhibition ist also allein von der Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang abhängig. Es soll nun gezeigt werden wie mit Hilfe dieser Alternativerklärung die Befunde aus der vorliegenden Arbeit und die von Hübner und Druey (2006) erklärt werden können.

3.2. DIE RESULTATE IM LICHT DER ALTERNATIVERKLÄRUNG

In Studie 2 ergab sich kein Nachweis einer strategischen Anpassung der Antwortinhibition. Die Modulation der Antwortwiederholungseffekte war alleine von der Kongruenz des ersten und des zweiten Reizes abhängig. Die Modulation durch die Kongruenz des zweiten Reizes, entspricht dem eben beschriebenen Zusammenhang. Die Modulation durch die Kongruenz des ersten Reizes entspricht dem bekannten Einfluss der Aktivierungsstärke der vorhergehenden Antwort auf die Antwortinhibition (Druey & Hübner, 2008b). In der statistischen Analyse zeigte sich das diese beiden Effekte unabhängig sind. Plausibel wäre aber auch eine Überadditivität, also dass durch die stärkere Antwortinhibition in Experiment 4A sich die Größe des Kongruenzeffekts noch stärker zwischen Antwortwiederholungen und Antwortwechseln unterscheidet. Tatsächlich gab es einen numerischen Zusammenhang in diese Richtung. Eventuell reichte also die statistische Power nicht aus, eine Wechselwirkung zwischen vorhergehender Antwortaktivierung, Antwortabfolge und der Größe des Kongruenzeffekts zu finden.

Stützung erfährt die Alternativerklärung auch durch die Beobachtung, dass in den beiden Gruppen, die in der Lernphase einen hohen Anteil inkongruenter Reize bearbeiten, es zu einer Zunahme der Antwortwiederholungskosten von der Lern- zur Testphase kam. Beschreibt man dieses Ergebnis aus der Perspektive der Verarbeitung der irrelevanten Reizinformation, so lässt sich sagen, dass der Einfluss der irrelevanten Reizinformation in der Testphase zunahm und zwar verstärkt bei Antwortwiederholungen. Der Anteil inkongruenter Reize in diesen beiden Gruppen nahm von der Lern- zur Testphase ab. Daher ist davon auszugehen, dass in diesen Gruppen die irrelevante Reizinformation in der Testphase durch selektive Aufmerksamkeit weniger stark gefiltert wurde als in der Lernphase (z. B. Hübner & Lehle, 2007). Daher führte die irrelevante Reizinformation in der Testphase zu höherer Interferenz bei der Antwortauswahl als in der Lernphase. Dieser Effekt der Selektivität interagierte mit dem Effekt der Antwortinhibition wodurch sich die irrelevante Reizinformation auf die Selektion der Antwort unter Antwortwiederholung in der Testphase noch stärker auswirkte als in der Lernphase.

Auch in Studie 1 findet sich Evidenz für die Alternativerklärung. So zeigten sich in Experiment 1B die Antwortwiederholungskosten wiederum abhängig von der Kongruenz

des aktuellen Reizes. Unter Aufgabenwechsel kam es bei einem kongruenten Reiz zu Antwortwiederholungsvorteilen (Wiederholung: 635 *ms*; Wechsel: 646 *ms*), bei einem inkongruentem Reiz kam es zu Antwortwiederholungskosten (654 *ms* vs. 642 *ms*). Dieses Ergebnis ist mit einer schwachen Antwortinhibition bei einem kongruenten Reiz nicht zu erklären, da es nach dem Zwei-Prozess-Modell unter Aufgabenwechsel gar nicht zu bedeutenden Antwortwiederholungsvorteilen kommen kann. Betrachtet man die Interaktion aus der Perspektive des Kongruenzeffekts zeigt sich, dass der Kongruenzeffekt unter Antwortwiederholung substantiell war (19 *ms*) und unter Antwortwechsel praktisch nicht vorhanden (-4 *ms*). Allerdings war die Antwortinhibition in Experiment 1A und 1B sehr viel kleiner als in den Experimenten der Studie 2, was dazu führte, dass die Wechselwirkung deutlich kleiner war.

Einschränkend ist zu sagen, dass sich auch mit dieser Alternativerklärung die Befunde aus Studie 1 nicht zur vollen Zufriedenheit erklären lassen. Unerklärt bleibt weiterhin, warum die Antwortwiederholungseffekte in den Experimenten 2A und 2B größer waren als in 1A und 1B. Eventuell haben die hohen Anforderungen an die Konfliktkontrolle und die hohe Aufgabenschwierigkeit der beiden Experimente zu einer verstärkten Antwortinhibition geführt. Weiterhin bleibt die Frage unbeantwortet, warum die Vorteile, die bei einer Antwortwiederholung durch die Wiederholung der S-R Regel entstehen, in den Experimenten 2A und 2B kaum vorhanden waren.

Mit Hilfe der vorgestellten Alternativerklärung lassen sich möglicherweise auch die Befunde von Hübner und Druey (2006) erklären. Sie verwendeten in einem Experiment bivalente Reize, die entweder kongruent oder inkongruent waren, und in einem anderen Experiment univalente Reize, die stets neutral waren. Dabei beobachteten sie höhere Antwortwiederholungskosten unter Aufgabenwechsel bei bivalenten im Vergleich zu univalenten Reizen. Dies kann analog zu den Experimenten 4A und 4B der vorliegenden Arbeit durch ein Zusammenspiel aus der Kongruenz des vorhergehenden und der Kongruenz des aktuellen Reizes erklärt werden. In einem Viertel der Durchgänge bei den bivalenten Reizen folgte auf einen kongruenten ein inkongruenter Reiz. Experiment 4A der vorliegenden Arbeit zeigt, dass in dieser Bedingung die Antwortwiederholungskosten massiv erhöht sind. Eventuell erklärt sich der Unterschied in den Antwortwiederholungskosten allein durch diese Sequenzen. Prinzipiell gilt die gleiche Erklärung auch unter Aufgabenwiederholung. Allerdings sind hier die Voraussagen der vorgestellten Alternativerklärung weniger klar. Denn es lässt sich theoretisch nicht bestimmen, wie die Vorteile der Regelwiederholung und die Inhibition der Antwort zusammenwirken: Kommt es zu einer erleichterten oder erschwerten Aktivierung der Antwort? Diese Frage lässt sich nur empirisch beantworten.

Zusammenfassend lassen sich eine Vielzahl an Befunden erklären allein durch die Betrachtung, wie die Antwortinhibition und die Verarbeitung irrelevanter Reizinformation zusammen auf die Antwortselektion wirken. Auch kommt diese Erklärung ohne die Annahme aus, dass sich die Stärke der Antwortinhibition noch nach Beginn der Reizverarbeitung anpassen kann. Schließlich zeigte sich, dass die Stärke der Antwortinhibition allein von der Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang abhängig ist.

4. MODELLE DER ANTWORTWIEDERHOLUNGSKOSTEN

Bereits in der allgemeinen Einführung zu dieser Arbeit wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass das Zwei-Prozess-Modell die Befundlage der Literatur zu den Antwortwiederholungseffekten im Aufgabenwechselfparadigma am besten erklären kann. Zwei Punkte scheinen dabei zentral: Zum einen der Risikogedanke und zum anderen die Möglichkeit die Antwortwiederholungskosten auch unter Aufgabenwiederholung zu erklären.

Das Zwei-Prozess-Modell geht im Gegensatz zu den anderen Erklärungsansätzen von einem adaptiven Kontrollmechanismus aus, der hilft in Situationen die hohe Kontrollanforderungen stellen, Antwortperseverationen zu verhindern. Sowohl die assoziationsbasierten Ansätze als auch der rekonfigurationsbasierte Ansatz sehen die Antwortwiederholungskosten dagegen als ein Beiprodukt anderer (Kontroll-)Mechanismen. Daher ist es nicht verwunderlich, dass diese Ansätze keine Veränderungen der Antwortwiederholungseffekte aufgrund veränderter Kontrollanforderungen vorhersagen. Weiterhin wird aus dem Blickwinkel dieser Ansätze beispielsweise nicht klar, dass ein verändertes Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung, solch eine veränderte Kontrollanforderung darstellt. Im Unterschied dazu nimmt das Zwei-Prozess-Modell an, dass z. B. ein erhöhtes Risiko einer fehlerhaften Antwortwiederholung zu einer Anpassung der Antwortinhibition führt und so zu größeren Antwortwiederholungskosten.

Es hat sich gezeigt, dass eine Quelle für dieses Risiko, die Antwortaktivierung im vorhergehenden Durchgang ist (Druey & Hübner, 2008b; Hübner & Druey, 2006; Steinhilber & Hübner, 2006). Als eine andere Quelle dieses Risikos wurde die Valenzeigenschaft der Reizsituation angesehen (Hübner & Druey, 2006). Denn bei sich überlappenden Antwortanordnungen könnten bivalente Reize im Unterschied zu univalenten Reizen die alternative vorausgegangene Antwort auch über die alternative Aufgabe reaktivieren. Tatsächlich waren die Antwortwiederholungskosten bei bivalenten Reizen kleiner als bei univalenten Reizen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen jedoch Zweifel an dieser Argumentation aufkommen. Es wurde die Vermutung aufgestellt, dass sich die vermeintlichen Effekte der Valenz allein über die Aktivierungsstärke der vorhergehenden

Antwort und über das Wechselspiel aus Antwortinhibition und der Verarbeitung irrelevanter Reizeigenschaften, die zu Interferenz bei der Antwortselektion führen, erklären lassen können.

Schließlich wurde in der vorliegenden Arbeit weitere Evidenz dafür gefunden, dass es auch unter Aufgabenwiederholungen zu Antwortwiederholungskosten kommen kann (vgl. auch Steinhauser & Hübner, 2006). Wie bereits beschrieben lassen sowohl die assoziationsbasierten Ansätze wie auch der rekonfigurationsbasierte Ansatz diese Möglichkeit theoretisch nicht zu. Im Fall des rekonfigurationsbasierten Ansatzes, weil der entscheidende Mechanismus wechselfpezifisch ist, also unter Aufgabenwiederholungen keine Rolle spielen kann. Im Fall des assoziationsbasierten Ansatzes, weil er stets eine Stärkung der Assoziation zwischen der soeben handlungsauslösenden Reiz- und Antwortrepräsentation annimmt.

Trotz der starken Evidenz für das Zwei-Prozess-Modell, gibt es noch Erklärungslücken. So ist beispielsweise bisher offen, warum die Inhibition der Antwort so stark ist, dass es zu einer Wechseltendenz kommt (Kosten einer Wiederholung), anstatt die Inhibition so zu justieren, dass es zu einem Gleichgewicht zwischen den Antwortalternativen kommt. Schließlich geht das Modell ja von einem adaptiven Mechanismus aus. Durch die Antwortinhibition kommt es aber teilweise zu erheblichen Kosten, was der adaptiven Natur des Mechanismus zu widersprechen scheint. Es könnte allerdings sein, dass der Inhibitionsmechanismus in einer natürlicheren Umwelt als der Laborsituation, mit geringeren Kosten assoziiert ist, da dort z. B. die Häufigkeit eines Aufgabenwechsels mit gleichzeitiger Antwortwiederholung höchst selten ist. Es ist zu hoffen, dass zukünftige Untersuchungen zur Klärung dieser Fragen beitragen.

5. AUSBLICK

Die hier aufgestellte alternative Erklärung der vermeintlichen Valenzeffekte auf die Antwortwiederholungskosten sollte in zukünftigen Experimenten überprüft werden. Hierzu würde sich eine Kombination des hier verwendeten Aufgabenwechselfparadigmas und des LRP-Paradigmas von Steinhauser und Kollegen (2009) anbieten. In dieser Studie konnte erstmals ein physiologisches Korrelat der Antwortinhibition beobachtet werden. Der große Vorteil dieser Methode ist, dass das LRP auch ein verhaltensunabhängiges Maß der Antwortinhibitionsstärke darstellt. Nach der vorgeschlagenen Alternativerklärung sollte sich im LRP also zeigen, dass die Stärke der Antwortinhibition unbeeinflusst von der Kongruenz des aktuellen Reizes ist. Dagegen sollten sich in den Verhal-

tensdaten weiterhin größere Unterschiede zwischen Antwortwiederholungen und Antwortwechseln bei inkongruenten im Vergleich zu neutralen Reizen zeigen.

Eine weitere Möglichkeit die Alternativerklärung zu testen, wäre in einem *task-cueing* Paradigma die randomisierte Variation von kongruenten und inkongruenten Durchgängen. Dies entspricht der bivalenten Bedingung von Hübner und Druey (2006). Es wäre dann zu überprüfen, ob die Antwortwiederholungseffekte in diesem Design mit dem hier vorgeschlagenen Zusammenspiel aus Aktivierung der vorhergehenden Antwort einerseits und der Wechselwirkung von Antwortinhibition und der Verarbeitung irrelevanter Reizeigenschaften bei der aktuellen Antwortselektion andererseits erklärt werden können.

Auch wäre die formale Modellierung experimenteller Daten ein viel versprechender Ansatz, um besser zu verstehen, wie genau die Antwortinhibition wirkt.

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Arbeit, dass die Stärke der Antwortinhibition nicht mit der Größe des Aufgabenkonflikts zusammenhängt, wie es sich einerseits aus Überlegungen zur Funktion von Antwort- und Aufgabeninhibition, andererseits aus Arbeiten zur Auswirkung der Reizvalenz auf die Antwortwiederholungseffekte (Hübner & Druey, 2006) vermuten ließe. Weiterhin sind die Ergebnisse zwar prinzipiell mit einer sehr schnellen Anpassung der Antwortinhibition auch noch nach Beginn der Reizverarbeitung vereinbar, lassen sich aber einfacher durch die Annahme erklären, dass die Antwortinhibition abhängig von der Antwortabfolge die Auswirkung irrelevanter Reizinformation bei der Antwortselektion moduliert.

LITERATURVERZEICHNIS

- Ach, N. (1910). *Über den Willen*. Leipzig: Verlag von Quelle & Meyer.
- Adam, J. J., Hommel, B., & Umiltà, C. (2003). Preparing for perception and action (I): The role of grouping in the response-cuing paradigm. *Cognitive Psychology*, *46*, 302-358.
- Alexander, G. E., DeLong, M. R., & Strick, P. L. (1986). Parallel organization of functionally segregated circuits linking basal ganglia and cortex. *Annual Review of Neuroscience*, *9*, 357-381.
- Allport, A., Styles, E. A., & Hsieh, S. (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance XV* (pp. 421-452). Cambridge: MIT Press.
- Allport, A., & Wylie, G. (1999). Task-switching: Positive and negative priming of task-set. In G. W. Humphreys, J. Duncan & A. Treisman (Eds.), *Attention, Space and Action* (pp. 273-296). Oxford: University Press.
- Allport, A., & Wylie, G. (2000). Task switching, stimulus-response bindings, and negative priming. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Control of cognitive processes. Attention and Performance XVIII* (Vol. XVIII, pp. 35-70). Cambridge, MA: MIT Press.
- Altmann, E. M. (2004). Advance preparation in task switching: What work is being done? *Psychological Science*, *15*, 616-622.
- Altmann, E. M. (2007a). Comparing switch costs: Alternating runs and explicit cuing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *33*(3), 475-483.
- Altmann, E. M. (2007b). Cue-independent task-specific representations in task switching: Evidence from backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *33*(5), 892-899.
- Anderson, M. C., & Spellman, B. A. (1995). On the status of inhibitory mechanisms in cognition: Memory retrieval as a model case. *Psychological Review*, *102*(1), 68-100.
- Arbuthnott, K., & Frank, J. (2000). Executive control in set switching: Residual switch cost and task-set inhibition. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *54*(1), 33-41.
- Arbuthnott, K. D., & Woodward, T. S. (2002). The influence of cue-task association and location on switch cost and alternating-switch cost. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *56*(1), 18-29.
- Aron, A. R. (2007). The neural basis of inhibition in cognitive control. *Neuroscientist*, *13*(3), 214-228.
- Aron, A. R., Monsell, S., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2004). A componential analysis of task-switching deficits associated with lesions of left and right frontal cortex. *Brain: A Journal of Neurology*, *127*(7), 1561-1573.
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(4), 170-177.

- Aron, A. R., Schlaghecken, F., Fletcher, P. C., Bullmore, E. T., Eimer, M., Barker, R., et al. (2003). Inhibition of subliminally primed responses is mediated by the caudate and thalamus: Evidence from functional MRI and Huntington's disease. *Brain: A Journal of Neurology*, *126*(3), 713-723.
- Aron, A. R., Watkins, L., Sahakian, B. J., Monsell, S., Barker, R. A., & Robbins, T. W. (2003). Task-Set Switching Deficits in Early-Stage Huntington's Disease: Implications for Basal Ganglia Function. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*(5), 629-642.
- Arrington, C. M., & Logan, G. D. (2004). The cost of a voluntary task switch. *Psychological Science*, *15*, 610-615.
- Bertelson, P. (1963). S-R relationships and reaction times to new versus repeated signals in a serial task. *Journal of Experimental Psychology*, *65*, 478-484.
- Bertelson, P. (1965). Serial choice reaction-time as a function of response versus signal-and-response repetition. *Nature*, *206*, 217-218.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, *108*(3), 624-652.
- Boucher, L., Palmeri, T. J., Logan, G. D., & Schall, J. D. (2007). Inhibitory control in mind and brain: An interactive race model of countermanding saccades. *Psychological Review*, *114*(2), 376-397.
- Brass, M., & Von Cramon, D. Y. (2004). Decomposing components of task preparation with functional magnetic resonance imaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*, 609-620.
- Bundesen, C. (1990). A theory of visual attention. *Psychological Review*, *97*(4), 523-547.
- Campbell, K. C., & Proctor, R. W. (1993). Repetition effects with categorizable stimulus and response sets. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *19*, 1345-1362.
- Cooper, S., & Mari-Beffa, P. (2008). The role of response repetition in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*(5), 1198-1211.
- Costa, A., & Santesteban, M. (2004). Lexical access in bilingual speech production: Evidence from language switching in highly proficient bilinguals and L2 learners. *Journal of Memory and Language*, *50*(4), 491-511.
- Crump, M., Gong, Z., & Milliken, B. (2006). The context specific proportion congruent stroop effect: Location as a contextual cue. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(2), 316-321.
- Cummings, J. L. (1993). Frontal-subcortical circuits and human behavior. *Archives of Neurology*, *50*(8), 873-880.
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, *44*, 2037-2078.

- De Jong, R., Wierda, M., Mulder, G., & Mulder, L. J. M. (1988). Use of partial stimulus information in response procession. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *14*, 682-692.
- Derrfuss, J., Brass, M., Neumann, J., & von Cramon, D. Y. (2005). Involvement of the Inferior Frontal Junction in Cognitive Control: Meta-Analyses of Switching and Stroop Studies. *Human Brain Mapping*, *25*(1), 22-34.
- Diamond, A. (2009). All or none hypothesis: A global-default mode that characterizes the brain and mind. *Developmental Psychology*, *45*(1), 130-138.
- Dreher, J.-C., & Berman, K. F. (2002). Fractionating the neural substrate of cognitive control processes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(22), 14595-14600.
- Dreisbach, G., & Haider, H. (2008). That's what task sets are for: Shielding against irrelevant information. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, *72*(4), 355-361.
- Dreisbach, G., & Haider, H. (2009). How task representations guide attention: Further evidence for the shielding function of task sets. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *35*(2), 477-486.
- Druey, M. D., & Hübner, R. (2008a). Effects of stimulus features and instruction on response coding, selection, and inhibition: Evidence from repetition effects under task switching. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *61*(10), 1573-1600.
- Druey, M. D., & Hübner, R. (2008b). Response inhibition under task switching: Its strength depends on the amount of task-irrelevant response activation. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, *72*(5), 515-527.
- Eimer, M. (1998). The lateralized readiness potential as an on-line measure of central response activation processes. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, *30*(1), 146-156.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, *16*(1), 143-149.
- Eriksen, C. W. (1995). The flankers task and response competition: A useful tool for investigating a variety of cognitive problems. *Visual Cognition*, *2*, 101-118.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*, 101-135.
- Gade, M., & Koch, I. (2007a). Cue-task associations in task switching. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *60*(6), 762-769.
- Gade, M., & Koch, I. (2007b). The influence of overlapping response sets on task inhibition. *Memory & Cognition*, *35*(4), 603-609.
- Georgiou, N., Bradshaw, J. L., Phillips, J. G., & Bradshaw, J. A. (1995). The Simon effect and attention deficits in Gilles de la Tourette's syndrome and Huntington's disease. *Brain: A Journal of Neurology*, *118*(5), 1305-1318.

- Goschke, T. (2000). Intentional reconfiguration and involuntary persistence in task set switching. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Control of Cognitive Processes: Attention and Performance XVIII* (pp. 331-355). Cambridge, MA: MIT Press.
- Gratton, G., Coles, M. G., & Donchin, E. (1992). Optimizing the use of information: Strategic control of activation of responses. *Journal of Experimental Psychology: General*, *121*(4), 480-506.
- Gratton, G., Coles, M. G. H., Sirevaag, E. J., Eriksen, C. W., & Donchin, E. (1988). Pre- and poststimulus activation of response channels: A psychophysiological analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *14*, 331-344.
- Grzyb, K. R., & Hübner, R. (2008). Lässt sich die Antworthemmung beim Aufgabenwechsel strategisch modulieren? In P. Khader, K. Jost, H. Lachnit & F. Rösler (Eds.), *Experimentelle Psychologie. Beiträge zur 50. Tagung experimentell arbeitender Psychologen. 3. bis 5. März 2008 in Marburg*. (pp. 76). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Harnishfeger, K. K., Dempster, F. N., & Brainerd, C. J. (1995). The development of cognitive inhibition: Theories, definitions, and research evidence. In F. N. Dempster & C. J. Brainerd (Eds.), *Interference and inhibition in cognition*. (pp. 175-204). San Diego, CA US: Academic Press.
- Hayes, A. E., Davidson, M. C., Keele, S. W., & Rafal, R. D. (1998). Toward a functional analysis of the basal ganglia. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*(2), 178-198.
- Henson, R. (2003). Neuroimaging studies of priming. *Progress in Neurobiology*, *70*, 53-81.
- Henson, R. (2009). Priming. In L. R. Squire (Ed.), *Encyclopedia of Neuroscience* (pp. 1055-1063). Oxford, UK: Academic Press.
- Hommel, B. (1995). Stimulus-response compatibility and the Simon effect: Toward an empirical clarification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*, 764-775.
- Hommel, B. (1998). Event files: Evidence for automatic integration of stimulus-response episodes. *Visual Cognition*, *5*(1-2), 183-216.
- Hommel, B. (2004). Event files: Feature binding in and across perception and action. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*, 494-500.
- Hommel, B. (2007). Feature integration across perception and action: event files affect response choice. *Psychol Res*, *71*(1), 42-63.
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC): A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, *24*(5), 849-878; discussion 878-937.
- Houghton, G., Pritchard, R., & Grange, J. A. (2009). The role of cue-target translation in backward inhibition of attentional set. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *35*(2), 466-476.
- Hübner, M., Dreisbach, G., Haider, H., & Kluwe, R. H. (2003). Backward inhibition as a means of sequential task-set control: Evidence for reduction of task competition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *29*, 289-297.

- Hübner, R., & Druery, M. D. (2006). Response execution, selection, or activation: what is sufficient for response-related repetition effects under task shifting? *Psychological Research, 70*, 245-261.
- Hübner, R., & Druery, M. D. (2008). Multiple response codes play specific roles in response selection and inhibition under task switching. *Psychological Research/Psychologische Forschung, 72*(4), 415-424.
- Hübner, R., Futterer, T., & Steinhauser, M. (2001). On attentional control as source of residual shift costs: Evidence from two-component task shifts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 27*(3), 640-653.
- Hübner, R., & Lehle, C. (2004). Strategies of serial versus parallel processing in a flanker dual-task. *submitted*.
- Hübner, R., & Lehle, C. (2007). Strategies of Flanker Coprocessing in Single and Dual Tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 33*(1), 103-123.
- Jersild, A. T. (1927). Mental set and shift. *Archives of Psychology*, whole Nr. 89.
- Kahneman, D., & Treisman, A. (1984). Changing views of attention and automaticity. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 29-61). Orlando, FL: Academic Press.
- Kahneman, D., Treisman, A., & Gibbs, B. J. (1992). The reviewing of object files: Object-specific integration of information. *Cognitive Psychology, 24*(2), 175-219.
- Keele, S. W., & Robert, R. (2000). Deficits of task set in patients with left prefrontal cortex lesions. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII* (pp. 627-651). Cambridge: MIT Press.
- Kleinsorge, T. (1999). Response repetition benefits and costs. *Acta Psychologica, 103*(3), 295-310.
- Kleinsorge, T. (2004). Hierarchical switching with two types of judgment and two stimulus dimensions. *Experimental Psychology, 51*, 145-149.
- Kleinsorge, T., & Heuer, H. (1999). Hierarchical switching in a multi-dimensional task space. *Psychological Research, 62*, 300-312.
- Kleinsorge, T., Heuer, H., & Schmidtke, V. (2001). Task-set reconfiguration with binary and three-valued task dimensions. *Psychological Research, 65*(3), 192-201.
- Koch, I. (2001). Automatic and intentional activation of task sets. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 27*(6), 1474-1486.
- Koch, I., & Allport, A. (2006). Cue-based preparation and stimulus-based priming of tasks in task switching. *Memory & Cognition, 34*(2), 433-444.
- Kornblum, S., Hasbroucq, T., & Osman, A. (1990). Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulus-response compatibility--a model and taxonomy. *Psychological Review, 97*(2), 253-270.
- Lehle, C., & Hübner, R. (2008). On-the-fly adaptation of selectivity in the flanker task. *Psychonomic Bulletin & Review, 15*(4), 814-818.

- Lidji, P., Kolinsky, R. g., Lochy, A., & Morais, J. (2007). Spatial associations for musical stimuli: A piano in the head? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *33*(5), 1189-1207.
- Logan, G. D. (1985). Executive control of thought and action. *Acta Psychologica*, *60*, 193-210.
- Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, *95*, 492-527.
- Logan, G. D. (1994). On the ability to inhibit thought and action. In D. Dagenbach & T. H. Carr (Eds.), *Inhibitory processes in attention, memory, and language* (pp. 188-239). San Diego: Academic Press.
- Logan, G. D. (2002). An instance theory of attention and memory. *Psychological Review*, *109*(2), 376-400.
- Logan, G. D., & Bundesen, C. (2003). Clever Homunculus: Is there an endogenous act of control in the explicit task-cuing procedure? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 575-599.
- Logan, G. D., & Cowan, W. B. (1984). On the ability to inhibit thought and action: A theory of an act of control. *Psychological Review*, *91*(3), 295-327.
- Logan, G. D., & Etherton, J. L. (1994). What is learned during automatization? The role of attention in constructing an instance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*(5), 1022-1050.
- Logan, G. D., Taylor, S. E., & Etherton, J. L. (1999). Attention and automaticity: Toward a theoretical integration. *Psychological Research*, *62*, 165-181.
- Logan, G. D., & Zbrodoff, N. J. (1979). When it helps to be misled: Facilitative effects of increasing the frequency of conflicting stimuli in an Stroop-like task. *Memory & Cognition*, *3*, 166-174.
- Logan, G. D., & Zbrodoff, N. J. (1982). Constraints on strategy construction in a speeded discrimination task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *8*, 502-520.
- Logan, G. D., Zbrodoff, N. J., & Fostey, A. R. W. (1983). Costs and benefits of strategy construction in a speeded discrimination task. *Memory & Cognition*, *11*, 485-493.
- Lu, C. H., & Proctor, R. W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance: A review of the simon and spatial stroop effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, *2*, 174-207.
- MacLeod, C. (1991). Half a century of research on the stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, *109*, 163-203.
- MacLeod, C., & Gorfein, D. (2007). The concept of inhibition in cognition *Inhibition in cognition*. (pp. 3-23). Washington, DC US: American Psychological Association.
- Marczinski, C. A., Milliken, B., & Nelson, S. (2003). Aging and Repetition Effects: Separate Specific and Nonspecific Influences. *Psychology and Aging*, *18*(4), 780-790.
- Masson, M. E. J., Bub, D. N., Woodward, T. S., & Chan, J. C. K. (2003). Modulation of word-reading processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, *132*, 400-418.

- Mayr, U. (2001). Age differences in the selection of mental sets: The role of inhibition, stimulus ambiguity, and response-set overlap. *Psychology and Aging, 16*, 96-109.
- Mayr, U. (2007). Inhibition of task sets. In D. S. Gorfein & C. MacLeod (Eds.), *Inhibition in Cognition*. Washington, DC: APA Books.
- Mayr, U., & Bryck, R. L. (2005). Sticky rules: integration between abstract rules and specific actions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 31*(2), 337-350.
- Mayr, U., & Bryck, R. L. (2007). Outsourcing control to the environment: effects of stimulus/response locations on task selection. *Psychological Research, 71*, 107-116.
- Mayr, U., Diedrichsen, J., Ivry, R., & Keele, S. W. (2006). Dissociating task-set selection from task-set inhibition in the prefrontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18*(1), 14-21.
- Mayr, U., & Keele, S. W. (2000). Changing internal constraints on action: The role of backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: General, 129*(1), 4-26.
- Mayr, U., & Kliegl, R. (2003). Differential effects of cue changes and task changes on task-set selection costs. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 29*, 362-372.
- Mega, M. S., Cummings, J. L., Salloway, S. P., Malloy, P. F., & Duffy, J. D. (2001). Frontal subcortical circuits: Anatomy and function *The frontal lobes and neuropsychiatric illness*. (pp. 15-32). Arlington, VA US: American Psychiatric Publishing, Inc.
- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 22*(6), 1423-1442.
- Meiran, N. (2000a). Modeling cognitive control in task-switching. *Psychological Research, 63*(3-4), 234-249.
- Meiran, N. (2000b). Reconfiguration of stimulus task-sets and response task-sets during task-switching. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII* (pp. 377-399). Cambridge: MIT Press.
- Meiran, N. (2005). Task rule-congruency and simon-like effects in switching between spatial tasks. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 58A*, 1023-1041.
- Meiran, N. (in press). Task switching: Mechanisms underlying rigid vs. flexible self control. In R. Hassin, K. N. Ochsner & Y. Trope (Eds.), *Social cognition and social neuroscience*. New York: Oxford University Press.
- Meiran, N., Chorev, Z., & Sapir, A. (2000). Component processes in task switching. *Cognitive Psychology, 41*(3), 211-253.
- Meiran, N., & Gotler, A. (2001). Modelling cognitive control in task switching and ageing. *European Journal of Cognitive Psychology, 13*, 165-186.

- Meiran, N., & Kessler, Y. (2008). The task rule congruency effect in task switching reflects activated long-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*(1), 137-157.
- Meiran, N., Kessler, Y., & Adi-Japha, E. (2008). Control by action representation and input selection (CARIS): A theoretical framework for task switching. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, *72*(5), 473-500.
- Meuter, R. F. I., & Allport, A. (1999). Bilingual language switching in naming: asymmetrical costs of language selection. *Journal of Memory and Language*, *40*, 25-40.
- Milán, E. G., Tornay, F. J., Quesada, J., & Hochel, M. (2006). La repetición de respuesta en situaciones de canbio de tarea. *Cognitiva*, *18*(2), 123-134.
- Miller, J., & Ulrich, R. (1998). Locus of the effect of the number of alternative responses: Evidence from the lateralized readiness potential. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*, 1215-1231.
- Mondor, T. A., Hurlburt, J., & Thorne, L. (2003). Categorizing sounds by pitch: Effects of stimulus similarity and response repetition. *Perception & Psychophysics*, *65*(1), 107-114.
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 134-140.
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopahtology: views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, *126*(2), 220-246.
- Notebaert, W., & Soetens, E. (2003). The influence of irrelevant stimulus changes on stimulus and response repetition effects. *Acta Psychologica*, *112*(2), 143-156.
- Pashler, H., & Baylis, G. (1991a). Procedural learning: 1. Locus of practice effects in speeded choice tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *17*(1), 20-32.
- Pashler, H., & Baylis, G. (1991b). Procedural learning: 2. Intertrial repetition effects in speeded-choice tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *17*(1), 33-48.
- Philipp, A. M., Gade, M., & Koch, I. (2007). Inhibitory processes in language switching: Evidence from switching language-defined response sets. *European Journal of Cognitive Psychology*, *19*(3), 395-416.
- Philipp, A. M., Jolicoeur, P., Falkenstein, M., & Koch, I. (2007). Response selection and response execution in task switching: Evidence from a go-signal paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *33*(6), 1062-1075.
- Philipp, A. M., & Koch, I. (2006). Task inhibition and task repetition in task switching. *European Journal of Cognitive Psychology*, *18*(4), 624-639.
- Posner, M. I. (1978). *Chronometric explorations of mind*. Oxford England: Lawrence Erlbaum.
- Posner, M. I., & Presti, D. E. (1987). Selective attention and cognitive control. *Trends in Neurosciences*, *10*(1), 13-17.

- Pösse, B., Waszak, F., & Hommel, B. (2006). Do stimulus-response bindings survive a task switch? *European Journal of Cognitive Psychology, 18*(4), 640-651.
- Quinlan, P. T. (1999). Sequential effects in auditory choice reaction time tasks. *Psychonomic Bulletin & Review, 6*, 297-303.
- Rabbitt, P., & Rodgers, B. (1977). What does a man do after he makes an error? An analysis of response programming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 29*, 727-743.
- Rabbitt, P. M. A. (1968). Repetition effects and signal classification strategies in serial choice-response tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 23*2-240.
- Richardson-Klavehn, A., & Bjork, R. A. (1988). Measures of memory. *Annual Review of Psychology, 39*, 475-543.
- Ridderinkhof, K. R. (1997). A dual-route processing architecture for stimulus-response correspondence effects. In B. Hommel & W. Prinz (Eds.), *Theoretical issues in stimulus-response compatibility* (pp. 119-131). Amsterdam: Elsevier.
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General, 124*(2), 207-231.
- Rubin, O., & Meiran, N. (2005). On the Origins of the Task Mixing Cost in the Cuing Task-Switching Paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 31*(6), 1477-1491.
- Schacter, D. L., Dobbins, I. G., & Schnyer, D. M. (2004). Specificity of priming: A cognitive neuroscience perspective. *Nature Reviews Neuroscience, 5*(11), 853-862.
- Schneider, D. W., & Verbruggen, F. (2008). Inhibition of irrelevant category-response mappings. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 61*(11), 1629-1640.
- Schuch, S., & Koch, I. (2003). The role of response selection for inhibition of task sets in task shifting. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 29*(1), 92-105.
- Schuch, S., & Koch, I. (2004). The costs of changing the representation of action: Response repetition and response-response compatibility in dual tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 30*, 566-582.
- Shook, S. K., Franz, E. A., Higginson, C. I., Wheelock, V. L., & Sigvardt, K. A. (2005). Dopamine dependency of cognitive switching and response repetition effects in Parkinson's patients. *Neuropsychologia, 43*(14), 1990-1999.
- Simon, J. R. (1969). Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology, 81*(1), 174-176.
- Smith, M. C. (1968). Repetition effect and short-term memory. *Journal of Experimental Psychology, 77*, 435-439.
- Soetens, E. (1998). Localizing sequential effects in serial choice reaction time with the information reduction procedure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24*, 547-568.

- Sohn, M. H., & Carlson, R. A. (2000). Effects of repetition and foreknowledge in task-set reconfiguration. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *26*, 1445-1460.
- Steinhauser, M., & Hübner, R. (2006). Response-based strengthening in task shifting: evidence from shift effects produced by errors. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*, *32*(3), 517-534.
- Steinhauser, M., & Hübner, R. (2008). How task errors affect subsequent behavior: Evidence from distributional analyses of task-switching effects. *Memory & Cognition*, *36*(5), 979-990.
- Steinhauser, M., & Hübner, R. (in press). Distinguishing response conflict and task conflict in the Stroop task: Evidence from ex-Gaussian distribution analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*.
- Steinhauser, M., & Huebner, R. (2007). Automatic activation of task-related representations in task shifting. *Memory & Cognition*, *35*(1), 138-155.
- Steinhauser, M., Hübner, R., & Druery, M. (2009). Adaptive control of response preparedness in task switching. *Neuropsychologia*, *46*, 1826-1835.
- Stoet, G., & Hommel, B. (1999). Action planning and the temporal binding of response codes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*(6), 1625-1640.
- Stout, J. C., Wylie, S. A., & Filoteo, J. V. (2002). Divergent findings regarding negative priming in Parkinson's disease: A comment of Filoteo et al. (2000) and Wylie and Stout (2000). *Neuropsychology*, *16*(2), 251-253.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*, 643-662.
- Sudevan, P., & Taylor, D. A. (1987). The cuing and priming of cognitive operations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *13*(1), 89-103.
- Terry, K. M., Valdes, L. A., & Neill, W. T. (1994). Does 'inhibition of return' occur in discrimination tasks? *Perception & Psychophysics*, *55*(3), 279-286.
- Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*(4), 571-590.
- Tipper, S. P. (2001). Does negative priming reflect inhibitory mechanisms? A review and integration of conflicting views. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*(2), 321-343.
- Töllner, T., Gramann, K., Müller, H. J., Kiss, M., & Eimer, M. (2008). Electrophysiological markers of visual dimension changes and response changes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*(3), 531-542.
- Ullsperger, M., Bylsma, L. M., & Botvinick, M. (2005). The conflict adaptation effect: It's not just priming. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, *5*(4), 467-472.
- Wagenaar, W. A. (1972). Generation of random sequences by human subjects: A critical survey of literature. *Psychological Bulletin*, *77*(1), 65-72.

- Waszak, F., & Hommel, B. (2007). The costs and benefits of cross-task priming. *Mem Cognit*, *35*(5), 1175-1186.
- Waszak, F., Hommel, B., & Allport, A. (2003). Task-switching and long-term priming: Role of episodic stimulus-task bindings in task-shift costs. *Cognitive Psychology*, *46*, 361-413.
- Waszak, F., Hommel, B., & Allport, A. (in press). Task-switching and long-term priming: Role of episodic S-R bindings in task-shift costs. *Cognitive Psychology*.
- Wühr, P., & Ansorge, U. (2007). A Simon effect in memory retrieval: Evidence for the response-discrimination account. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(5), 984-988.
- Yehene, E., Meiran, N., & Soroker, N. (2008). Basal ganglia play a unique role in task switching within the frontal--subcortical circuits: Evidence from patients with focal lesions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(6), 1079-1093.
- Yeung, N., & Monsell, S. (2003). The effects of recent practice on task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 919-936.
- Yeung, N., Nystrom, L. E., Aronson, J. A., & Cohen, J. D. (2006). Between-Task Competition and Cognitive Control in Task Switching. *Journal of Neuroscience*, *26*(5), 1429-1438.