Inhibition dominanter Handlungstendenzen als Mechanismus der Handlungskontrolle

Dissertation

Zur Erlangung der Würde eines Doktors der Philosophie des Fachbereiches Pädagogik der Universität der Bundeswehr Hamburg

vorgelegt von

Alexandra Peters

aus Hamburg

Hamburg, 2003

Erstgutachter: **Prof. Dr. phil. habil. Rainer H. Kluwe**

Zweitgutachter: **Prof. Dr. phil. Rainer Dieterich**

Drittgutachter: **Prof. Dr. phil. habil. Thomas Goschke (TU-Dresden)**

Tag der mündlichen Prüfung: 08.12.2003

Inhalt

I Einleitung 4

II Selektion und Handlungssteuerung 9

2.1 Kapazität und Handlungssteuerung 9

2.2 Intentionale und nichtintentionale Selektion 12

III Nichtintentionale Selektion: Verarbeitung zielirrelevanter Information 14

3.1 Nichtintentionale Selektion am Beispiel von attentional capture 15

3.2 Interferenz durch irrelevante Information: Stroop-Aufgaben 17

3.3 Interferenz durch irrelevante Information: Flankierreiz-Paradigma 19

3.4 Interferenz durch irrelevante Information: Simon-Aufgaben 19

3.4.1 Theorien des Simon-Effekts 23

3.5 Modelle der Responseinterferenz 27

3.5.1 Interferenz durch unterschiedliche Verarbeitungsgeschwindigkeit 28

3.5.2 Automatisiertheit der Verarbeitung irrelevanter Information 30

3.6 Grenzen der Interferenz durch nichtintentionale Selektion: Modulierung durch intentionale Faktoren 35

3.6.1 Intentionale Modulierung von attentional capture 36

3.6.2 Intentionale Modulierung der Interferenz im Flankierreiz-Paradigma 38

3.6.3 Intentionale Modulierung der Interferenz im Stroop- und Simon-Paradigma 39

IV Intentionale Selektion: Verarbeitung zielrelevanter Information 45

4.1 Durchsetzung zieldienlicher Verarbeitung: Kontrollierte Verarbeitung und exekutive Mechanismen 46

4.1.1 Kontrollierte Verarbeitung 47

4.1.2 Exekutive Mechanismen 49

4.2 Intentionale Selektion durch Bahnung und Hemmung 59

4.2.1 Inhibition of Return 61

4.2.2 Negatives Priming 63

4.2.3 Inhibition als Steuerungsmechanismus im Stroop- und Simon-Paradigma 70
4.2.4 Inhibition als Selektionsfunktion im Arbeitsgedächtnis 72
4.2.5 Inhibition als Selektionsfunktion beim Handlungsabbruch 74
4.2.6 Inhibition als Selektionsfunktion beim Gedächtnisabruf 75

4.3 Exekutive Steuerung durch Inhibition: Zusammenfassung 76

V Exekutive und nichtintentionale Prozesse im Aufgabenwechselparadigma 78

5.1 Einleitung 78

5.2 Grundlegende Mechanismen bei einem Wechsels der Reiz-Reaktions-Zuordnung 82

5.3 Exekutive Prozesse im Aufgabenwechselparadigma 84
5.3.1 Aufgabenwechselkosten und intentionale Steuerung 84
5.3.2 Reduktion der Wechselkosten über der Vorbereitungszeit 87
5.3.3 Beschränkung der Wechselkosten auf den ersten Durchgang nach einem Aufgabenwechsel 90

5.4 Nichtintentionale Prozesse im Aufgabenwechselparadigma 91
5.4.1 Aufgabenwechselkosten und Primingprozesse 91
5.4.2 Asymmetrie der Wechselkosten 93
5.4.3 Reduktion der Wechselkosten durch passiven Zerfall des Task-Sets der Voraufgabe 94
5.4.4 Residuale Wechselkosten 95
5.4.5 Eliminierung von Aufgabenwechselkosten 97
5.4.6 Symmetrische Stroop-Interferenz 99
5.4.7 Langfristige Effekte vorangehender Aufgaben 100
5.4.8 Nichtintentionale Effekte auf Stimulus- und Responseebene 101
5.4.9 Interferenz durch irrelevante Task-Sets: Kongruenzeffekte und Task-Cuing 103

5.5 Steuerungsmechanismen im Aufgabenwechselparadigma 106
5.5.1 Inhibitionsmechanismen im Aufgabenwechselparadigma 107

5.6 Zusammenfassung Aufgabenwechselparadigma 114

VI Experimentelle Untersuchungen 116

6.1 Einleitung 116

6.2 Paradigma der Experimente ... 117
6.2.1 Interpretation von Kongruenzeffekten ... 119
6.3 Experiment 1 ... 121
6.3.1 Methode Experiment 1 ... 121
6.3.2 Ergebnisse Experiment 1 ... 125
6.3.3 Diskussion Experiment 1 ... 131
6.4 Experiment 2 ... 138
6.4.1 Methode Experiment 2 ... 141
6.4.2 Ergebnisse Experiment 2 ... 142
6.4.3 Diskussion Experiment 2 ... 145
6.5 Zusammenfassende Diskussion der Experimente 1 und 2 ... 148
6.6 Experiment 3 ... 150
6.6.1 Methode Experiment 3 ... 151
6.6.2 Ergebnisse Experiment 3 ... 152
6.6.3 Diskussion Experiment 3 ... 156
6.7 Experiment 4 ... 157
6.7.1 Methode Experiment 4 ... 159
6.7.2 Ergebnisse Experiment 4 ... 160
6.7.3 Diskussion Experiment 4 ... 165
6.8 Experiment 5 ... 169
6.8.1 Methode Experiment 5 ... 171
6.8.2 Ergebnisse Experiment 5 ... 174
6.8.3 Diskussion Experiment 5 ... 178
VII Gesamtdiskussion ... 182
VIII Zusammenfassung ... 193
IX Literatur ... 194
X Anhang ... 211

I Einleitung

Ziele stellen eine bedeutende Einflußgröße auf psychische Systeme dar und sind Triebfeder vielfältiger Handlungen. So werden Handlungsbereitschaften durch Ziele etabliert, aufrechterhalten oder modifiziert, die Kenntnis der Ziele einer Person trägt bei zu einem Verständnis ihres Handelns. Diese Zielgerichtetheit als zentrale Charakteristik menschlichen Handelns läßt sich an Einflüssen langfristiger, z.B. Lebensziele, als auch an Einflüssen kurzfristiger, z.B. experimentell evozierter Ziele auf Handlungen verdeutlichen. Die vorliegende Arbeit fokussiert auf experimentell evozierte Handlungsziele als Determinanten der Handlungssteuerung. Durch welche Mechanismen wird jedoch gewährleistet, daß kognitive Verarbeitung tatsächlich einem bestehenden Handlungsziel entspricht und nicht zielhinderliche Prozesse die Handlung bestimmen? Die Frage nach derartigen Mechanismen bildet den Kernpunkt der vorliegenden Arbeit.

Zielgerichtetes Verhalten im Kontext experimenteller Situationen zeigt sich beispielsweise daran, daß kognitive Systeme in der Lage sind, entsprechend divergierenden Aufgabeninstruktionen auf identisches Stimulusmaterial in unterschiedlicher Weise zu reagieren. Verhalten, welches ausschließlich durch Charakteristika der Reizumwelt determiniert wäre, würde hingegen notwendig zu identischen Reaktionen auf identisches Reizmaterial führen und wäre somit in einem Höchstmaß unflexibel. Es würde immer diejenige Reaktion auf einen Reiz ausgeführt werden, welche (etwa durch vorherige Lernereignisse bedingt) am stärksten mit dem jeweiligen Reiz assoziiert wäre. Die Beobachtung divergierender Reaktionen auf identisches Reizmaterial straft die Annahme lediglich reizbedingter Handlungskontrolle Lügen und zeigt auf, daß Handlungen zu einem gewissen Ausmaß durch mental repräsentierte Handlungsziele gesteuert sind (Goschke, 2002). Tatsächlich verdankt sich die überwiegende Mehrheit alltäglicher Handlungen einer Interaktion von Handlungszielen und Stimulusmerkmalen (Pashler, Johnston & Ruthruff, 2001).

Zielgerichtetes Handeln unterliegt jedoch gewissen Beschränkungen. So ist zielgerichtetes Verhalten als kohärentes Verhalten an Mechanismen der Selektivität kognitiver Verarbeitung gebunden. Selektivität ermöglicht kohärentes Handeln, indem durch Selektionsmechanismen eine Anbindung von Wahrnehmungsinformation an Handlungen gewährleistet wird. Diese Bindung von Wahrnehmungen an Handlungen wird dadurch bedeutsam, daß ein Großteil der Handlungen ihren Ausgangspunkt in Wahrnehmungsprozessen hat. Allport (1987) hat die Notwendigkeit von

Selektionsmechanismen zur Handlungssteuerung treffend am Beispiel von Objektselektion skizziert: Um einen bestimmten Apfel von einem Baum zu pflücken, ist es notwendig, daß lediglich Information eines der diversen Äpfel, von welchen die pflückenden Person parallel Wahrnehmungsinformation erhält, die Handlung steuert. Alleine hinsichtlich dieses selegierten Apfels müssen die relevanten Parameter der Handlung (z.B. Wie weit greifen? Wie weit die Hand öffnen?) spezifiziert werden. Ohne einen Mechanismus der Selektion, welcher Wahrnehmungsinhalte an Handlungen bindet, wäre kein kohärentes Handeln möglich. Im Beispiel des Apfelpflückens wäre bei fehlenden Mechanismen der Selektion nicht gewährleistet, daß konsistent die Information lediglich eines Apfels die Handlung bestimmt. Würde jedoch die Information sämtlicher Äpfel die Handlung bestimmen, wäre als Folge beispielsweise inkompatibler oder ständig wechselnder Lokationsinformation das Annähern an einen spezifischen Apfel nicht gewährleistet.

Selektivität alleine ist jedoch keine hinreichende Bedingung für zielgerichtetes Verhalten. So ist es möglich, daß die Selektion vollständig durch Charakteristika der Reizumwelt bedingt ist. Wird ein Stimulus alleine aufgrund seiner Eigenschaften selegiert, obwohl dieser Stimulus keine Relevanz für das aktuelle Handlungsziel aufweist, d.h. wird ein Stimulus verarbeitet, obwohl diese Verarbeitung nicht intendiert ist, so fällt diese Selektion in die Kategorie nichtintentionaler Selektion. Nichtintentionale Selektion läßt sich am Beispiel des Hörens eines lauten Knalls in einer ansonsten stillen Reizumwelt oder am Beispiel des Hörens des Rufes „Feuer!“ aufzeigen: Beide Stimuli werden selegiert, ohne daß die Selektion dieser Reize durch ein aktuelles Verhaltensziel (z.B. das Lesen eines relevanten Artikels) bedingt war. Diese Beispiele nichtintentionaler Selektion zeigen, daß Selektivität kein hinreichender Faktor für zieldienliche Verarbeitung ist. Zielgerichtete Verarbeitung ist vielmehr davon abhängig, daß Selektion in Abhängigkeit von einem Handlungsziel stattfindet. Selektion in Abhängigkeit von einem Handlungsziel wird im Folgenden als intentionale Selektion bezeichnet.

Zieldienliche Verarbeitung stellt zwei Erfordernisse an die Selektion: So muß zuerst eine Entscheidung darüber erfolgen, welches von alternativen Handlungszielen verfolgt werden soll. Zum anderen muß daran anschließend gewährleistet werden, daß die weitere Verarbeitung entsprechend dem Handlungsziel abläuft. Insbesondere dieser zweite Mechanismus der Selektion im Hinblick auf ein Handlungsziel ist in der Literatur in vielfältigen experimentellen Paradigmen untersucht worden. Als ein generelles Phänomen zeigt sich, daß die Bearbeitung gemäß eines Handlungsziels nicht unabhängig ist von modulierenden Einflüssen nichtintentionaler Bearbeitung. Stattdessen zeigen sich

Interferenzen irrelevanter Verarbeitung auf die zielrelevante Verarbeitung, welche entweder im Sinne von Selektion erst auf späten Stufen der kognitiven Verarbeitung oder im Sinne defizitärer Selektion interpretiert werden können. Die Nichtintentionalität der Verarbeitung irrelevanter Information erfüllt ein Charakteristikum automatischer („dominanter“) Verarbeitungsprozesse, und tatsächlich wird Interferenz durch irrelevante Information häufig im Sinne von Interferenz durch automatisierte Verhaltenstendenzen interpretiert.

Zur Reduzierung von Interferenz und zur Durchsetzung intentionaler Verarbeitung gegenüber dominanten Verhaltenstendenzen wird in der Literatur auf inhibitorische Steuerungsmechanismen rekurriert: Zusätzlich zu einer verstärkten Aktivation der zieldienlichen Verarbeitungsprozesse wird die zieldienliche Verarbeitung durch intentionale Hemmung zielirrelevanter Verarbeitung gewährleistet. Jedoch lassen sich Situationen denken, in denen stark automatisierte Handlungstendenzen nicht die einzige Quelle von Interferenz sind. Ebenso scheint es möglich, daß auch eine soeben noch relevante, intentionale Verarbeitung mit der aktuellen Verarbeitung interferiert. Evidenz für diese Annahme findet sich in der Beobachtung von bestimmten Patientengruppen, welche ein klinisch relevantes, erhöhtes Ausmaß an Interferenz durch eine unmittelbar zuvor realisierte Verarbeitung aufweisen. Diesen Patienten gelingt kein flexibler Wechsel des Handlungsziels, vielmehr zeigt diese Patientengruppe eine erhöhte Tendenz, eine einmal etablierte Verarbeitungsweise auch entgegen dem aktuellen Handlungsziel beizubehalten.

Ein experimentelles Paradigma, welches in besonderer Weise Möglichkeit zur Interferenz durch soeben ausgeführte Verarbeitung bietet, stellt das sogenannte Aufgabenwechselparadigma dar. Im Aufgabewechselparadigma wird in kurzen zeitlichen Abständen (mitunter in jedem Versuchsdurchgang) ein flexibler Wechsel des Handlungsziels und damit der mit dem Handlungsziel assoziierten Reiz-Reaktions-Zuordnung gefordert.

Zur Etablierung eines neuen Handlungsziels und zur Durchsetzung dieses Handlungsziels gegenüber konkurrierenden Reiz-Reaktions-Zuordnungen wurden im Aufgabenwechselparadigma entsprechend den üblichen Interferenzparadigmen Inhibitionsmechanismen vorgeschlagen, welche die Aktivität nichtintentionaler Verarbeitung herabsetzen. Hierbei fanden jedoch in bislang keiner Studie sowohl zeitlich unmittelbar zurückliegende als auch dominante Handlungstendenzen als mögliche Quellen der Aufgabeninterferenz parallel Berücksichtigung. Die vorliegende Arbeit soll dieses leisten.

Insbesondere wird in der vorliegenden Arbeit dargestellt,

1. daß die Durchsetzung einer nicht automatisierten, zielrelevanten Handlungsbereitschaft an die Inhibition konkurrierender Verarbeitung gebunden ist und
2. daß sich die Inhibition in stärkerem Ausmaß („primär“) auf stark automatisierte, konkurrierende Handlungstendenzen und lediglich in geringerem Ausmaß („sekundär“) auf zeitlich unmittelbar zurückliegende, konkurrierende Verarbeitung bezieht.

Die Arbeit stellt demnach die Bedeutung inhibitorischer Mechanismen als Mechanismen der Handlungssteuerung heraus.

Kapitel 2 skizziert zwei fundamentale Ansätze der Selektivität der Verarbeitung: Wird Selektivität in einer breiten Anzahl theoretischer Ansätze als notwendige Folge der begrenzten Verarbeitungskapazität kognitiver Systeme gewertet, so fokussiert ein divergierender Ansatz nicht auf Kapazitätsgrenzen des Systems, sondern stellt die Funktion selektiver Verarbeitung für die Handlungssteuerung heraus. Die Selektivität kognitiver Verarbeitung gewährleistet jedoch nicht, daß tatsächlich alleine zielrelevante Information verarbeitet wird. In Kapitel 3 werden daher experimentelle Evidenzen für eine nicht intendierte Verarbeitung irrelevanter Information und Einflußnahme derartiger nichtintentionaler Verarbeitung auf die zielrelevanten Prozesse in unterschiedlichen experimentellen Paradigmen dargestellt. Kapitel 4 schließlich fokussiert auf kognitive Mechanismen der Durchsetzung zieldienlicher Verarbeitung gegenüber nichtintentionaler Verarbeitung: Kapitel 4 zeigt damit auf, wie kognitive Steuerungsmechanismen der Aktivation und Inhibition die relative Aktivität zieldienlicher und zielhinderlicher Prozesse modulieren. In Kapitel 5 wird das Aufgabenwechselparadigma als dasjenige experimentelle Paradigma vorgestellt, welches zum einen in besonderem Maße geeignet erscheint, kognitive Steuerungsmechanismen zu untersuchen und welches zum anderen eine experimentelle Situationen etabliert, in welcher Interferenz durch soeben ausgeführte Reiz-Reaktions-Zuordnungen als auch Interferenz durch automatisierte Reiz-Reaktions-Zuordnungen parallel realisiert werden. Kapitel 6 enthält die eigenen Untersuchungen zur zieldienlichen Inhibition im Aufgabenwechselparadigma, und die Ergebnisse der Experimente werden im Hinblick auf die Literatur diskutiert. Kapitel 7 bindet die eigenen Ergebnisse an übergeordnete Fragen zu Inhibition als Mechanismus der Handlungskontrolle an und stellt Bezüge her zu Befunden der Inhibition stark automatisierter Handlungstendenzen in unterschiedlichen experimentellen Paradigmen. Schließlich wird eine Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse in Kapitel 8 gegeben.

Neben einer thematischen Einführung in relevante Aspekte der Arbeit stellt eine Einleitung immer auch einen Rahmen dar, um Menschen zu danken, die an der jeweiligen Arbeit mitgewirkt haben. Ich möchte an dieser Stelle Prof. Dr. Rainer H. Kluwe für die kontinuierliche Betreuung dieser Arbeit danken und für die Möglichkeit, die mir gegeben wurde, die Ergebnisse dieser Arbeit wiederholt im Rahmen des Projekts „Preparation of task-processing“ als Teil des Schwerpunktprogramms „Exekutive Functions“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft vorzustellen und zu diskutieren. Herrn Prof. Rhenius möchte ich danken für das freundliche Zur-Verfügung-Stellen der Räumlichkeiten für die Datenerhebung an der Universität Hamburg. Dankbar bin ich auch Frau Martina Elsner für ihre Anmerkungen zu einem Ausschnitt der Arbeit. Mein besonderer Dank gilt zwei Mitarbeitern des Projekts. Sehr dankbar bin ich Herrn Aquiles Luna-Rodriguez für die Programmierung der gesamten Experimente: Mit dieser Hilfe konnten Ideen unmittelbar in Experimente umgesetzt werden. Überaus dankbar bin ich Dr. Mike Hübner: anfangs für einen Einstieg in das Thema, später für anregende Diskussionen, die ganze Zeit für seine freundliche Hilfsbereitschaft. Seine Anmerkungen zu einer früheren Version dieser Arbeit waren von großem Wert. Sehr dankbar bin ich auch meinem Freund Gunnar Gall für die liebevolle, auch inhaltlich wertvolle Unterstützung für die Zeitspanne dieser Arbeit.

II Selektion und Handlungssteuerung

Von der zu einem Zeitpunkt zumindest prinzipiell unbegrenzten Anzahl an Handlungsalternativen wird lediglich ein stark umgrenzter Ausschnitt realisiert. Diese Selektivität der kognitiven Verarbeitung soll im folgenden Abschnitt zum einen im Rahmen der Annahme begrenzter Kapazität des kognitiven Verarbeitungssystems dargestellt werden, zum anderen soll die Bedeutung der Selektivität für die Handlungssteuerung herausgestellt werden. Zudem dient dieses Kapitel der Einführung in die beiden prinzipiell möglichen Quellen der Handlungssteuerung, intentionale und nichtintentionale Handlungsselektion.

2.1 Kapazität und Handlungssteuerung

Die Beobachtung, daß nicht alle Reize der Umgebung im gleichen Maße Beachtung erfahren, sondern daß das kognitive System in seiner Verarbeitung selektiv ist, wird auf zwei prinzipiell verschiedene Weisen zu interpretieren versucht. In einer ersten Annäherung lassen sich Ansätze dahingehend unterscheiden, ob sie zur Interpretation der beobachteten Begrenztheit des kognitiven Systems auf die Annahme von Kapazitätsbegrenzung in einem theoretisch-erklärenden Sinn zurückgreifen oder nicht. Theorien, welche die Begrenztheit und Selektivität des kognitiven Systems der Begrenzung der Verarbeitungskapazität des Systems zuschreiben, lassen sich als „Kapazitätstheorien“ zusammenfassen, Theorien, die die Begrenztheit und Selektivität des kognitiven Systems nicht auf Begrenzung der Kapazität des Systems zurückführen, können als „Theorien ohne Kapazitätsbeschränkung“ gefaßt werden.

Kapazitätstheorien, so unterschiedlich ihre konkreten Ausformulierungen auch sein mögen, stimmen in dem wesentlichen Merkmal überein, daß sie zur Interpretation der beobachteten Begrenztheit des Verarbeitungssystems auf die Annahme rekurrieren, daß das kognitive System seiner Kapazität nach limitiert ist. Aufgrund dieser Begrenzung der Kapazität ist ein Selektionsprozeß innerhalb des kognitiven Systems nötig. Selektion ist demnach in Kapazitätstheorien ein Prozeß, der sich notwendig aus einem bestimmten Merkmal des Systems (begrenzte Kapazität) ergibt. Ohne einen Mechanismus der Selektion bestünde in Modellen mit Kapazitätsbegrenzung die Gefahr, daß zielirrelevante Information

kapazitätsfordernd verarbeitet wird und lediglich ein verringertes Ausmaß an Kapazität für die Verarbeitung relevanter Information resultiert.

Die vielleicht bekannteste Theorie begrenzter Kapazität stellt die Theorie eines zentralen Verarbeitungsengpasses („Flaschenhalstheorie“) (Broadbent, 1958; für eine Einführung siehe z.B. Heuer, 1996; Neumann, 1996) dar. Broadbent konnte zeigen, daß eine zeitliche Überlappung zweier Aufgaben die Bearbeitungsleistung relativ zu alleiniger Darbietung der Aufgaben herabsetzt. Auf eine derartige Herabsetzung der Leistung in einer Aufgabe durch eine parallel auszuführende Zweitaufgabe wird in der Literatur mit der Bezeichnung „Doppelaufgabeninterferenz“ referiert. Wodurch kommen Leistungsbegrenzungen durch parallele Aktivität zustande? Eine Interpretation der Doppelaufgabeninterferenz ist dahingehend möglich, daß frühe Stufen der Verarbeitung beider Aufgaben parallel ablaufen können, die Verarbeitung an einem zentralen Verarbeitungsengpaß jedoch seriellen Charakter bekommt. Wird in einer Doppelaufgabe aktuell ein Stimulus an dem zentralen Engpaß verarbeitet, so muß die Verarbeitung eines zweiten Stimulus an dieser Verarbeitungsstufe solange zurückgestellt werden, bis die Verarbeitung des ersten Stimulus an dieser Stufe abgeschlossen ist. Doppelaufgabeninterferenz resultiert demnach aus der Begrenzung der Kapazität des Verarbeitungssystems an einer zentralen, für beide Aufgaben notwendigen Verarbeitungsstufe. Besteht die Begrenzung der Kapazität in einer Begrenzung eines zentralen Verarbeitungsprozesses, so sollten Aufgaben mit identischen Erfordernissen zentraler Kapazität in identischem Ausmaß mit parallel auszuführenden Aufgaben interferieren. Theorien zentraler Kapazitätsbegrenzung sehen sich jedoch mit einer divergierenden Befundlage konfrontiert. So finden sich kaum Aufgabenstellungen, die – unabhängig davon, mit welcher Aufgabe sie kombiniert werden – tatsächlich mit allen Aufgaben, zu denen sie die Zweitaufgabe darstellen, in hohem Maße interferieren. Zudem zeigen sich nicht immer Leistungsbeeinträchtigungen bei der Bearbeitung zweier Aufgaben in zeitlicher Überschneidung: So konnten beispielsweise Posner und Boies (1971) zeigen, daß die Reaktion auf einen Ton hin kaum verzögert ist, wenn gleichzeitig ein visueller Reiz klassifiziert werden sollte. Interferenz zwischen zwei Aufgaben stellt sich demnach nicht als generelles Phänomen dar, sondern ist vielmehr abhängig von Charakteristika der parallel zu bearbeitenden Aufgaben. Evidenzen für derartige spezifische Interferenz bereiteten so den Weg für eine neue Subgruppe von Kapazitätstheorien, Theorien multipler Ressourcen.

Theorien multipler Ressourcen (Navon & Gopher, 1979; Wickens, 1984; für eine Einführung siehe auch Heuer, 1996; Neumann, 1996) unterscheiden sich von den bisher dargestellten Kapazitätstheorien durch die Annahme, daß Leistungsbegrenzungen nicht durch Kapazitätsbegrenzung im kognitiven System als Ganzen, sondern spezifisch durch Kapazitätsbegrenzungen in einzelnen, für die jeweilige Aufgabenstellung relevanten, Modulen bedingt ist. Theorien multipler Ressourcen stimmen mit Theorien zentraler Kapazität dahingehend überein, daß beobachtete Begrenzungen des Systems auf angenommene Begrenzungen der Kapazität des Systems zurückgeführt werden. Demnach werden auch in diesem Ansatz Selektionsmechanismen als funktionale Folge von Kapazitätsbegrenzungen des kognitiven Systems konzeptualisiert. Den Theorien multipler Ressourcen gemäß läßt sich das kognitive System in funktional distinkte Module mit jeweils begrenzter Kapazität untergliedern. Werden zwei Aufgaben in zeitlicher Überschneidung ausgeführt, so resultiert die Doppelaufgabeninterferenz aus der parallelen Beanspruchung desselben kognitiven Moduls durch beide Aufgaben. Theorien multipler Ressourcen unterscheiden sich nun dahingehend, welche funktionalen Module innerhalb des kognitiven Systems angenommen werden. Jedoch ist keine derzeitige Theorie multipler Ressourcen geeignet, alle Interferenzbefunde hinreichend zu erklären (Neumann, 1996). So stellt sich die Interferenz zum einen häufig als spezifischer, zum anderen häufig als genereller dar, als in den einzelnen Theorien angenommen. Zusammenfassend betrachtet stimmen die verschiedenen Ausformulierungen der Theorien multipler Ressourcen und der Theorien zentraler Verarbeitungsengpässe jedoch dahingehend überein, daß in ihnen Selektion als notwendige Folge einer begrenzten Kapazität betrachtet wird. Wäre das kognitive System seiner Kapazität nach unbegrenzt, gäbe es keine Notwendigkeit zur Selektion.

Eine gänzlich andere Interpretation der beobachteten Beschränktheit des kognitiven Systems und der Funktionalität von Selektion findet sich in nicht-kapazitätsbezogenen Theorien. Es finden sich zunehmend theoretische Ansätze, die Selektivität nicht als notwendige Folge begrenzter Kapazität konzeptualisieren, sondern die Funktionalität von Selektion zur Handlungssteuerung herausstellen. So findet sich in den Ansätzen der Selektion zur Handlungssteuerung („selection-for-action“, Allport, 1987; 1993; Keele & Neill, 1978; Neumann, 1987; 1992; Van der Heijden, 1992; 1996) die Annahme, daß Selektion und begrenzte Kapazität keinen Mangel, sondern einen Vorteil des Systems darstellen, welche dazu dienen, eingehende Information selektiv an die Handlungssteuerung zu koppeln. Selektion ist in diesen Ansätzen nicht die Folge begrenzter

Verarbeitungskapazität, sondern die Ursache der Beobachtung begrenzter Kapazität auf der Verhaltensseite: Nur durch Selektion ist es möglich, daß unter den unzähligen Handlungsalternativen auf unzählige Handlungsobjekte gewählt wird und das System so zu einer kohärenten Handlung kommt. Selektivität der Verarbeitung hat demnach einen maßgeblichen Einfluß auf die Steuerung kohärenter Handlungen. Eine derartige Selektivität der Verarbeitung ist zudem Ursache der beobachteten Kapazitätsbegrenzung des kognitiven Systems.

2.2 Intentionale und nichtintentionale Selektion

Am Ende des vorangegangenen Abschnittes wurde die Bedeutung der Selektion für die Handlungssteuerung herausgestellt. Neben dem Faktor der Selektivität der Verarbeitung sind als zwei weitere Faktoren die Merkmale externer Stimuli und die mental repräsentierten Handlungsziele Determinanten der Handlungssteuerung[1] (Pashler, Johnston & Ruthruff, 2001; Prinz, 1998). Merkmale der Stimuli und interne Handlungsziele sind dadurch Steuerungsfaktoren von Handlungen, daß eben diese Faktoren die Selektivität der Verarbeitung bedingen. Es ergibt sich folgendes Bild: Handlungsziele und Stimulusmerkmale bedingen die Selektion von Information, diese Informationsselektion ist wiederum unmittelbare Einflußgröße der Handlungssteuerung.

Die selektive Verarbeitung von Information läßt sich danach unterscheiden, ob die Selektion der Information alleine durch Gegebenheiten der Reizumwelt (zielunabhängig) oder durch mental repräsentierte Handlungsziele des kognitiven Systems (zielabhängig) bedingt ist. Zielunabhängige versus zielabhängige Selektion wird in der Literatur mit einer Fülle von Begriffspaaren zu charakterisieren versucht. So findet sich z.B. eine Unterscheidung in exogene versus endogene Aufmerksamkeit (Posner, 1980), in unwillkürliche versus willkürliche Aufmerksamkeit (Eimer, Nattkemper, Schröger & Prinz, 1996), indirekte versus direkte Aufmerksamkeitszuwendung (Müller & Rabbit, 1989), oder in Aufmerksamkeitszuwendung als Folge peripherer versus zentraler Hinweisreize (Jonides, 1981; Posner, 1980). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird Selektion in

[1] Im Folgenden findet häufig entsprechend der Verwendung in der Literatur der Begriff der Steuerung von Handlungen durch z.B. Merkmale externer Stimuli Verwendung. Die Aussage, daß Charakteristika externer Stimuli Handlungen steuern, ist als gleichbedeutend mit der Aussage, daß Charakteristika externer Stimuli Handlungen beeinflussen, zu verstehen.

Abhängigkeit von internen Zielen des kognitiven Systems als intentionale Selektion bezeichnet, Selektion, welche unabhängig von den Intentionen des Systems erfolgt, entsprechend als nichtintentionale Selektion. In der Literatur findet sich, wie an den obigen Beispielen bereits angeklungen, neben dem Begriff der Selektion zudem der Begriff der Aufmerksamkeitszuwendung. Ich werde im Folgenden sowohl den Begriff der Selektion als auch den der Aufmerksamkeitszuwendung entsprechend den zahlreichen Vorbildern aus der Literatur verwenden, möchte aber an dieser Stelle mein Unbehagen mit der Begrifflichkeit zum Ausdruck bringen. Als ein Charakteristikum der Zuwendung von Aufmerksamkeit gilt, daß die Verarbeitung von Stimuli, denen Aufmerksamkeit zugewendet wird, erleichtert ist relativ zu einer Bedingung, in welcher der Verarbeitung keine Aufmerksamkeit zugewandt wird. Tatsächlich ist aber in vielen Studien unklar, ob die mit Aufmerksamkeit belegten Stimuli (oder Raumpositionen) tatsächlich eine Verarbeitungserleichterung erfahren und ob sich viele Befunde nicht alleine dadurch interpretieren lassen, daß ein Stimulus überhaupt selegiert (verarbeitet) wurde. Die Befunde in visuellen Suchaufgaben, in denen die Bearbeitung eines Stimulus durch die Zuwendung von Aufmerksamkeit auf Störreize beeinträchtig wird (siehe die folgenden Seiten), ließen sich in diesem Sinne explizieren.

III Nichtintentionale Selektion: Verarbeitung zielirrelevanter Information

Wie im vorangegangenen Kapitel bereits angeklungen, erfolgt die Steuerung von Handlungen nicht ausschließlich intentional, vielmehr können Handlungen auch unabhängig von einem aktuellen Handlungsziel z.B. durch Merkmale der Reizumwelt ausgelöst werden. Entsprechend kann die Selektion der an Handlungen beteiligten Stimuli nichtintentional erfolgen, so daß auch für das aktuelle Handlungsziel irrelevante Information mitverarbeitet wird. Das vorliegende Kapitel fokussiert auf Aspekte derartiger nichtintentionaler Selektion.

Verschiedene Subgruppen nichtintentionaler Selektion lassen sich unterscheiden. So kann nichtintentionale Selektion zum einen durch spezifische Merkmale des selegierten Reizes erfolgen (spezifische Selektion), etwa das Hören seines eigenen Namens auf einer Cocktailparty, zum anderen kann nichtintentionale Selektion lediglich durch die Abweichung eines Reizes von umgebenden Reizen, etwa das Hören eines lauten Geräusches in stiller Umgebung (unspezifische Selektion) ausgelöst werden (Eimer, Nattkemper, Schröger & Prinz,1996).

Nichtintentionale Selektion, demnach die Verarbeitung zielirrelevanter Information, läßt die Bearbeitung zielrelevanter Information nicht unbeeinflußt, vielmehr zeigt sich häufig ein modulierender Einfluß irrelevanter Information auf die intentionale Verarbeitung. Im Folgenden sollen nun klassische Aufgabentypen, in denen ein irrelevanter Stimulus oder ein irrelevantes Stimulusattribut die Verarbeitung eines relevanten Attributs beeinflußt, vorgestellt werden. Nichtintentionale Handlungssteuerung wird im Folgenden am Beispiel nichtintentionaler Hinwendung zu irrelevantem Reizinput („attentional capture“) und an nichtintentionaler Reizverarbeitung in Stroop-Aufgaben, im Flankierreizparadigma und im besonderen, in Simon-Aufgaben dargestellt. Eine derartige gemeinsame Darstellung von attentional capture und Interferenzbefunden im Flankierreiz-, sowie im Stroop- und Simon-Paradigma mag bei erster Betrachtung untypisch erscheinen, werden die Themenkomplexe häufig lediglich getrennt vorgestellt. Attentional capture gilt als Beispiel nichtintentionaler Aufmerksamkeitszuwendung, während Interferenzeffekte in den drei anderen experimentellen Paradigmen häufig im Sinne einer Interferenz durch nichtintentional aktivierte Reaktionstendenzen interpretiert werden. Die Phänomenbereiche stimmen jedoch dahingehend überein, daß in ihnen irrelevante Information selegiert wird und mit der Bearbeitung relevanter Information interferiert.

3.1 Nichtintentionale Selektion am Beispiel von attentional capture

In der Literatur finden sich zahlreiche Befunde einer nichtintentionalen Zuwendung von Aufmerksamkeit zu bestimmten Aspekten der Reizumwelt. Diese nichtintentionale Aufmerksamkeitszuwendung wird häufig unter den Begriff „attentional capture“ subsummiert. Im Folgenden soll daher die Funktion nichtintentionaler Selektion an einschlägigen Beispielen auf dem Gebiet von attentional capture dargestellt werden.

Unter Darbietung peripherer, räumlicher Hinweisreize (Cues) im Paradigma der visuellen Suche lassen sich derartige Evidenzen für nichtintentionale Selektion zeigen. In visuellen Suchaufgaben besteht die Aufgabe der Probanden darin zu entscheiden, ob ein zuvor spezifizierter Zielreiz (das Target) in einer dargebotenen Menge ablenkender Stimuli (Distraktoren) enthalten ist. Als eine paradigmatische Untersuchung zur nichtintentionalen Selektion peripherer, räumlicher Hinweisreize stellt sich die Untersuchung von Jonides (1981) dar. Jonides präsentierte seinen Probanden eine visuelle Suchaufgabe, in welcher ein Zielstimulus an einer von acht möglichen Positionen lokalisiert sein konnte. Die Aufgabe der Probanden bestand in der Entscheidung, ob sich der Zielstimulus in der Testanordnung befand. Vor Präsentation des Zielreizes wurde mit lediglich Zufallswahrscheinlichkeit durch einen peripheren, räumlichen Hinweisreiz die Lokation des nächsten Targets angekündigt, d.h. zu 12,5 % kündigte der periphere Cue valide die Targetposition an, in den verbleibenden 87,5% der Durchgänge handelte es sich bei dem Cue jedoch um einen invaliden Hinweisreiz. Aufgrund dieser sich bloß auf Zufallsniveau befindenden Cuevalidität ist eine Zuwendung von Aufmerksamkeit zu der gecueten Raumposition nicht funktional. Trotz fehlender Funktionalität für die Erreichung des Handlungsziels fand Jonides eine erleichterte Bearbeitbarkeit, wenn der verwendetet Hinweisreiz valide war, demnach einen relativen Verarbeitungsnachteil nach einem invaliden Cue. Die Ergebnisse lassen sich dahingehend interpretieren, daß bereits vor Präsentation des imperativen Stimulus Aufmerksamkeit der gecueten Raumposition zugewandt wurde. Das Vorab-Richten von Aufmerksamkeit erleichterte die Verarbeitung eines Stimulus an der Position, auf welche Aufmerksamkeit gerichtet wurde. Da das Handlungsziel der Probanden lediglich darin bestand, auf den imperativen Stimulus zu reagieren und da aufgrund der Verwendung zusätzlicher, invalider Hinweisreize Cueposition und Targetposition nicht eindeutig korrespondierten, fällt der gefundene Effekt in die Kategorie nichtintentionaler Aufmerksamkeitszuwendung.

Die Fähigkeit peripherer Hinweisreize, nichtintentional Aufmerksamkeit auf ihre Raumposition zu ziehen, ist dabei jedoch auf ein enges Zeitfenster begrenzt: So konnten Müller und Rabbit (1989) zeigen, daß die Darbietung peripherer Cues den bedeutendsten Effekt auf die Bearbeitungsleistung bei einem kurzen Intervall zwischen Hinweisreiz- und Zielreizpräsentation hatte (bis 175 msec SOA = „stimulus onset asynchrony"). Mit längeren Intervallen wird diese initiale, nichtintentionale Aufmerksamkeitszuwendung hingegen durch einen intentionalen Mechanismus abgelöst.

Evidenzen für nichtintentionale Aufmerksamkeitszuwendung finden sich zudem bei der Darbietung von Reizen, welche in einem elementaren Merkmal von den sie umgebenden Stimuli abweichen. In mehren Experimenten untersuchte u.a. Theeuwes (1991; 1992) die Tendenz einzelner Abweichungsreize („feature singletons"), nichtintentional Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Wurden die Probanden instruiert, auf einen Zielreiz (z.B. einen grünen Kreis) zu reagieren, so zeigte sich ihre Performanz durch die parallele Darbietung eines Distraktors, der sich von den anderen Distraktoren in einem irrelevanten Merkmal unterschied (feature-singleton: z.B. rotes Quadrat unter grünen Quadraten) relativ zur Darbietung lediglich einheitlicher Distraktoren (z.B. grüne Quadrate) signifikant herabgesetzt. Trotz der Instruktion, die Distraktoren zu ignorieren, erschwerte die Anwesenheit eines singleton-Distraktors die Bearbeitung des Targets. Theeuwes interpretiert den Befund dahingehend, daß ein salienter Stimulus (in diesem Fall ein Farbsingleton) nichtintentional Aufmerksamkeit auf sich zieht. Die Zuwendung von Aufmerksamkeit auf einen Stimulus ist damit schon gegeben, wenn sich ein Stimulus in irgendeinem, nicht notwendig einem relevanten, Merkmal von den umgebenden Reizen unterscheidet (siehe aber Bacon & Egeth, 1994; Folk, Remington & Johnston, 1992).

Ebenso wie ein in einem elementaren Merkmal distinkter Reiz eine nichtintentionale Zuwendung von Aufmerksamkeit auslöst, zieht auch ein abrupt erscheinender Stimulus Aufmerksamkeit auf sich: Yantis und Jonides (1984) präsentierten ihren Probanden eine visuelle Suchaufgabe, in der ein Zielstimulus entweder abrupt oder nichtabrupt (durch graduelle Abnahme einer Maskierung) in einer Distraktormenge dargeboten wurde. Im Unterschied zu einem nichtabrupt präsentierten Zielreiz zeigte sich kaum ein Effekt der Distraktormenge auf die Detektion des Zielreizes, wenn dieser abrupt dargeboten wurde.

Yantis und Jonides schlossen daraus, daß ein alleiniger, abrupt präsentierter Stimulus nichtintentional Aufmerksamkeit auf sich zieht.[2]

Experimentelle Anordnungen zum Phänomen des attentional capture zeigen demnach eine Selektion von externen Reizen und eine Zuwendung von Aufmerksamkeit zu Raumpositionen, die zum einen ohne entsprechendes Handlungsziel erfolgen kann, zum anderen einem Handlungsziel explizit entgegenstehen kann. Eine derartige Selektion ist somit als nichtintentional zu charakterisieren. Im Folgenden sollen weitere Evidenzen für nichtintentionale Verarbeitung von Stimuli bzw. Stimulusmerkmalen aufgezeigt werden. Als paradigmatische Fälle nichtintentionaler Verarbeitung irrelevanter Stimulusattribute und daraus resultierender Interferenz auf die Bearbeitung zielrelevanter Attribute werden daher im Folgenden Stroop- und Flankerinterferenz kurz eingeführt. Interferenz im Rahmen von Simon-Aufgaben wird im Hinblick auf die eigene experimentelle Untersuchung ausführlich dargestellt. Im Unterschied zu den bisher besprochenen Experimenten zu attentional capture wird in folgenden Befunden nichtintentionale Selektion nicht an z.B. Interferenz durch parallel dargebotene Distraktoren, sondern an Interferenz durch eine alternativ mögliche Zuordnung von Reizen zu Reaktionen aufgezeigt (z.B. O`Leary & Barber, 1994).

3.2 Interferenz durch irrelevante Information: Stroop-Aufgaben

Vor knapp 70 Jahren erstmals von Stroop (1935) beobachtet und im Anschluß ein gewaltiges Ausmaß an Forschung auslösend (z.B. Brown, Gore & Carr, 2002; Cohen, Dunbar & McClelland, 1990; Dunbar & MacLeod, 1984; Glaser & Glaser, 1982; Long & Pratt, 2002; MacLeod & Dunbar, 1988; Palef & Olson, 1975; für einen Überblick siehe MacLeod, 1991), findet sich im sog. Stroop-Effekt ein einschlägiges Beispiel nichtintentionaler Selektion. Unter Verwendung von in konfligierender Schriftfarbe geschriebenen Farbwörtern (beispielsweise das Wort „grün“ in roter Schriftfarbe geschrieben) bezeichnet der Stroop-Effekt eine asymmetrische Interferenz der entsprechenden Wortleseaufgabe auf die entsprechende Farbbenennaufgabe.

[2] Auch ein abrupt erscheinender Stimulus zieht jedoch lediglich in einem engen Zeitfenster nichtintentional Aufmerksamkeit auf sich (Theeuwes, Achtley & Kramer, 2000).

Stroop (1935) präsentierte seinen Probanden in seinem ersten Experiment Listen mit Farbwörtern mit Variation der Schriftfarbe der Wörter. Ein Teil der Farbwörter war in neutraler (schwarzer) Schriftfarbe, ein anderer Teil in konfligierender Schriftfarbe dargestellt (beispielsweise war das Farbwort „blau“ in roter Schriftfarbe abgebildet). Erhielten die Probanden nun die Instruktion, das Farbwort vorzulesen, so unterschieden sich die Reaktionszeiten nicht in den beiden beschriebenen Experimentalversionen. Demnach zeigte sich keine Interferenz der konfligierenden Farbinformation auf den Prozeß des Lesens. Erhielten die Probanden in einem zweiten Experiment jedoch die Instruktion, die Schriftfarbe der konfligierenden Farbwörter zu benennen, so zeigten sich signifikante Reaktionszeiterhöhungen relativ zu einer neutralen Version der Aufgabe, in der die Farbe von farbigen Quadraten benannt werden sollte. Konfligierende Wortbedeutung interferierte demnach mit dem Prozeß des Farbbenennens. Die Befunde aus beiden Experimenten zusammengenommen, zeigte sich eine Asymmetrie der Interferenz: Die Wortleseaufgabe interferierte mit der Farbbenennaufgabe, letztere interferierte jedoch nicht mit der Wortleseaufgabe.

Die Interferenz durch die irrelevante Wortaufgabe stellt einen zentralen Befund des Nachweises nichtintentionaler Handlungssteuerung dar. Es scheint demnach so zu sein, daß bei der Bearbeitung der Farbaufgabe die Verarbeitungsprozesse der irrelevanten Wortaufgabe nichtintentional zur Anwendung kommen. Umgekehrtes gilt jedoch nicht für die Bearbeitung der Wortaufgabe.

Die Einführung des Farb-Wort-Interferenzparadigmas begründete eine breite Forschungslinie, in der ein beeindruckendes Ausmaß immer neuer Varianten des ursprünglichen Paradigmas entwickelt wurden (für einen Überblick siehe MacLeod, 1991). So wurde beispielsweise anstelle der verwendeten Farb-Wort-Aufgaben ein Wort-Bild-Interferenzparadigma etabliert, in welchem ein konfligierender Objektname in einer bildhaften Objektdarstellung integriert war (z.B. Glaser & Düngelhoff, 1984), oder es wurde eine räumliche Variante des Stroop-Paradigmas entwickelt, in welcher entweder auf die Lokation oder auf die Bedeutung der Wörter „above“ und „below“ geantwortet werden sollte (Palef & Olson, 1975). Neben der Breite der Forschungstradition, die im Anschluß an das erste Aufzeigen der Stroop-Interferenz begann, wurde in der Folgezeit zudem die Anwendung des Begriffs „stroopartige Interferenz“ auf generelle Befunde asymmetrischer Interferenz ausgeweitet.

3.3 Interferenz durch irrelevante Information: Flankierreiz-Paradigma

Der Einfluß nichtintentionaler Reiz-Reaktions-Zuordnungen auf die Bearbeitung einer relevanten Aufgabe kann neben der Interferenz in Stroop-Aufgaben im sog. Flankierreiz-Paradigma aufgezeigt werden. War der Effekt der Distraktorinterferenz auf kontrollierte, visuelle Suchprozesse bereits bekannt, konnten Eriksen und Mitarbeiter (Eriksen & Eriksen, 1974; Eriksen & Schultz, 1979) Störungen der Aufgabenbearbeitung durch Distraktoren auch unabhängig von visuellen Suchprozessen aufzeigen. Wurde ein Zielreiz an einem zuvor spezifizierten Ort zusammen mit flankierenden Distraktoren dargeboten, so zeigte sich eine Beeinträchtigung der Zielreizbearbeitung relativ zu alleiniger Darbietung des Zielreizes. Die Selektion der Verarbeitung stellte sich demnach als nicht vollständig dar. Die Interferenz durch flankierende Reize zeigte sich als abhängig von der Reiz-Reaktions-Zuordnung dieser flankierenden Reize: War ein flankierender Distraktor mit einer anderen als der aktuell auf das Zielitem zu gebenden Response assoziiert (inkompatibler Flankierreiz), so stieg das Ausmaß an Interferenz. War hingegen der Flankierreiz mit der tatsächlich geforderten Response assoziiert (kompatibler Flankierreiz), so zeigte sich eine verminderte Interferenz. Die Abhängigkeit der Höhe der Interferenz von der Reaktionszuordnung des Flankierreizes legt eine Verarbeitung dieses irrelevanten Reizes bis zur Ebene der Responseauswahl nahe.

3.4 Interferenz durch irrelevante Information: Simon-Aufgaben

Simon-Aufgaben stellen ein weiteres Aufgabenparadigma dar, welches eine nichtintentionale Zuordnung von Reizen zu Reaktionen nahelegt. Simon-Aufgaben sind nichträumliche Aufgaben, in denen der Zielstimulus jedoch zusätzlich ein für die Aufgabe irrelevantes, räumliches Attribut besitzt, welches nichtintentional mitverarbeitet wird.

In der Folgezeit ein gewaltiges Forschungsfeld aufspannend (siehe z.B. Barber & O´Leary, 1997; Burle, Possamai, Vidal, Bonnet & Hasbroucq, 2002; DeJong, Liang & Lauber, 1994; Hommel, 1993a; 1993b; 1995; Proctor & Lu, 1999; Proctor & Vu, 2002; Ridderinkhof, 2002; Simon & Acosta, 1982; Simon & Berbaum, 1990; Stoffels, 1996a; 1996b; Stürmer, Leuthold, Soetens, Schröter & Sommer, 2002; Umiltà & Nicoletti, 1985; für eine Übersicht siehe Lu & Proctor, 1995; Simon, 1990), konnte der Simon-Effekt zuerst für die auditive Modalität nachgewiesen werden; später dominierten dann Studien unter

Verwendung visuelle Aufgaben. Simon und Rudell (1967) fanden erstmals die später als Simon-Effekt bezeichnete Interferenz eines zielirrelevanten, räumlichen Stimulusmerkmals auf die Bearbeitung einer nichträumlichen Aufgabe. Sollte in der Studie von Simon und Rudell auf einen hohen Ton manuell mit einer linken Responsetaste (und auf einen tiefen Ton mit einer rechten Responsetaste) reagiert werden, so zeigte sich die Reaktion dann erleichtert, wenn der hohe Ton dem linken Ohr des Probanden dargeboten wurde (relativ zu einer Darbietung dem rechten Ohr). Demnach zeigte sich die Bearbeitung einer nichträumlichen Aufgabe dann erleichtert, wenn die zu gebende Response räumlich mit der (irrelevanten) Verortung des Stimulus assoziiert war.

Der Simon-Effekt stellt keinen Effekt einer bloß anatomischen Übereinstimmung zwischen räumlichem Merkmal des Stimulus und räumlichem Merkmal der Response dar. So trat in Simon-Aufgaben trotz Überkreuzung der Effektoren ein regulärer Simon-Effekt auf (Simon, Hinrichs & Craft, 1970): Demnach zeigten sich kürzere Latenzen bei einer Reaktion auf einen links lokalisierten Ton mit der linken Responsetaste, auch wenn diese Reaktion durch Überkreuzen der Hände mit der rechten Hand gegeben wurden. Die anatomische Übereinstimmung zwischen Reizlokation und Effektor scheint demnach (falls überhaupt) lediglich eine geringere Bedeutung zu haben als die abstraktere Übereinstimmung von Reiz und Reaktion hinsichtlich ihrer semantischen Merkmale („links“ versus „rechts“).

Simon-Aufgaben sind durch eine räumliche Kompatibilität zwischen dem irrelevanten Reizattribut und der Response gekennzeichnet, während relevantes Reizmerkmal und Response keine Kompatibilität aufweisen. Der Simon-Effekt verdankt sich demnach nicht Charakteristika des Stimulus oder der Response alleine, sondern vielmehr der Zuordnung von Reizen zu Reaktionen (Hasbroucq, Guiard & Ottomani, 1990; O`Leary & Barber, 1994). Durch diese Abhängigkeit der Aufgabenbearbeitung von der Art der räumlichen Reiz-Reaktions-Zuordnung lassen sich Simon-Aufgaben in die Nähe zu räumlichen Kompatibilitätsaufgaben (im weiteren häufig auch abkürzend als „Kompatibilitätsaufgaben“ bezeichnet) stellen (z.B. DeJong, 1997; Fitts & Deininger, 1954; Fitts & Seeger, 1953; Hasbroucq, Guiard & Ottomani, 1990; Nicoletti & Umiltà, 1984; 1985; Shaffer, 1965; Umiltà & Nicoletti, 1990; Vu & Proctor, 2001; Wallace, 1971).

Aufgaben räumlicher Kompatibilität zeigten bereits einige Dekaden zuvor die Relevanz räumlicher Stimulus-Response-Zuordnungen (S-R-Zuordnungen). So konnten Fitts und Seeger (1953; Fitts & Deininger, 1954) zeigen, daß die Reaktion auf die Lokation eines Stimulus dann erleichtert war, wenn auf den Reiz mit einer räumlich kompatiblen

Reaktion geantwortet werden sollte. Beispielsweise boten Fitts und Seeger ihren Probanden Stimuli in drei unterschiedlichen Anordnungen (kreisförmig, rautenförmig, sowie getrennt vertikal und horizontal angeordnet) dar, kombiniert mit den drei entsprechenden Anordnungen der Responsetasten. Es zeigte sich eine erleichterte Aufgabenbearbeitung, wenn sich die Anordnung der Stimuli und die Anordnung der Responses entsprachen. Die gefundene Dependenz der Ausführbarkeit einer Aufgabe von der Höhe der Korrespondenz zwischen Merkmalen der Stimuli und Merkmalen der Response wird als Kompatibilitätseffekt bezeichnet: Aufgaben sind dann leichter ausführbar, wenn Reaktionen derart zu Reizen zugeordnet sind, daß Merkmale des Reizes mit Merkmalen der zu gebenden Reaktion korrespondieren. Fitts und Seeger (1953) interpretieren den gefundenen Kompatibilitätseffekt im Sinne einer Translationshypothese: Zur Bearbeitung einer Aufgabe muß ein Stimulus in die geforderte Response überführt werden, und je weniger Verarbeitungsschritte zu dieser Überführung notwendig sind, desto schneller kann die Aufgabe ausgeführt werden. Kompatibilität zwischen Reiz und Reaktion führt deshalb zu einer Erleichterung der Verarbeitung, weil ein wesentliches Merkmal der Reaktion bereits im Stimulus selber präspezifiziert ist. Aufgrund dieser Präspezifikation von Responsemerkmalen sind bei der Verwendung kompatibler Reiz-Reaktions-Zuordnungen weniger Verarbeitungsschritte bei der Translation von Stimulus zu Response erforderlich als im Falle einer inkompatiblen Zuordnung und bedingen die geringeren Reaktionslatenzen.

Entsprechend dem Kompatibilitätseffekt bei der Bearbeitung räumlicher Aufgaben zeigt sich in Simon-Aufgaben ein Kompatibilitätseffekt hinsichtlich des räumlichen Reiz- und Reaktionsmerkmals. Korrespondiert das irrelevante, räumliche Merkmal mit der zu gebenden Response, so zeigt sich eine Erleichterung der Bearbeitung relativ zu einer Inkompatibilität zwischen irrelevantem Raummerkmal und Response.

Die soeben dargestellte Anbindung des Simon-Effekts an räumliche Kompatibilitätseffekte bei der Bearbeitung räumlicher Aufgaben ist jedoch nicht unumstritten. Wird der Simon-Effekt in einigen Arbeiten mit räumlichen Kompatibilitätseffekten assoziiert (Simon, 1990), so wird der Simon-Effekt in anderen Arbeiten hingegen eher in die Nähe zu Stroop-Interferenz gestellt (Hasbroucq & Guiard, 1991; O´Leary & Barber, 1993). Tatsächlich stellt der Simon-Effekt einen weiteren empirischen Befund dar, der die nichtintentionale Verarbeitung eines irrelevanten Stimulusmerkmals aufzeigt. Beide Zuordnungen scheinen Plausibilität zu haben: So scheint eine Assoziation des Simon-Effekts mit Kompatibilitätseffekten berechtigt, wird doch das

irrelevante Attribut aufgrund seiner räumlichen Kompatibilität mit der Response nichtintentional verarbeitet und interferiert im Falle von Nichtkorrespondenz mit der Bearbeitung des relevanten Reizmerkmals. Die Interferenz durch irrelevante Information ist jedoch genau das Charakteristikum des Stroop-Effekts, so daß auch eine Interpretation des Simon-Effekts als „räumlicher Stroop-Effekt“ stimmig erscheint (Hasbroucq & Guiard, 1991). Licht in das Dunkel der Zuordnung des Simon-Effekts bringen schließlich Kornblum und Mitarbeiter (Kornblum, Hasbroucq & Osman, 1990; Kornblum, 1994) mit der Einführung einer Taxonomie der Kompatibilitätseffekte. In ihrer Taxonomie charakterisieren sie Aufgaben dahingehend, ob das in ihnen verwendete, relevante Stimulusmerkmal mit der Response korrespondiert („dimensional overlap“ hat), ob das irrelevante Merkmal mit der Response korrespondiert oder ob beide Stimulusmerkmale korrespondieren. Dieser Charakterisierung zur Folge weisen sie Kompatibilitätsaufgaben, Simon-Aufgaben und Stroop-Aufgaben unterschiedlichen Aufgabentypen zu. In räumlichen Kompatibilitätsaufgaben überschneiden sich lediglich relevantes Merkmal und Response, in Simon-Aufgaben überschneiden sich lediglich irrelevantes Merkmal und Response. Hingegen zeichnen sich Stroop-Aufgaben dadurch aus, daß relevantes und irrelevantes Merkmal sowohl miteinander als auch mit der Response überlappen.

Der Befund der relativen Reaktionserleichterung in einer nichträumlichen Aufgabe durch die irrelevante, räumliche Korrespondenz des Stimulus mit der Response verglichen mit räumlicher Nichtkorrespondenz ließe sich logisch auf zwei verschiedene Mechanismen zurückführen. So ist es denkbar, daß eine Korrespondenz zwischen Stimuluslokation und Responselokation die Reaktion auf das relevante Attribut beschleunigt, es ist jedoch ebenso denkbar, daß räumliche Nichtkorrespondenz des irrelevanten Merkmals die zu gebende Reaktion verzögert. Simon und Acosta (1982) konnten beide möglichen Mechanismen durch das Einführen einer Basisbedingung unterscheiden. Ein Vergleich räumlich korrespondierender und räumlich nicht korrespondierender lateraler Stimulusdarbietung mit einer zentralen Darbietung als Kontrollbedingung konnte bei lateralisierter Darbietung sowohl einen fascilitatorischen Effekt durch eine räumlich kompatible Anordnung als auch einen interferierenden Effekt bei räumlicher Inkompatibilität aufzeigen.

3.4.1 Theorien des Simon-Effekts

Stellt der Simon-Effekt auch einen stabilen Befund der nichtintentionalen Mitverarbeitung eines irrelevanten Merkmals dar, so sind divergierende Ansätze zu seiner Interpretation vorgeschlagen worden. Prinzipiell lassen sich Theorien zum Simon-Effekt zwei groben Theorieklassen zuordnen: Interpretieren Aufmerksamkeitshypothesen den Simon-Effekt ohne Rekurs auf die Annahme einer Kodierung des irrelevanten, räumlichen Merkmals, so stützen sich Kodierungshypothesen auf eben diese Annahme eines irrelevanten, räumlichen Kodes als Ursache des Simon-Effekts. Beide Theorieklassen werden im Folgenden vorgestellt

3.4.1.1 Aufmerksamkeitsrichtung auf die Stimuluslokation

Annahmen, welche später als „Aufmerksamkeitshypothese“ des Simon-Effekts zusammengefaßt wurden, finden sich bereits in Arbeiten von Simon selber. So attribuierte Simon (1969; 1990) den Effekt der irrelevanten, räumlichen Rauminformation auf eine automatische[3] Reaktionstendenz zur Lokation des Reizes:

> „.... natural tendency to respond towards the source of stimulation.“ (Simon, 1969, p. 174)

Gemäß der Aufmerksamkeitshypothese wird räumliche Aufmerksamkeit auf die Position gerichtet, an welcher der relevante Stimulus erscheint. Diese Aufmerksamkeitshinwendung löst automatisch die Tendenz aus, eine Response in die entsprechende Richtung zu aktivieren. Die automatische Aufmerksamkeitszuwendung kann hierbei in die Nähe von attentional capture-Phänomenen gestellt werden. Eine Interpretation des Simon-Effekts als automatische Reaktion zur Lokation des präsentierten Stimulus fokussiert auf die Ableitbarkeit des Simon-Effekts von generellen S-R- Kompatibilitätseffekten. Mewaldt et al. (Mewaldt, Connelly & Simon, 1980; Simon, 1990) explizieren den Ansatz der automatischen Aufmerksamkeitszuwendung in Richtung der Stimuluslokation in einem Responsepuffermodell. Für jede zu gebende Response wird ein Responsepuffer angenommen (werden die Antworten beispielsweise über zwei verschiedene Antworttasten

[3] Im Folgenden wird sich nicht vermeiden lassen, den Begriff der „automatischen Verarbeitung“ zu verwenden, da dieser Begriff im Kontext der Simon-Literatur breite Verwendung findet. Zu diesem Zeitpunkt reicht es aus, den Begriff „automatisch“ im Sinne von „nichtintentional“ zu verwenden. Eine Diskussion zu dem Begriff automatischer Informationsverarbeitung findet sich schließlich im Abschnitt über automatische Verarbeitung irrelevanter Information (Kapitel 3.5.2).

gegeben (linke und rechte Responsetaste), so wird ein Responsepuffer für die rechte und linke Responsetaste angenommen). Jeder Responsepuffer enthält Informationen über die Stimuli, die mit der jeweiligen Response assoziiert sind. Wird ein Stimulus präsentiert, werden beide Responsepuffer seriell nach einer Repräsentation des Stimulus durchsucht. Der Simon-Effekt verdankt sich in diesem Modell einer Tendenz des kognitiven Systems, zuerst den Responsepuffer zu durchsuchen, der räumlich kompatibel mit dem imperativen Stimulus ist.

In der Folgezeit sollten jedoch einige Befunde präsentiert werden, die die Annahme einer automatischen Aufmerksamkeitshinwendung zur Lokation des Reizes herausfordern. Zwei dieser Befunde finden an dieser Stelle Erwähnung.

So scheinen die Befunde in Studien zu bilateraler Darbietung von relevantem Stimulus und irrelevantem Material nicht vereinbar mit der Annahme einer automatischen Aufmerksamkeitszuwendung als Ursache des Simon-Effekts. Wird der relevante Reiz in einem Halbfeld und ein irrelevanter Distraktor im kontralateralen Halbfeld dargeboten, so sollte sich gemäß den Aufmerksamkeitstheorien des Simon-Effekts kein Kompatibilitätseffekt zeigen, da Aufmerksamkeit gleichermaßen in entgegengesetzte Richtungen gerichtet ist. Jedoch konnte gezeigt werden (O´Leary & Barber, 1993), daß trotz bilateraler Stimulation ein Simon-Effekt hinsichtlich des relevanten Stimulus auftritt. Das Auftreten des Simon-Effekts trotz symmetrischer, bilateraler Darbietung ist nicht vereinbar mit einer Interpretation des Effekts im Sinne einer Tendenz, in Richtung der Lokation der Stimulation zu reagieren, sondern legt nahe, daß aufgabenspezifische Faktoren den Simon-Effekt modulieren.

Einen zweiter Befund, welcher die Aufmerksamkeitstheorien des Simon-Effekts herausfordert, stellt die Invertierung des Simon-Effekts unter spezifischen Aufgabenstellungen dar. Eine Invertierung des Simon-Effekts konnte erstmals von Hedge und Marsh (1975) beobachtet werden. Hedge und Marsh boten ihren Probanden einfache Wahlreaktionsaufgaben dar, in denen auf einen farbigen Stimulus (rotes bzw. grünes Licht) unter zwei verschiedenen Aufgabenanforderungen reagiert werden sollte. Unter einer „identisch“-Bedingung sollte auf einen farbigen Stimulus mit der gleichfarbigen Responsetaste reagiert werden (beispielsweise auf einen grünen Stimulus mit der grünen (und linksseitig verorteten) Response), in einer „alternativ“-Bedingung sollte auf einen farbigen Stimulus mit der nichtkorrespondierenden Farbe geantwortet werden (beispielsweise auf einen grünen Stimulus mit der roten (und rechtsseitig verorteten) Response). Während sich unter der identisch-Bedingung der bereits bekannte Simon-Effekt

zeige, zeigte sich unter der alternativ-Bedingung eine Invertierung des Simon-Effekts: In dieser Versuchsbedingung waren die Reize leichter beantwortbar, welche räumlich nicht mit der zu gebenden Responsetaste übereinstimmten. Demnach war in dieser Versuchsbedingung eine Reaktion auf einen linksseitigen Reiz erleichtert, wenn diese Reaktion mit der rechten Responsetaste gegeben werden konnte. Eine derartige Invertierung des Simon-Effekts stellt nun einen weiteren Befund dar, der der Interpretation des Simon-Effekts als automatisiertes Richten der Aufmerksamkeit zur Lokation der Stimulation nicht entspricht.

3.4.1.2 Interferenz durch Kodierung des irrelevanten Merkmals: Interferenz auf Ebene der Responseauswahl

Nachdem für Aufmerksamkeitsmodelle des Simon-Effekts problematische Befunde skizziert wurden, werden im Folgenden Ansätze der Kodierung des irrelevanten Merkmals als eine alternative Konzeption der Ursache des Simon-Effekts vorgestellt. Die unterschiedlichen Modelle in dieser Klasse von Interpretationen des Simon-Effekts entsprechen sich in der Annahme einer nichtintentionalen Kodierung des irrelevanten räumlichen Attributs des Stimulus. Dieser irrelevante Kode interferiert mit der Bearbeitung des relevanten Merkmals und bedingt den Simon-Effekt (z.B. Barber & O´Leary, 1997; DeJong, Liang & Lauber, 1994; Guiard, Hasbroucq & Possamai, 1994; Hasbroucq & Guiard, 1991; Hommel, 1995; O´Leary & Barber, 1993; Proctor, Lu, Wang & Dutta, 1995; Ridderinkhof, 2002; Stoffels, 1996a; 1996b; Stürmer, Leuthold, Soetens, Schröter & Sommer, 2002; Tagliabue, Zorzi & Umiltà, 2002; Tagliabue, Zorzi, Umiltà & Bassignani, 2000; Umiltà & Nicoletti, 1985, 1992; Wallace, 1971; Zorzi & Umiltà 1995).

Abgesehen von der groben Übereinstimmung hinsichtlich der Interpretation des Simon-Effekts als Effekt der Mitkodierung eines räumlichen Stimulusmerkmals unterscheiden sich Kodierungsmodelle dahingehend, auf welcher Ebene der Informationsverarbeitung eine Interferenz des irrelevanten, räumlichen Kodes angenommen wird. Während die Annahme von Interferenz auf frühen Stufen der Verarbeitung selten vertreten wird (z.B. Hasbroucq & Guiard, 1991; Guiard, Hasbroucq & Possamai, 1994), ist die Annahme von Interferenz auf Ebene der Responseauswahl ein gängiges Konzept in Kodierungsmodellen der Simon-Interferenz (z.B. Barber & O´Leary, 1997; DeJong, Liang & Lauber, 1994; Eimer, Hommel & Prinz, 1995; Hommel, 1995; O´Leary & Barber, 1993; Proctor, Lu, Wang & Dutta 1995; Ridderinkhof, 2002; Stoffels, 1996a; 1996b; Stürmer,

Leuthold, Soetens, Schröter & Sommer, 2002; Tagliabue, Zorzi & Umiltà, 2002; Tagliabue, Zorzi, Umiltà & Bassignani, 2000; Umiltà & Nicoletti, 1985; Wallace, 1971; Zorzi & Umiltà 1995).

Grundlegende Annahme des Responseauswahlansatzes des Simon-Effekts ist, daß das irrelevante, räumliche Stimulusmerkmal nichtintentional kodiert und bis zur Ebene der Responseauswahl mitverarbeitet wird. Ist der irrelevante, räumliche Kode nicht mit der zu gebenden, sondern mit der alternativen Response assoziiert (d.h. bahnt er die „falsche" Response), resultiert ein Responsekonflikt mit der auf das relevante Merkmal zu gebenden Response. Interferenz durch den irrelevanten Kode kommt demnach aufgrund der Bahnung der nichtadäquaten Response und des daraus resultierenden Responsekonflikts zustande.

Der irrelevante, räumliche Kode interferiert mit der relevanten Bearbeitung aufgrund seiner dimensionalen Übereinstimmung („dimensional overlap") mit dem Kode der Response (Kornblum, 1994; Kornblum, Hasbroucq & Osman, 1990). Das Ausmaß des Interferenz ist hierbei abhängig vom Grad der Übereinstimmung zwischen relevantem und irrelevantem Merkmal sowie zwischen Merkmalen des Reizes und Merkmalen der Response. Den Grad an Übereinstimmung zwischen relevantem und irrelevantem Merkmal sowie zwischen Merkmalen des Reizes und Merkmalen der Response charakterisiert Kornblum dabei als:

> "…the degree to which sets of items are perceptually, structurally, or conceptually similar." (Kornblum, 1994, p.130)

Ein Beispiel für dimensionale Überschneidung ist die Überschneidung des räumlichen Merkmals eines linksseitig dargebotenen Tons, dessen Höhe durch Gabe einer manuellen, linksseitigen Response bestimmt werden soll, mit dem räumlichen Merkmal der Response (links). Je höher der Grad an Übereinstimmung zwischen Reizattribut und Response-merkmal ist, desto höher ist die Aktivation der entsprechenden Response. Hat nun in Simon-Aufgaben die irrelevante Rauminformation ein großes Maß an Übereinstimmung mit der Response, nicht aber das relevante Stimulusmerkmal, so führt dies zu einer verstärkten Aktivation einer Response durch das irrelevante Merkmal und damit zu einer Interferenz der irrelevanten Rauminformation mit der Bearbeitung der nichträumlichen Aufgabe

Evidenz für den Einfluß dimensionaler Überlappung zwischen Stimulus und Response auf das Ausmaß an Interferenz findet sich in Studien zur Abhängigkeit des

Interferenzeffekts von der Modalität der Response. So ist beispielsweise die Interferenz in räumlichen Stroop-Aufgaben an dimensionale Überschneidung zwischen irrelevantem Merkmal und Response gebunden. Im Unterschied zu Simon-Aufgaben fordern räumliche Stroop-Aufgaben (Reaktion auf die Lokation eines Positionswortes, z.B. „left“ oder „right“) eine Response hinsichtlich des räumlichen Merkmals des Stimulus. Wird die Reaktion verbal gegeben, so interferiert die konfligierende Wortbedeutung mit der Gabe der Response. Im Falle einer manuellen Response zeigt sich hingegen kaum Interferenz der Wortbedeutung auf die Positionsaufgabe (Barber & O´Leary, 1997; O´Leary & Barber, 1993; Virzi & Egeth, 1985)[4]. Aufgrund fehlender dimensionaler Überschneidung zwischen dem Kode der irrelevanten Wortbedeutung und dem Responsekode zeigt sich unter Gabe einer manuellen Response kaum ein Stroop-Effekt.

3.5 Modelle der Responseinterferenz

Die bisher besprochenen Befunde der Interferenz durch irrelevante Information zeigen übereinstimmend, daß Handlungssteuerung kein Mechanismus alleiniger intentionaler Reiz-Reaktions-Übersetzung ist (Hommel, 2000a), sondern daß nichtintentionale Prozesse die Handlungssteuerung zumindest modulieren. Betrachtet man Interferenz durch irrelevante Information als Folge einer automatischen Responseaktivierung durch einen irrelevanten Kode, so läßt sich die Frage stellen, wodurch ein irrelevanter Kode das Potential zur Erzeugung eines Responsekonflikts besitzt. Diese Frage und mögliche Lösungsvorschläge sollen im folgenden Abschnitt behandelt werden.

[4] Die Abhängigkeit des Interferenzeffekts von der Modalität der Response nahmen Virzi und Egeth (1985) als Ausgangsbefund für ihr Translationsmodell der Interferenz in räumlichen Stroop-Aufgaben. Entsprechend dem Translationsmodell werden verbale und räumliche Kodes in getrennten Verarbeitungssystemen verarbeitet. Jedem dieser Verarbeitungssysteme ist ein spezifisches Responsesystem zugeordnet, demnach ein verbales und ein räumliches Responsesystem. Soll nun auf einen räumlichen Stimuluskode mit einer verbalen Response reagiert werden, so wird ein zusätzlicher, zeitkonsumierender Translationsprozeß notwendig. Dieser Translationsmechanismus ist hingegen nicht erforderlich, soll auf einen Kode mit einer Response des entsprechenden Verarbeitungssystems geantwortet werden (beispielsweise auf einen räumlichen Kode mit einer räumlichen Response). Ist eine Response auf einen Kode ohne einen zusätzlichen Translationsprozeß möglich, so gelangt dieser Kode zeitlich vor einem irrelevanten Kode des alternativen Systems in das geforderte Responsesystem. Dieser irrelevante, an Translation gebundene Kode kann nun nicht mit der Verarbeitung des relevanten Kodes interferieren. Jedoch kann ein irrelevanter Kode dann mit der Aufgabenbearbeitung interferieren, wenn der relevante Kode in das alternative Responsesystem übertragen werden muß, der irrelevante Kode aber direkten Zugang zu diesem Responsesystem hat.

3.5.1 Interferenz durch unterschiedliche Verarbeitungsgeschwindigkeit

Eine insbesondere historisch bedeutende Subgruppe der Ansätze der Responseinterferenz attribuiert Interferenz durch irrelevante Information auf Differenzen der Verarbeitungsgeschwindigkeit relevanter und irrelevanter Information. Sogenannte „Horse-Race"-Modelle nehmen eine parallele Verarbeitung relevanter und irrelevanter Kodes, jedoch mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Bearbeitung, an. Die Verarbeitung der irrelevanten Rauminformation in Simon-Aufgaben und die Verarbeitung der irrelevanten Wortinformation in Stroop-Aufgaben weist eine höherer Verarbeitungsgeschwindigkeit auf als die relevante Verarbeitung, so daß die irrelevante Information zeitlich vor der relevanten Information in das Responsesystem gelangt. Gelangt die irrelevante Information vor der relevanten Information in das Responsesystem, so interferiert diese Information mit der relevanten Bearbeitung, sofern sie die „falsche" Response voraktiviert. Interferenz entsteht in diesem Modell demnach durch Bahnung von Responsekodes und ist abhängig von der relativen Zeitdauer der beiden Prozesse: Es interferiert immer der relativ schnellere Prozeß mit dem relativ langsameren Prozeß.

Wegbereitend für den Ansatz relativer Verarbeitungsgeschwindigkeit war die Beobachtung, daß, wird die Verarbeitung einer zuvor relativ schnelleren Reizdimension verlangsamt, sich die Interferenz der die Dimensionen betreffenden Aufgaben umkehrt. Beispielsweise boten Palef und Olson (1975) unter Verwendung einer räumlichen Stroop-Aufgabe ihren Probanden die Wörter „above" und „below" entweder oberhalb oder unterhalb eines zentral dargebotenen Sternchens dar. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, entweder die absolute Lokation des Wortes auf dem Bildschirm oder die Bedeutung des Wortes mittels Tastendruck anzugeben. Insgesamt zeigte sich eine schnellere Beurteilung der räumlichen Verortung der Reize relativ zur Beurteilung des semantischen Gehalts der Wörter. Einhergehend mit der differierenden Verarbeitungsgeschwindigkeit zeigte sich eine asymmetrische Interferenz: Die Positionsinformation interferierte mit der Wortinformation, die Wortinformation interferierte jedoch nicht mit der Positionsinformation. Wurde jedoch die Verarbeitung der Lokationsinformation verzögert (beispielsweise, indem nicht mehr die Beurteilung der absoluten Lokation, sondern die Lokation des Wortes relativ zu dem zusätzlichen Sternchen gefordert war), so daß die Klassifikation der Position relativ langsamer war als das Lesen des Wortes, kehrte sich die Interferenz um: Es interferierte nun die Wort- mit der Positionsaufgabe, nicht mehr die Positions- mit der Wortaufgabe. Demnach zeigte sich die Interferenz der beiden Aufgaben

als abhängig davon, welche der Aufgaben relativ zu der alternativen Aufgabe beschleunigt war.

Jedoch erwiesen sich für den Ansatz relativer Verarbeitungsgeschwindigkeit einige in der Folgezeit vorgestellte Befunde als kritisch. So sollte sich die Interferenz, ist sie lediglich abhängig von dem Zeitpunkt des Eintritts eines Reizmerkmals in das Responsesystem, durch jegliche Änderung der Verarbeitungsgeschwindigkeit einer der beiden Reizdimensionen umkehren lassen. Genau diese Beliebigkeit der Interferenz fand sich jedoch nicht. So konnten Glaser und Glaser (1982) unter Verwendung des Farb-Wort-Interferenzparadigmas durch Manipulation des Darbietungszeitpunkts von Farb- und Wortinformation (und damit Manipulation der Verarbeitung im Sinne einer Beschleunigung der Farbaufgabe) keinen inversen Stroop-Effekt erzeugen. Demnach konnte auch unter Präexposition der Farbdimension keine Interferenz auf die Wortbearbeitung ausgeübt werden. Genau diese Umkehrung der Interferenz hätte der Ansatz relativer Verarbeitungsgeschwindigkeit aber erwarten lassen. Selektive Verlangsamung der Wortaufgabe führte auch in der Studie von Dunbar und MacLeod (1984) nicht zu einer konsistenten Umkehrung der Stroop-Interferenz. Ein weiterer, für den Ansatz relativer Verarbeitungsgeschwindigkeit kritischer Befund, ist die Modulation von Stroop-Interferenz im Laufe von Übung (MacLeod & Dunbar, 1988). Zeigten sich unter Darbietung eines Farb-Form-Interferenzparadigmas eingangs geringere Latenzen in der Farbaufgabe und eine, mit einem Ansatz relativer Verarbeitungsgeschwindigkeit kompatible, asymmetrische Interferenz der Farb- auf die Formaufgabe, so zeigten sich nach selektiver Übung der anfangs langsameren Formaufgabe mit Ansätzen relativer Verarbeitungsgeschwindigkeit unvereinbare Befunde. Obgleich die Bearbeitung der Formaufgabe nach einem kurzen Übungszeitraum noch immer langsamer als die Bearbeitung der Farbaufgabe war, zeigte sich jetzt eine symmetrische Interferenz. Eine weitere Ausdehnung des Übungsintervalls glich zwar die Geschwindigkeit beider Aufgaben aus, trotzdem zeigte sich jetzt eine inverse, asymmetrische Interferenz der Form- auf die Farbaufgabe. Beide Befunde der Modulation der Interferenz durch selektive Übung sind nicht vereinbar mit einem Ansatz relativer Verarbeitungsgeschwindigkeit, welcher Interferenz lediglich von dem schnelleren auf den langsameren zweier Prozesse vorhersagen würde.

Eine Interpretation der Stroop- und Simon-Interferenz durch Unterschiede der Verarbeitungsgeschwindigkeit konfligiert zudem mit Befunden, die ein erhöhtes Ausmaß an Interferenz nahelegen, wenn relevanter und irrelevanter Kode zeitlich koexistieren. So

konnte Hommel (1993b) durch Variation der Schwierigkeit der relevanten S-R-Zuordnung zeigen, daß die Höhe des Simon-Effekts abnimmt, wenn die relevante Verarbeitung verzögert wird und somit das irrelevante, räumliche Merkmal relativ beschleunigt verarbeitet wird. Hommel nimmt an, daß Responsekodes durch das irrelevante, räumliche Attribut im Simon-Paradigma schneller aktiviert werden als durch das relevante Merkmal. Da jedoch diese Aktivation irrelevanter Information und der durch sie aktivierten Responsekodes auch schneller zerfällt, reduziert sich der Simon-Effekt bei relativer Beschleunigung der irrelevanten Verarbeitung: Bei relativer Beschleunigung der Positionsverarbeitung ist die Aktivation des durch das irrelevante Merkmal aktivierten Reaktionskodes bereits herabgesetzt, wenn das relevante Merkmal in das Responsesystem gelangt. Der Befund legt nahe, daß sich das stärkste Ausmaß des Simon-Effekts dann zeigt, wenn die Verarbeitung des irrelevanten und des relevanten Attributs zeitlich überlappen und ist somit nicht vereinbar mit Ansätzen relativer Verarbeitungsgeschwindigkeit.

Alle präsentierten Befunde zusammengenommen scheinen Unterschiede in der Verarbeitungsgeschwindigkeit zumindest kein hinreichender Faktor zur Interpretation der Interferenz durch irrelevante Information zu sein.

3.5.2 Automatisiertheit der Verarbeitung irrelevanter Information

Ein Großteil aktueller Theorien zur Interferenz durch irrelevante Information attribuiert die Interferenzbefunde auf eine automatische Verarbeitung des irrelevanten Merkmals. Interferenz im Stroop- und Simon-Paradigma wird auf die Annahme zurückgeführt, daß stärker automatisierte Prozesse mit weniger stark automatisierten Prozessen interferieren. Keine Interferenz tritt hingegen von weniger stark automatisierten Prozessen auf stärker automatisierte Prozesse auf.

Bevor die Annahme automatischer Verarbeitung zur Interpretation der Interferenz in Stroop- und Simon-Aufgaben diskutiert wird, soll an dieser Stelle der Versuch einer Charakterisierung automatischer Prozesse unternommen werden. Die folgende Charakterisierung automatischer Prozesse (und daraus resultierend die Abgrenzung automatischer von sog. kontrollierten Prozessen) stellt eine theoretische Möglichkeit dar, die Begriffe der Automatizität, der Aufmerksamkeit und der Verarbeitungskapazität konsistent zu interpretieren. Der Vorschlag dient jedoch eher einer begrifflichen Klärung;

inwieweit tatsächlich empirische Phänomene unter einen derart strengen Begriff der automatischen Verarbeitung fallen, ist an dieser Stelle nicht vorrangig.

Im Rahmen dieser Arbeit werden streng automatische Prozesse folgendermaßen charakterisiert:

Streng automatische Prozesse lassen sich dadurch kennzeichnen, daß sie unabhängig von entsprechenden Handlungszielen ablaufen. Streng automatische Prozesse lassen sich demnach als nichtintentionale Prozesse fassen. Streng automatische Prozesse sind zudem nicht durch intentionale Faktoren modifizierbar, sondern laufen unabhängig von Intentionen in identischer Weise ab. Diese Unabhängigkeit streng automatischer Prozesse resultiert daher, daß diese Prozesse (neben der Stärke des Reizinputs) alleine durch die strukturellen Eigenschaften des Systems bedingt sind und auf dauerhaften Assoziationen von Reizen zu Reaktionen beruhen. Diese im System angelegten Reiz-Reaktions-Assoziationen können dabei ontogenetisch bedingt (z.B. motorische Reflexe) oder durch ein hohes Ausmaß an Übung etabliert worden sein (z.B. das Lesen von Wörtern). Basiert ein kognitiver Prozeß alleine auf strukturellen Verbindungen des Systems, so ist dieser Prozeß nicht an Aufmerksamkeitszuwendung im Sinne einer temporären Modulation der Verarbeitung gebunden. Tatsächlich würde die Zuwendung von Aufmerksamkeit einen streng automatischen Prozeß in einen kontrollierten Prozeß überführen. Unter der Annahme eines einfachen Modells mit Kapazitätsbeschränkung (etwa im Sinne Broadbents als zentrales Flaschenhalsmodell) ist aufmerksamkeitsbedingte Verarbeitung an die Verarbeitung in einem zentralen Flaschenhals gebunden[5]. Aufmerksamkeitsbasierte (kontrollierte) Verarbeitung kann daher an einer Stufe der Verarbeitung lediglich seriell ablaufen und interferiert mit anderen aufmerksamkeitsbasierten Prozessen. Hingegen umgehen streng automatische Prozesse aufgrund fehlender Aufmerksamkeitsabhängigkeit einen zentralen Flaschenhals und werden nichtintentional weiterverarbeitet. Aufgrund dieser fehlenden Aufmerksamkeitsabhängigkeit können streng automatische Prozesse parallel ablaufen und interferieren durch die fehlende Abhängigkeit von der zentralen Verarbeitungskapazität nicht mit anderen Prozessen. Problematisch wird die Annahme fehlender Interferenz jedoch dadurch, daß automatische Prozesse Handlungstendenzen aktivieren können und Interferenz aufgrund von Handlungskonflikten möglich wird (z.B. Stroop- und Simon-Interferenz). Die aus obiger Charakterisierung streng automatischer Prozesse ableitbaren Merkmale automatischer Verarbeitung (keine Abhängigkeit von

[5] Die Frage, ob tatsächlich jegliche aufmerksamkeitsabhängige Verarbeitung an einen Verarbeitungsengpaß und damit an Kapazitätsgrenzen gebunden ist, wird in Abschnitt 4.1.1 thematisiert.

Kapazitätsbegrenzungen, Möglichkeit zu paralleler Realisierung, Interferenzfreiheit) sind von unterschiedlichen Forschergruppen tatsächlich als zentral für automatische Verarbeitung angenommen worden (Barsalou, 1992; LaBerge, 1981; Logan, 1980; Miller & Cohen, 2001; Norman & Shallice, 1986; Posner & Snyder, 1975a; Schneider, Dumais & Shiffrin, 1984; Underwood & Everatt, 1996).

Eine für die Frage nach automatischer Verarbeitung und prinzipiellen Unterschieden automatischer und sog. kontrollierter Verarbeitung entscheidende Studie, welche in der Folgezeit ein bedeutendes neues Forschungsfeld aufspannte, wurde 1977 von Shiffrin und Schneider (1977; Schneider & Shiffrin, 1977) vorgenommen. In einer Reihe von Experimenten im Paradigma der visuellen Suche sammelten Shiffrin und Schneider Evidenz für eine sogenannte 2-Prozeß-Theorie, nach welcher automatische und kontrollierte Verarbeitung als zwei prinzipiell zu unterscheidende Prozeßtypen charakterisiert werden. In diesen Experimenten wurde den Probanden in einer Lernphase eine Merkitem-Menge dargeboten, in der darauffolgenden Testphase erhielten die Probanden ein aus mehreren Stimuli bestehendes, visuelles Display mit der Instruktion anzugeben, ob sich ein Item der Merkmenge in der Anordnung befand. In einer konsistenten Zuordnung waren sowohl Zielreize als auch Distraktoren für die Dauer des Experiments konstant, beispielsweise waren die Zielreize immer Buchstaben, und die Distraktoren waren immer Ziffern. In einer derartigen konsistenten Zuordnung hatte weder die Größe der Merkitem-Menge, noch die Anzahl der dargebotenen Distraktoren Einfluß auf die Reaktionszeiten. Wurde hingegen in einer zweiten Versuchsanordnung die Zuordnung von Elementen zur Merkitem-Menge und zur Distraktormenge variiert, stieg die Reaktionszeit in der visuellen Suchaufgabe mit der Anzahl der Merkitems als auch mit der Anzahl der Distraktoren im Display an. Aufgrund dieser unterschiedlichen Abhängigkeit der beiden Suchprozesse von der Anzahl der relevanten als auch der irrelevanten Items schlossen Schneider und Shiffrin auf zwei fundamental verschiedene Arten der Informationsverarbeitung. In der konstanten Zuordnungsbedingung kann die visuelle Suche parallel erfolgen, ist somit nicht an Aufmerksamkeitszuwendung gebunden, sondern läuft automatisiert ab: Die Anzahl der Distraktoritems und der Zielitems ist somit für die Dauer der visuellen Suche irrelevant. In der Bedingung der variablen Zuordnung hingegen ist keine automatische Verarbeitung möglich, vielmehr ist das System an einen kontrollierten und damit seriellen Suchprozeß gebunden. Als Folge ist die Suchzeit abhängig von der Anzahl der Distraktoren und der Zielreize. Shiffrin und Schneider konnten mit ihren Experimenten zudem sowohl eine Abhängigkeit der Automatisierung eines Prozesses vom

Ausmaß der Übung als auch eine schwere Unterdrückbarkeit automatischer Prozesse zeigen: Wurde beispielsweise in dem Paradigma der visuellen Suche nach einer langen Übungsperiode die Zuordnung der einzelnen Items zur Zielreizmenge bzw. zur Distraktormenge invertiert, so zeigte sich die Verarbeitung auch nach einer ebenso langen Übungsperiode in der neuen Zuordnung noch signifikant verschlechtert gegenüber der Bearbeitung in der ursprünglichen Zuordnung (Shiffrin & Schneider, 1977). Auch die Ergebnisse eines Experiments zur fokussierten Aufmerksamkeit interpretieren Shiffrin und Schneider im Rahmen ihrer 2-Prozeß-Theorie: Unter der variablen Zuordnungsbedingung des oben beschriebenen Experimentdesigns waren die Leistungen der Probanden dann nicht durch eine höhere Anzahl an Distraktoren (relativ zu einer geringeren Distraktoranzahl) beeinträchtigt, wenn die Probanden instruiert wurden, einen Teil der Displaypositionen (die Positionen, auf denen die Distraktoren erschienen) zu ignorieren. Den Probanden gelang demnach die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf die für die Aufgabenbearbeitung relevanten Lokationen. Erschienen an einer zu ignorierenden Position jedoch Distraktoren, auf welche zuvor eine automatische Detektion erfolgte, so zeigte sich die Höhe der Interferenz abhängig von der Anzahl der Distraktoren. Distraktoren, die zuvor automatisch verarbeitet wurden, konnten demnach nicht ignoriert werden, sondern wurden automatisch mitverarbeitet.

Versucht man, die angenommen automatischen und kontrollierten Verarbeitungsprozesse in ein Modell des Gedächtnisses einzuordnen, so stellen automatische Prozesse einen Langzeitgedächtniseffekt dar (Abhängigkeit von Übung, keine Abhängigkeit von Kapazitätsbegrenzungen des aktivierten Gedächtnisses), während kontrollierte Prozesse auf Strukturen des aktivierten Gedächtnisses operieren und demnach den Charakteristika des aktivierten Gedächtnisses unterworfen sind (z.B. Kapazitätsbegrenzung). Eine Zuordnung von automatischen und kontrollierten Prozessen zu unterschiedlichen Systemen des Gedächtnisses nimmt Logan (1988) in seiner Instanzentheorie der Automatisierung vor. Im Unterschied zu kontrollierter, über Algorithmen vermittelter Verarbeitung, basiert automatische Verarbeitung auf Gedächtnisabrufprozessen. Die Theorie rekurriert auf die Annahme, daß mit jeder Ausführung einer Aufgabe eine spezifische Gedächtnisepisode der Aufgabenbearbeitung gebildet wird. Die Bearbeitung einer Aufgabe, vermittelt über gedächtnisbasierte S-R-Assoziationen, ist dabei nicht an Aufmerksamkeitskapazität gebunden. Mit zunehmender Häufigkeit der Aufgabenbearbeitung, d.h. mit einem zunehmenden Maß an aufgabenspezifischer Übung, erhöht sich die Anzahl der für eine spezifische Aufgabenstellung angelegten Gedächtnisepisoden. Die Zunahme aufgaben-

spezifischer Gedächtnisepisoden resultiert schließlich in steigender Wahrscheinlichkeit dafür, daß gedächtnisbasierte Aufgabenbearbeitung zeitlich vor der algorithmischen Bearbeitung in das Responsesystem gelangt und so die Bearbeitung primär auf der episodischen Verarbeitung basiert.

Die Annahme einer Langzeitgedächtnis-vermittelten Interferenz durch automatisch verarbeitete Information wird in aktuellen Modellen des Simon- und Stroop-Effekts übernommen. Derartige Modelle automatischer Responseaktivierungen durch irrelevante Stimulusmerkmale interpretieren den Simon- oder den Stroop-Effekt dahingehend, daß das irrelevante Merkmal über eine automatische Langzeitgedächtnis-Route die entsprechende Response aktiviert (Barber & O´Leary, 1997; Burle, Possamai, Vidal, Bonnet & Hasbroucq, 2002; DeJong, Liang & Lauber, 1994; Eimer, Hommel & Prinz, 1995; Logan, 1988; Lu, 1997; O´Leary & Barber, 1993; Ridderinkhof, 2002; Tagliabue, Zorzi, Umiltà, 2002; Tagliabue, Zorzi, Umiltà & Bassignani, 2000; Zorzi &Umiltà, 1995). Damit nehmen Modelle automatischer Reaktionsaktivierungen zusätzlich zu einer intentionsbedingten, kurzzeitigen Reiz-Reaktions-Assoziation eine vom aktuellen Handlungsziel unabhängige, permanente S-R-Verknüpfung an. Modelle automatischer Reaktionsaktivierung werden demnach häufig als 2-Routen-Modelle bezeichnet. Ist die durch die Langzeitgedächtnis (LZG)-Route aktivierte Response identisch mit der tatsächlich zu gebenden Response, so zeigt sich eine Erleichterung der Reaktion, weicht die aktivierte Response von der zu gebenden Response ab, so zeigt sich eine Beeinträchtigung der korrekten Responsegabe.

Die Annahme automatischer Responseaktivierung durch das irrelevante Merkmal ist gut vereinbar mit der Asymmetrie der Interferenzbefunde: Die asymmetrische Interferenz der Wortaufgabe auf die Farbaufgabe im Stroop Farb-Wort-Paradigma läßt sich im Rahmen der Automatizitätshypothese dahingehend interpretieren, daß das Lesen von Wörtern einen automatischen, das Benennen von Schriftfarben jedoch einen kontrollierten Prozeß darstellt. Auch die Abhängigkeit der Interferenz-Asymmetrie von der Modalität der Response im räumlichen Stroop-Paradigma (Barber & O´Leary, 1993; Virzi & Egeth, 1985) ist in diesem Sinne zu explizieren: So stellt zwar das Lesen eines Positionswortes einen automatisierten Prozeß dar, mitnichten jedoch die Gabe einer manuellen Response auf die Bedeutung eines Wortes.

3.6 Grenzen der Interferenz durch nichtintentionale Selektion: Modulierung durch intentionale Faktoren

Bisher ist die nichtintentionale Selektion zielirrelevanter Information am Beispiel von nichtintentionaler Aufmerksamkeitszuwendung (attentional capture) und an Interferenzbefunden im Flanker-, vor allem aber im Stroop- und Simon-Paradigma herausgestellt worden. Die Selektion irrelevanter Information galt hierbei häufig als Indiz für das Vorliegen automatischer Verarbeitungsprozesse, welche entsprechend der 2-Prozeß-Theorie u.a. als nicht modulierbar durch intentionale Faktoren betrachtet wurden.

Die in der 2-Prozeß-Theorie vorgenommene Annahme der skizzierten Merkmale automatischer Prozesse ist in der Folgezeit jedoch vielfach kritisiert worden. Kritik bezieht sich zumeist darauf, daß sich keine Prozesse finden lassen, die den jeweiligen Charakteristika der beiden Prozesse in vollem Umfang entsprechen. Eine Übersicht über die Kritik an einer strikten Unterscheidung zwischen automatischen und kontrollierten Prozessen findet sich bei Neumann (1984[6]; 1992; siehe auch Hommel, 2000a; LaBerge, 2002): Sind die oben genannten Charakteristika tatsächlich notwendige Eigenschaften automatischer Prozesse, dann muß ein Prozeß immer dann, wenn er eines der Charakteristika automatischer Prozesse aufweist, auch die anderen Charakteristika automatischer Verarbeitung aufweisen. Diese wechselseitige Abhängigkeit der Attribute automatischer Verarbeitung zeigt sich jedoch nicht. So läßt sich beispielweise das Merkmal der Interferenzfreiheit für kaum einen Prozeß nachweisen: Selbst hochgeübte Aufgaben produzieren (neben der bereits besprochenen Responseinterferenz) Interferenz, wenn sie parallel mit einer zweiten Aufgabe dargeboten werden, sofern die in den beiden Aufgaben verwendeten Reaktionen hinreichend ähnlich sind (für einen Überblick siehe Pashler, Johnston & Ruthruff, 2001). Demnach scheinen auch hochgeübte Aufgaben Kapazitätserfordernisse nicht vollständig umgehen zu können.

Eine Möglichkeit, die Schwierigkeiten mit den Begriffen einer automatischen und kontrollierten Verarbeitung, in denen die Merkmale „automatisch“ und „kontrolliert“ als absolut gefaßt werden, zu umgehen, ist die Interpretation automatischer und kontrollierter

[6] Aufgrund des Fehlschlagens des Versuches einer strikten Trennung in automatische und kontrollierte Prozesse schlägt Neumann (1984) ein Konzept der direkten Parameterspezifikation vor. Bei der Reaktion auf einen Reiz müssen alle notwendigen Handlungsparameter spezifiziert werden: Beispielsweise muß beim Ergreifen eines Objektes spezifiziert werden, wohin gegriffen wird, mit welchem Druck das Objekt ergriffen wird etc. Prozesse lassen sich nun dahingehend unterscheiden, inwiefern die Handlungsobjekte selber schon alle erforderlichen Parameter der Handlung spezifizieren. Prozesse, in denen alle Parameter direkt durch die Handlungsobjekte spezifiziert werden, sind die Prozesse, die zuvor als „automatische Prozesse“ bezeichnet wurden.

Verarbeitung als zwei Extrempunkte eines Kontinuums der Automatizität der Verarbeitung. Gemäß der Sicht eines Kontinuums der Automatizität zeichnen sich automatische Prozesse nicht durch vollständige Unabhängigkeit von intentionalen Mechanismen aus, vielmehr ist automatische Verarbeitung lediglich dadurch gekennzeichnet, daß automatische Prozesse ein geringeres Ausmaß an intentionaler Modulierung aufweisen als kontrollierte Prozesse. Tatsächlich wird heute nahezu jede Selektionsleistung als an sowohl intentionale als auch nichtintentionale Aufmerksamkeitszuwendung und Verarbeitung gebunden betrachtet (Egeth & Yantis, 1997; Pashler, 1998; Pashler, Johnston & Ruthruff, 2001; Styles, 1997; Yantis, 1998; Yantis, 2000).

Trotz der Schwierigkeiten, die eine Verwendung des Begriffspaares „automatisch" versus „kontrolliert" aufwirft, werden diese Begriffe im Sinne einer erleichterten Lesbarkeit im folgenden Text weiterhin Verwendung finden. Wann immer diese Ausdrücke im Text enthalten sind, ist eine Interpretation im Sinne von „weniger abhängig von Aufmerksamkeitszuwendung" und „stärker abhängig von Aufmerksamkeitszuwendung" angedacht.

Der folgende Abschnitt dient der Skizzierung derjenigen empirischen Befunde, welche eine intentionale Beeinflussung von attentional capture und von Interferenzeffekten im Flanker-, sowie im Stroop- und Simon-Paradigma aufzeigen und somit eine Herausforderung für strikte 2-Prozeß-Theorien darstellen.

3.6.1 Intentionale Modulierung von attentional capture

Auch wenn in den empirischen Arbeiten zumeist auf den einen oder den anderen Aspekt der Selektion fokussiert wird, so ist die empirische Befundlage für alleinige stimulusgetriebene, nichtintentionale Aufmerksamkeitszuwendung rar. In den letzten Jahren mehrten sich die Befunde, die auf eine Interdependenz zwischen nichtintentionaler und intentionaler Aufmerksamkeitszuwendung hinweisen. So konnten Bacon und Egeth (1994) zeigen, daß das Richten von Aufmerksamkeit auf singleton-Distraktoren stärker an intentionale Faktoren gebunden ist als bisher angenommen. Bacon und Egeth argumentieren, daß Untersuchungen, die scheinbar eine Unabhängigkeit der Richtens von Aufmerksamkeit auf Merkmalssingletons von Handlungsintentionen (Theeuwes, 1991, 1992) aufzeigen, intentionale Faktoren implizit enthalten. Ist der Zielreiz in einer Untersuchung dadurch definiert, daß er von allen übrigen Stimuli in einem Merkmal

abweicht (sind die Probanden demnach aufgefordert, auf singleton-Zielreize zu reagieren), so befinden sich die Probanden in einem speziellen Verarbeitungsmodus, der eine optimale Detektion von Singletons gewährleistet. Die Verarbeitung in einem derartigen „singleton detection mode“ resultiert darin, daß nicht nur ein singleton-Zielreiz, sondern daß auch singleton-Distraktoren bevorzug verarbeitet werden. Sind die Probanden durch eine alternative Zielreizspezifikation nicht in einem Verarbeitungsmodus, der optimal für das Detektieren von singletons ist, d.h. stellt der Zielreiz kein singleton dar, so zeigt sich kein nichtintentionales Richten der Aufmerksamkeit auf ein Distraktor-singleton. Attentional capture durch ein Distraktor-singleton ist demnach daran gebunden, daß das aktuelle Handlungsziel die Detektion eines Zielreiz-singletons beinhaltet. Charakteristika der Verarbeitungsstrategie scheinen somit nichtintentionale Aufmerksamkeitszuwendung zu modulieren.

Auch Yantis und Jonides (1990) konnten eine Abhängigkeit nichtintentionaler Aufmerksamkeitszuwendung von intentionaler Selektion aufzeigen: Löste ein abrupt erscheinender Stimulus eine automatische Aufmerksamkeitszuwendung aus (Yantis & Jonides, 1984), so zeigte sich keine nichtintentionale Aufmerksamkeitszuwendung mehr durch einen abrupt erscheinenden Distraktor bei langer Präspezifikation der Lokation des Zielreizes durch einen hochvaliden Hinweisreiz (Yantis & Jonides, 1990). Yantis und Jonides argumentieren dafür, daß ein abrupt erscheinender Distraktor keine nichtintentionale Zuwendung von Aufmerksamkeit auslöst, wenn Aufmerksamkeit intentional an eine Raumstelle gebunden ist. Einen entsprechenden Befund fand Theeuwes (1991): Ein zusätzlich kurz vor oder kurz nach dem Target dargebotener peripherer Hinweisreiz (Cue-Target-Intervall von –160 msec bis 80 msec) interferierte nicht, wenn das Intervall zwischen dem relevanten, zentralen Cue und dem Target hinreichend groß war. Es findet sich also Evidenz dafür, daß eine nichtintentionale Zuwendung von Aufmerksamkeit zu Distraktoren an das Fehlen von Aufmerksamkeitsfokussierung gebunden ist. Ist Aufmerksamkeit hingegen bereits einer Raumlokation zugewandt, so bleiben Änderungen außerhalb des Fokus ohne Effekt.

Ebenfalls unter Verwendung des Cuing-Paradigmas konnten auch Folk et al. (Folk, Remington & Johnston,1992; Folk, Remington & Wright, 1994; Remington, Folk & McLean, 2001; siehe auch Ludwig & Gilchirst, 2002) die Modulation nichtintentionaler Aufmerksamkeitszuwendung durch intentionale Prozesse aufzeigen. Folk et al. präsentierten ihren Probanden valide und invalide Hinweisreize und variierten die Zuordnung des charakteristischen Merkmals von Cue und Target: In einer Bedingung, in

welcher das relevante Merkmal von Cue und Target übereinstimmte, wurden sowohl Target als auch Cue gemeinsam durch abruptes Erscheinen oder durch Einzigkeit der Farbe definiert, während in einer zweiten Bedingung das relevante Merkmal des Cues und des Targets nicht übereinstimmte (der Cue definierte sich beispielweise über abruptes Erscheinen, während das Target über Einzigkeit der Farbe spezifiziert war und vice versa). Es zeigte sich eine signifikante Interaktion der Faktoren Cuevalidität und Merkmalsübereinstimmung zwischen Cue und Target: Der Effekt der Cuevalidität zeigte sich signifikant größer bei einer Übereinstimmung des relevanten Merkmals von Cue und Target. War das Target über abruptes Erscheinen definiert, so entstanden hohe Kosten durch einen invaliden, abrupt erscheinenden Cue, nicht aber durch einen invaliden Farbcue. Folk et al. nehmen Befunde wie diesen als Ausgangspunkt ihrer „contingent capture"-Hypothese. Ein Stimulus zieht entsprechend der Hypothese nicht per se nichtintentional Aufmerksamkeit auf sich, vielmehr ist auch nichtintentionale Aufmerksamkeitshinwendung von den internen Einstellungen („attentional set") des Systems abhängig. Nichtintentionale Aufmerksamkeitszuwendung ist daran gebunden, daß der irrelevante Reiz über Merkmale definiert ist, denen gegenüber das System voreingestellt ist zu reagieren.

3.6.2 Intentionale Modulierung der Interferenz im Flankierreiz-Paradigma

Auch Interferenz im Flankierreiz-Paradigma (Eriksen & Eriksen, 1974) zeigt sich als nicht unbeeinflußt durch intentionale Mechanismen. Typischerweise ist die Interferenz durch die flankierenden Distraktoren dann stärker, wenn Target und Flankierreize unterschiedlichen Reaktionen zugeordnet sind („inkongruenter Durchgang"), als wenn Target und Distraktoren der gleichen Reaktion zugeordnet sind („kongruenter Durchgang") (Eriksen & Eriksen, 1974). Der Unterschied der Bearbeitungsleistung zwischen kongruenten und inkongruenten Durchgängen wird hierbei als Kongruenzeffekt bezeichnet. Gratton et al. (Gratton, Coles & Donchin, 1992) konnten nun zeigen, daß die Stärke dieses Kongruenzeffekts abhängt von der Kongruenz des unmittelbaren Vordurchgangs. So zeigte sich eine Erleichterung der Bearbeitung eines inkongruenten Durchgangs, wenn auch der Vordurchgang inkongruent war (relativ zu einem kongruenten Vordurchgang). Diese relative Erleichterung einer inkongruenten Aufgabe nach einem inkongruenten Vordurchgang führen Gratton et al. auf Erwartungseffekte zurück, gemäß derer Probanden nach einem inkongruenten Vordurchgang wiederholt eine inkongruente Aufgabe erwarten.

Gratton et al. nehmen an, daß die Verarbeitung visueller Information in mindestens zwei Phasen unterteilbar ist: In einer frühen, parallelen Phase wird sowohl Target- als auch Distraktorinformation verarbeitet, während in einer späten Phase alleine Information des Targets verarbeitet wird. Erfolgte im Vordurchgang ein Handlungskonflikt, so basiert die Antwortaktivierung im nachfolgenden Durchgang vornehmlich auf der akkumulierten Evidenz der Verarbeitung in der späten, fokussierten Phase. Nach einem Handlungskonflikt wird demnach in einem nachfolgenden Durchgang weniger Gewicht auf die Antwortevidenzen aus der frühen, parallelen Phase der Verarbeitung gerichtet, so daß sich der Reaktionskonflikt reduziert. Werden hingegen nach einem kongruenten Durchgang die Antwortevidenzen aus der parallelen Phase stark gewichtet, so zeigt sich im aktuellen Durchgang ein verstärkter Reaktionskonflikt, demnach eine relative Verlangsamung inkongruenter Durchgänge. Diese Abhängigkeit des Kongruenzeffekts im Flankierreiz-Paradigma von der Kongruenz im Vordurchgang zeigt die Beeinflussung des Interferenzeffekts von strategischen Faktoren (Gewichtungen der Antwortevidenzen durch die Erwartung von Reaktionskonflikt) an.

3.6.3 Intentionale Modulierung der Interferenz im Stroop- und Simon-Paradigma

Interferenzeffekte in Stroop- und Simon-Aufgaben galten lange Zeit als Evidenzen automatischer Verarbeitung. Die Interferenz durch die irrelevante Information galt hierbei als Resultat einer Reaktionsaktivierung über eine permanente, nicht durch die Erfordernisse der aktuellen Situation modulierbare Reiz-Reaktions-Assoziation. Heute lassen sich jedoch auch in diesen Paradigmen zahlreiche Beispiele finden, die der Annahme einer strengen Automatizität der Verarbeitung eines irrelevanten Merkmals entgegenstehen und aufzeigen, daß auch Stroop- und Simon-Interferenz intentional moduliert werden.

Ein erster Befund, der mit der Annahme einer strikten Trennung zwischen automatischen und kontrollierten Prozessen nicht vereinbar ist, ist die Reduktion von Interferenz im Farb-Wort-Paradigma, wenn parallel zu dem Stroop-Stimulus weitere Distraktoren dargeboten werden (Kahneman & Chajczyk, 1983): Ist Wortlesen ein Prozeß, der vollständig kapazitätsfrei abläuft, sollte sich die Interferenz der Wortverarbeitung auf die Farbbenennung nicht durch parallele Distraktordarbietung reduzieren.

Auch der Einfluß des Vorbereitungsintervalls auf die Höhe der Stroop-Interferenz stellt einen Hinweis für die Modulierung nichtintentionaler Selektion durch intentionale

Prozesse dar. Wird im Stroop-Paradigma bereits vor Stimuluspräsentation präspezifiziert, welche Aufgabendimension relevant wird, so zeigt sich mit einer Verlängerung dieses Vorbereitungsintervalls eine Verringerung der Stroop-Interferenz (Harvey, 1984). Intentionale, vorbereitende Aktivierung der relevanten Reiz-Reaktions-Zuordnung kann demnach den interferierenden Einfluß der irrelevanten Aufgabe minimieren.

Einen weiteren Hinweis auf die intentionale Beeinflussung von Interferenz im Stroop-Paradigma stellt die Abhängigkeit der Stroop-Interferenz von der Wahrscheinlichkeit kongruenter Durchgänge in der Studie von Logan und Zbrodoff (1979) dar. Logan und Zbrodoff (Logan & Zbrodoff, 1979; siehe auch Logan, 1980; Lowe & Mitterer, 1982) variierten die Anzahl kongruenter und inkongruenter Durchgänge in einem Verarbeitungsblock und fanden eine Abhängigkeit der Stroop-Interferenz von der Wahrscheinlichkeit inkongruenter Verarbeitungsdurchgänge. Erhöhte sich die Anzahl inkongruenter Durchgänge von 50 % auf 80%, so zeigte sich eine Invertierung der Stroop-Interferenz: Bei einer hohen Wahrscheinlichkeit inkongruenter Durchgänge war die Bearbeitung inkongruenter Stimuli relativ zu kongruenten Stimuli erleichtert.

Ein weniger stark ausgeprägter, aber prinzipiell ähnlicher Befund zeigte sich im Simon-Paradigma: Eine Erhöhung inkompatibler Durchgänge (d.h. eine Erhöhung von Durchgängen, in denen das irrelevante, räumliche Attribut nicht mit der Lokation der zu gebenden Response übereinstimmte) resultierte in einer Reduzierung des Simon-Effekts (Stürmer, Leuthold, Soetens, Schröter & Sommer, 2002). Stürmer et. al konnten zudem eine Abhängigkeit der Stärke des Simon-Effekts von der Kompatibilität des Vordurchgangs aufzeigen: Auf einen inkompatiblen Vordurchgang folgend zeigte sich entweder eine Reduktion oder eine Invertierung des Simon-Effekts. Die Reduktion oder Invertierung des Simon-Effekts war nicht abhängig davon, daß das nichtkorrespondierende, räumliche Stimulusmerkmal im Vordurchgang oder in der Mehrzahl der Experimentaldurchgänge ebenfalls irrelevant war. So konnte gezeigt werden, daß auch die Präsentation einer inkompatiblen Lokationsaufgabe im Vordurchgang (beispielsweise: reagiere auf einen linken Stimulus mit der rechten Responsetaste), sowie die Mischung von Simon-Aufgaben mit inkompatiblen Lokationsaufgaben in einem experimentellen Aufgabenblock den Simon-Effekt reduzierte oder invertierte (DeJong, Liang & Lauber, 1994; Marble & Proctor, 2000; Proctor & Lu, 1999; Proctor & Vu, 2002; Tagliabue, Zorzi, Umiltà & Bassignani, 2000).

Ein letzter Befund, der hier dem Nachweis intentionaler Beeinflussung vermeintlich automatischer Reiz-Reaktions-Zuweisungen dienen soll, ist der Befund der intentionalen

Invertierung des Simon-Effekts (Hommel, 1993a): Der Effekt der räumlichen Kompatibilität zwischen Reiz und Response ließ sich umkehren, wenn Probanden die Instruktion erhielten, auf einen Stimulus derart zu reagieren, daß bestimmte Handlungseffekte erzeugt werden. Sollte z.B. auf einen hohen Ton derart reagiert werden, daß eine linke Lampe als Effekt der Responsegabe aufleuchtete, so war die Reaktion dann erleichtert, wenn die Lokation des Stimulus mit der Lokation des Handlungseffekts (und nicht mit der Lokation der Response) korrespondierte.

Alle Befunde zusammengenommen, scheint die Interferenz durch irrelevante Information nicht mit einer strikt automatischen Verarbeitung eines irrelevanten Merkmals in Einklang zu bringen zu sein. Stattdessen wird versucht, die Interferenzbefunde im Stroop- und Simon-Paradigma als Interferenz durch einen stärker automatisierten Prozeß auf einen schwächer automatisierten Prozeß zu fassen. Im Sinne einer derartigen Kontinuumhypothese der Automatizität lassen sich Ansätze, welche das Ausmaß und die Richtung der Interferenz auf die Stärke der zugrundeliegenden S-R-Verbindung zurückführen, interpretieren (Lu, 1997). Die grundlegende Annahme dieser Ansätze besteht darin, daß Interferenzeffekte sich immer dann zeigen, wenn ein irrelevantes Reizattribut stärker mit der Response assoziiert ist als das relevante Attribut:

> „According to the hypothesis of relative S-R-association strength, an asymmetrical effect of irrelevant information can be obtained whenever the irrelevant S-R association is stronger than the relevant S-R association." (Lu, 1997, p. 98)

Die Stärke einer S-R-Assoziation läßt sich hierbei einer Funktion der bereits dargestellten dimensionalen Überschneidung zwischen Reiz und Reaktion (Kornblum, 1994; Kornblum, Hasbroucq & Osman, 1990) fassen: S-R Assoziationen sind stark, wenn Stimulusset und Responseset sich dimensional überlappen.

Die Annahme der Interferenz eines relativ stärker automatisierten Prozesses auf einen relativ weniger stark automatisierten Prozeß ist vereinbar mit dem Effekt von Übung auf die Interferenzbefunde. So konnte gezeigt werden, daß sich die Interferenz der Farb- auf die Formaufgabe im Farb-Form-Interferenzparadigma mit zunehmender Übung umkehren kann: Nach selektiver Übung der Formaufgabe zeigte sich eine Interferenz der Form- auf die Farbaufgabe, nicht jedoch mehr der Farb- auf die Formaufgabe (MacLeod & Dunbar, 1988). Die Invertierung der asymmetrischen Interferenz läßt sich dahingehend interpretieren, daß Formverarbeitung durch selektive Übung der Formaufgabe (zumindest

kurzfristig) ein höheres Ausmaß an Verbindungsstärke erreichte als die Verarbeitung der Farbaufgabe.

Eine Fülle an Befunden stützt demnach die Annahme, daß Interferenz durch irrelevante Informationen durch die Anforderungen der aktuellen Situation modulierbar ist. Simon- oder Stroop-Interferenz ist somit nicht derart unbeeinflußbar wie bislang angenommen. Unter der Annahme, daß Simon- und Stroop-Interferenz durch Langzeitgedächtnis-Strukturen vermittelt ist, bedeutet dies, daß eine intentionale Beeinflussung der Langzeitgedächtnis-Route möglich ist. Eine Möglichkeit einer derartige Beeinflussung permanenter LZG-Assoziationen ist durch die Aktivierung kurzfristiger Reiz-Reaktions-Assoziationen gegeben. Ein entsprechender Vorschlag wird von Tagliabue et. al (Tagliabue, Zorzi, Umiltà & Bassigniani, 2000; siehe auch Tagliabue, Zorzi & Umiltà, 2002) in einem aktuellen Modell des Simon-Effekts vorgenommen. Das Modell von Tagliabue et al. stellt eine Erweiterung des konnektionistischen Modells von Zorzi und Umiltà (1995) unter Verwendung der im Modell von Barber und O´Leary (1997) vorgeschlagenen Unterscheidung zwischen KZG und LZG-Assoziationen zwischen Reizen und Responses dar. Entsprechend dem Modell von Zorzi und Umiltà ist das Modell für zwei Werte des relevanten Merkmals (beispielsweise Buchstabe: A versus B) sowie für zwei Werte des irrelevanten Raummerkmals (links und rechts) begrenzt. In dem Modell implementiert sind zwei Ebenen der Knotenpunkte: Auf einer Inputebene repräsentieren zwei Merkmalsknoten die relevanten, nicht räumlichen Eigenschaften des Stimulus (z.B. A und B), zwei Positionsknoten repräsentieren die irrelevanten, räumlichen Attribute des Stimulus (links und rechts). Auf Ebene der Response repräsentieren zwei Responseknoten die Lokation der Response (links und rechts). Die beiden Inputknoten des relevanten Merkmals sind mit korrespondierenden Kurzzeitgedächtnisknoten verbunden, welche wiederum mit den entsprechenden Knotenpunkten im Responsesystem assoziiert sind. Hingegen sind die Positionsknoten lediglich über LZG-Assoziationen mit den korrespondierenden Responseknoten assoziiert. Positionsinformation ist jedoch zusätzlich über Kurzzeitgedächtnisverbindungen mit den räumlich nichtkorrespondierenden Reaktionsknoten assoziiert. In Abbildung 1 sind die strukturellen Bestandteile des Modells dargestellt:

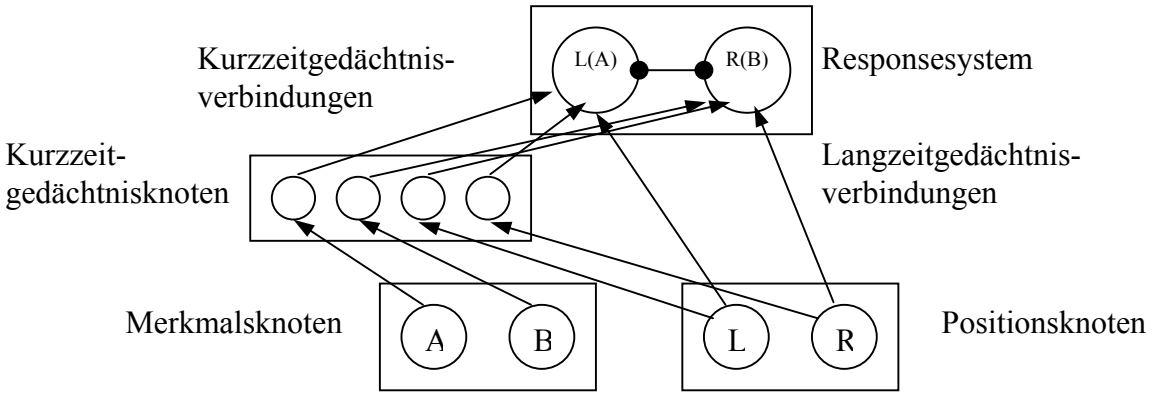


Abbildung 1: Das konnektionistische Modell des Simon-Effekts von Tagliabue et al. (übernommen aus Tagliabue, Zorzi, Umiltà & Bassigniani, 2000; S. 665)

Bei Darbietung eines Stimulus werden beide Inputknoten, welche dem Reiz entsprechen (beispielsweise A und rechts), aktiviert. Die Aktivation der Positionsknoten erfolgt schnell, folgt dann jedoch unmittelbar einer Zerfallsfunktion. Hingegen ist die Aktivation der Merkmalsknoten gemäß der Schwierigkeit der zu bearbeitenden Aufgabe verzögert. Die Aktivation der Inputknoten breitet sich über die Assoziationen zu den Responses aus, und die Response hemmen sich entsprechend der Stärke ihrer Aktivierung wechselseitig. Eine Response wird ausgelöst, wenn ein kritischer Unterschiedswert zwischen den Reaktionen überschritten ist.

Das von Tagliabue et al. vorgeschlagene Modell repliziert Basisbefunde im Simon-Paradigma. Für die Argumentation an dieser Stelle entscheidend ist jedoch, daß das Modell durch die Verwendung der KZG-Knoten die Abhängigkeit des Simon-Effekts von der Kompatibilität vorangehender Verarbeitungsdurchgänge abbildet: Wurde im Vordurchgang eine inkompatible Lokationsaufgabe gefordert, so ist die Reiz-Reaktions-Zuordnung dieser räumlichen Aufgabe durch persistierende Aktivation noch im KZG repräsentiert. Die persistierende Aktivation dieser temporären Knoten beeinflußt den Simon-Effekt in der aktuellen Aufgabenstellung und bedingt die Reduzierung oder Invertierung des Simon-Effekts nach einer inkompatiblen Lokationsaufgabe.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die in der früheren Literatur getroffene Unterscheidung zwischen kontrollierter und automatischer Verarbeitung zum einen breiten Widerschein in der empirischen Befundlage findet. Zum anderen birgt eine derartige Dichotomie jedoch die Gefahr in sich, die tatsächlichen Verarbeitungsprozesse als prinzipiell verschieden und voneinander unabhängig zu betrachten. Die Darstellung der neueren Befundlage sollte daher die Interaktion zwischen nichtintentionalen, automatischen

und intentionalen Prozessen herausstellen. Eine Unterscheidung in automatische und kontrollierte Verarbeitung ist aus Gründen begrifflicher Klärung sinnvoll, es wird jedoch vorgeschlagen, tatsächliche Verarbeitung als Wechselspiel intentionaler und nichtintentionaler Prozesse zu fassen. Kognitive Prozesse unterscheiden sich lediglich in dem Ausmaß ihrer intentionalen Steuerung.

IV Intentionale Selektion: Verarbeitung zielrelevanter Information

Das vorangehende Kapitel fokussierte auf Aspekte nichtintentionaler Selektion. Es wurden Befunde der Verarbeitung zielirrelevanter Stimuli sowie, daraus resultierend, Befunde der Interferenz durch nichtintentional selegierte Reizmerkmale dargestellt. Im Unterschied zu nichtintentionaler Selektion wird von intentionaler Selektion gesprochen, wenn die Verarbeitung von Stimuli durch die Art der Handlungsziele (Intentionen) des kognitiven Systems bedingt ist.

Intentionale Selektion ist ein Phänomen alltäglicher Beobachtung: So gelingt es scheinbar mühelos, aus einer Fülle von Umweltreizen (beispielsweise verschiedenen parallel stattfindenden Gesprächen) sich „willentlich" einer Subgruppe der Reizumwelt (beispielsweise dem Gespräch am Nebentisch) zuzuwenden. Diese Alltagsfähigkeit fand unter dem Terminus „Cocktailpartyphänomen" (Cherry, 1953) Eingang in einschlägige Einführungen in den Themenkomplex der selektiven Aufmerksamkeit (z.B. Eysenck & Keane, 2000; Müller & Krummenacher, 2002). Die Fähigkeit, gemäß einer Handlungsintention Aufmerksamkeit selektiv Inputinformation zukommen zu lassen, ist im Paradigma des dichotischen Hörens weiter untersucht worden (Broadbent, 1958; Cherry, 1953). Bietet man Probanden zeitgleich distinkte Information über das rechte und das linke Ohr dar, so gelingt es den Probanden, gemäß der Instruktion ein Ohr zu beschatten und die Nachricht des anderen Ohres auszublenden[7]. In den 70er Jahren hat sich die Aufmerksamkeitsforschung vermehrt der Frage nach der Selektion visueller Information zugewandt. Im Paradigma der hinweisbedingten Aufmerksamkeitssteuerung konnte – neben dem Nachweis nichtintentionaler Aufmerksamkeitszuwendung – die intentionale Zuwendung visueller Aufmerksamkeit gezeigt werden.

Eine einschlägige Studie in diesem Paradigma stellt die Untersuchung von Posner, Nissen und Ogden (1978) dar. Posner et al. instruierten ihre Probanden, auf einen Zielreiz, der links oder rechts von einem Fixationspunkt dargeboten wurde, zu reagieren. Vor Präsentation des Zielreizes erschien ein zentral dargebotener Hinweisreiz (ein nach rechts oder links weisender Pfeil), der zu 80% valide die Lokation des imperativen Stimulus

[7] Jedoch gelingt die Ausblendung der über das irrelevante Ohr dargebotenen Information nicht vollständig. Die Fähigkeit zur selektiven Verarbeitung der Nachricht des beachteten Ohres sowie die Begrenzung des Selektionsmechanismus führten in der Folgezeit zu einer Debatte um „frühe" versus „späte" Selektion in Wahrnehmungskontexten (Broadbent, 1958; Deutsch & Deutsch, 1963; Treisman & Geffen, 1967).

ankündigte. Verglichen mit einer Kontrollgruppe, welche keinerlei Vorabinformation über die Lokation des Zielreizes erhielt, zeigten die Probanden mit Vorabinformation signifikant reduzierte Reaktionszeiten, sofern der Hinweisreiz valide war. Die Probanden konnten demnach die Information des Hinweisreizes nutzen. Handelte es sich hingegen bei dem Hinweisreiz um einen invaliden Cue, zeigten die Probanden relativ zu der Kontrollgruppe verzögerte Reaktionszeiten. Im Falle invalider Ankündigung führte die Rauminformation des Cues demnach zu Verarbeitungskosten. Posner et al. interpretierten den Befund dahingehend, daß die Probanden die im Cue kodierte Information verwendeten, um ihre Aufmerksamkeit bereits vor Präsentation des imperativen Stimulus auf die angezeigte Raumstelle zu richten. In die Kategorie der intentionalen Aufmerksamkeitsselektion fällt diese Zuwendung von Aufmerksamkeit nach einem zentralem Hinweisreiz, da die Anwesenheit dieser Art von Cue alleine ohne das entsprechende Handlungsziel die Aufmerksamkeitsverlagerung nicht ausgelöst hätte (Jonides, 1981).

Sowohl die Untersuchungen zum dichotischen Hören als auch die Untersuchungen zur Zuwendung räumlicher visueller Aufmerksamkeit stellen paradigmatisch den Einfluß von Handlungszielen auf die Selektion dar.

4.1 Durchsetzung zieldienlicher Verarbeitung: Kontrollierte Verarbeitung und exekutive Mechanismen

Intentionale Selektion läßt sich in entsprechender Weise an den bisher verwendeten Stroop- und Simon-Aufgaben verdeutlichen. Die bisherigen Abschnitte zu Stroop- und Simon-Interferenz fokussierten auf die Frage nach Interferenz durch irrelevante Information. Irrelevante Information scheint demnach die Bearbeitung einer intendierten S-R-Zuordnung zu beeinflussen. Ein Großteil aktueller Ansätze zu einer Beeinflussung durch aufgabenunabhängige Information attribuierte die gefundenen Effekte auf eine automatische Aktivation korrespondierender Responses über permanente, kaum modulierbare Langzeitgedächtnisassoziationen. Wie wird jedoch gewährleistet, daß trotz eines Reaktionskonflikts durch irrelevante Information adäquate Handlungen resultieren? Eine zentrale Frage richtet sich auf die kognitiven Mechanismen des Systems, durch welche eine Durchsetzung zieldienlicher Handlungen ermöglicht wird. Diese Funktion der Durchsetzung intentionaler und „kontrollierter“ Verarbeitung gegenüber nichtintentionalen Handlungstendenzen wird exekutiven Kontrollmechanismen zugeschrieben. Der folgende

Abschnitt soll zum einen eine Charakterisierung kontrollierter und exekutiver Verarbeitung anbieten, zum anderen die in der Literatur vorgeschlagenen Merkmale und Funktionen kontrollierter und exekutiver Prozesse referieren.

4.1.1 Kontrollierte Verarbeitung

Zur Interpretation kontrollierter Verarbeitung ist ein Rekurs auf die in dem Abschnitt über automatische Verarbeitung vorgeschlagene Charakterisierung automatischer und kontrollierter Prozesse in Abhängigkeit von Aufmerksamkeitszuwendung und Kapazitätsbegrenzung hilfreich. Prozesse, welche nicht streng automatisch sind, möchte ich im Folgenden als *kontrolliert* bezeichnen. Wurden streng automatische Prozesse dadurch gekennzeichnet, daß sie alleine durch die strukturellen Eigenschaften des Systems bedingt sind, werden kontrollierte Prozesse demnach als Prozesse definiert, die nicht alleine aufgrund der strukturellen Eigenschaften des Systems ablaufen. Unter der Annahme von zwei prinzipiellen, internen Determinanten kognitiver Prozesse, strukturellen Eigenschaften des Systems und modulierenden Einflüssen im Sinne einer Zuwendung von Aufmerksamkeit, ergibt sich, daß, wird ein Prozeß nicht alleine durch strukturelle Systemcharakteristika gesteuert, er zudem durch die Zuwendung von Aufmerksamkeit gesteuert ist. Demnach werden im Folgenden kognitive Prozesse, welche auch durch die Zuwendung von Aufmerksamkeit bedingt sind, als kontrollierte Prozesse bezeichnet. Da die Zuwendung von Aufmerksamkeit zu einem kognitiven Prozeß bedeutet, daß dieser Prozeß durch einen anderen kognitiven Prozeß kontrolliert wird, läßt sich kontrollierte Verarbeitung auch als Verarbeitung, welche unter dem Einfluß *kontrollierender* Verarbeitung steht, fassen. Die Zuwendung von Aufmerksamkeit zu einem Prozeß kann nun (wie bereits im Abschnitt über attentional capture dargestellt) sowohl durch Merkmale externer Reize als auch durch Handlungsintentionen bedingt sein. Während streng automatische Prozesse als unabhängig von Handlungsintentionen in identischer Weise ablaufend charakterisiert wurden, sind kontrollierte Prozesse dann von einem Handlungsziel abhängig, wenn die Zuwendung von Aufmerksamkeit zu diesem Prozeß durch das Handlungsziel bedingt ist. Fällt ein Prozeß durch diese intentionale Zuwendung von Aufmerksamkeit in die Kategorie der kontrollierten Prozesse, so kann dieser Prozeß als „intentional-kontrolliert“ bezeichnet werden. Wird ein Prozeß hingegen durch

nichtintentionale Aufmerksamkeitszuwendung kontrolliert, so fällt dieser Prozeß in die Kategorie „nichtintentional-kontrollierter Prozesse“.

In einem kapazitätsbegrenzten Modell mit einem zentralen Flaschenhals (Broadbent, 1958) sind Prozesse, welche in Abhängigkeit von intentionaler Aufmerksamkeitszuwendung ablaufen (intentional-kontrollierte Verarbeitung), an die Verarbeitung in diesem zentralen Flaschenhals gebunden. Demnach kann intentional-kontrollierte Verarbeitung an einer zentralen Stufe der Verarbeitung lediglich seriell ablaufen und interferiert mit anderen aufmerksamkeitsbasierten Prozessen. Inwieweit durch nichtintentionale Aufmerksamkeitszuwendung kontrollierte Prozesse denselben Kapazitäts-begrenzungen unterworfen sind, ist weniger deutlich: So konnte Jonides (1981) zeigen, daß die Reaktion auf einen Stimulus, dessen Position zuvor durch einen peripheren Hinweiscue angekündigt wurde (so daß Aufmerksamkeit ohne Abhängigkeit von einem Handlungsziel auf die Position gerichtet wurde), nicht mit der Bearbeitung einer Gedächtnisaufgabe interferierte. Dieser Befund stellt eine Evidenz dafür dar, daß ein kognitiver Prozeß, welcher durch nichtintentionale Aufmerksamkeitszuwendung moduliert wird, keine Verarbeitungskapazität erfordert. Jedoch zeigten andere Befunde der attentional capture Literatur (beispielsweise die nichtintentionale Aufmerksamkeitszuwendung zu einem singleton-Distraktor (Theeuwes, 1992)), daß das nichtintentionale Richten von Aufmerksamkeit auf zielirrelevante Information die Bearbeitung relevanter Information verzögert. Derartige Befunde lassen zwei Interpretationen zu: Zum einen ist es möglich, daß der durch nichtintentionale Aufmerksamkeitszuwendung kontrollierte Prozeß selber mit der Bearbeitung der zielrelevanten Information interferierte. In diesem Fall wäre der nichtintentional-kontrollierte Prozeß an Kapazitätsforderung gebunden. Zum anderen ist es jedoch möglich, daß lediglich das Resultat des nichtintentionalen Richtens von Aufmerksamkeit auf eine Raumstelle (die Tatsache, daß Aufmerksamkeit einer irrelevanten Lokation zugewandt ist), die Verarbeitung relevanter Information verzögert. Letztere Interpretation wäre nicht an die Annahme gebunden, daß ein nichtintentional-kontrollierter Prozeß Verarbeitungskapazität erfordert.

Die in der Literatur verwendete Bezeichnung „kontrollierter Prozeß“ ist in dem engeren Sinne intentional-kontrollierter Verarbeitung zu verstehen. Ich werde im Folgenden in der Darstellung der Befundlage den Ausdruck „kontrollierter Prozeß“ verwenden, gemeint ist der Begriff eines intentional-kontrollierten Prozesses.

Die hier dargestellten, zentralen Eigenschaften kontrollierter Verarbeitung, Aufmerksamkeitsabhängigkeit und Serialität, wurden in der bereits genannten 2-Prozeß-

Theorie kontrollierten Verarbeitungsprozessen zugeschrieben (Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977). In derartigen 2-Prozeß-Theorien gelten kontrollierte Prozesse zudem als entsprechend dem aktuellen Handlungsziel modifizierbar und abbrechbar, sie zeigen demnach höhere Flexibilität als automatische Prozesse. Im Unterschied zu automatischen Prozessen sind kontrollierte Prozesse zudem zumindest prinzipiell bewußtseinsfähig. Kontrollierte Prozesse zeigen häufig Anfälligkeit gegenüber Interferenz durch nichtintentionale Prozesse.

Wurden Stroop- und Simon-Aufgaben im vorangehenden Kapitel als paradigmatische Fälle automatischer Verarbeitung dargestellt, so lassen sich an Stroop- und Simon-Aufgaben in entsprechender Weise die Charakteristika und Erfordernisse kontrollierter Verarbeitung darstellen (Botvinick, Braver, Barch, Carter & Cohen, 2001; Goschke, 2002; Miller & Cohen, 2001). Als ein Beispiel zeigt das Benennen der Schriftfarbe Interferenz durch die Darbietung konfligierender Wortinformation. Umgekehrt zeigt sich jedoch keine Interferenz der Schriftfarbe auf das Lesen des Farbwortes. Dieser fehlende Einfluß der Farbinformation auf die Wortbedeutung bietet einen Hinweis darauf, daß das Benennen einer Schriftfarbe – im Gegensatz zum Lesen eines Farbwortes – keinen Prozeß darstellt, welcher nichtintentional zur Anwendung kommt. Indem die Bearbeitung der Farbaufgabe im Stroop-Interferenzparadigma an das Etablieren der entsprechenden Handlungsintention gebunden ist, weist die Farbbenennung ein weiteres Charakteristikum kontrollierter Verarbeitung auf.

4.1.2 Exekutive Mechanismen

In dem Sinne, in dem die Benennung der Schriftfarbe im Stroop-Paradigma ein Beispiel für kontrollierte Verarbeitungsprozesse darstellt, ist die Farbbenennung ebenfalls ein Beispiel für den Einfluß sogenannter exekutiver, kontrollierender Mechanismen. *Kontrollierende* Verarbeitung selber ist dabei entsprechend kontrollierter Verarbeitung Kapazitäts-begrenzungen unterworfen. Möglich ist eine Interpretation dahingehend, daß kontrollierte, nicht exekutive Verarbeitung deshalb kapazitätsfordernd ist, da die sie steuernden exekutiven Mechanismen aufmerksamkeits- und dadurch kapazitätsfordernd sind:

> „... that the executive process of allocating resources consumes resources itself, as it „takes attention to pay attention.“ (Logan, 1985, p. 201)

Exekutive Mechanismen zeichnen sich dadurch aus, daß sie im Unterschied zu nichtexekutiven Mechanismen nicht auf Strukturen (Repräsentationen), sondern auf basaleren, kognitiven Mechanismen arbeiten. Als einen nichtexekutiven Mechanismus läßt sich beispielsweise der Prozeß der Reaktionsaktivierung durch die Aktivation einer Stimulusrepräsentation fassen. Der Prozeß der Responseaktivierung stellt dann einen automatischen Prozeß dar, wenn die Aktivation alleine auf der strukturellen Verbindung zwischen Stimulus- und Reaktionsrepräsentation beruht. Die Aktivation der Responserepräsentation durch die Stimulusrepräsentation bedeutet nichts anderes als die Erhöhung der Aktivation einer strukturellen Einheit des Systems. Im Unterschied zu einem derartigen Verarbeitungsprozeß modulieren exekutive Prozesse nun nicht kognitive Strukturen, sondern andere Verarbeitungsprozesse:

> (Exekutive Prozesse sind) „general purpose control mechanisms that modulate the operation of various cognitive subprocesses and thereby regulate the dynamics of human cognition." (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter & Wager, 2000, p. 50)

In dem hier verwendeten Beispiel könnte dies bedeuten, daß der Prozeß der Responseaktivierung zusätzliche Aktivation durch einen exekutiven Mechanismus erhält, um Interferenz von parallel aktivierten, konkurrierenden Reaktionen zu minimieren.

Exekutive Mechanismen kommen immer dann zum Tragen, wenn durch alleinige Anwendung von auf Strukturen operierenden, kognitiven Verarbeitungsprozessen eine zielkonforme Handlungsausführung nicht gewährleistet ist. Mechanismen der Handlungskontrolle sind erforderlich, wenn für ein adäquates Handeln die Verwendung automatisierter Routinen (demnach die Verarbeitung auf festen (strukturellen) S-R-Verknüpfungen) entweder nicht hinreichend oder nachteilig ist. Beruht die Realisierung eines aktuellen Handlungsziels nicht auf automatisierten Routinen, sondern auf kontrollierten Verarbeitungsprozessen, so zeigt sich eine derartige Verarbeitung als anfällig für Interferenz durch konkurrierende Handlungstendenzen. Eine entscheidende Aufgabe exekutiver Kontrolle stellt demnach die Durchsetzung zielrelevanter Handlungen gegenüber konfligierenden und häufig dominanten Handlungsalternativen dar. Miller und Cohen (2001) fokussieren in ihrer Charakterisierung exekutiver Mechanismen auf eben diese Funktion exekutiver Kontrolle:

> "This illustrates one of the most fundamental aspects of cognitive control and goal directed behavior: the ability to select a weaker, task-relevant response (or source of information) in the face of competition from an otherwise stronger, but task-irrelevant one." (Miller & Cohen, 2001, p. 170)

Ich möchte im folgenden den Terminus „exekutiver Prozeß" oder „exekutive Kontrolle" nicht für jeglichen, andere Prozesse kontrollierenden Prozeß, verwenden. Vielmehr soll der Begriff der exekutiven Kontrolle beschränkt werden auf Prozesse, welche andere Prozesse in Abhängigkeit von dem aktuellen Handlungsziel modulieren. Diese Einschränkung scheint mir deshalb notwendig, da interne Mechanismen eben durch die Etablierung eines Handlungsziels Kontrolle über das Verhalten erlangen. Wollen wir Aussagen treffen über eine intern bedingte Steuerung von Handlungen, so ist ein Rekurs auf jegliche Prozesse, welche andere Prozesse kontrollieren, wenig hilfreich. Vielmehr scheint es notwendig, interne Steuerung auf Prozesse zurückzuführen, welche zum einen das Potential haben, andere Prozesse zu modulieren, zum anderen diese Steuerung in Abhängigkeit von dem aktuell repräsentierten Handlungsziel vornehmen. Eben solche Prozesse sollen im Folgenden „exekutive Prozesse" genannt werden. Eine für die vorliegende Arbeit funktionale Taxonomie kognitiver Prozesse könnte sich daher an den beiden Dimensionen der Kontrolle (kontrollierend versus nicht kontrollierend) und Intentionalität (abhängig versus nicht abhängig von einem Handlungsziel) aufspannen. Exekutive Prozesse wären in dieser Taxonomie als Prozesse mit dem Potential, andere kognitive Prozesse im Hinblick auf ein Handlungsziel zu modifizieren, im oberen rechten Quadranten der unten präsentierten Abbildung (Abbildung 2) lokalisiert. Wie würde eine entsprechende Zuordnung automatischer Prozesse aussehen? Der in der vorliegenden Arbeit relevante Aspekt automatischer Verarbeitung besteht in der Durchführung eines automatischen Prozesses auch ohne Etablierung eines Handlungsziels, demnach sind automatische Prozesse den nichtintentionalen Prozessen zuzuordnen. Jedoch mag diese Zuordnung in anderen Kontexten nicht unproblematisch sein: So nimmt LaBerge die Möglichkeit sowohl einer intentionalen als auch nichtintentionalen Initiierung automatischer Prozesse an (LaBerge, 2002; Schneider, Dumais & Shiffrin, 1984). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden automatische (oder dominante) Verarbeitungsprozesse jedoch als solche charakterisiert, welche nichtintentional ablaufen und keinen kontrollierenden Einfluß auf andere kognitive Prozesse haben; sie wären demnach dem Quadranten links unten zuzuordnen.

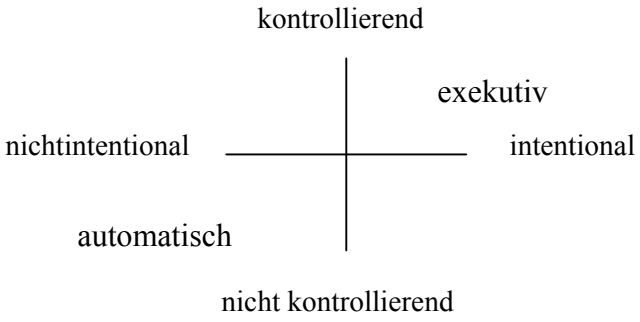


Abbildung 2: Zuordnung exekutiver und automatischer Verarbeitung zu den Ausprägungen auf den Dimensionen Intentionalität und Kontrolleinfluß

Eine derartige Zuordnung exekutiver und automatischer Prozesse ist im Rahmen der vorliegenden Studie funktional, fängt jedoch nicht alle möglichen Klassifikationen automatischer und exekutiver Prozesse ein: So wurde in den ersten Kapiteln dieser Arbeit die Bedeutung sowohl externer Reize als auch die Bedeutung von Handlungszielen für die Handlungssteuerung und die Selektion von Information herausgestellt. Diese Selektion von Information kann zum einen lediglich als Verarbeitung von Information gefaßt werden, sie kann aber alternativ als Aufmerksamkeitszuwendung im Sinne einer Modulierung bestimmter, untergeordneter Prozesse konzeptualisiert werden. In diesem zweiten Sinne bedeutet demnach auch nichtintentionale Selektion z.B. durch saliente Reizmerkmale eine Zuwendung von Aufmerksamkeit zu basaleren Verarbeitungsprozessen. Damit hat jedoch ein nichtintentional ausgelöster Prozeß (Aufmerksamkeit) kontrollierende Funktion über einfache Reiz-Reaktions-Verarbeitungsprozesse. Die mögliche Abhängigkeit der Aufmerksamkeitszuwendung von Handlungszielen und externen Reizen ist in Abbildung 3 dargestellt. Würde man nun jeglichen Prozeß mit dem Potential der Kontrolle über andere Prozesse als exekutiv bezeichnen, so müßte auch nichtintentional gesteuerte Aufmerksamkeitszuwendung exekutiv genannt werden. Ein derart weiter Begriff eines exekutiven Prozesses soll in der vorliegenden Arbeit jedoch vermieden werden.

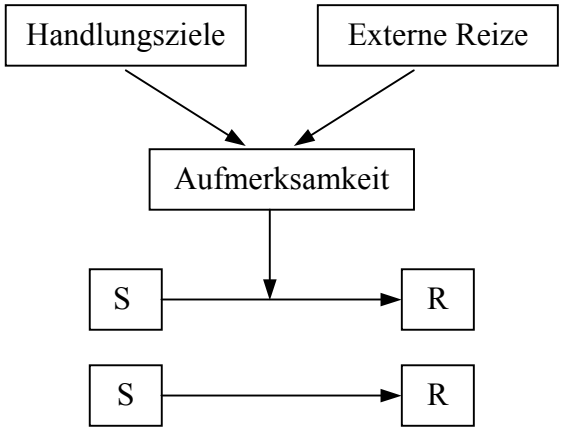


Abbildung 3: Handlungsziele, aber auch externe Reize kontrollieren die Zuwendung von Aufmerksamkeit, und Aufmerksamkeit moduliert basalere Verarbeitungsprozesse. Der untere S-R-Transformationsprozeß ist unabhängig von Aufmerksamkeitszuwendung und ist als automatisch zu klassifizieren. Die beiden exekutiven Prozesse in diesem Modell sind zum einen die Steuerung der Aufmerksamkeit durch Handlungsziele als auch die Zuwendung von Aufmerksamkeit auf die basale Verarbeitung, sofern diese Aufmerksamkeitszuwendung durch Handlungsziele bedingt ist.

4.1.2.1 Funktionen exekutiver Kontrolle

Als übergeordnete Funktion exekutiver Kontrolle wurde bereits die Durchsetzung zieldienlicher Handlungen gegenüber zielhinderlichen, konkurrierenden Handlungstendenzen besprochen. Aber auf welche Weise gelingt eine derartige Durchsetzung intentionaler Handlungen?

Unterschiedliche Funktionen exekutiver Kontrolle bei der Steuerung von Handlungen werden in der Literatur besprochen. Im Rahmen des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley werden Kontrollmechanismen einer einheitlichen Instanz einer „zentralen Exekutive“ zugeschrieben. Entsprechend dem modularen Aufbau des Arbeitsgedächtnisses bestehend aus – neben der zentralen Steuerungsinstanz – zwei getrennten Speichereinheiten wird der zentralen Exekutive vor allem die Koordinierung beider Speichersysteme zugeschrieben. Ist kontrollierte Verarbeitung an die Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis gebunden (demnach nicht alleine über Langzeitgedächtnis-Assoziationen realisiert), so kontrollieren exekutive Mechanismen die Prozesse, welche auf Inhalten des Arbeitsgedächtnisses operieren.

Diese Annahme einer einheitlichen Kontrollinstanz war in frühen theoretischen Ansätzen zur Kontrolle kognitiver Funktionen dominierend (Baddeley, 1986; Norman & Shallice, 1986). Einheitliche Kontrolle läßt sich hierbei explizieren als die Annahme, daß der Prozeß, der den basalen Prozeß A kontrolliert, auch den basalen Prozeß B kontrolliert (Monsell & Driver, 2000). Die überwiegende Anzahl aktueller Ansätze zu exekutiven

Funktionen geht jedoch nicht mehr von einem einheitlichen System einer zentralen Exekutive aus (Allport, 1993; Duncan, Johnson, Swales & Freer, 1997; Jonides, Sylvester, Lacey, Wager, Nichols & Awh, 2003; Kluwe, 1997; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki & Howerter, 2000; Monsell & Driver, 2000; Smith & Jonides, 1999). Entsprechend werden in der neueren Literatur verschiedene Kontrollfunktionen unter dem Terminus „exekutive Funktionen“ besprochen:

Weitgehende Übereinstimmung herrscht dahingehend, daß exekutive Mechanismen die Etablierung und Aufrechterhaltung sowohl des entsprechenden Handlungsziels als auch weiterer relevanter Information im Arbeitsgedächtnis beinhalten („maintenance“) (Allport, 1993; Logan, 1985; Miyake et al. 2000; Smith & Jonides, 1999). Die Inhalte des Arbeitsgedächtnisses müssen fortwährend auf ihre Kompatibilität mit dem aktuellen Handlungsziel überprüft werden („monitoring“) (Allport, 1993; Jonides & Smith, 1997; Smith & Jonides, 1999), nicht mehr relevante Inhalte müssen durch neue, relevante Inhalte ersetzt werden („updating“) (Allport, 1993; Miyake et al., 2000). Den Inhalten des Arbeitsgedächtnisses wiederum wird durch exekutive Funktionen selektiv Aufmerksamkeit zugewendet. Auch der flexible Wechsel zwischen Handlungszielen selber („shifting“) gilt als eine Funktion exekutiver Kontrolle (Allport, 1993; Jonides, Sylvester, Lacey, Wager, Nichols & Awh, 2003; Miyake et al. 2000). In komplexen Aufgaben übernehmen kognitive Funktionen die Aufgabe der Planung von Teilaufgaben, bei der parallelen Bearbeitung mehrerer Aufgaben bestehen exekutive Funktionen in der Koordinierung der Aufgaben und in der Zuweisung von Ressourcen (Jonides & Smith, 1997; Shallice & Burgess, 1991; Smith & Jonides, 1999). Im Anschluß an eine Handlung werden Handlungsbewertung und Korrektur von Fehlern als exekutive Mechanismen gefaßt (Allport, 1993).

Sowohl das Ersetzen alter, irrelevanter Inhalte durch neue Inhalte im Arbeitsgedächtnis als auch der Wechsel des Handlungsziels selber wird hierbei häufig inhibitorischen Mechanismen zugeschrieben (Hasher, Zacks & May, 1999; Jonides & Smith, 1997; Logan, 1985; Logan, 1994; Lustig, Hasher & Tonev, 2001; Miyake at al., 2000; Norman & Shallice, 1986; Smith & Jonides, 1999; Zacks & Hasher, 1994). Insbesondere die Unterdrückung automatisierter oder dominanter Handlungstendenzen – wie bisher am Beispiel von Stroop- und Simon-Aufgaben dargestellt – wird als eine zentrale Funktion exekutiver Kontrolle angesehen.

Zumindest für einige der in der Literatur vorgeschlagenen, exekutiven Funktionen läßt sich Evidenz für eine klare Unterscheidung der einzelnen Prozesse finden: So konnten Miyake et al. (2000) zeigen, daß die Funktionen des Wechsels des Handlungsziels, der

Inhibition konkurrierender Handlungstendenzen und des Anpassens der Inhalte des Arbeitsgedächtnisses tatsächlich unterschiedliche Phänomenbereiche darstellen und die drei Funktionen in unterschiedlichem Maße zu Leistungen in komplexen Testverfahren zu exekutiven Mechanismen beitragen. Jedoch scheinen die drei exekutiven Funktionen auf übergeordneter Ebene Überschneidungen zu besitzen und zu einem noch grundlegenderen Kontrollmechanismus beizutragen.

4.1.2.2 Störungen exekutiver Funktionen

Wie würde kognitive Performanz aussehen, wenn der Einfluß exekutiver Mechanismen nicht oder nicht hinreichend gewährleistet wäre? Interessante Aussagen hierzu lassen sich unter Rekurs auf kognitive Leistungen hirngeschädigter Probanden treffen. Insbesondere Patienten mit Schädigungen im Bereich des präfrontalen Kortex (v.a. dorsolateraler Anteil, für einen Überblick siehe Miller & Cohen, 2001) weisen charakteristische Defizite auf: So zeigen Probanden mit Schädigungen im präfrontalen Kortex zum einen Defizite in der Durchsetzung zieldienlicher Verarbeitung gegenüber zielhinderlicher Verarbeitung, zum anderen in der flexiblen Anpassung der Verarbeitung an neu etablierte Handlungsziele. Beide Defizite werden als Störungen exekutiver Funktionen interpretiert. Die Betrachtung charakteristischer Defizite von Probanden mit derartigen Störungen exekutiver Kontrolle ist insofern relevant, da auf diesem Weg Aussagen über die Funktion exekutiver Kontrolle im ungeschädigten System getroffen werden können.

Probanden mit Schädigungen des präfrontalen Kortex weisen eine charakteristische Störung der Flexibilität ihres Verhaltens auf. Diese Flexibilitätsminderung zeigt sich in einer erhöhten Neigung zu einer starren Beibehaltung einer zuvor korrekten Verarbeitung, auch wenn sich das Handlungsziel ändert. Derartige Defizite flexibler Verarbeitungsmodifikation werden als „Perseverationen“ bezeichnet (Goschke, 2002; Sandson & Albert, 1984) und können als Interferenz einer zuvor relevanten Verarbeitung auf die aktuelle Verarbeitung gefaßt werden.

Eine erhöhte Neigung zu Interferenz durch dominante Handlungstendenzen konnte von Lhermitte (1983) für Patienten mit Schädigungen des präfrontalen Kortex gezeigt werden. So stellte sich das Verhalten dieser Patientengruppe als in hohem Maße reizabhängig dar. Eine erhöhte Reizabhängigkeit des Verhaltens und daraus resultierende Interferenz durch dominante Handlungstendenzen kommt auf der Verhaltensseite durch „utilization behavior“ („Gebrauchshandlungen“) zum Ausdruck. „Utilization behavior“

äußert sich dahingehend, daß, wird ein Stimulus dargeboten, der mit einer dominanten Reaktion assoziiert ist (beispielsweise ist eine Zahnbürste mit dem Handlungstendenz des Zähneputzens assoziiert), dieser Reiz auch ohne Handlungsintention oder sogar entgegen einer aktuellen Handlungsintention die zugehörige Reaktion auslöst. Störungen der Unterdrückung dominanter Handlungstendenzen resultieren neben den bereits erwähnten Läsionen im präfrontalen Kortex aus Läsionen des anterioren Bereichs des cingulären Kortex (Botvinick, Braver, Barch, Carter & Cohen, 2001; Pardo, Pardo, Janer & Raichle, 1990).

4.1.2.3 Modelle exekutiver Kontrolle

Im Folgenden soll eine Auswahl von Modellen exekutiver Kontrolle skizziert werden. Die Auswahl erfolgte zum einen aufgrund primär historischer Bedeutung, als auch aufgrund ihrer Einflußnahme auf die weitere Modellentwicklung. Während Norman und Shallice (Norman & Shallice, 1986) einen generellen Ansatz der Steuerung nicht-routinemäßiger Handlungen vorschlagen, modellieren sowohl Cohen et al. (Cohen, Dunbar & McClelland, 1990) als auch Botvinick und Mitarbeiter (Botvinick, Braver, Barch, Carter & Cohen, 2001) die Durchsetzung zieldienlicher Handlungsbereitschaften gegenüber dominanten Handlungstendenzen (u.a.) im Stroop-Paradigma.

Das Modell von Norman & Shallice (1986)

Als ein historisch bedeutsames Modell exekutiver Kontrolle wird in dem Modell von Norman und Shallice (1986) exekutive Steuerung einer übergeordneten, zentralen Kontrollinstanz zugeschrieben. Norman und Shallice nehmen zwei getrennte Mechanismen zur Etablierung eine spezifischen Handlung an. Bei der Ausführung habitueller Reaktionen erfolgt nach einem ersten Mechanismus die Handlungsauswahl über einen reizgesteuerten Prozeß der Aktivation von Handlungsschemata. Auslösende Reize sind mit Handlungsschemata direkt assoziiert, so daß eine Handlungskontrolle alleine über die in das System eintretenden Stimuli erfolgen kann. Leicht verdeutlichen läßt sich der Mechanismus des reizgesteuerten Auslösens von Aktionsschemata am Beispiel von Routinehandlungen: So kann das morgendliche Betreten der Küche das Handlungsschema des Kaffeekochens aufrufen. Löst ein Reiz mehr als ein Handlungsschema aus, so wird durch wechselseitige Inhibition der Handlungsschemata der Konflikt zwischen parallel

aktiven Schemata gelöst und das am stärksten aktivierte Schema durchgesetzt. Ein derartiger Schlichtungsprozeß bei gleichzeitiger Aktivierung konkurrierender Schemata durch wechselseitige Hemmung wird als „contention scheduling“ bezeichnet. Jedoch wäre adäquates Handeln nicht möglich, würde Verhalten nur durch den Mechanismus der reizbedingten Handlungsauswahl und der wechselseitigen Inhibition der Aktionsschemata gesteuert. Um einem kognitiven System ein nicht-routinemäßiges Handeln zu ermöglichen, bedarf es eines weiteren Steuerungsmechanismus. Dieser zusätzliche Steuerungsmechanismus wird in dem Modell von Norman und Shallice durch ein System kognitiver Kontrolle („supervisory attentional system“: SAS) gewährleistet. Das SAS wird hierbei als einheitliches und seriell arbeitendes System begrenzter Kapazität verstanden. Als eine weitere Einflußgröße auf die Aktivität von Handlungsschemata beeinflußt das SAS die Auswahl der Handlungsschemata durch zusätzliche Aktivation zieldienlicher Schemata und Inhibition zielhinderlicher Schemata und gewährleistet so nicht-routinemäßiges, intentionales Verhalten.

Das Modell von Cohen, Dunbar & McClelland (1990)

Einen neueren Ansatz zur Modellierung exekutiver Mechanismen stellt das konnektionistische Modell des Stroop-Effekts von Cohen, Dunbar und McClelland (1990) und Cohen und Huston (1994) dar.

Das verwendete Modell besteht aus zwei getrennten Verarbeitungspfaden für die beiden modellierten Aufgaben Wortlesen und Farbbenennen. Die Verarbeitungspfade bestehen aus einer Inputschicht, einer verdeckten Schicht, sowie einer Outputschicht, wobei sich beide Verarbeitungspfade lediglich eine Outputschicht teilen. Die Stärke der Verbindungen variiert zwischen dem Verarbeitungspfad des Wortlesens und dem Pfad der Farbbenennung: Eine höhere Verbindungsstärke für den Wortlesepfad würde in stereotyper Bearbeitung der Inputstimuli gemäß der Wortleseaufgabe resultieren, würde das Verhalten des Netzes alleine aus der Netzstruktur resultieren. Zusätzlich zu den beschriebenen Komponenten des Modells sind jedoch Einheiten der Aufgabenerfordernisse („task-demand-units“) in dem Modell implementiert. Zusätzlich zu der Aktivation der Stimulusinputunits geben die task-demand-units Aktivation in die zugehörige verdeckte Schicht ein. Beispielsweise erhöht die task-demand-unit der Farbbearbeitung die Sensitivität der verdeckten Ebene des Farbverarbeitungs-Pfades und reduziert die Sensitivität der verdeckten Ebene des Wortverarbeitungs-Pfades. Die task-demand-units

selber erhalten Aktivation durch übergeordnete Kontrollprozesse. Aufgrund der zusätzlichen Aktivation und Inhibition durch die task-demand-units ist es dem Modell möglich, eine mit der nichtdominanten Farbaufgabe assoziierte Response zu generieren. Die Beeinflussung der Verarbeitung durch Veränderung der Aktivierung der Responseschichten im Hinblick auf die aktuellen Aufgabenerfordernisse macht die task-demand-units zu einer exekutiven Komponente des Modells.

Das Modell konfliktgesteuerter Kontrolle von Botvinick et al. (2001)

Exekutive Mechanismen scheinen vor allem dann eine bedeutende Rolle zu spielen, wenn das kognitive System mit einem Handlungskonflikt konfrontiert ist. Botvinick et al. (Botvinick, Braver, Barch, Carter & Cohen, 2001) schlagen mit ihrem Modell der Konfliktüberwachung einen Ansatz vor, der explizit Kontrollprozesse als Folge der Gewahrwerdung eines kognitiven Konflikts annimmt. Das von Botvinick et al. vorgestellte Modell der Konfliktüberwachung basiert auf dem neuronalen Modell der Stroop-Aufgabe von Cohen und Huston (1994; siehe auch Cohen, Dunbar & McClelland, 1990). Entsprechend dem Modell von Cohen, Dunbar und McClelland (1990) sind für die Wort- und Farbbearbeitung zwei getrennte Verarbeitungspfade modelliert, die beide auf eine gemeinsame Outputschicht konvergieren (im Unterschied zu dem Modell von Cohen et al. (1990) nehmen Botvinick et al jedoch keine Zwischenschicht in ihrem Modell an, vielmehr sind Input- und Outputschicht direkt miteinander verbunden).

Als tatsächliche Erweiterung des Modells von Cohen et al. bzw. Cohen und Huston nehmen Botvinick et al. zusätzlich zu den Stimulus- und Responseeinheiten sowie den task-demand-units eine konfliktsensitive Einheit („conflictmonitoring-unit“) an. Die Aktivität dieser conflictmonitoring-unit ergibt sich aus der parallelen Aktivität konkurrierender Responses: Ein hohes Ausmaß an Responsekonflikt in der Responseschicht bedingt eine hohe Aktivität der konfliktsensitiven Einheit. Durch Einführung einer Rückkopplung wird die Aktivität der konfliktsensitiven Einheit an die entsprechende task-demand-unit rückgemeldet: Im Falle eines hohen Responsekonflikts und damit einer hohen Aktivität der conflictmonitoring-unit wird die Aktivität der task-demand-unit heraufgesetzt, als Folge erhöht sich der modulierende Einfluß der task-demand-unit auf die basalen Verarbeitungspfade. Das von Botvinick et al. vorgeschlagene Modell stellt den Einfluß exekutiver Kontrolle auf basalere Verarbeitung demnach als abhängig vom Ausmaß des Handlungskonflikts dar.

Das von Botvinick et al. vorgeschlagene Modell des Stroop-Effekts bietet eine befriedigende Interpretation der Reduzierung des Stroop-Effekts in Blöcken mit einer hohen Anzahl inkongruenter Stroop-Stimuli (Logan & Zbrodoff, 1979; Long & Pratt, 2002; Lowe & Mitterer, 1982). Unter Darbietung einer hohen Anzahl inkongruenter Stimuli sollte durch die parallele Aktivität konkurrierender Responseeinheiten (einen bestehenden Responsekonflikt ankündigend) die Aktivität der konfliktsensitiven Einheit erhöht sein. Eine hohe Aktivität der konfliktsensitiven Einheit wiederum bedingt eine Verstärkung des Einflusses der zielrelevanten task-demand-unit auf die Verarbeitung und resultiert in einer verstärkten Aktivation aufgabenrelevanter Verarbeitungspfade und Inhibition aufgabenirrelevanter Verarbeitungspfade. Unter Einfluß vermehrter exekutiver Kontrolle zeigt sich demnach eine geringere Interferenz durch irrelevante Information.

4.2 Intentionale Selektion durch Bahnung und Hemmung

Die zur zielgerichteten Steuerung von Handlungen notwendige Selektivität der Verarbeitung ist prinzipiell auf zwei distinkte Mechanismen rückführbar: Einerseits möglich ist eine intentionale Selektion durch Bahnung zieldienlicher Verarbeitung, andererseits kann intentionale Selektion durch Inhibition zielirrelevanter Verarbeitung gegeben sein. In beiden Konzeptionen wird der Verarbeitung zieldienlicher Stimuli und der Verarbeitung zieldienlicher S-R-Zuordnungen ein relativer Verarbeitungsvorteil gegenüber zielirrelevanter Verarbeitung zugeschrieben.

Eine Vielzahl theoretischer Ansätze konzeptualisiert die Verarbeitung zielrelevanter Information als Zuweisung von Aufmerksamkeit zu den zieldienlichen Prozessen (Broadbent, 1958; Posner & Snyder, 1975a; Shiffrin & Schneider, 1977). Selektive Aufmerksamkeit wird demnach in einem Großteil der theoretischen Ansätze als Erleichterung zielrelevanter Verarbeitung gefaßt: Die Zuwendung von Aufmerksamkeit beschleunigt zielrelevante Verarbeitungsprozesse, bezieht sich hingegen nicht auf zielirrelevante Information. Ein Modell selektiver Aufmerksamkeit ohne die Annahme inhibitorischer Mechanismen stellt das schon beschriebene Modell des zentralen Verarbeitungsengpasses von Broadbent (Broadbent, 1958) dar. Als ein Modell früher Selektion wird in dem Filtermodell Broadbents angenommen, daß nichtbeachtete Stimuli bereits auf einer frühen Ebene der Verarbeitung aufgrund physikalischer Charakteristika von der weiteren Verarbeitung ausgeschlossen werden. Lediglich beachteter, d.h. mit

Aufmerksamkeit versehener, Information wird Zugang zum semantischen Verarbeitungssystem gewährt. Die Zuwendung von Aufmerksamkeit stellt demnach einen notwendigen Faktor der weiteren Verarbeitung dar. Da Broadbent keine – über frühe Stufen der Informationsverarbeitung hinausgehende – parallele Aktivation und Verarbeitung irrelevanter Stimuli annimmt, müssen irrelevante Stimuli nicht in einem zweiten Schritt ihrer Aktivität nach herabgesetzt werden. Die Filtertheorie Broadbents impliziert daher keinen Mechanismus der Inhibition zielirrelevanter Stimuli im Sinne einer Herabsetzung der Aktivität der Stimulusrepräsentationen unter eine Baseline (Neill, Valdes & Terry, 1995).

Im Unterschied zu Theorien früher Selektion nehmen Ansätze später Selektion eine parallele Verarbeitung relevanter und irrelevanter Information an (z.B. Deutsch & Deutsch, 1963). Nichtrelevante Information wird bis zur Ebene semantischer Verarbeitung nichtintentional verarbeitet. Zur Gewährleistung konsistenten, zielkonformen Verhaltens ist jedoch ein selektiver Zugang relevanter Information in das Responsesystem notwendig. Theorien später Selektion unterscheiden sich nun dahingehend, auf welche Weise selektive Verarbeitung realisiert wird. Nehmen einige Theorien an, daß irrelevante Information zwar parallel mitaktiviert wird, diese Aktivierung jedoch am Übergang in das Responsesystem endet und die irrelevante Information nichtintentional zerfällt (DeJong, Liang & Lauber, 1994; Hommel, 2000b), nehmen andere Theorien später Selektion an, daß der parallelen Aktivierung irrelevanter Information in einem zweiten Schritt durch inhibitorische Mechanismen entgegengewirkt wird (z.B. Neill, 1977; Tipper, 1985; Tipper & Cranston, 1985).

Ein frühes Aufmerksamkeitsmodell mit der Annahme inhibitorischer Mechanismen stellt das Modell lateraler Hemmung von Walley und Weiden (1973) dar. In Anlehnung an neuronale Prozesse der Inhibition nehmen Walley und Weiden an, daß die Aktivation eines kognitiven Prozesses die Inhibition seines konkurrierenden Gegenspielers auf gleicher Ebene der Verarbeitung zur Folge hat. Einen derartigen Mechanismus wechselseitiger Inhibition kognitiver Prozesse bezeichnen Walley und Weiden als laterale Hemmung. Laterale Hemmung zeigt sich jedoch nicht als unabhängiger Mechanismus der kognitiven Hemmung, sondern als ein an einen Aktivationsprozeß gebundener Inhibitions-mechanismus.

Der Nachweis von Inhibitionsmechanismen als Mechanismen der Handlungs-steuerung führt jedoch zu einem theoretischen Dilemma: Arbeiten zwei Prozesse antagonistisch, und ist die Durchführung eines Prozesses relativ zu seiner Baseline

herabgesetzt, so kann dieser Verarbeitungsnachteil durch die Aktivation des jeweiligen Gegenspielers interpretiert werden und ist nicht an Inhibition des Prozesses selber gebunden. Als ein Beispiel einer Arbeit, deren Befunde sich nicht eindeutig auf Inhibitionsmechanismen zurückführen lassen, läßt sich eine Arbeit von Posner und Snyder (1975b) nennen. Posner und Snyder präsentierten ihren Probanden simultan zwei Zielreize (z.B. AA oder AB), deren Übereinstimmung beurteilt werden sollte. Wurde im Falle identischer Zielreize (z.B. AA) vor der Zielreizpräsentation ein Hinweisreiz präsentiert, welcher den Zielreizen entsprach (A), so zeigte sich relativ zu einer Kontrollbedingung mit neutralem Hinweisreiz eine Reaktionserleichterung. Entsprach der Hinweisreiz hingegen nicht den nachfolgend präsentierten Zielreizen (B), so resultierte eine Reaktionsverzögerung relativ zu der Neutralbedingung. Diesen Befund des relativen Verarbeitungsnachteils durch einen divergierenden Hinweisreiz bezeichneten Posner und Snyder zwar als „inhibition“, der Effekt kann aber nicht eindeutig auf einen Inhibitionsmechanismus zurückgeführt werden. Vielmehr ist es möglich, daß bei der Darbietung des Hinweisreizes Aufmerksamkeit auf diesen Hinweisreiz gerichtet wurde, was aufgrund begrenzter Aufmerksamkeitskapazität in verringerter Aufmerksamkeitszuwendung auf die relevante Information resultierte, sofern Zielreize und Hinweisreiz divergierten. Zur Interpretation des Befundes invalider Cues ist demnach kein Rekurs auf einen Aufmerksamkeitsmechanismus, der selektiv die Aktivität nichtbeachteter Information herabsetzt, notwendig.

Im Unterschied zu der Studie von Posner und Snyder finden sich jedoch experimentelle Paradigmen, welche die Annahme von Inhibitionsmechanismen als Mechanismen der Handlungssteuerung stützen (für einen Überblick siehe z.B. Dagenbach & Kubat-Silman, 2003). Im Folgenden werden die unterschiedlichen experimentellen Paradigmen, in denen inhibitorische Mechanismen für die Handlungssteuerung zentral zu sein scheinen, dargestellt.

4.2.1 Inhibition of Return

Im Cuing-Paradigma zeigt sich der bereits besprochene Effekt, daß ein valider, peripherer Hinweisreiz die Detektion des Zielreizes an dieser Raumstelle erleichtert (z.B. Jonides, 1981; Posner & Cohen, 1984). Dieser Effekt der erleichterten Verarbeitung durch periphere Hinweisreize wird typischerweise attentional-capture-Phänomenen zugeordnet: Der

periphere Hinweisreiz zieht nichtintentional Aufmerksamkeit auf sich, was, korrespondiert die Lokation, auf welche nichtintentional Aufmerksamkeit gerichtet wurde, mit der Zielreizposition, zu einer erleichterten Detektion des Zielreizes führt. Die Zuwendung von Aufmerksamkeit auf periphere Cues fällt in die Kategorie der nichtintentionalen Aufmerksamkeitszuwendung, da auch ohne ein entsprechendes Handlungsziel eine Aufmerksamkeitsrichtung auf den Cue stattfindet. Jedoch sollte sich zeigen, daß eine erleichterte Detektionsleistung eines Targets nach einem validen, peripheren Cue lediglich für die Verwendung kurzer SOAs Gültigkeit hat. Unter Verwendung langer SOAs (300 msec und länger) zeigt sich hingegen ein Nachteil valider, peripherer Hinweisreize (Milliken & Tipper, 1998; Posner & Cohen, 1984). Dieser relative Nachteil valider, peripherer Cues relativ zu einer Neutralbedingung ohne Cues wurde von Posner und Cohen als „inhibition of return" bezeichnet. Das kognitive System exemplifiziert anscheinend einen

> „…bias against returning attention to regions of space that have been previously attended." (Milliken & Tipper, 1998, p. 213)

Dieser Effekt des inhibition of return, die relative Reaktionsverzögerung durch valide, periphere Hinweisreize bei hinlänglich langen Cue-Target-Intervallen, wird typischerweise der Inhibition der Information an einer zuvor mit nichtintentionaler Aufmerksamkeit belegten Raumstelle zugeschrieben.

Inhibition of return stellt einen geeigneten Mechanismus dar, die bereits skizzierten Perseverationstendenzen zu verhindern. Durch den Mechanismus des inhibition of return ist es dem System möglich, eine reizgesteuerte Zuwendung zu neuen (und möglicherweise bedeutsamen) Stimuli zuzulassen, da in einem zweiten Schritt Aufmerksamkeit wieder von der entsprechenden Raumstelle abgezogen wird.

Stellt inhibition of return auch einen Mechanismus der Selektion durch Hemmung dar, so scheint der Mechanismus doch nicht der Kategorie exekutiver Steuerungs-mechanismen zuzuordnen zu sein. Gegen eine Interpretation des inhibition of return als einen exekutiven Prozeß spricht der Befund, daß sich inhibition of return nicht entsprechend dem aktuellen Handlungsziel unterdrücken läßt, sondern vielmehr ein generelles, von Intentionen unabhängiges Phänomen darstellt (Berger, 1992, in Rafal & Henik, 1994).

4.2.2 Negatives Priming

Ein zweiter stabiler, experimenteller Befund, der häufig mit inhibitorischen Mechanismen in Verbindung gebracht wird, ist der Befund des Negativen Primings.

Negatives Priming bezeichnet den relativen Verarbeitungsnachteil von Stimuli, die zuvor als interferierende Stimuli (Distraktoren) ignoriert werden sollten. Soll im aktuellen Durchgang ein Zielstimulus bearbeitet und ein parallel dargebotener Stimulus nicht beachtet werden, so zeigt sich dann eine herabgesetzte Bearbeitungsleistung des Zielitems, wenn das Zielitem im vorherigen experimentellen Durchgang Distraktor war (z.B. Dalrymple-Alford & Budayr, 1966; Lowe, 1979; Lowe, 1998; Neill, 1977; 1979; Neill, Valdes, Terry & Gorfein, 1992; Tipper, 1985; Tipper & Cranston, 1985; Tipper, Weaver & Houghton, 1994; für einen Überblick siehe Milliken & Tipper, 1998; Neill, Valdes & Terry, 1995). Das Paradigma des Negativen Primings stellt eine weitere Möglichkeit dar, zwischen Ansätzen, welche Selektion alleine bahnenden Mechanismen zuschreiben und Ansätzen, die sowohl Bahnung als auch Hemmung als Mechanismen der Handlungssteuerung annehmen, zu unterscheiden. Unter alleiniger Annahme von bahnenden Prozessen sollten in Theorien später Selektion sowohl Zielitem als auch Distraktor bis zur Ebene semantischer Verarbeitung analysiert werden. Während dann jedoch die Zielitem-Information in das Responsesystem gelangt, zerfällt die Aktivation der irrelevanten Distraktorinformation nichtintentional. Wird im nachfolgenden Durchgang auf eben diese Distraktorinformation erneut zugegriffen (indem der Distraktor des Vordurchgangs zum aktuellen Zielitem wird), so sollte dieses Zielitem entweder leichter verfügbar sein als ein nicht mit dem Vordurchgang assoziiertes Zielitem (durch Restaktivation aus dem Vordurchgang, sofern der Zerfall der Aktivation noch nicht abgeschlossen ist) oder im Falle abgeschlossenen Zerfalls der Aktivation in gleichem Ausmaß bearbeitbar sein wie ein nicht assoziiertes Zielitem. Die tatsächliche Herabsetzung der Verarbeitung eines Zielreizes, welcher im Vordurchgang ignoriert wurde, unter eine Baseline spricht jedoch gegen einfache Aktivationsmodelle, sondern ist vielfach mit Inhibitionsmechanismen interpretiert worden.

Der erste Nachweis Negativen Primings wurde von Dalrymple-Alford und Budayr (1966) unter Verwendung von Stroop-Stimuli erbracht. Dalrymple-Alford und Budayr fanden verzögerte Antwortzeiten in der Farbbenennaufgabe, wenn die Schriftfarbe der verwendeten Stroop-Stimuli jeweils der Wortbedeutung des Vordurchgangs entsprach (beispielsweise wenn die Reaktion „rot“ auf das in roter Schriftfarbe geschriebene Farbwort

„blau“ gegeben werden sollte, der Stimulus der Voraufgabe jedoch das Farbwort „rot“ (in einer beliebigen konfligierenden Schriftfarbe) darstellte). Dalrymple-Alford und Budayr, ebenso wie Neill (1977) in seiner Replikation der Befunde, interpretierten den gefundenen Effekt unter Rekurs auf einen Inhibitionsmechanismus, der die Aktivation der mentalen Repräsentation des Distraktors unter die Baseline herabsetzt. In der Folgezeit entwickelte sich aus dem Grundbefund des Negativen Primings eine überwältigende Forschungstradition, innerhalb derer sich Negatives Priming als ein generelles Phänomen zeigte, welches über eine große Anzahl an Untersuchungsmethoden Bestand hatte (für eine Übersicht siehe Neill, Valdes & Terry, 1995). Der Begriff des Negatives Primings wurde jedoch erst zwanzig Jahre nach dem ersten Nachweis des Effekts durch Dalrymple-Alford und Budayr von Tipper (1985) geprägt.

4.2.2.1 Inhibitionsinterpretationen des Negativen Primings

Eine prominente Interpretation des Negativen Primings besteht in der Annahme, daß die Distraktorinformation des Vordurchgangs als Folge von Interferenz oder zur Überwindung eines Reaktionskonflikts inhibiert wurde. Unter einer derartigen Inhibitionsinterpretation des Negativen Primings ist genauer zu spezifizieren, auf welche Aspekte der Distraktorinformation sich Inhibition bezieht.

Möglich ist eine Annahme dahingehend, daß sich Inhibition auf die gesamte Repräsentation des Distraktors richtet (Dalrymple-Alford & Budayr, 1966; Neill, 1977). Eine Inhibition der Distraktorrepräsentation entspricht der Annahme einer Inhibition bereits auf frühen Stufen der Verarbeitung. Gegen die Annahme der Inhibition der gesamten Repräsentation des Distraktors spricht hingegen die Abhängigkeit Negativen Primings von konfligierender Information im aktuellen Durchgang. So konnte Lowe (1979; siehe auch Tipper & Cranston, 1985) zeigen, daß Negatives Priming nur dann auftritt, wenn im aktuellen Durchgang zusätzlich zu dem Zielitem Distraktorinformation dargeboten wurde. Wurde im aktuellen Durchgang hingegen kein Reaktionskonflikt erwartet, sondern das Zielattribut alleine dargeboten, zeigte sich eine Reaktionserleichterung, wenn das Zielattribut des aktuellen Durchgangs mit dem Distraktor des Vordurchgangs übereinstimmte. Negatives Priming scheint demnach an Selektionsanforderungen im relevanten Versuchsdurchgang gebunden zu sein: Ohne Selektionserfordernisse kehrt sich Negatives Priming in positives Priming um.

Tipper und Cranston (1985) nahmen diesen Befund als Evidenz für ihre Hypothese, daß nicht die gesamte Stimulusrepräsentation des Distraktors inhibiert wird, sondern daß sowohl die Repräsentation des Zielitems als auch die Repräsentation des Distraktors aktiviert sind, der Zugang der Distraktorrepräsentation zum Reaktionssystem jedoch blockiert ist. Negatives Priming kann dem Ansatz von Tipper und Cranston nach auftreten, obwohl die Distraktorrepräsentation selber hoch aktiv ist. Resultiert Negatives Priming alleine aus der Blockierung des Responsesystems, so läßt sich aufgrund der hohen Aktivierung der Distraktorrepräsentation leicht die Umkehrung des Negativen Primings in positives Priming bei Wegfall der Responseblockierung fassen. Durch die Annahme, daß Distraktorinformation vom Zugang zum Reaktionssystem ausgeschlossen ist, fokussiert der Ansatz von Tipper und Cranston auf Inhibitionsmechanismen auf späten Ebenen der Verarbeitung.

Responseblockierung als Ursache des Negativen Primings ist nicht als Inhibition einer spezifischen Response zu fassen: So zeigte sich Negatives Priming unabhängig davon, ob die Response des Vordurchgangs beibehalten oder gewechselt wurde (Neill, Lissner & Beck, 1990). Dieser fehlende Effekt der Responsesequenz zeigt, daß Negatives Priming nicht auf die Inhibition einer bestimmten Response, sondern tatsächlich auf die Inhibition der Übertragung des Distraktors in das Responsesystem zurückzuführen ist. Auch der Befund, daß Negatives Priming sich über verschiedenen Responsemodalitäten hinweg zeigt (Tipper, MacQueen & Brehaut, 1988; Tipper, Weaver & Kirkpatrick, 1991), stellt Evidenz dafür dar, daß nicht der Zugang der Distraktorrepräsentation zu einer spezifischen Response blockiert ist, sondern daß nichtbeachtete Information vom Responsesystem als Ganzem entkoppelt ist:

> „The present results are most consistent with the position that ignored stimuli are denied access to the response system as a whole." (Neill, Lissner & Beck, 1990, p. 400)

Houghton und Tipper (1994) stellen einen Modellierungsversuch der Inhibitions-interpretation des negativen Primings vor. In ihrem neuronalen Netzwerk wird eingangs eine Schablone mit den zielreizspezifizierenden Merkmalen generiert. Ist beispielsweise die Farbe „rot" das entscheidende Charakteristikum, welches einen Stimulus als Zielstimulus spezifiziert, so trägt die Schablone das Merkmal „rot". Eingehende Information wird nun hinsichtlich ihrer Passung zu der generierten Schablone analysiert: Information, die mit der Schablone übereinstimmt (die damit das Zielitemkriterium erfüllt), erhält zusätzliche

Aktivation, Information mit fehlender Passung wird inhibiert. Inhibition breitet sich in dem neuronalen Netz auf alle Merkmale des Distraktors gleichermaßen aus, so daß das Ausmaß des Negativen Primings um so größer ist, je stärker das aktuelle Zielitem mit dem Distraktor des Vordurchgangs übereinstimmt. Inhibition richtet sich in dem Modell von Houghton und Tipper also wieder wie in frühen Arbeiten zum Negativen Priming angenommen, auf die Repräsentation des Distraktors. Es erstaunt demnach nicht, daß das Modell von Houghton und Tipper nicht die Umkehrung Negativen Primings in positives Priming bei fehlenden Selektionsanforderungen im aktuellen Durchgang modelliert.

4.2.2.2 Negatives Priming als Effekt des episodischen Gedächtnisses

Eine Reihe von Studien fokussierte auf zeitliche Charakteristika Negativen Primings (DeSchepper & Treisman, 1996; Neill & Valdes, 1992; Neill, Valdes, Terry & Gorfein, 1992; Neill & Westberry, 1987; Tipper, Weaver, Cameron, Brehaut & Bastedo, 1991). Fanden einige Studien einen rapiden Rückgang des Negativem Primings mit zunehmendem Intervall zwischen der Reaktion im Vordurchgang und der Präsentation des aktuellen Targets (Response-Stimulus-Intervall: RSI; beispielsweise fanden Neill und Westberry (1987) nach 2000 msec RSI keinen Effekt des Negativen Primings mehr), konnten andere Studien ein Persistieren des Negativen Primings aufzeigen. So folgte in der Studie von Tipper et al. (Tipper, Weaver, Cameron, Brehaut & Bastedo, 1991) Negatives Priming keiner Zerfallsfunktion. Tatsächlich präsentierten DeSchepper und Treisman (1996) Daten, die ein Persistieren von Negativem Priming für den Zeitraum von einem Monat aufzeigten. Ein derart langanhaltendes Negatives Priming gilt als nicht leicht vereinbar mit Inhibitionsansätzen des Negativen Primings, bedarf es doch eines Aufzeigens der Funktionalität derartig langfristiger Inhibition.

Neill und Mitarbeiter (Neill & Valdes, 1992; Neill, Valdes, Terry & Gorfein, 1992) präsentierten daher eine alternative Interpretation des Negativen Primings als Effekt des episodischen Gedächtnisses ohne Rekurs auf inhibitorische Mechanismen. In ihrer, auf der Instanzentheorie Logans (1988) basierenden, Theorie des episodischen Gedächtnisabrufs führen Neill und Mitarbeiter den Effekt des Negativen Primings auf den Abruf einer Gedächtnisepisode zurück, in welcher der jetzt relevante Zielstimulus mit einer „Nichtresponse“ assoziiert ist. Diese Nichtresponse konfligiert mit der aktuell zu gebenden Response und führt zu den erhöhten Latenzen in Bedingungen des Negativen Primings. Negatives Priming verdankt sich in diesem Ansatz demnach nicht einem

vorwärtsgerichteten Mechanismus der Inhibition, welcher vom Vordurchgang zum aktuellen Durchgang persistiert, sondern einem vom aktuellen Durchgang ausgehenden, rückwärts gerichteten Abruf einer Gedächtnisepisode. Die Verringerung des Negativen Primings über dem RSI läßt sich in dem Gedächtnisabruf-Ansatz als erschwerten Abruf einer konfligierenden Episode bei größerem zeitlichen Abstand zwischen Episode und Abrufzeitpunkt konzeptualisieren.

Jedoch findet sich mindestens ein Befund, der nicht mit einer alleinigen episodischen Interpretation des negativen Primings vereinbar ist. So zeigte sich dann kein Negatives Priming, wenn die Probanden im Vordurchgang selbständig entscheiden konnten, auf welchen der Stimuli sie reagieren wollten (Baylis, Tipper & Houghton, 1997). Im Rahmen der Gedächtnisabrufkonzeption sollte auch die freie Entscheidung, auf einen Stimulus zu reagieren und einen anderen zu ignorieren, zu einer Bindung zwischen dem ignorierten Stimulus und einer Nullresponse führen und daraus folgend in Negativem Priming resultieren.

Zur Überwindung des theoretischen Dissens der Interpretationen des Negativen Primings ist kürzlich ein Integrationsversuch der Theorie des Gedächtnisabrufs und den Annahmen zur Responseblockierung vorgeschlagen worden (Tipper, 2001). In seinem Hybrid-Modell vertritt Tipper den Ansatz, daß beide Ansätze lediglich auf unterschiedliche Aspekte der Informationsverarbeitung fokussieren: Während der Inhibitionsansatz auf die Mechanismen im Enkodierprozeß des Zielitems im Vordurchgang fokussiert, berücksichtigt die Gedächtnisabrufhypothese vornehmlich den Abrufprozeß in dem aktuellen Durchgang.

Festzuhalten bleibt demnach, daß zumindest eine inhibitorische Komponente an dem Effekt des Negativen Primings beteiligt zu sein scheint.

4.2.2.3 Negatives Priming als Effekt eines intentionalen Inhibitionsmechanismus

Negatives Priming wurde bereits dargestellt als ein nachhaltiger Effekt eines Mechanismus, welcher zumindest eine inhibitorische Komponente enthält. Inwieweit läßt sich dieser inhibitorische Prozeß als ein exekutiver Steuerungsmechanismus fassen? Im Folgenden sollen vier Befunde genannt werden, welche die Annahme nahelegen, daß Negatives Primings aus dem Persistieren eines exekutiven Mechanismus resultiert (Tipper, 2001).

Zum einen deuten Experimente zur Abhängigkeit des Negativen Primings von zeitlichen Charakteristika der Aufgabe sowie von der Art der Aufgabeninstruktion an, daß

es sich bei negativem Priming um einen intentionalen Mechanismus handelt. So konnte gezeigt werden, daß Negatives Priming nicht bei kurzen SOAs (50 msec, Lowe, 1985) und nicht bei Betonung der Geschwindigkeit in der Aufgabeninstruktion auftritt (Neill, 1979; Neill & Westberry, 1987). Unter Aufgabeninstruktionen mit Betonung der Geschwindigkeit zeigte sich in der Bedingung, die typischerweise zu Negativem Priming führt, sogar der invertierte Effekt des positiven Primings. Inhibition scheint sich demnach erst aufbauen zu müssen. Die Befunde sind vereinbar mit der Annahme, daß sich zu einem frühen Zeitpunkt Aktivation sowohl auf das Zielitem als auch auf den Distraktor ausbreitet und daß erst zu einem späteren Zeitpunkt eine aufmerksamkeitsabhängige und intentionale Hemmung der irrelevanten Information stattfindet.

Die Aufmerksamkeitsabhängigkeit Negativen Primings wird zudem nahegelegt durch Studien zur Bewußtheit der Beziehung zwischen Distraktor und Zielreiz: So konnte gezeigt werden, daß Negatives Priming daran gebunden ist, daß die Beziehung zwischen Distraktor und Zielreiz nicht durchschaut wurde (Hasher, Stoltzfuß, Zacks & Rypma, 1991).

Auch die Abhängigkeit der Höhe des Negativen Primings von der Anzahl der Distraktoren läßt sich im Sinne eines intentionalen Inhibitionsmechanismus als Ursache des Negativen Primings interpretieren. In einer Studie von Neumann und DeSchepper (1992) zeigte sich, daß die Höhe des Negativen Primings mit Zunahme der Distraktoranzahl im Vordurchgang abnimmt. Dieser Befund legt die Annahme nahe, daß sich ein der Kapazität nach begrenztes Ausmaß an Inhibition im Vordurchgang auf die verschiedenen Distraktoren verteilt. Aufgrund dieser begrenzten Kapazität der Inhibition resultiert bei einer größeren Anzahl an Distraktoren für jeden einzelnen Distraktor ein geringeres Ausmaß an Inhibition, welches sich in einem verminderten Ausmaß an Negativem Priming zeigt. Die Evidenz für Kapazitätsabhängigkeit der Inhibition legt nahe, daß es sich bei dem Inhibitionsmechanismus um einen aufmerksamkeitsabhängigen Prozeß handelt.

Ein vierter Befund, der Inhibition im Paradigma des Negativen Primings als einen intentionalen Steuerungsmechanismus darstellt, ist der Befund selektiver Inhibition. Es stellt sich die Frage, ob ein Mechanismus, welcher Distraktoren und Distraktormerkmale in gleicher Weise mit Inhibition belegt, funktional ist. Ist Inhibition tatsächlich ihrer Kapazität nach begrenzt, so erscheint es für das kognitive System funktional, lediglich die Information der Distraktoren zu inhibieren, welche tatsächlich einen Handlungskonflikt evoziert. Tatsächlich wurden Befunde vorgestellt, die einen selektiven Inhibitionsmechanismus nahelegen. Bestand in einer Studie von Tipper et al. (Tipper,

Weaver & Houghton, 1994) das Handlungsziel beispielsweise in der Beurteilung der Lokation des Zielreizes, so zeigte sich Negatives Priming für die Lokationinformation der Distraktorstimuli. Es zeigte sich jedoch kein Negatives Priming, wenn die Identität des Distraktors der Voraufgabe der Identität des aktuellen Targets entsprach. Richtete sich die geforderte Beurteilung hingegen auf die Identität des Zielreizes, so zeigt sich kein Negatives Priming mehr für die Lokation des Distraktors, jedoch für die Identität des Distraktors. Es scheinen demnach nur diejenigen Merkmale selektiv an einem Distraktor inhibiert zu sein, die, würden sie Zugang zur Handlungssteuerung erhalten, einen Handlungskonflikt hervorrufen würden[8]. Die Inhibition der Distraktorrepräsentation wird in dieser Konzeption demnach im Unterscheid zu dem Modell von Houghton und Tipper (1994) und den Daten der zuvor geschilderten Untersuchung von Neumann und DeSchepper (1992) nicht als ein vom aktuellen Handlungsziel invarianter Prozeß, sondern vielmehr als modulierbar durch die Anforderungen der aktuellen Aufgabenstellung gefaßt. Die Sensitivität des Negativen Primings für das aktuelle Handlungsziel deutet an, daß es sich bei dem angenommenen Inhibitionsmechanismus nicht um einen automatischen, sondern vielmehr um einen intentionalen Mechanismus der Handlungssteuerung handelt. Die Annahme der Relevanz aktueller Handlungsziele für das Negative Priming findet sich in folgenden Aussagen wieder:

> „…inhibitory control of cognition would not require inhibition of processing all irrelevant stimuli, but rather those stimuli that evoke responses that are incompatible with current goals, for example, when the stroop distractor word evokes a response incompatible with the goal of naming the color." (Neill, Valdes & Terry, 1995, p. 228)

> "The goal of the task determines which internal representations of the distractor compete with the response to the target, and it´s these representations that are associated with inhibition." (Tipper, Weaver & Houghton, 1994, p. 812)

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß Negatives Priming als ein experimenteller Befund betrachtet werden kann, welcher die Funktion eines Inhibitionsmechanismus der selektiven Aufmerksamkeit herausstellt. Inhibition wird damit als Mechanismus der

[8] Auch die Debatte zum Negativen Priming, ob sich Inhibition auf perzeptuelle oder auf semantische Attribute richtet (Tipper & Driver, 1988), ist im Sinne selektiver Inhibition zu lösen: Entsprechend der Art der zu bearbeitenden Aufgabe (semantisch versus perzeptuell) richtet sich Inhibition auf semantische versus physikalische Eigenschaften des Distraktors.

Handlungssteuerung eine herausragende Rolle zugeschrieben. Zum einen zeigt Negatives Priming das Persistieren eines inhibitorischen Steuerungsmechanismus, zum anderen besteht die Möglichkeit, Negatives Priming selber als Kontrollmechanismus zu interpretieren: Die Funktion Negativen Primings könnte darin bestehen, ein Objekt, welches einmal ignoriert wurde, weiterhin zu ignorieren, da typischerweise Objekte dann ignoriert werden, wenn sie wenig relevant sind. Durch Negatives Priming wird es dadurch ermöglicht, die Aufmerksamkeit auf relevante Aspekte der Reizumwelt zu fokussieren:

> „thus, np may provide the very mechanism by which we can sustain attention to a relevant source of information over time." (Neill, Valdes & Terry, 1995, p. 253)

4.2.3 Inhibition als Steuerungsmechanismus im Stroop- und Simon-Paradigma

Die Bedeutung von inhibitorischen Mechanismen zur Handlungssteuerung im Stroop-Paradigma läßt sich leicht an Modellen der Stroop-Interferenz verdeutlichen: Die Durchsetzung einer nichtdominanten Verarbeitung (z.B. Farbbenennen) wird typischerweise neben zusätzlicher, steuernder Aktivation dieses Verarbeitungspfades der Inhibition des konkurrierenden, dominanten Verarbeitungspfades (z.B. Wortlesen) zugeschrieben (Botvinick, Braver, Barch, Carter & Cohen, 2001; Cohen, Dunbar & McClelland, 1990).

Neben der Annahme inhibitorischer Steuerung bei der Bearbeitung stroopartiger Aufgaben finden sich auch im Simon-Paradigma und im Paradigma räumlicher Reiz-Reaktions-Kompatibilität Evidenzen für einen exekutiven Mechanismus der Inhibition. Im Paradigma der Reiz-Reaktions-Kompatibilität zeigte sich bei gemeinsamer Darbietung räumlich kompatibler und räumlich inkompatibler Durchgänge in einem Experimentalblock relativ zu einheitlichen Blöcken eine Reduzierung des Kompatibilitätseffekts. Eine Mischung der Reiz-Reaktions-Zuordnungen führte dabei generell zu einer Reaktionsverzögerung, im besonderen Maße jedoch zu einer Verlangsamung der kompatiblen Aufgabe und bedingte so die Abnahme des Kompatibilitätseffekts (Stoffels, 1996a; 1996b). Im Simon-Paradigma zeigte sich – wie bereits in dem Abschnitt über die intentionale Modulierung des Stroop- und Simon-Effekts (3.6.3) erwähnt – eine Reduzierung oder Invertierung des Simon-Effekts zum einen nach Durchgängen einer inkompatiblen Lokationsaufgabe, zum anderen nach Simon-Durchgängen mit einer inkompatiblen S-R-Zuordnung (DeJong, Liang & Lauber, 1994). Auch das Erhöhen der

Wahrscheinlichkeit inkompatibler Simon-Durchgänge reduzierte oder invertierte den Simon-Effekt (Stürmer, Leuthold, Soetens, Schröter, Sommer, 2002).

Sowohl die Befunde im räumlichen Kompatibilitätsparadigma als auch die Befunde im Simon-Paradigma werden häufig durch einen inhibitorischen Mechanismus zu interpretieren versucht. Unter der Annahme zweier Verarbeitungsrouten, gemäß derer eine räumlich kompatible Reaktion auf das räumliche Merkmal des entsprechenden Stimulus über eine automatische Verarbeitungsroute unter Nutzung von LZG-Verbindungen erfolgen kann (siehe Abschnitt 3.5.2) und eine zweite Route kontrollierte Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis erfordert, lassen sich die Befunde dahingehend interpretieren, daß in bestimmten Experimentalbedingungen die automatische Route inhibiert wird (Stoffels, 1996a; 1996b Stürmer, Leuthold, Soetens, Schröter, Sommer, 2002). Wird beispielsweise im Vordurchgang ein Reaktionskonflikt durch eine räumlich nichtkorrespondierende S-R-Zuordnung evoziert, so wird zur Vermeidung fehlerhafter Antworten die gesamte nichtintentionale Verarbeitungsroute inhibiert und somit der Einfluß der Route nivelliert. Die Hemmung der automatischen Verarbeitungsroute persistiert und bedingt die Reduktion oder Eliminierung des Simon-Effekts im nachfolgenden Durchgang. In entsprechender Weise wird die Reduktion des Kompatibilitätseffekts bei Mischung räumlich kompatibler und räumlich inkompatibler Aufgaben interpretiert: Werden beide Aufgabentypen in einem Block gemischt, so kann das System nicht (wie bei alleiniger Darbietung kompatibler Aufgaben) den Stimulus über die automatische Route verarbeiten. Zur Vermeidung einer hohen Fehlerzahl wird daher die automatische Verarbeitungsroute gehemmt, so daß jetzt sowohl kompatible als auch inkompatible Aufgaben über die kontrollierte Route verarbeitet werden müssen (Stoffels, 1996a; 1996b).

Auch die Reduktion oder Eliminierung des Simon-Effekts bei langen Reaktionszeiten zeigt die Funktion eines inhibitorischen Mechanismus an. Im Unterschied zu der Annahme einer Hemmung der gesamten automatischen Verarbeitungsroute wird zur Interpretation dieser Daten jedoch auf die Inhibition eines automatisch erzeugten Responsekodes rekurriert. Wäre prinzipiell eine alternative Interpretation der Eliminierung des Simon-Effekts bei langen Reaktionszeiten durch einfachen Zerfall der irrelevanten Lokationsinformation möglich (DeJong, Liang & Lauber, 1994; Hommel, 1993b; 2000b), so deuten neuere Daten mit Fokussierung auf die Antwortkorrektheit im Vordurchgang tatsächlich auf die Etablierung eines Inhibitionsprozesses hin. Zeigte sich in der Betrachtung der Verteilungsfunktionen der Reaktionszeiten generell eine Reduzierung des Simon-Effekts bei längeren Reaktionszeiten, so zeigte sich eine verstärkte Reduzierung des

Simon-Effekts bei längeren Reaktionszeiten, wenn der Vordurchgang tatsächlich fehlerhaft oder wenn im Vordurchgang vor der Gabe der Reaktion eine verstärkte Muskelaktivität des „falschen“ Effektors nachweisbar war (Burle, Possamai, Vidal, Bonnet & Hasbroucq, 2002; Ridderinkhof, 2002). Wäre die Reduzierung des Simon-Effekts bei längeren Reaktionszeiten alleine auf einen nichtintentionalen Zerfall der Lokationsinformation zurückzuführen, so sollte sich keine Abhängigkeit dieser Reduktion des Simon-Effekts von der Antwortkorrektheit im Vordurchgang zeigen. Diese Abhängigkeit ist hingegen vereinbar mit der Annahme einer intentionalen Inhibition der automatischen Lokationsverarbeitung: Nach einem inkorrekten Durchgang wird der automatisch durch die irrelevante Lokationsinformation erzeugte Responsekode in besonderem Maße gehemmt, was im nachfolgenden Durchgang in Abhängigkeit von der Reaktionszeit den Einfluß der Positionsinformation (und damit den Simon-Effekt) reduziert oder eliminiert. Die dieser Annahme intentionaler Herabsetzung von Responseaktivation zugrundeliegende Hypothese läßt sich im Sinne einer Aktivations-Hemmungs-Hypothese (Ridderinkhof, 2002) zusammenfassen: So wird angenommen, daß in einem ersten Schritt Responsekodes nichtintentional durch das irrelevante Lokationsattribut des verwendeten Stimulus direkt (unter Umgehung des Arbeitsgedächtnisses) aktiviert werden und diese Aktivation in einem zweiten Schritt selektiv und intentional gehemmt wird.

4.2.4 Inhibition als Selektionsfunktion im Arbeitsgedächtnis

Die Forschergruppe um Hasher und Zacks (Hasher, Zacks & May, 1999; Lustig, Hasher & Tonev, 2001; Zacks & Hasher, 1994) weist in ihren Studien zum instruierten Vergessen dem Mechanismus der Inhibition eine zentrale Funktion bei der Handlungssteuerung zu. Eine Möglichkeit der Handlungssteuerung besteht durch die Kontrolle der Inhalte des Arbeitsgedächtnisses. Handlungskontrolle kann demnach aufgrund des Einflusses von Inhibitionsmechanismen auf die Inhalte des Arbeitsgedächtnisses erfolgen:

> „..inhibitory attentional mechanisms play an essential role in the efficient operation of the cognitive system via their control over the contents of working memory.“ (Zacks & Hasher, 1994, p. 242)

Hasher et al. weisen Kontrollmechanismen verschiedene Funktionen mit Bezug auf die Inhalte des aktivierten Gedächtnisses zu: So ist es zur Verringerung von Interferenz und zur

Gewährleistung adäquater Handlungen notwendig, die zur Erreichung eines aktuellen Handlungsziels irrelevante Information aus dem Arbeitsgedächtnis fernzuhalten bzw. irrelevant gewordene Information (z.B. nach Änderung des Handlungsziels) aus dem Arbeitsgedächtnis zu löschen. Sowohl die Funktion des Verwehrens von Zutritt in das aktivierte Gedächtnis als auch die Funktion der Löschung von Inhalten aus dem Arbeitsgedächtnis wird Inhibitionsmechanismen zugeschrieben.

Die Funktion des Freihaltens des Arbeitsgedächtnisses von irrelevanter Information läßt sich anhand von Studien mit Probanden mit defizitären Inhibitionsleistungen herausstellen. So zeigten beispielsweise ältere Probanden in einem Leseexperiment relativ zu jüngeren Probanden eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Distraktoren eines anderen Schrifttyps trotz der expliziten Instruktion, diese Distraktoren zu ignorieren (Connelly, Hasher & Zacks, 1991). Connelly et al. interpretieren den Befund dahingehend, daß defizitäre Inhibitionsmechanismen älterer Probanden dazu beitragen, daß irrelevante Information Zugang zum aktivierten Gedächtnis erhält.

Das Löschen nicht mehr relevanter Information aus dem Arbeitsgedächtnis stellt eine zweite Funktion inhibitorischer Kontrolle dar. Erneut in einer Untersuchung älterer Probanden boten Hartmann und Hasher (1991; siehe auch Hasher, Zacks & May, 1999) Satzfragmente dar, in denen das letzte Wort ergänzt werden sollte. Nach jeder Satzergänzung wurde den Probanden ein Zielwort dargeboten, welches den Satz tatsächlich ergänzte. Dieses Zielwort stellte in der Hälfte der Fälle das von dem Probanden zuvor generierte Wort, in der anderen Hälfte jedoch ein neues Wort dar. Nach Beendigung der Satzergänzungsaufgabe wurde in einem impliziten Gedächtnistest die Verfügbarkeit der generierten und der experimentell dargebotenen Wörter überprüft. Ältere Probanden zeigten hierbei das gleiche Ausmaß an Priming sowohl durch die experimentell dargebotenen Zielwörter als auch durch die selbst generierten und durch nachfolgende experimentelle Darbietung der Zielwörter als falsch herausgestellten Ergänzungswörter. Die nachträgliche Information, daß es sich bei den selbst generierten Wörtern um „falsche“ Satzendigungen handelte, resultierte demnach bei älteren Probanden nicht darin, daß die jetzt irrelevant gewordene Information aus dem Arbeitsgedächtnis gelöscht wurde. Auch Studien zum instruierten Vergessen („directed forgetting“) stellen die Funktion des Löschens irrelevanter Inhalte aus dem Arbeitsgedächtnis als zweite Funktion von inhibitorischen Kontrollmechanismen heraus. Erhielten Probanden die explizite Instruktion, bestimmte Inhalte einer gelernten Itemliste zu vergessen, so zeigte sich bei älteren Probanden in einem nachfolgenden Erinnerungstest der zu merkenden Items ein erhöhtes

Ausmaß an Intrusionen durch die zu vergessenden Items. Das erhöhte Ausmaß an Intrusionen stellt ein Defizit der Probanden dar, nachträglich als irrelevant klassifizierte Information aus dem Arbeitsgedächtnis zu löschen.

Als eine dritte Funktion inhibitorischer Kontrolle stellen Hasher et al. die Inhibition starker Reaktionstendenzen heraus. Unter Verwendung des Stroop-Paradigmas konnten Long und Pratt (2002) inhibitorische Mechanismen zur Vermeidung starker Reaktionstendenzen aufzeigen und einen Zusammenhang zwischen derartigen Inhibitionsmechanismen und Charakteristika des Arbeitsgedächtnisses darlegen. So konnten Long und Pratt zeigen, daß eine Verringerung der Stroop-Interferenz in Blöcken mit einer hohen Anzahl inkongruenter Durchgänge (siehe auch Logan & Zbrodoff, 1979) lediglich für Probanden mit einer hohen Kapazität des Arbeitsgedächtnisses möglich war. Diese Reduktion der Stroop-Interferenz bei hoher Arbeitsgedächtniskapazität wird unter Rekurs auf einen inhibitorischen Mechanismus interpretiert: Wurde auf eine zu benennende Schriftfarbe gewechselt, welche im Vordurchgang die zu ignorierende Wortbedeutung darstellte (Paradigma des Negativen Primings), so zeigte sich für die Probanden mit hoher Arbeitsgedächtniskapazität ein signifikanter Effekt des Negativen Primings. Der Effekt des Negativen Primings der Schriftfarbe deutet an, daß die irrelevante Wortinformation im Vordurchgang in einem ersten Schritt nichtintentional verarbeitet und nachfolgend inhibiert wurde.

Die Inhibition starker Reaktionstendenzen kann alternativ am Beispiel des Stop-Signal-Paradigmas aufgezeigt werden (Logan, 1994).

4.2.5 Inhibition als Selektionsfunktion beim Handlungsabbruch

Experimente im Stop-Signal-Paradigma (Hasher, Zacks & May, 1999; Logan, 1994) lassen sich häufig in zwei Phasen gliedern: Eine erste Phase beinhaltet die Übung in einer experimentell relevanten Aufgabe (z.B. einer einfachen Kategorisierungsaufgabe), in einer zweiten Phase werden die Probanden instruiert, nicht mehr in jedem Durchgang die geübte S-R-Zuordnung auszuführen, sondern die Handlung immer dann nicht auszuführen, wenn parallel zur Stimulusdarbietung ein Signal (das Stop-Signal) dargeboten wird. Ähnlich der Beobachtung, daß kognitive Systeme in der Lage sind, in unterschiedlicher Weise auf einen Stimulus zu reagieren, stellt auch die Beobachtung der Möglichkeit, entsprechend der jeweiligen Aufgabeninstruktion zu einem Zeitpunkt auf einen Stimulus zu antworten und

zu einem zweiten Zeitpunkt auf den identischen Stimulus nicht zu reagieren, Evidenz für einen exekutiven Steuerungsmechanismus dar (Logan, 1994). Das Abbrechen einer Handlung im Stop-Signal-Paradigma ist hierbei nicht auf einen nichtintentionalen Nebeneffekt eines intentionalen Aktivationsprozesses zurückzuführen, sondern ist tatsächlich durch einen inhibitorischen Kontrollmechanismus bedingt.

4.2.6 Inhibition als Selektionsfunktion beim Gedächtnisabruf

Erfolgreicher Gedächtnisabruf ist an die Fähigkeit zur Vermeidung des Abrufs irrelevanter Information gebunden. Derzeit existieren einige Studien, in denen der Abruf aus dem Langzeitgedächtnis mit der Inhibition irrelevanter Information in Verbindung gebracht wird (Anderson, Bjork & Bjork, 1994; Anderson & Spellman, 1995; Carr & Dagenbach, 1990). So konnten Anderson und Spellmann (1995; Anderson, Bjork & Bjork, 1994) unter Einführung eines neuen Interferenzparadigmas die Beteiligung inhibitorischer Mechanismen beim Gedächtnisabruf aufzeigen. Anderson et al. boten ihren Probanden in einer Lernphase Begriffspaare, bestehend aus einem Ober- und einem Unterbegriff, dar (beispielsweise Frucht – Orange; Frucht – Apfel; Metall – Silber...). In einer anschließenden Übungsphase erhielten die Probanden selektive Übung für den Abruf einzelner Begriffspaare einzelner Kategorien (z.B. Frucht – Or_____), d.h. aus einigen Kategorien wurde gar kein Begriffspaar dargeboten, aus anderen Kategorien wurde die Hälfte der Begriffspaare dargeboten. Nach der Übungsphase erfolge in einer Testphase ein Erinnerungstest aller in der Lernphase präsentierten Items. Die Abrufleistung nicht geübter Items aus geübten Kategorien zeigte sich relativ zu nicht geübten Items aus nicht geübten Kategorien signifikant reduziert. Demnach zeigte sich dann eine Beeinträchtigung des Abrufs von Information, wenn der entsprechende Oberbegriff im Vorfeld dazu diente, andere Informationen aus dem Gedächtnis abzurufen. Ein entsprechender Effekt zeigte sich, wenn den verwendeten Begriffspaaren weitere Begriffspaare hinzugefügt wurden, deren Items semantische Ähnlichkeit mit den Items einer geübten Kategorie aufwiesen, diese Items jedoch keine experimentellen Vertreter der Kategorie waren. Bestand eine Kategorie beispielsweise aus dem Oberbegriff „rot“ (mit den gelernten Vertretern „Blut“ und „Tomate“) und eine zweite Kategorie aus dem Oberbegriff „Nahrung“ (mit den gelernten Vertretern „Erdbeere“ und „Kekse“), so zeigte sich bei selektiver Übung der Assoziation „rot – Blut“ die bereits dargestellte Beeinträchtigung des Abrufs „rot –

Tomate“. Zudem zeigte sich jetzt jedoch zusätzlich eine Beeinträchtigung der Assoziation „Nahrung – Erdbeere“, obwohl „Erdbeere“ keinen experimentellen Vertreter der geübten Kategorie darstellte. Anderson und Spellman werten die gefundene interkategoriale Beeinträchtigung als Evidenz für einen inhibitorischen Mechanismus bei dem Abruf von Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis. Nach einer initialen, durch einen Abrufcue bedingten, Aktivationsausbreitung auf verschiedene Items erfolgt ein inhibitorischer Selektionsmechanismus, welcher die Menge möglicher Kandidaten des Gedächtnisabrufs einschränkt.

Interessanterweise scheint Inhibition von Gedächtniseinträgen nicht notwendig an den Abruf alternativer Inhalte gebunden zu sein. So konnten Anderson und Green (2001) zeigen, daß alleine die Instruktion, nicht an bestimmte Inhalte zu denken, den Abruf dieser Inhalte beeinträchtigte. Die Probanden in dieser Studie lernten initial Wortpaare, deren zweiter Paarling in einer nachfolgenden Experimentphase entweder laut genannt werden sollte oder an den in der nachfolgenden Phase bei Präsentation des ersten Wortes nicht gedacht werden sollte. In einem darauf folgenden freien Erinnerungstest zeigte sich eine verringerte Wiedergabeleistung für die Items, welche zuvor unterdrückt werden sollten.

4.3 Exekutive Steuerung durch Inhibition: Zusammenfassung

Das vorliegende Kapitel stellte zentrale Charakteristika insbesondere exekutiver Mechanismen heraus. Exekutive Mechanismen wurden als Funktionen beschrieben, welche modulierenden Einfluß auf kognitive Prozesse unter Rekurs auf ein aktuelles Handlungsziel haben. Die von exekutiven Prozessen beeinflußten Prozesse wurden als kontrollierte Verarbeitungsprozesse beschrieben. Im Unterschied zu frühen Modellen exekutiver Kontrolle wird derzeit eine verstärkte Modularität exekutiver Steuerung angenommen. Zentrale Mechanismen exekutiver Kontrolle bestehen in inhibitorischen Mechanismen: U.a. durch die Koordinierung automatischer und kontrollierter Prozesse wird Inhibitionsprozessen eine bedeutende Funktion in der Handlungssteuerung zugeschrieben (Rafal & Henik, 1994). Ziel von Inhibition ist eine Abschirmung der aktuellen, zielkonformen Handlungen gegenüber interferierenden, stärker automatisierten Handlungstendenzen. Ohne derartige hemmende Mechanismen sollte es zu einer verstärkten Interferenz durch zum einen dominante Handlungsalternativen, zum anderen durch gerade ausgeführte Handlungstendenzen kommen.

Das folgende Kapitel soll nun ein Untersuchungsparadigma mit seinen zentralen Befunden skizzieren, in welchem sowohl Interferenz durch soeben relevante Aufgaben als auch Interferenz durch stark automatisierte Handlungstendenzen parallel realisiert werden können. Wie sich zeigen wird, ist auch in diesem sog. Aufgabenwechselparadigma die Annahme inhibitorischer Kontrolle zur Reduzierung der Interferenz zentral.

V Exekutive und nichtintentionale Prozesse im Aufgabenwechselparadigma

5.1 Einleitung

Während die Forschung zu elementaren Verarbeitungsprozessen bereits weit vorangeschritten ist, steht die Untersuchung der im vorherigen Kapitel zentralen, exekutiven Mechanismen erst am Anfang. Zumindest zum Teil zurückführen läßt sich dieses Ungleichgewicht auf die gewöhnliche Konfundierung exekutiver und elementarer Prozesse in einem Großteil der verwendeten experimentellen Methoden. Zur Untersuchung exekutiver Prozesse mußte demnach ein Paradigma geschaffen werden, welches es erlaubte, exekutive Mechanismen weitestgehend isoliert von basalen Prozessen zu erfassen. Mit Einführung des Aufgabenwechselparadigmas bereits einige Dekaden zuvor und einer Renaissance dieser Methode Mitte der 90er Jahre schien eine derartige Möglichkeit der Untersuchung exekutiver Kontrollmechanismen bereitzustehen (Gopher, Armony & Greenshpan, 2000; Goschke, 2000; Meiran, 2000a; Meiran, Chorev & Sapir, 2000).

Im Aufgabenwechselparadigma werden die imperativen Stimuli unter wechselnden Aufgabenanforderungen dargeboten. Eine Aufgabe ist hierbei als eine Zuordnung der Menge der imperativen Stimuli zur Menge der möglichen Responses zu verstehen (S-R-Mapping), so daß ein bestimmter Stimulus unter einer Aufgabe immer derselben Response zugeordnet ist. Ein Aufgabenwechsel tritt dann auf, wenn von einem S-R-Mapping auf ein alternatives S-R-Mapping gewechselt wird (im Paradigma des Aufgabenwechsel wird daher auch von einem variablen S-R-Mapping gesprochen). Obwohl von obiger Aufgabendefinition nicht gefordert, ist ein Wechsel der Aufgabe tatsächlich zumeist durch einen Wechsel der Stimulusdimension bedingt (beispielsweise Aufgabe A = Formbeurteilung; Aufgabe B = Farbbeurteilung)[9]. Eine Nutzung der imperativen Stimuli unter verschiedenen Aufgabenerfordernissen geht demnach mit Multivalenz der Stimuli

[9] Mit der Definition einer Aufgabe als ein bestimmtes Mapping von Stimuli zu Responses gleichermaßen vereinbar ist jedoch eine Konzeptualisierung einer Aufgabe als eine bestimmte S-R-Zuordnung *innerhalb* einer Stimulusdimension (beispielsweise Aufgabe A = Form (rund → rechte Responsetaste; eckig→ linke Responsetaste; Aufgabe B = Form (rund → linke Responsetaste; eckig→ rechte Responsetaste).

einher, d.h. mit einer Beurteilbarkeit der Stimuli auf multiplen Dimensionen.[10] Die Zuordnung eines Stimulus entsprechend den Aufgabenerfordernissen zu verschiedenen Responses, d.h. die Vermeidung stereotyper Reaktionen auf einen imperativen Stimulus, zeigt die Beteiligung intentionaler Steuerungsmechanismen auf und macht deutlich, daß menschliches Verhalten nicht ausschließlich durch externe Reize kontrolliert ist.

Die internen Einstellungen eines kognitiven Systems, die dafür Rechnung tragen, daß das Verhalten des Systems nicht ausschließlich reizbestimmt ist, sollen im Folgenden als Task-Set bezeichnet werden. Task-Sets wird die funktionale Rolle zugeschrieben, die Menge aller möglichen Reaktionen auf einen Stimulus in dem Sinne zu begrenzen, daß lediglich mit dem Handlungsziel korrespondierende Reaktionen zugelassen werden (Mayr, 2003). Task-Sets ermöglichen somit die flexible Anpassung des Verhaltens an Erfordernisse des aktuellen Handlungsziels. Trotz fehlender definitorischer Einheit des Begriffs „Task-Set“ (Hübner, 2001) besteht Übereinstimmung dahingehend, ein Task-Set als eine spezifische Konfiguration des Verarbeitungssystems zur Erreichung des jeweiligen Handlungsziels zu verstehen, durch welche die Verarbeitung aufgabenrelevanter Merkmale erleichtert und die Verarbeitung aufgabenirrelevanter Merkmale erschwert ist (Allport & Wylie, 2000¸ Mayr & Keele, 2000; Monsell, Taylor & Murphy, 2001).

Wird unter einer Aufgabe eine spezifische Zuordnung von Reizen zu Reaktionen gefaßt, so kann ein Task-Set als eine spezifische Konfiguration des kognitiven Systems interpretiert werden, welche eben diese aufgabengemäße Zuordnung von Reizen zu Handlungen bedingt (Rogers & Monsell, 1995; Sohn & Carlson, 2000). Task-Sets können somit auch als mentale Repräsentationen externer Aufgabenanforderungen gefaßt werden. Von der mentalen Repräsentation der Zuordnungsregeln von Reizen zu Reaktionen zu unterscheiden ist das Handlungsziel des kognitiven Systems. Die Aktivation eines Handlungsziels („goal setting“; „set decision“, im Aufgabenwechselparadigma realisiert durch die Präsentation der Aufgabeninstruktion) steuert die Implementierung des aktuell relevanten Task-Sets. Abbildung 4 veranschaulicht den Zusammenhang der Prozesse der Aktivation des Handlungsziels, der Implementierung des Task-Sets und der weiteren aufgabengemäßen Verarbeitung des imperativen Stimulus:

[10] Jedoch wird in einigen Fällen der Begriff des Aufgabenwechsels weniger restriktiv verwendet und auch dann von einem Aufgabenwechsel gesprochen, wenn getrennte Sets aus univalenten Stimuli unter verschiedenen Dimensionen zu beurteilen sind.

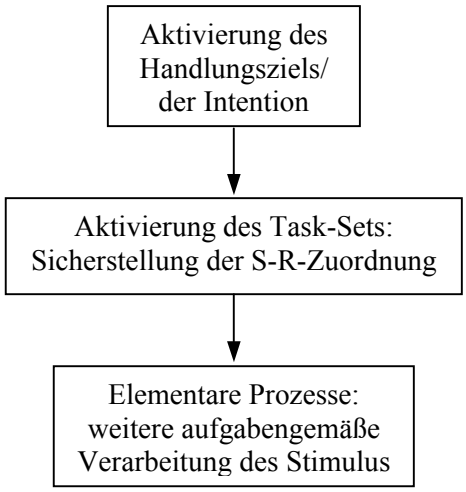


Abbildung 4: Zusammenhang der Prozesse der Aktivierung des Handlungsziels, der Aktivierung des Task-Sets und elementarer Verarbeitungsprozesse

Sowohl die Etablierung eines Handlungsziels als auch die Aktivierung des entsprechenden Task-Sets sind als exekutive Prozesse zu verstehen, welche die weitere Verarbeitung des imperativen Stimulus kontrollieren, wobei die Aktivierung des Handlungsziels zum einen als der zeitlich vorangestellte, zum anderen als der hierarchisch höherstehende Prozeß zu verstehen ist, welcher die Implementierung des Task-Sets steuert. Der Prozeß der Task-Set-Aktivierung wird durch seine Möglichkeit zur Kontrolle nachgestellter Verarbeitungsprozesse entsprechend dem aktuellen Handlungsziel der Kategorie der exekutiven Prozesse subsummiert. Die weitere zielkonforme Verarbeitung eines imperativen Stimulus hingegen fällt in die Kategorie der nichtexekutiven Verarbeitungsprozesse, ist aber in dem Sinne als zielgerichtet zu bezeichnen, sofern sie nur in Abhängigkeit von dem Handlungsziel realisiert wird.

Die Interpretation eines Task-Sets als interne Konfiguration, welche die aufgabenkonforme Zuordnung von Reizen zu Reaktionen sicherstellt, läßt verschiedene Konzeptionen hinsichtlich der Art der Reiz-Reaktions-Zuordnung zu. So kann ein Task-Set als das gesamte Set spezifischer S-R-Assoziationen, welche mit der aktuellen Aufgabe vereinbar sind, gefaßt werden. Betrachten wir als Beispiel ein Aufgabenwechselparadigma mit den beiden Aufgaben der Formkategorisierung und der Farbekategorisierung, wobei als Form die Ausprägungen rund und eckig, als Farbe die Ausprägungen rot und grün instantiiert sind. Ist das Attribut rund der Response links, das Attribut eckig der Response rechts zugeordnet, so wird das Task-Set der Formaufgabe als interne Konfiguration, welche einen roten, eckigen Reiz (S1) und einen grünen, eckigen Reiz (S2) der linken

Responsetaste zuordnet und einen roten, runden Reiz (S3) und einen grünen, runden Reiz (S4) der rechten Response. Abbildung 5 bildet diese Konzeption eines Task-Sets ab.

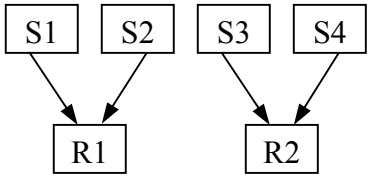


Abbildung 5: Konzeption 1: Task-Set als die Menge aller spezifischen Reiz-Reaktions-Zuordnungen

Alternativ kann ein Task-Set als abstraktere Zuordnung von Reizattributen zu Responses gefaßt werden. Im oben dargestellten Beispiel entspräche das Task-Set der Formaufgabe der Zuordnung des Merkmals eckig zu der linken, des Merkmals rund zu der rechten Response (dargestellt in Abbildung 6).

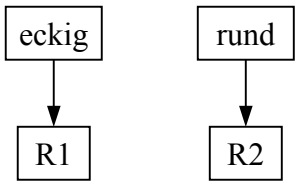


Abbildung 6: Konzeption 2: Task-Set als die Menge aller Attribut-Reaktions-Zuordnungen

Eine der wenigen Darstellungen, welche thematisiert, inwieweit beide möglichen Konzeptionen tatsächlich voneinander zu unterscheiden sind oder inwieweit sie lediglich aus der Verwendung einer unterschiedlichen Beschreibungsebene resultieren, findet sich bei Monsell und Mitarbeitern (Monsell, Taylor & Murphy, 2001):

> "In associationist language, a task set is a whole set of S-R associations. In the language of symbolic computation, an active task set is a set of instructions or condition-action rules held in procedural working memory..."(Monsell, Taylor & Murphy, 2001, p. 139)

Ursprünglich als Methode zur Untersuchung kognitiver Steuerungsmechanismen eingeführt, führte die Fülle an Befunden in einem relativ engen Zeitraum zu einer Verschiebung des Forschungsschwerpunkts hin zu oftmals paradigmaspezifischen Fragestellungen bezüglich der Mechanismen, welche die Leistungen in einem Kontext wechselnder Aufgabenanforderungen modulieren. Im Folgenden soll daher auf zentrale Befunde im Aufgabenwechselparadigma sowie angenommene Prozesse und theoretische Ansätze eingegangen werden. Die Befunde bei einem intentionalen Wechsel des

Handlungsziels zeigen, daß auch Anforderungen, die prototypisch für das Dominieren von Kontrollmechanismen zu sein scheinen, in hohem Maße durch nichtintentionale Prozesse mitbedingt sind. Das folgende Kapitel fokussiert (nach einer Einführung in allgemeine Mechanismen des Wechsel eines Handlungsziels) bei der Skizzierung der gängigen Befunde im Aufgabenwechselparadigma auf die Beteilung exekutiver und nichtintentionaler Prozesse und deren Interaktion bei einem intentionalen Wechsel des Handlungsziels.

5.2 Grundlegende Mechanismen bei einem Wechsels der Reiz-Reaktions-Zuordnung

Um die Fülle der Befunde im Aufgabenwechselparadigma zu strukturieren, scheint es sinnvoll, den prozessualen Verlauf einer Aufgabenwechselsequenz mit den möglichen beteiligten Mechanismen genauer zu betrachten.

Ein einzelner Aufgabenwechsel kann gefaßt werden als eine Sequenz zweier Aufgaben, welche eine unterschiedliche Zuordnung von Reizen zu Reaktionen erfordern. Abbildung 7 stellt die Sequenz zweier Aufgabendurchgänge dar:

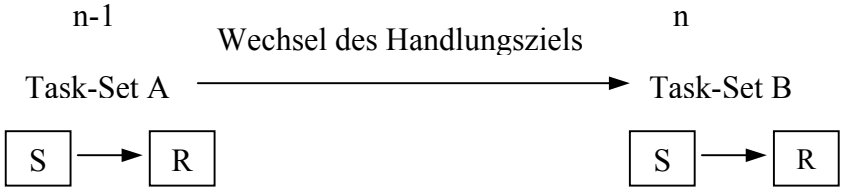


Abbildung 7: Übergang zwischen zwei verschiedenen Reiz-Reaktions-Zuordnungen

Im Vordurchgang (n-1) wurde ein spezifischer, imperativer Stimulus dargeboten, auf den der zum Zeitpunkt n-1 relevanten Aufgabenstellung (A) gemäß reagiert wurde. Nach der Reaktion auf den Stimulus in n-1 wird im Falle der Instruktion eines Aufgabenwechsels das Handlungsziel gewechselt. Die Änderung des Handlungsziels bedingt eine Änderung des Task-Sets: Die Konfiguration des kognitiven Systems wird den neuen Erfordernissen (Aufgabe B) angepaßt. Ein Wechsel des Task-Sets kann nun zweierlei bedeuten: Zum einen ist es möglich, daß bereits bei Bearbeitung der Aufgabe des Vordurchgangs das zum Zeitpunkt n-1 irrelevante und aktuell relevante Task-Set aktiviert im Arbeitsgedächtnis

vorlag, die Aktivation lediglich geringer war als die Aktivation des zielrelevanten Task-Sets. Zum anderen ist es jedoch möglich, daß das im Vordurchgang irrelevante Task-Set in nicht aktivierter Form im Langzeitgedächtnis vorlag. Ein Wechsel des Task-Sets kann demnach als eine weitere Aktivation eines Task-Sets im Arbeitsgedächtnis oder als ein Abruf eines Task-Sets aus dem Langzeitgedächtnis gefaßt werden.

Die Änderung des Handlungsziels kann bereits vor Präsentation des neuen, imperativen Stimulus durch einen spezifischen Hinweisreiz oder durch die Verwendung regelhafter Aufgabenabfolgen erfolgen. Die Zieländerung kann jedoch auch erst bei Präsentation des imperativen Stimulus implementiert werden. In Abhängigkeit davon, zu welchem Zeitpunkt das neue Handlungsziel aktiviert wird, sind Effekte der Aufgabenvorbereitung zu erwarten. Nach einem zeitlichen Intervall von der Reaktion im Vordurchgang wird im aktuellen Durchgang (zusammen mit oder zeitlich nach der Spezifikation der neuen, relevanten Aufgabe) der imperative Stimulus präsentiert, auf welchen gemäß der jetzt relevanten Aufgabe reagiert werden soll. Neben einem Effekt der Vorbereitungszeit ist aufgrund des Zerfalls von Task-Set-Aktivation ein Effekt des zeitlichen Intervalls von der Gabe der letzten Response zur Präsentation des imperativen Stimulus zu erwarten.

Die Ausführbarkeit der Aufgabe im aktuellen Durchgang ist von diversen Faktoren beeinflußbar. So wird sich zeigen, daß zum einen Charakteristika der Aufgabe des Vordurchgangs, zum anderen Charakteristika der aktuellen Aufgabe die Bearbeitungsleistung determinieren. Bedeutsam ist beispielsweise die Automatizität der verwendeten Aufgaben und das Vorliegen von Reaktionskonflikten. Neben der Relevanz von Aufgabenmerkmalen auf Ebene von Reiz-Reaktions-Zuordnungen zeigen sich zudem stimulusspezifische Effekte. So wird die Bearbeitungsleistung dadurch moduliert, ob bei einem Aufgabenwechsel zudem der imperative Stimulus und die zu gebende Response wechseln. Die Bedeutung der Charakteristika der Voraufgabe sowie der neuen Aufgabe weisen darauf hin, daß sich ein Aufgabenwechsel zweier Mechanismen verdankt: Zum einen muß die Konfiguration entsprechend der vorherigen Aufgabe gelöscht, zum anderen das Task-Set entsprechend dem neuen Handlungsziel etabliert werden.

Bereits an dieser groben Darstellung möglicher Mechanismen und Effekte bei einem Wechsel der Aufgabenstellung zeigt sich, daß sowohl intentionale, exekutive Mechanismen (z.B. der Wechsel des Handlungsziels) als auch nichtintentionale Mechanismen (z.B. Effekte von Stimuluswiederholung und Stimuluswechsel) bei einem Wechsel der Reiz-Reaktions-Zuordnung von Bedeutung sind. Die Abschnitte 5.3 und 5.4 dienen daher dazu,

die im Aufgabenwechselparadigma etablierten Befunde jeweils als Evidenzen für das Vorliegen exekutiver und nichtintentionaler Mechanismen darzustellen.

5.3 Exekutive Prozesse im Aufgabenwechselparadigma

Eine grundsätzliche Evidenz für die Beteiligung exekutiver Kontrollprozesse im Aufgabenwechselparadigma resultiert aus der Beobachtung, daß kognitive Systeme überhaupt die Zuordnungen von Reaktionen auf Stimuli entsprechend den jeweiligen Aufgabenanforderungen wechseln können. So schlicht diese Beobachtung auch erscheinen mag, sie stellt eine fundamentale Evidenz für die Beteiligung interner, zielabhängiger Kontrollstrukturen für die Steuerung von Handlungen dar.

5.3.1 Aufgabenwechselkosten und intentionale Steuerung

Ein Wechsel der Zuordnungen der Reaktionen zu dargebotenen Stimuli (ein Wechsel der Aufgabe) ist mit Verarbeitungskosten verbunden. So findet sich als ein stabiler Effekt im Aufgabenwechselparadigma, daß ein Aufgabenwechsel zu längeren Reaktionszeiten und häufig höheren Fehlerzahlen führt als eine Aufgabenwiederholung. Derartige Wechselkosten konnten bereits von Jersild (1927, z.B. in Allport & Wylie, 1999) aufgezeigt werden. Jersild ließ seine Probanden entweder in einem Aufgabenblock eine einzige arithmetische Aufgabe ausführen (purer Aufgabenblock: Addition von 6 zu den jeweiligen Zahlen) oder er ließ seine Probanden in einem Aufgabenblock zwischen zwei verschiedenen, arithmetischen Aufgaben wechseln (gemischter Aufgabenblock: Addition von 6 zu der ersten Zahl, Subtraktion von 3 von der zweiten Zahl usw.). Vergleicht man die Reaktionszeiten in den puren Blöcken (A-A-A-A) mit Reaktionszeiten in gemischten Blöcken (A-B-A-B), so finden sich substantielle Kosten bei der Bearbeitung gemischter Blöcke, die im weiteren als Wechselkosten bezeichnet wurden. In einem ähnlichen Experiment konnten Spector und Biederman (1976) Wechselkosten als Differenz zwischen Blöcken mit alternierenden Aufgaben (Addition von 3 alterniert mit Subtraktion von 3) und Blöcken mit nur einer der beiden Aufgabenstellungen aufzeigen.

Vergleicht man diese Konzeptualisierung von Aufgabenwechselkosten jedoch mit der in der neueren Literatur gängigeren Fassung von Wechselkosten, so zeigt sich ein

methodischer Unterschied: Wurden in älteren Studien Wechselkosten vornehmlich als Differenz der mittleren Bearbeitungsleistung in puren und gemischten Aufgabenblöcken gefaßt, so werden Wechselkosten heute zumeist als Differenz zwischen Aufgabenwechseln und Aufgabenwiederholungen innerhalb eines Blocks konzeptualisiert. Ich möchte im Folgenden Wechselkosten zwischen gemischten und reinen Aufgabenblöcken als globale Wechselkosten bezeichnen, auf Wechselkosten innerhalb eines Blocks wird weiterhin mit der Bezeichnung „Wechselkosten" referiert (häufig auch als lokale Wechselkosten bezeichnet). In der Literatur finden sich zudem die Bezeichnungen „Alternierungskosten" („alternation costs") als Differenz zwischen einem Wechseldurchgang in einem gemischten Block und einer Wiederholung in einem reinem Block, welche sich in „Mischungskosten" („mixing costs": Differenz zwischen einer Wiederholung in einem gemischten Block und einer Wiederholung in einem reinem Block) und „Wechselkosten" („shift costs": Differenz zwischen Wechsel und Wiederholung in einem gemischten Block) zerlegen läßt (Fagot, 1994). Unten stehende Abbildung verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Alternierungskosten, Mischungskosten und Wechselkosten:

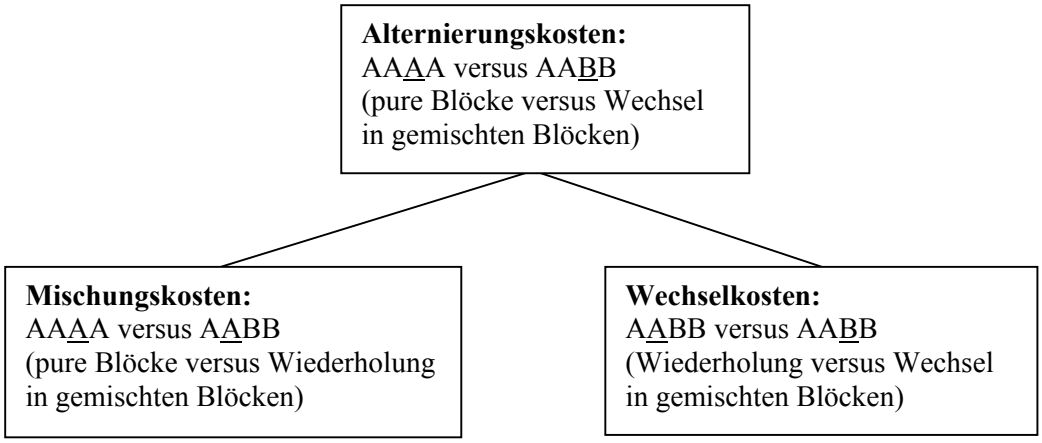


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen Alternierungskosten, Mischungskosten und Wechselkosten

Die Methode der Messung von Wechselkosten innerhalb eines Aufgabenblocks wurde von Rogers und Monsell (1995) eingeführt. Rogers und Monsell wiesen zu Recht darauf hin, daß Differenzen zwischen puren und gemischten Blöcken nicht alleine in höheren Steuerungserfordernissen in gemischten Blöcken, sondern zudem in unterschiedlichen Arbeitsgedächtnisanforderungen begründet sein können (Rogers & Monsell, 1995). In reinen Aufgabenblöcken muß über die gesamte Blocklänge nur ein einziges S-R-Mapping aufrechterhalten werden, während es in gemischten Blöcken zwei Mappings sind, die

parallel aktiv gehalten werden müssen. Rogers und Monsell schlugen daher eine alternative Messung von Aufgabenwechselkosten vor: In ihrem Paradigma regelhaft alternierender Aufgabenfolgen („alternating-runs-paradigm“: z.B. A-A-B-B-A-A-B-B) lassen sich sowohl Aufgabenwechsel als auch Aufgabenwiederholungen in einem einzigen Aufgabenblock erheben. Längere Latenzen in Aufgabenwechseldurchgängen relativ zu Aufgabenwiederholungen lassen sich hier nicht mehr auf unterschiedliche Arbeitsgedächtniserfordernisse zurückführen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen Wechselkosten daher als Unterschied der Reaktionszeiten und der Fehlerzahlen in Aufgabenwiederholungen und Aufgabenwechseln innerhalb eines Blocks konzeptualisiert werden.

Die weitgehende Einigkeit bezüglich des Befundes der Aufgabenwechselkosten spiegelt sich nicht in theoretischer Übereinstimmung in den Erklärungsansätzen der Wechselkosten wider. Zwei prinzipiell verschiedene Interpretationen der Wechselkosten sind denkbar: So ist es möglich, daß Wechselkosten durch die zusätzliche Verarbeitungszeit eines exekutiven Kontrollprozesses bedingt sind, ebenso ist jedoch denkbar, daß Wechselkosten den interferierenden Einfluß des Task-Sets des Vordurchgangs widerspiegeln. An dieser Stelle wird der Fokus auf der Interpretation der Wechselkosten im Rahmen eines exekutiven Kontrollmechanismus liegen, eine Interpretation der Wechselkosten als bedingt durch nichtintentionale Interferenzeffekte ist vorerst zurückgestellt (eine ausführliche Darstellung erfolgt im Abschnitt 5.4).

Eine Interpretation der Wechselkosten als Maß eines exekutiven Kontrollprozesses findet sich in Ansätzen der Task-Set-Rekonfigurierung (DeJong, 2000; Rogers & Monsell, 1995; Rubinstein, Meyer & Evans, 2001). Ist das kognitive System nach einer Aufgabenwiederholung bereits für die jetzt relevante Aufgabe konfiguriert, ist das System bei Aufgabenwechseln noch auf die jetzt irrelevante Aufgabe des Vordurchgangs eingestellt und muß entsprechend rekonfiguriert werden. Der Prozeß der Rekonfigurierung des Systems oder das Etablieren eines neuen Task-Sets stellt hierbei einen Kontrollprozeß dar, welcher die basalen Informationsverarbeitungsschritte derart moduliert, daß eine aufgabengemäße Zuordnung von Stimuli zu Responses gewährleistet ist.

> „Hence to adopt a task-set is to select, link and configure the elements of a chain of processes that will accomplish a task.“ (Rogers & Monsell, 1995, p. 208).

Mit der Annahme eines Prozesses der Task-Set-Rekonfigurierung wird Aufgabenwiederholungen und Aufgabenwechseln eine unterschiedliche Anzahl an Verarbeitungsschritten zugeschrieben. Ansätze der Task-Set-Rekonfigurierung führen Aufgabenwechselkosten auf diesen zusätzlichen, zeitkonsumierenden Prozeß der Rekonfigurierung in Aufgabenwechseldurchgängen zurück.

5.3.2 Reduktion der Wechselkosten über der Vorbereitungszeit

Als ein stabiler Befund im Aufgabenwechselparadigma zeigt sich eine Interaktion zwischen der Länge des Vorbereitungsintervalls und der Höhe der oben dargestellten Aufgabenwechselkosten. Sowohl Aufgabenwechsel als auch Aufgabenwiederholungen ziehen Nutzen aus Vorbereitungszeit, jedoch stellt sich der Vorbereitungsgewinn größer für Aufgabenwechsel dar. Dieser wechselspezifische Vorbereitungsgewinn führt zu einer Reduktion der Wechselkosten durch Vorankündigung der neuen Aufgabe (z.B. Allport, Styles & Hsieh, 1994; Goschke, 2000; Meiran, 1996; Rogers & Monsell, 1995; Shaffer, 1965; siehe aber auch Koch, 2001). Neben der Fähigkeit, sich überhaupt auf geänderte Aufgabenanforderungen einstellen zu können, ist dieser wechselspezifische Vorbereitungsgewinn ein Hauptbefund für die Annahme, daß Aufgabenwechselkosten die Dauer eines exekutiven Kontrollmechanismus abbilden. In Ansätzen der Task-Set-Rekonfigurierung wird angenommen, daß der für die Einstellung auf eine neue Aufgabe notwendige Mechanismus der Rekonfigurierung des kognitiven Systems zumindest teilweise im Vorbereitungsintervall unternommen werden kann, so daß sich Aufgabenwechselkosten mit einem längeren Vorbereitungsintervall reduzieren.

Die Interpretation des alleinigen Befundes der Reduktion der Wechselkosten über der Vorbereitungszeit, variiert über das Intervall zwischen Gabe der letzten Response und dem aktuellen Stimulus (RSI), ist jedoch nicht an die Annahme exekutiver Rekonfigurierung gebunden. Eine Reduktion der Wechselkosten über dem RSI könnte alternativ alleine durch Abnahme der Interferenz durch das Task-Set der Voraufgabe als Folge des Zerfalls von Task-Set-Aktivation expliziert werden. Eine Vielzahl der verwendeten Methoden scheint somit nicht geeignet, einen wechselspezifischen Vorbereitungsgewinn im Sinne eines exekutiven Kontrollprozesses als Ursache der Wechselkosten zu interpretieren. So wies Meiran (1996; Meiran, Chorev & Sapir, 2000) auf eine derartige Konfundierung des zeitlichen Zurückliegens der letzten Aufgabe („task

recency“) und des Zeitraums der Möglichkeit zur intentionalen Vorbereitung auf die neue Aufgabe bei der Verwendung regelhafter Aufgabenabfolgen hin. Meiran schlug daher die Verwendung zufälliger Aufgabenabfolgen vor, in denen durch explizite, d.h. stimulusbasierte Aufgabencues Information über die Identität der neuen Aufgabe vor Präsentation des imperativen Stimulus gegeben werden konnte. Mit der Einführung stimulusbasierter Cues konnte Meiran eine orthogonale Variation der beiden Faktoren des zeitlichen Zurückliegens der letzten Aufgabe (vermittelt über das Response-Stimulus-Intervall) und der intentionalen Vorbereitung (vermittelt über das Cue-Stimulus-Intervall: CSI) realisieren. Sowohl das zeitliche Zurückliegen der letzten Aufgabe, als auch die Zeit zur Vorbereitung auf die neue Aufgabe zeigten einen Einfluß auf die Höhe der Wechselkosten. Demnach sind Wechselkosten sowohl durch exekutive Prozesse (Rekonfigurierung) als auch durch nichtintentionale Prozesse (Priming der letzen Aufgabe) modulierbar (Meiran, 1996; Meiran, Chorev & Sapir, 2000).

Die Reduktion der Wechselkosten über der Vorbereitungszeit ist jedoch abhängig von der Vorhersagbarkeit der Länge des Vorbereitungsintervalls. So konnten Rogers und Monsell (1995) unter Verwendung des Paradigmas alternierender Aufgabenabfolgen zeigen, daß sich Aufgabenwechselkosten nur dann reduzierten, wenn die Vorbereitungszeit in einem Aufgabenblock vorhersagbar war, nicht aber, wenn sie zufällig variierte. Die Abhängigkeit des wechselspezifischen Vorbereitungsgewinns von der Vorhersagbarkeit des RSI stellt eine weitere Evidenz für die Beteiligung exekutiver Mechanismen an den Kosten eines Aufgabenwechsels dar. Spiegelten Wechselkosten lediglich nichtintentionale Prozesse wider, so sollten sich Wechselkosten in jedem Fall mit längerem RSI reduzieren, unabhängig von der Vorhersagbarkeit der Läge des RSI.

Obgleich weitgehende Einigkeit[11] über die Reduktion der Wechselkosten über dem Vorbereitungsintervall besteht, divergieren die Interpretationen über den Ursprung des wechselspezifischen Vorbereitungsgewinns. Rogers und Monsell (1995) interpretieren die Reduktion der Wechselkosten über dem Vorbereitungsintervall durch die Annahme des bereits erwähnten Rekonfigurierungsprozesses, dessen „endogene Komponente“ bereits im

[11] Interessanterweise fand Koch (2001) keine Reduktion der Wechselkosten über dem Vorbereitungsintervall, sobald gedächtnisbasierte Aufgabencues (regelhafte Aufgabenabfolgen) zusätzlich zu stimulusbasierten Hinweisreizen verwendet werden. Wurde in einem späteren Experimentalblock die Aufgabensequenz geändert, so zeigte sich in diesem sog. „Transferblock“ ein Anstieg der Latenzen, was eine Nutzung der gedächtnisbasierten Cues signalisierte. Der gefundene Reaktionszeitanstieg zeigte sich jedoch nicht wechselspezifisch, sondern galt gleichermaßen für Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholungen. Die wechselspezifische Nutzung von Vorbereitungszeit scheint demnach weniger eindeutig zu sein als bisher angenommen, sondern scheint abhängig von den Erfordernissen der Aufgabencues zu sein.

Vorbereitungsintervall ausgeführt werden kann. Mit der Bezeichnung „endogene Komponente“ referieren Rogers und Monsell demnach auf einen intentionalen Rekonfigurierungsprozeß, der bereits dann durchgeführt werden kann, wenn lediglich das neue Handlungsziel spezifiziert wurde. Durch die Möglichkeit, diese Komponente des exekutiven Rekonfigurierungsprozesses bereits im Vorbereitungsintervall auszuführen, reduzieren sich die Aufgabenwechselkosten[12].

Rubinstein, Meyer und Evans (2001) spezifizieren den von Rogers und Monsell präsentierten Ansatz der Task-Set-Rekonfigurierung, indem sie in einem Stufenmodell des Aufgabenwechsels den von Rogers und Monsell angenommenen Prozeß der Task-Set-Rekonfigurierung in Subkomponenten zerlegen. Nach Rubinstein et al. besteht Task-Set-Rekonfigurierung aus zwei exekutiven Mechanismen, der Änderung des Handlungsziels („goal shifting“) und der Aktivation der neuen Aufgabenregel („rule activation“). Die Reduktion der Wechselkosten über der Vorbereitungszeit ist in dem Modell von Rubinstein et al. dadurch bedingt, daß der Prozeß des Zielwechsels bereits im Vorbereitungsintervall ausgeführt wird.

Meiran (2000a; 2000b) stellt ein mathematisches Modell des Aufgabenwechsels vor, in welchem der Herabsetzung von Aufgabenwechselkosten im Laufe der Vorbereitung Rechnung getragen wird. Das von Meiran vorgeschlagene Modell arbeitet mit einem Kontrollmechanismus, der über Selektion des Reizinputs die Verarbeitung gemäß der relevanten Aufgabenregel gewährleistet. Entsprechend der jeweiligen Aufgabenregel kann bereits vor Präsentation des imperativen Stimulus die Aufmerksamkeit vorbereitend auf die jetzt relevante Stimulusdimension gerichtet werden („S-set-biasing“). Dieses Richten der Aufmerksamkeit auf die relevante Stimulusdimension wird über die Änderung der Gewichte der Stimulusmerkmale gewährleistet. Wird beispielsweise in einem gemischten Aufgabenblock der beiden Aufgaben der Formkategorisierung und der Farbkategorisierung über einen Aufgabencue vorab die Farbaufgabe angekündigt, so wird bereits vor Darbietung des imperativen Stimulus die Gewichtung der Farbdimension des Reizes heraufgesetzt. Wird dann der imperative Stimulus (beispielsweise ein grüner Kreis) präsentiert, so wird der Stimulus lediglich als grün und formlos repräsentiert. Durch das Vorab-Richten der Aufmerksamkeit auf die relevante Stimulusdimension wird der

[12] Rogers und Monsell nehmen neben dem beschriebenen „endogenen Prozeß“ der Rekonfigurierung eine zweite, „exogene“ Komponente der Rekonfigurierung an. So ist ein Abschluß des gesamten exekutiven Kontrollprozesses erst nach Präsentation des imperativen Stimulus möglich. Demzufolge kann Vorbereitungszeit Wechselkosten zwar minimieren, nicht jedoch vollständig eliminieren.

multivalente Stimulus disambiguiert. Das von Meiran vorgeschlagene Modell stellt durch die Annahme der Selektion von Stimuluscharakteristika entsprechend dem jeweiligen Handlungsziel eine Möglichkeit zur Interpretation der Wechselkostenreduktion über dem Vorbereitungsintervall durch einen intentionalen Kontrollmechanismus dar.

5.3.3 Beschränkung der Wechselkosten auf den ersten Durchgang nach einem Aufgabenwechsel

Präsentiert man Probanden im Aufgabenwechselparadigma regelhafte Aufgabenabfolgen, die mehr als zwei sukzessive Aufgabenwiederholungen beinhalten (z.B. AAAABBBB....), so finden sich substantielle Wechselkosten lediglich im ersten Aufgabendurchgang nach einem Aufgabenwechsel. Ist die S-R-Zuordnung einmal gewechselt, so werden die nachfolgenden Durchgänge in der neuen Aufgabenstellung nicht mehr verzögert bearbeitet. Im Unterschied zu den hohen Reaktionszeiten im Durchgang direkt nach einem Aufgabenwechsel zeigt sich auf diesen ersten neuen Durchgang folgend ein rapider Abfall der Reaktionszeiten. Der Befund, daß sich substantielle Wechselkosten nur für den ersten Durchgang nach einem Aufgabenwechsel zeigen, scheint Evidenz dafür zu liefern, daß Aufgabenwechselkosten tatsächlich ein Maß für einen exekutiven Kontrollmechanismus darstellen: Ist bereits ein Stimulus gemäß der neuen Aufgabe bearbeitet worden, so ist mit dieser Bearbeitung die Umkonfigurierung des kognitiven Systems bereits abgeschlossen. Als Folge wird der Durchgang nach einmaliger Anwendung einer Aufgabe entsprechend den Durchgängen nach mehrfacher Anwendung einer Aufgabe bearbeitet.

Eine ausschließliche Interpretation der Aufgabenwechselkosten als direktes Maß eines exekutiven Rekonfigurierungsprozesses gilt es jedoch einzuschränken. Zum einen konnten Allport und Wylie (2000; siehe auch Gopher, Armony & Greenshpan, 2000) einen ähnlichen Verlauf des Reaktionszeitabfalls für den Beginn neuer Aufgabenblöcke aufzeigen. Im ersten Durchgang eines neuen Aufgabenblocks (noch bevor eine zweite Aufgabe bearbeitet wurde, d.h. vor jeglichem Aufgabenwechsel) zeigten sich erhöhte Bearbeitungszeiten, welche nach dem ersten Durchgang einen entsprechenden, rapiden Abfall zeigten. Aufgrund der Vergleichbarkeit der Verläufe dieser Kosten eines ersten Bearbeitungsdurchgangs („first trial costs“ oder „restart costs“) mit den Wechselkosten im ersten Durchgang scheint die Beschränkung der Wechselkosten auf den ersten Durchgang

nach einem Aufgabenwechsel nicht zwangsläufig einen Hinweis auf einen exekutiven Rekonfigurierungsmechanismus zu liefern.

Eine Interpretation des Befundes, daß sich Wechselkosten nur für den ersten Durchgang nach einem Aufgabenwechsel zeigen, als Evidenz für die Annahme, daß Wechselkosten die Dauer eines exekutiven Rekonfigurierungsmechanismus darstellten, wird zudem durch die Performanz des konnektionistischen Modells von Gilbert und Shallice (2002) herausgefordert. Obwohl in diesem Modell residuale (siehe Abschnitt 5.4.4) Aufgabenwechselkosten alleine als Maß für nichtintentionale Primingmechanismen gefaßt werden, bildet das Modell den Befund ab, daß sich Wechselkosten lediglich für den ersten Durchgang nach einem Aufgabenwechsel zeigen.

5.4 Nichtintentionale Prozesse im Aufgabenwechselparadigma

5.4.1 Aufgabenwechselkosten und Primingprozesse

Die Kosten eines Aufgabenwechsels lassen sich im Rahmen exekutiver Umkonfigurierung des kognitiven Systems interpretieren. Alternativ ist jedoch eine Interpretation der Aufgabenwechselkosten als Ausdruck nichtintentionaler Primingprozesse möglich. Eine derartige Interpretation der Aufgabenwechselkosten wird von der Forschergruppe um Allport vertreten (Allport, Styles, Hsieh, 1994; Allport & Wylie, 1999; 2000; Wylie & Allport, 2000). In ihrer „Task-Set-Inertia-Hypothese“ (TSI-Hypothese; Allport, Styles & Hsieh, 1994) führen Allport und Mitarbeiter Wechselkosten nicht auf einen exekutiven Kontrollmechanismus, sondern vielmehr auf Primingeffekte, demnach auf allgemeine Gedächtnismechanismen zurück. Gemäß der TSI-Hypothese wird das Task-Set einer soeben bearbeiteten Aufgabe nicht mit der Gabe der Response vollständig deaktiviert, sondern wird über mehrere Aufgabendurchgänge nichtintentional aufrechterhalten. Ist die Durchsetzung eines relevanten Task-Sets gegenüber einem zielhinderlichen Task-Set zum einen an Aktivation des relevanten, zum anderen an Inhibition des irrelevanten Task-Sets gebunden, so resultiert das Persistieren der Kontrolleinstellungen des Systems in zwei Phänomenen: zum einen in positivem Priming des Task-Sets der Voraufgabe („competitor priming“), sich auswirkend in proaktiver Interferenz auf das neue relevante Task-Set, zum anderen in Negativem Priming des Distraktor-Task-Sets des Vordurchgangs. Dieses

positive Priming eines konkurrierenden Task-Sets und das Negative Priming des jetzt relevanten Task-Sets bedingen in Aufgabenwechseldurchgängen eine Verlängerung mindestens eines der beteiligten Verarbeitungsprozesse (z.B. des Prozesses der Responseauswahl) und sind nach Annahme der TSI-Hypothese Ursache der Wechselkosten. Wechselkosten stellen in dem Ansatz von Allport et al. demnach kein Maß für einen zusätzlichen, exekutiven Kontrollprozeß dar, sondern zeigen das nichtintentionale Persistieren der Systemeinstellungen des Vordurchgangs an. Folgende Abbildung (entsprechend Monsell, Yeung & Azuma, 2000) verdeutlicht die angenommenen Prozesse für Aufgabenwiederholungsdurchgänge und für Aufgabenwechseldurchgänge. Theorien, welche Aufgabenwechselkosten auf die Dauer eines exekutiven Mechanismus zurückführen und Theorien, die Wechselkosten auf nichtintentionales Priming attribuieren, unterscheiden sich nicht hinsichtlich der angenommenen Prozesse in Aufgaben-wiederholungsdurchgängen. Unterschiedliche Annahmen werden jedoch gemacht für die bestehenden Prozesse in Aufgabenwechseldurchgängen.

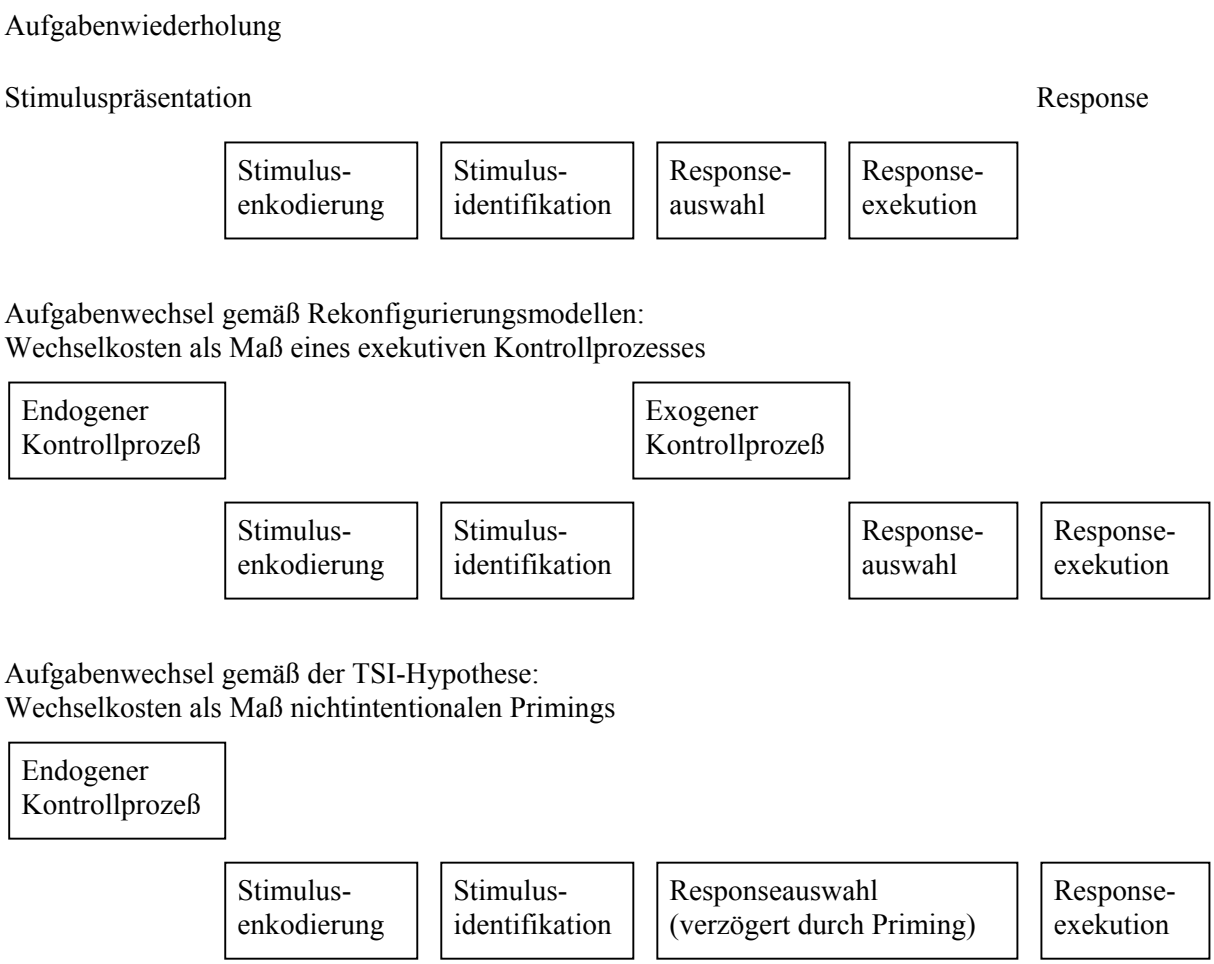


Abbildung 9: An einer Aufgabenwiederholung bzw. einem Aufgabenwechsel beteiligte Prozesse gemäß Theorien der Task-Set-Rekonfigurierung und Theorien proaktiver Interferenz (aus Monsell, Yeung & Azuma, 2000, p. 254)

5.4.2 Asymmetrie der Wechselkosten

Ist die Interpretation von Aufgabenwechselkosten zwar prinzipiell vereinbar mit der Annahme von Primingmechanismen im Aufgabenwechselparadigma, stellt der Befund jedoch noch keinen Beleg für nichtintentionales Priming als Ursache der Wechselkosten dar. Alternativ ist die bereits dargestellte Interpretation der Wechselkosten im Rahmen exekutiver Rekonfigurierung möglich. Hinweise auf die Beteiligung nichtintentionaler Mechanismen an einem flexiblen Wechsel des Handlungsziels finden sich jedoch durch dem Befund der Asymmetrie von Aufgabenwechselkosten. Spiegeln Wechselkosten alleine den Prozeß der Umkonfigurierung des kognitiven Systems wider, so sollten Wechselkosten ansteigen mit steigender Schwierigkeit der neuen Aufgabe und dadurch vermittelt mit steigenden Anforderungen an den Rekonfigurierungsprozeß.

Genau dieser Befund zeigte sich jedoch nicht, vielmehr fanden Allport und Mitarbeiter (Allport, Styles & Hsieh, 1994; Allport & Wylie, 1999) Evidenzen dafür, daß Wechselkosten von einer schwierigen (weniger automatisierten) zu einer leichten (stärker automatisierten) Aufgabe höher sind als die Kosten des umgekehrten Wechsels von einer leichten zu einer schwierigen Aufgabe. Allport und Mitarbeiter ließen ihre Probanden pure Blöcke der Aufgabe „Farbbenennung“ (FFFF) versus „Wortlesen“ (WWWW) (jeweils mit neutralen und Stroop-Stimuli), sowie alternierende Blöcke „Farbe und Wort“ (FWFW) (mit neutralen und Stroop-Stimuli) bearbeiten. Verglichen mit puren Blöcken zeigten sich in alternierenden Stroop-Blöcken für die Bearbeitung der dominanten Wortleseaufgabe substantielle (globale) Wechselkosten. Hingegen zeigten sich keine Wechselkosten für die Bearbeitung der nichtdominanten Farbaufgabe, d.h. es gab keinen signifikanten Reaktionszeitanstieg zwischen puren Stroop- und alternierenden Stroop-Blöcken in der Bearbeitung der Farbaufgabe.

Diese Asymmetrie der Wechselkosten ist nicht vereinbar mit der Annahme von Kontrollprozessen als alleinige Ursache der Wechselkosten. Sollten Wechselkosten alleine auf der intentionalen Rekonfigurierung des kognitiven Systems beruhen, so wären höhere Wechselkosten bei einem Wechsel auf die Farbaufgabe relativ zu einem Wechsel auf die stärker automatisierte Wortaufgabe zu erwarten. Die umgekehrte Asymmetrie der Wechselkosten weist dem Faktor des Persistierens des Task-Sets der Voraufgabe entscheidenden Einfluß auf die Bearbeitungsleistung unter wechselnden Aufgabenanforderungen zu. Um eine Aufgabe der Instruktion gemäß zu bearbeiten, ist es notwendig, daß das Task-Set der aktuellen Aufgabe stärker aktiviert ist als das Task-Set

einer konkurrierenden Aufgabe. Gemäß der TSI-Hypothese wird die Durchsetzung eines nichtdominanten Task-Sets gegenüber einem dominanten Task-Set zum einen durch eine verstärkte Aktivierung der relevanten, nichtdominanten Aufgabe, zum anderen durch Inhibition der konkurrierenden, dominanten Aufgabe ermöglicht (Allport, Styles & Hsieh, 1994; Allport & Wylie, 1999). Im Unterschied zu der Durchsetzung einer nichtdominanten Aufgabe ist die Durchsetzung einer dominanten Aufgabe an ein lediglich geringeres Ausmaß an Task-Set-Aktivierung und Task-Set-Inhibition gebunden. Durch das Persistieren von Task-Set-Aktivierung und Task-Set-Inhibition zeigt sich demnach nach einem Wechsel von einer nichtdominanten Aufgabe ein höheres Ausmaß an positivem Priming der Konkurrenzaufgabe und Negativem Priming der jetzt relevanten Aufgabe als nach einem Wechsel von einer dominanten Aufgabe (Allport, Styles & Hsieh, 1994; Allport & Wylie, 1999). Somit ist durch einen nichtintentionalen Prozeß des Aufgabenprimings ein Wechsel von einer nichtdominanten auf eine dominante Aufgabe mit höheren Kosten assoziiert als ein Wechsel von einer dominanten auf eine nichtdominante Aufgabe[13;14].

5.4.3 Reduktion der Wechselkosten durch passiven Zerfall des Task-Sets der Voraufgabe

Der im Abschnitt über intentionale Prozesse im Aufgabenwechselparadigma vorgestellte Befund der Reduktion der Wechselkosten über dem Vorbereitungsintervall galt als Hinweis auf die Beteiligung exekutiver Mechanismen bei einem Wechsel der Aufgabenstellung. Es wurde in dem Abschnitt argumentiert, daß eine einfache Reduzierung der Wechselkosten über dem Response-Stimuls-Intervall jedoch nicht als Evidenz dafür gewertet werden kann, daß Aufgabenwechselkosten die Dauer eines exekutiven Kontrollmechanismus abbilden. Alternativ ist eine Interpretation der Daten im Sinne eines nichtintentionalen Zerfalls des

[13] Jedoch hat sich seit dem ersten Aufzeigen asymmetrischen Wechselkosten die Befundlage verkompliziert. So fanden Monsell und Mitarbeiter (Monsell, Yeung & Azuma, 2000) asymmetrische Wechselkosten im Sinne Allport et als. nicht in allen Variationen der Aufgabenschwierigkeit. Wurde die Aufgabenschwierigkeit über die räumliche Kompatibilität der Aufgaben variiert oder zeigte sich ein nur geringes Dominanzgefälle der verwendeten Aufgaben, so fanden Monsell et al. keine Asymmetrie der Wechselkosten. Monsell und Mitarbeiter schlossen aus ihren konfligierenden Befunden, daß ein Wechsel zu der dominanteren von zwei Aufgaben nicht generell erschwert ist. Vielmehr scheint die Asymmetrie der Wechselkosten von unterschiedlichen Faktoren, insbesondere vom Ausmaß der Differenz der Aufgabenschwierigkeit, moduliert zu werden.

[14] Rubinstein et al. (Rubinstein, Meyer & Evans, 2001) fanden eine Asymmetrie der Wechselkosten in entgegengesetzter Richtung: Es zeigten sich erhöhte Wechselkosten beim Wechsel auf eine schwierigere Aufgabe.

Task-Sets der Voraufgabe (und damit im Sinne verminderter proaktiver Interferenz) möglich. Meiran (1996) kommt – wie unter 5.3.2 bereits dargestellt – der Verdienst zu, passiven Zerfall und tatsächliche, intentionale Vorbereitungseffekte zu disambiguieren, indem er unter Verwendung des Cuing-Paradigmas Response-Stimulus-Intervall und Cue-Stimulus-Intervall unabhängig voneinander variierte. Neben dem bereits besprochenen Einfluß des CSI auf die Wechselkosten (als Maß für einen exekutiven Kontrollprozeß) zeigte sich ein davon unabhängiger Einfluß des RSI: Auch bei konstantem CSI zeigte sich eine Reduktion der Wechselkosten bei Verlängerung des RSI. Diese Reduktion der Wechselkosten kann nun nicht als intentionale Vorbereitung auf die Erfordernisse der neuen Aufgabe gewertet werden, sondern stellt vielmehr ein Indiz für den nichtintentionalen Zerfall des Task-Sets der Voraufgabe als Einflußgröße der Wechselkosten dar.

5.4.4 Residuale Wechselkosten

Ein weiterer Befund, der die Bedeutung nichtintentionaler Prozesse an den Kosten eines Aufgabenwechsels herausstellt, ist das Vorliegen residualer Wechselkosten. So zeigte sich zwar eine Reduktion von Aufgabenwechselkosten bei einer Verlängerung des Vorbereitungsintervalls, jedoch konnten auch nach maximaler Vorbereitung Wechselkosten nicht gänzlich eliminiert werden (z.B. Allport, Styles & Hsieh, 1994; Goschke, 2000; Koch, 2001; Meiran, 2000b; Meiran & Marciano, 2002; Rogers & Monsell, 1995). Beispielsweise konnten Rogers und Monsell auch nach einem RSI von 3500 msec noch Wechselkosten finden, die aber bereits ab 600 msec einen asymptotischen Verlauf annahmen. Diese relativen Reaktionszeiterhöhungen für Aufgabenwechsel auch nach maximaler Vorbereitung werden als „residuale Wechselkosten“ bezeichnet. Lassen sich Wechselkosten auf das nichtintentionale Persistieren des Task-Sets der Voraufgabe zurückzuführen, wobei das Priming zu einem gewissen Ausmaß durch Verlängerung der Vorbereitungszeit auf die neue Aufgabe reduziert werden kann, so können entsprechend residuale Wechselkosten dahingehend interpretiert werden, daß auch lange Vorbereitung die Aktivität des Task-Sets der Voraufgabe eben nicht gänzlich auf das Ursprungsniveau herabsetzen kann[15].

[15] Eine alternative Interpretation der residualen Wechselkosten schlagen Rogers und Monsell (1995) vor. Gemäß ihrem Ansatz der Task-Set-Rekonfigurierung stellen residuale Wechselkosten kein Maß für einen

Der Reduktion als auch der fehlenden Eliminierung der Wechselkosten über dem Vorbereitungsintervall Rechnung tragend, schlägt Fagot (1994) vor, Wechselkosten in zwei funktionale Komponenten zu zerlegen (siehe Abbildung 10): eine vom Vorbereitungsintervall abhängige Komponente, welche durch ein ausreichend langes Vorbereitungsintervall eliminiert werden kann und eine durch Vorbereitung nicht beeinflußbare, residuale Komponente. Lediglich die von Vorbereitung beeinflußbare Komponente eignet sich, exekutive Kontrollmechanismen abzubilden, die residuale Komponente der Wechselkosten stellt hingegen ein Maß für nichtintentionale Prozesse im Aufgabenwechselparadigma dar.

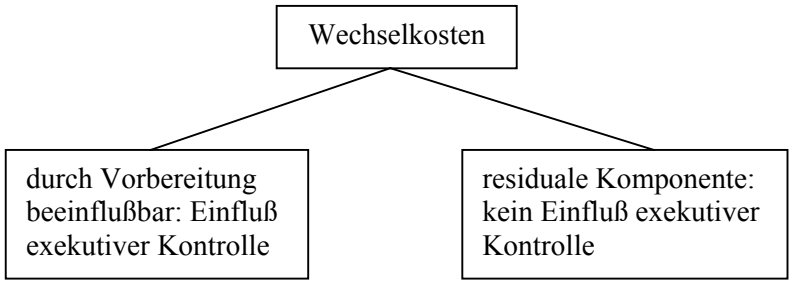


Abbildung 10: Komponenten der Wechselkosten in Abhängigkeit von ihrer Beeinflußbarkeit durch Vorbereitung

Die beiden Komponenten der Wechselkosten lassen sich lose zwei qualitativ verschiedenen Stufen der Aufgabenanwendbarkeit zuordnen. So unterscheidet Fagot zwischen der Implementierung des Task-Sets („task-set“) und der Bereitschaft des Task-Sets („task-readiness“). Bereits im Vorbereitungsintervall kann entsprechend dem Handlungsziel die Implementierung des Task-Sets, d.h. die Konfigurierung des Verarbeitungssystems, derart abgeschlossen werden, daß ein imperativer Reiz gemäß der neuen Aufgabenregel bearbeitet wird. Jedoch kann das Niveau der Aufgabenbereitschaft nicht schon im Vorbereitungsintervall verändert werden. Residuale Wechselkosten entstehen nach dieser Konzeption eben durch die Tatsache, daß das kognitive System auch nach langer Vorbereitungszeit für eine neue Aufgabe nicht das Maß an Aufgabenbereitschaft erwerben kann wie nach mindestens einmaliger Ausführung der Aufgabe.

Meiran (2000a; 2000b) trägt in seinem Modell des Aufgabenwechsels dem Befund residualer Wechselkosten Rechnung, indem neben den bereits dargestellten, modellierten Mechanismen exekutiver Kontrolle entsprechend nichtintentionale Mechanismen in dem

---

nichtintentionalen Primingprozeß dar. Vielmehr sind residuale Kosten darauf zurückzuführen, daß das Abschließen des exekutiven Mechanismus der Rekonfigurierung (die „exogene Komponente“ der Rekonfigurierung) an die Präsentation des imperativen Stimulus gebunden ist.

Modell implementiert sind. So nimmt das Modell neben der Gewichtung der Dimensionen des imperativen Stimulus („S-set-biasing“) eine Gewichtung der Dimensionen der Responses („R-set-biasing“) an. Im Unterschied zu der Gewichtung des Stimulussets können die Gewichtungen der Responses nicht bereits im Vorbereitungsintervall adjustiert werden, sondern werden vom Vordurchgang übernommen. Residuale Wechselkosten entstehen in dem Modell demnach dadurch, daß auch nach langer Vorbereitungszeit die Gewichtungen in einem Aufgabenwechseldurchgang nicht ebenso adäquat für die neue Aufgabe sind wie nach einem Aufgabenwiederholungsdurchgang.

Motivationale Aspekte residualer Wechselkosten werden von DeJong (DeJong, 2000) diskutiert. Entsprechend dieser Konzeptualisierung entstehen residuale Wechselkosten nicht durch unvollständige Vorbereitung und damit durch relative Benachteiligung von Aufgabenwechseln in allen Wechseldurchgängen, sondern durch Unfähigkeit zur Vorbereitung auf die neue Aufgabe in *einigen* Wechseldurchgängen („failure-to-engage“). Einem Alles-oder-nichts-Prinzip der Vorbereitung folgend, erfolgt in einigen Wechseldurchgängen überhaupt keine Vorbereitung auf eine neue Aufgabe, in den Wechselgängen, in denen Vorbereitung erfolgt, ist sie jedoch vollständig. Residuale Kosten kommen rein rechnerisch durch Mittelung der Reaktionszeiten in vollständig vorbereiteten und vollständig unvorbereiteten Wechseldurchgängen zustande.

5.4.5 Eliminierung von Aufgabenwechselkosten

Der Befund der residualen Wechselkosten galt als Evidenz für ein prinzipielles Limit exekutiver Kontrolle und als Beleg für die Beteiligung nichtintentionaler Prozesse bei einem flexiblen Wechsel der S-R-Zuordnungen (Sohn & Anderson, 2000). Tatsächlich scheint dieses generelle Limit exekutiver Kontrolle jedoch in einigen spezifischen Versuchsanordnungen umgangen werden zu können. So ist unter vier Bedingungen eine Elimination der Wechselkosten möglich: Keine Wechselkosten zeigten sich für einen Wechsel zu einer hochkompatiblen Aufgabe, als auch unter Verwendung univalenter Responses sowie unter Verwendung einer Nogo-Bedingung im Vordurchgang. Teilweise konnten Wechselkosten zudem durch die Verwendung univalenter Stimuli eliminiert werden.

Eine aktuelle Studie, in welcher eine Eliminierung der Aufgabenwechselkosten bei einem Wechsel zu einer hochkompatiblen Aufgabe gezeigt werden konnte, stellt die Studie

im Pro- und Antisakkaden-Paradigma von Hunt und Klein (2002) dar. Ließen Hunt und Klein ihre Probanden von einer Antisakkaden-Aufgabe (Blickzuwendung entgegen der Richtung des Targetstimulus) auf eine Aufgaben im Prosakkaden-Paradigma (Blickzuwendung in Richtung auf einen Targetstimulus) wechseln, so zeigten sich keine Wechselkosten.

Als weniger eindeutig stellen sich Studien unter Verwendung univalenter Stimuli dar. Univalente Stimuli sind dadurch gekennzeichnet, daß diese Reize lediglich in einer der verwendeten Aufgaben präsentiert werden oder lediglich gemäß einer der verwendeten Aufgaben beurteilbar sind. Jersild (1927) konnte eine Elimination der Wechselkosten bei der Darbietung univalenter Stimuli aufzeigen: Zeigten sich bei Verwendung bivalenter Stimuli noch substantielle Wechselkosten bei einem Wechsel der verwendeten arithmetischen Operation, so zeigte sich für univalente Stimuli eine nichtsignifikante Erleichterung in der Bearbeitung eines Aufgabenwechsels relativ zu einer Aufgabenwiederholung. Der Befund der Eliminierung der Wechselkosten konnte in der Folgezeit jedoch kaum repliziert werden. Anstelle einer vollständigen Aufhebung der Aufgabenwechselkosten fand sich häufig lediglich eine massive Reduzierung der Kosten bei der Verwendung univalenter Stimuli (z.B. Allport & Wylie, 2000; Fagot, 1994; Meiran, 2000b; Rogers & Monsell, 1995). Der häufige Befund einer nicht vollständigen Eliminierung von Wechselkosten für univalente Stimuli ist insofern bemerkenswert, da bei getrennten Stimulussets in beiden Aufgaben ein Wechsel der Aufgabe nicht mit einer Änderung der S-R-Zuordnung einhergeht. Aufgrund der nicht überlappenden Reiz-Reaktions-Zuordnungen könnten beide Aufgaben als eine einzige Wahlreaktionsaufgabe repräsentiert werden. Daß genau diese gemeinsame Repräsentation nicht oder nur unzureichend stattfindet, zeigen die bestehenden Wechselkosten auch bei univalenten Reizen an.

Scheint eine Disambiguierung des Stimulusmaterials demnach nicht geeignet, Aufgabenwechselkosten vollständig zu eliminieren, so ist eine Aufhebung der Wechselkosten durch Disambiguierung der Responses möglich. So fand Meiran (2000b) eine Elimination der Wechselkosten unter Verwendung getrennter Responsetasten für beide Aufgaben. Die an getrennte Responsesets gebundene Elimination der Wechselkosten macht die Bedeutung von Konflikten mit einer Reaktion aus dem aktuellen Reaktionsset für die Aufgabenwechselkosten deutlich.

Die Bedeutung von Responsekonflikten konnte auch in der Arbeit von Schuch und Koch (2003) aufgezeigt werden. Schuch und Koch fanden typische Aufgabenwechsel-

kosten nach der Bearbeitung eines Durchgangs, in welchem tatsächlich eine Reaktion auf den imperativen Stimulus zu geben war (Go-Durchgang), jedoch fanden sie keine signifikanten Kosten eines Aufgabenwechsels mehr nach einem Durchgang, in dem keine Reaktion zu geben war (Nogo-Durchgang). Ist dieser Befund noch sowohl durch das Fehlen der Prozesse der Responseselektion als auch der Responseausführung in Nogo-Durchgängen gekennzeichnet, konnte in einem zweiten Experiment ausgeschlossen werden, daß die Elimination der Wechselkosten in dem Fehlen der Responseexekution begründet ist. In diesem zweiten Experiment ließen Schuch und Koch die Probanden in den Nogo-Durchgängen eine neutrale Response (Antwort mit beiden Responsetasten) geben. Auch die Gabe einer neutralen Response im Vordurchgang führte zu einer signifikanten Reduktion der Wechselkosten. Demnach zeigt sich ein bedeutsamer Effekt des Prozesses der Reaktionsselektion für die Anwendbarkeit einer neuen Aufgabe. Schuch und Koch interpretieren auftretende Wechselkosten nach Go-Durchgängen als Folge der Responseselektion im Vordurchgang, die an Inhibition der konkurrierenden Kategorie-Response-Regel gebunden ist. Ist nun im Vordurchgang keine Reaktionsselektion und als Folge keine Inhibition konkurrierender S-R-Zuordnungen notwendig, muß im nachfolgenden Durchgang nicht zu einer Aufgabe gewechselt werden, deren Kategorie-Response-Regeln im Vordurchgang inhibiert wurden.

Es liegen demnach experimentelle Anordnungen im Aufgabenwechselparadigma vor, die den störenden Einfluß nichtintentional persistierender Task-Sets eliminieren. Derartige Anordnungen beinhalten zumeist eine Aufhebung von Responsekonflikten; demnach scheinen Reaktionskonflikte zu einem bedeutenden Ausmaß zu Aufgaben-wechselkosten beizutragen.

5.4.6 Symmetrische Stroop-Interferenz

Ein weiterer Befund, der die Bedeutung von Primingprozessen im Aufgabenwechselparadigma herausstellt, ist die Aufhebung asymmetrischer (Stroop)-Interferenz nach Aufgabenwechseln (Allport, Styles & Hsieh, 1994; Allport & Wylie, 1999). Stroop-Interferenz wurde bereits in Kapitel 3.2 dargestellt als eine asymmetrische Interferenz eines dominanten Task-Sets (z.B. Wortlesen) auf die Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe (z.B. Farbbenennen). Unter Verwendung wechselnder Aufgabenanforderungen konnten Allport und Mitarbeiter eine Aufhebung dieser

Interferenz-Asymmetrie aufzeigen: Nach einem Aufgabenwechsel zeigte sich nicht lediglich eine Interferenz des dominanten auf das nichtdominante Task-Set, sondern zusätzlich – und in gleichem Ausmaß – ebenfalls ein Einfluß des nichtdominanten auf das dominante Task-Set. Verglichen mit Kontrollaufgaben unter Verwendung neutraler Stimuli (Farbbenennung von Nicht-Wort-Stimuli und Wortlesen von farbneutralen Wörtern) zeigten sich unter Verwendung von Stroop-Stimuli sowohl Interferenzeffekte der irrelevanten Wortbedeutung auf die Farbbenennaufgabe *als auch* Interferenzen der irrelevanten Farbdimension auf die Wortleseaufgabe (Allport, Styles & Hsieh, 1994; Allport & Wylie, 1999). Diese Aufhebung der Interferenz-Asymmetrie kann im Sinne der TSI-Hypothese durch das nichtintentionale Persistieren des Task-Sets der Voraufgabe gefaßt werden: Die Durchsetzung eines nichtdominanten Task-Sets im Vordurchgang ist an einen verstärkten Einfluß kognitiver Kontrollmechanismen gebunden (relativ zu der Durchsetzung eines stark automatisierten Task-Sets). Diese stärkeren Kontrolleinstellungen des nichtdominanten Task-Sets persistieren nichtintentional und interferieren im nachfolgenden Wechseldurchgang mit der relevanten, dominanten Aufgabe. Als Folge des nichtintentionalen Primings interferiert ein irrelevantes, nichtdominantes Task-Set im gleichen Ausmaß mit der relevanten Bearbeitung wie ein irrelevantes, dominantes Task-Set.

5.4.7 Langfristige Effekte vorangehender Aufgaben

Allport und Mitarbeiter (Allport, Styles & Hsieh, 1994) präsentieren einen weiteren Befund, der die Beteiligung nichtintentionaler Mechanismen an Aufgabenwechselkosten nahelegt. Entsprechend der Annahme, daß, bildeten Aufgabenwechselkosten alleine die Dauer eines exekutiven Kontrollprozesses ab, Wechselkosten nach langer Vorbereitungszeit gegen Null gehen sollten, sollten Wechselkosten auch nach einmaliger Ausführung einer Aufgabe eliminiert werden. Jedoch fanden Allport und Mitarbeiter Wechselkosten auch nach mehrfacher Ausführung einer neuen Aufgabe und zeigten damit einen langfristigen Einfluß konkurrierender Task-Sets auf. Allport und Mitarbeiter ließen ihre Probanden drei Aufgabenblöcke mit insgesamt vier verschiedenen Stroop-Aufgaben (Farbstroop und Zahlenstroop) bearbeiten. In jedem Block wurden den Probanden pro Durchgang jeweils zwei pure Aufgabensequenzen und eine alternierende Sequenz dargeboten. In ihrem ersten Block erhielt die Hälfte der Versuchspersonen die

nichtdominanten Aufgaben und sollte entweder nur die Schriftfarbe von Farbwörtern benennen oder nur die Anzahl von dargebotenen Ziffern nennen (pure Sequenzen) oder zwischen diesen beiden Aufgaben alternieren (alternierende Sequenzen). Die globalen Wechselkosten zwischen puren und alternierenden Sequenzen waren nach wenigen Durchgängen nicht mehr von Null verschieden. Wurde jetzt jedoch im zweiten Block auf die zugehörigen dominanten Aufgaben (Lesen des Farbwortes und Benennen der Zahl) gewechselt, so zeigten sich in den ersten Durchgängen massive Differenzen zwischen puren und alternierenden Blöcken - demnach globale Wechselkosten -, die auch im weiteren Verlauf noch signifikant von Null verschieden waren. Auch bei einem Rückwechsel auf die nichtdominanten Aufgaben im dritten Block zeigten sich jetzt substantielle Wechselkosten zwischen puren und alternierenden Blöcken, die zwar im weiteren Verlauf reduziert, jedoch nicht eliminiert wurden. Die unterschiedlichen Verläufe der Wechselkosten in den Blöcken 2 und 3 einerseits und dem Block 1 andererseits lassen sich damit interpretieren, daß die relevanten Task-Sets eines früheren Blocks persistieren und mit der Bearbeitung der aktuellen Aufgabe interferieren.

Ein derartiger langfristiger Effekt einer vorherigen Aufgabenbearbeitung stellt demnach erneut die Beteiligung nichtintentionaler Mechanismen bei einem Wechsel eines Handlungsziels heraus.

5.4.8 Nichtintentionale Effekte auf Stimulus- und Responseebene

Die Darstellung der bisherigen Befunde diente dazu, die Beteiligung sowohl exekutiver als auch nichtintentionaler Prozesse an einem flexiblen Wechsel der Aufgabenbearbeitung aufzuzeigen. Die bisher dargestellten Effekte stellen dabei Befunde dar, die auf der Ebene von Task-Sets anzusiedeln sind. Es sollte sich jedoch bald zeigen, daß neben Effekten auf Ebene der S-R-Zuordnungen ebenfalls Effekte auf Ebene einfacher Stimuli und Responses zu berücksichtigen sind.

So zeigt sich neben Task-Set-spezifischen Effekten im Aufgabenwechselparadigma ein spezifischer Effekt der jeweils gegebenen Response. Wiederholungen der Response des Vordurchgangs führen dabei zu erleichterten Reaktionen in einem Aufgaben-wiederholungsdurchgang, während sich eben diese Responsewiederholungen nachteilig in Aufgabenwechseln auswirken (Pösse, 2000). Als eine zweite Kategorie an Effekten unterhalb der Effekte auf Task-Set-Ebene zeigen sich stimulusspezifische Effekte. Ein

häufig zu findender, stimulusspezifischer Effekt im Aufgabenwechselparadigma ist ein Effekt der Stimulussequenz: Im Rahmen einer Aufgabenwiederholung findet sich ein Vorteil der Wiederholung des imperativen Stimulus, im Rahmen eines Aufgabenwechsels zeigt sich jedoch ein Vorteil eines parallelen Stimuluswechsels (Allport & Wylie, 2000; Pösse, 2000). Der Vorteil einer Stimuluswiederholung lediglich für eine gleichzeitige Aufgabenwiederholung deutet an, daß eine Aufgabe mit dem in ihr verwendeten imperativen Stimulus assoziiert ist.

Eine derartige Bindung zwischen Aufgaben und den in ihnen verwendeten Stimuli (itemspezifisches Aufgabenpriming) konnte auch von Allport und Wylie (2000) aufgezeigt werden. Allport und Wylie präsentierten ihren Probanden Stimuli, die nur teilweise in den beiden verwendeten Stroop-Aufgaben überlappten. Wurden den Versuchspersonen in der Wortleseaufgabe Stroop-Stimuli präsentiert, die zuvor im Kontext der Farbbenennungsaufgabe dargeboten wurden, so zeigten sich signifikant höhere Latenzen und Aufgabenwechselkosten als bei der Präsentation von Stroop-Stimuli, welche nicht bereits zuvor im Kontext der anderen Aufgabe präsentiert wurden.

Weitere Evidenz für stimulusspezifische Effekte konnte in einer Studie von Waszak et al. (Waszak, Hommel & Allport, im Druck) präsentiert werden. Waszak et al. variierten die Darbietung eines Bild-Wort-Interferenzparadigmas dahingehend, daß die einzelnen Reize nicht gleichverteilt den alternativen Aufgaben zugeordnet waren. Wurde ein Stimulus häufiger im Kontext der aktuell irrelevanten Aufgabe dargeboten, so interferierte dieser Stimulus stärker mit der Bearbeitung der relevanten Aufgabe als ein Reiz, der selten in der aktuell irrelevanten Aufgabe verwendet wurde. Da der gefundene, stimulusspezifische Effekt einen Effekt der Häufigkeitsmanipulation darstellt, bedeutet dieser Effekt keine lediglich kurzanhaltende Bindung von Stimuli und Aufgaben, sondern einen über mehrere Versuchsdurchgänge anhaltenden, stimulusspezifischen Effekt.

In einer weiteren Studie konnten auch Koch und Allport (2002) derartige Stimulus-Aufgaben-Assoziationen nachweisen. Koch und Allport boten ihren Probanden numerische Stimuli dar, die fest einer von zwei verwendeten Aufgaben zugeordnet waren (beispielsweise kam der Stimulus „3“ nur in der gerade-ungerade-Aufgabe vor). Diese Stimulus-Aufgaben-Zuordnung wurde für vier Aufgabenblöcke beibehalten. Der kritische, fünfte Aufgabenblock, in dem sich die Stimulus-Aufgaben-Zuordnung änderte, resultierte in signifikant höheren Reaktionszeiten und Wechselkosten als die vorherigen vier Verarbeitungsblöcke. Aufgrund des zusätzlichen Effekts, daß dieser Reaktionszeit- und Wechselkostenanstieg gleichermaßen für kongruente und inkongruente Reize galt, konnte

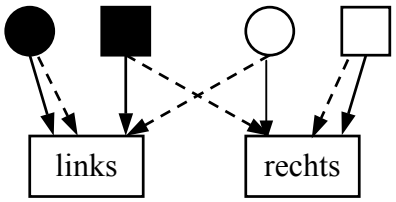
der Effekt auf stimulusbasiertes Aufgabenpriming zurückgeführt werden und ließ sich nicht alleine als Priming der korrekten Response interpretieren.

Derartige Bindungen zwischen Stimuli und Aufgaben sowie zwischen Stimuli und Responses bieten möglicherweise ein geeignetes Erklärungskonzept für Befunde, die bisher mit Prozessen auf Ebene abstrakter Task-Sets interpretiert wurden. Resultiert beispielsweise ein Wechsel der Stimulus-Aufgaben-Zuordnung neben einer generellen Erhöhung der Reaktionszeiten zudem in einer Erhöhung der Wechselkosten, so scheint zumindest ein Teil der Wechselkosten, welche zuvor durch intentionale oder nichtintentionale Prozesse auf Task-Set-Ebene zurückgeführt wurden, auf nichtintentionalen, stimulusspezifischen Faktoren zu basieren.

5.4.9 Interferenz durch irrelevante Task-Sets: Kongruenzeffekte und Task-Cuing

Der nichtintentionale Einfluß irrelevanter Task-Sets wurde bis zu diesem Zeitpunkt lediglich anhand von erhöhten Kosten eines Task-Set-Wechsels sowie an mit Aufgabenwechselkosten assoziierten Befunden dargestellt. Aufgabenwechselkosten scheinen zumindest zu einem Teil auf den nichtintentionalen, persistierenden Einfluß des Task-Sets der Voraufgabe hinzudeuten. Es besteht jedoch durch die Messung von Kongruenzeffekten und Task-Cuing-Effekten eine weitere Möglichkeit, den Einfluß zielirrelevanter Task-Sets zu erfassen.

Die imperativen Stimuli lassen sich dahingehend unterscheiden, ob sie in den verwendeten Aufgaben dieselbe Response erfordern (responsekongruente oder kongruente Stimuli), oder ob sie in den Aufgaben verschiedene Responses erfordern (responseinkongruente oder inkongruente Stimuli). In Abbildung 11 sind die Reiz-Reaktions-Zuordnungen entsprechend zweier Aufgaben und die aus den Zuordnungen resultierenden Kongruenzen exemplarisch dargestellt.



Aufgabe A (Farbe):
schwarz → links; weiß → rechts
Aufgabe B (Form):
rund → links; eckig → rechts

Abbildung 11: Zuordnungen der vier Beispielstimuli zu den beiden Reaktionstasten gemäß der Aufgaben Farbbeurteilung und Formbeurteilung

In diesem Beispiel wäre ein schwarzer, runder Stimulus als kongruent zu bezeichnen, da dieser Stimulus in beiden Aufgaben mit der identischen Response assoziiert ist (links); im Gegensatz dazu wäre ein schwarzer, eckiger Stimulus ein Beispiel für einen inkongruenten Stimulus, da dieser Reiz in der Farbaufgabe die linke, in der Formaufgabe jedoch die rechte Response erfordert.

Typischerweise zeigt sich ein Kongruenzeffekt dahingehend, daß kongruente Reize relativ zu inkongruenten Reizen erleichtert bearbeitbar sind (z.B. Fagot, 1994; Goschke, 2000; Hübner, Futterer & Steinhauser, 2001; Meiran, 1996; Monsell, Yeung & Azuma, 2000; Rogers & Monsell, 1995; Sudevan & Taylor, 1987). Der stabile Befund der erleichterten Bearbeitbarkeit kongruenter Reize deutet auf den nichtintentionalen Einfluß des zum aktuellen Zeitpunkt irrelevanten Task-Sets hin: Diejenigen Stimuli sind leichter bearbeitbar, welche entsprechend dem relevanten und dem irrelevanten Task-Set der gleichen Response zugeordnet sind. Im Falle inkongruenter Stimuli bahnen relevantes und irrelevantes Task-Set unterschiedliche Reaktionen; der daraus resultierende Reaktionskonflikt bedingt die erhöhten Verarbeitungskosten bei der Bearbeitung inkongruenter Stimuli. In typischen experimentellen Aufgabenwechselsituationen stellt die Auswahl der geeigneten Response auf einen gegebenen Stimulus die anfälligste Komponente der Handlung dar, da sowohl die perzeptuelle Komponente der Aufgabe als auch die Responsegabe selber (Tastendruck) für sich genommen wenig anspruchsvoll sind. Reaktionskongruenzeffekte zeigen nun, indem sie den Einfluß von Responsekonflikten auf die Bearbeitung darstellen, die Bedeutung der Responseauswahl für die Verarbeitung auf. Obwohl sie einen Konflikt auf Ebene der Reaktionen darstellen, weisen Reaktionskongruenzeffekte auf einen Einfluß des irrelevanten Task-Sets hin, da verschiedene Responsezuordnungen zu identischen Stimuli immer notwendig an verschiedene Task-Sets gebunden sind.

Unter der Annahme, daß das irrelevante S-R-Mapping nach einem Aufgabenwechsel stärker aktiv ist als nach einer Aufgabenwiederholung, da nach einem Aufgabenwechsel das jetzt irrelevante Mapping im Vordurchgang relevant war, sollten sich Kongruenzeffekte verstärkt für Aufgabenwechsel zeigen. Tatsächlich findet sich eine derartige Abhängigkeit des Kongruenzeffekts von der Aufgabensequenz: Zeigt sich generell ein Vorteil kongruenter Stimuli, so ist dieser Vorteil nach einem Aufgabenwechsel noch verstärkt (Goschke, 2000; Rogers & Monsell, 1995).

Stellen Kongruenzeffekte entsprechend den Aufgabenwechselkosten ein Maß für die Interferenz durch ein irrelevantes Task-Set bereit, so sollten Kongruenzeffekte ähnlich

den Kosten eines Aufgabenwechsels intentional modulierbar sein. Konnte gezeigt werden, daß sich Aufgabenwechselkosten durch intentionale Aufgabenvorbereitung reduzieren lassen, so sollten Kongruenzeffekte in entsprechender Weise durch Vorbereitung reduziert werden. Interessanterweise findet sich jedoch zumeist keine Reduzierung des Kongruenzeffekts über dem Vorbereitungsintervall (Fagot, 1994; Meiran, 1996); einzig Goschke (2000) und Sudevan und Taylor (1987) (jedoch lediglich nach einer langen Übungsperiode) konnten eine Reduktion des Kongruenzeffekts mit längerem Vorbereitungsintervall aufzeigen. Insgesamt sprechen die Daten dafür, daß es dem kognitiven System nicht gelingt, alleine durch Vorbereitung auf eine neue Aufgabe die zieldienliche Verarbeitung vor Interferenz zu bewahren. Reaktionskongruenzeffekte reduzieren sich erst, wenn die neue Aufgabe bereits mindestens einmal ausgeführt wurde.

Eine Möglichkeit der Interpretation der unterschiedlichen Abhängigkeit von Kongruenzeffekten und Wechselkosten von der Aufgabenvorbereitung stellen Mayr und Kliegl (2000) dar: Möglicherweise sind Wechselkosten vermittelt über die Aktivation irrelevanter Task-Sets im Arbeitsgedächtnis, während Kongruenzeffekte auf direkte, auf Langzeitgedächtnis-Strukturen basierenden Verbindungen der irrelevanten Reizattribute zu Responserepräsentationen zurückgehen (Mayr & Kliegl, 2000)[16].

Neben der Differenz der Bearbeitungsleistung bezüglich Stimuli, die in beiden verwendeten Aufgaben mit einer identischen Response assoziiert sind und Stimuli, die in beiden verwendeten Aufgaben divergierende Responses erfordern, zeigt sich ein zweiter Interferenzeffekt im Aufgabenwechselparadigma. So fanden Rogers und Monsell (1995), daß generell die Bearbeitung multivalenter Reize gegenüber univalenten Reizen erschwert ist, ein Effekt, der in der Folgezeit als Task-Cuing-Effekt bezeichnet wurde (Monsell, Taylor & Murphy, 2001; Rogers & Monsell, 1995; siehe auch Fagot, 1994: „task-competition“). Interessanterweise ist die Bearbeitung univalenter Reize auch relativ zur Bearbeitung kongruenter, bivalenter Reize erleichtert[17]. Diese Differenz ist nun nicht auf

---

[16] Eine Interpretation von Kongruenzeffekten im Sinne von direkten, langzeitgedächtnisbedingten S-R-Verbindungen konfligiert mit der geläufigeren Annahme, Kongruenzeffekte seien durch parallele Aktivität konkurrierender Task-Sets im Arbeitsgedächtnis bedingt. Mayr und Kliegl (2000) versuchen, ihre Annahme, daß zu einem Zeitpunkt nur ein Task-Set im Arbeitsgedächtnis vorliegt, dadurch zu bestätigen, daß Faktoren, die typischerweise zu erhöhten Anforderungen beim Abruf aus dem Langzeitgedächtnis führen (z.B. episodischer Abruf relativ zu semantischem Abruf), in erhöhten Schwierigkeiten bei der Etablierung eines neuen Task-Sets resultieren.

[17] Ein Vergleich zu Aufgaben im Stroop-Interferenzparadigma macht deutlich, daß unter Verwendung nur einer einzigen Aufgabe kongruente Stimuli (etwa das Farbwort „rot“ geschrieben in roter Schriftfarbe) die Reaktionen relativ zu neutralen Stimuli (ein Nichtwort in roter Schriftfarbe) erleichtern. Dieser Befund findet sich im Aufgabenwechselparadigma nicht, vielmehr sind kongruente Reize relativ zu neutralen (univalenten) Reizen erschwert bearbeitbar. Im Kontext wechselnder Aufgaben scheinen daher Konflikte auf Task-Set-

einen Konflikt auf Ebene von Responses rückführbar, da kongruente Reize eben keine konfligierende Response in der irrelevanten Aufgabe erfordern. Vielmehr scheinen kongruente Reize nichtintentional das Task-Set der irrelevanten Aufgabe aufzurufen und über diese Task-Set-Aktivation Interferenz auszuüben. Demnach zeigen sich Interferenzen durch das aktuell nicht relevante Task-Set, die auch dann auftreten, wenn der imperative Stimulus gemäß der nicht relevanten Aufgabe in die gleiche Response münden würde. Jedoch stellt sich die Frage, inwieweit eine experimentelle Unterscheidung von Kongruenzeffekten und Task-Cuing-Effekten tatsächlich möglich ist. So gehen Kongruenzeffekte immer mit Task-Cuing-Effekten einher, als Folge ist eine alleinige Betrachtung von Kongruenzeffekten nicht möglich.

5.5 Steuerungsmechanismen im Aufgabenwechselparadigma

Die bisherige Darstellung der Befunde im Aufgabenwechselparadigma geschah mit dem Ziel zu verdeutlichen, daß auch eine kognitive Leistung, welche als paradigmatisch galt für den Einfluß exekutiver Mechanismen, von einer Fülle nichtintentionaler Faktoren begleitet wird (Meiran, Chorev & Sapir, 2000). Die bisher präsentierten Befunde der Beteiligung nichtintentionaler Prozesse machten eine Vielzahl potentieller Interferenzquellen deutlich, zu sehen etwa an den soeben vorgestellten Kongruenz- und Task-Cuing-Effekten.

Entsprechend den Situationen, welche keinen flexiblen Wechsel des Aufgabenziels erfordern, besteht daher auch in Aufgabenwechselsituationen die Notwendigkeit, die aktuell zielrelevante Verarbeitung gegenüber konkurrierenden Task-Sets zu etablieren, aufrechtzuerhalten und abzuschirmen. Diese Anforderungen an die Durchsetzung des relevanten Task-Sets sind nun nicht aufgabenwechselspezifisch, sondern treten immer in Situationen mit Handlungskonflikt auf. Das Aufgabenwechselparadigma etabliert jedoch eine Verschärfung des Konflikts zwischen relevanter Handlungsbereitschaft und irrelevanten Task-Sets, da nicht alleine stark automatisierte Task-Sets, sondern zudem soeben relevante Task-Sets als potentielle Interferenzquellen möglich sind. Auch wird der

---

Ebene Reaktionserleichterungen durch parallele Aktivation der relevanten Response zu überwiegen. Interferenz auf Task-Set-Ebene, die nicht auf Responsekonflikte rückführbar ist, findet sich jedoch ebenfalls unter Verwendung nur einer Aufgabe im sog. Klein-Effekt (Klein, 1964): Nichtfarbwörter (z.B. „Schiff“) interferieren stärker mit einer Farbbenennungsaufgabe als Nichtwörter, obwohl weder die Nichtfarbwörter noch die Nichtwörter einen Responsekonflikt evozieren. Die Differenz in der Höhe der Interferenz kann nur auf einen Unterschied der Task-Set-Interferenz rückführbar sein: Nichtfarbwörter interferieren deshalb stärker mit der Farbaufgabe, da durch die Präsentation des Wortes das abstrakte Task-Set „Lesen“ aufgerufen wird.

Handlungskonflikt dadurch erhöht, daß die im Aufgabenwechselparadigma typischerweise verwendeten Stimuli multivalent, d.h. unter mehreren Aufgabenstellungen bearbeitbar sind. Die korrekte Bearbeitung einer Aufgabe erfordert demnach die Durchsetzung einer spezifischen Reiz-Reaktions-Zuordnung gegenüber konkurrierenden Reiz-Reaktions-Zuordnungen. Diese Durchsetzung zieldienlicher Verarbeitung wird hierbei durch die Beteiligung kontrollierender Mechanismen gewährleistet.

Beispielhaft kann der Einfluß kontrollierender Mechanismen auf Task-Set-Interferenz im Aufgabenwechselparadigma an einer Studie von Meiran (1996) expliziert werden. Veränderte Meiran das Verhältnis kongruenter und inkongruenter Versuchsdurchgänge dahingehend, daß zu 80% inkongruente Durchgänge auftraten, so zeigte sich in den Fehlerwerten eine Abnahme des Kongruenzeffekts. Unter einer hohen Wahrscheinlichkeit eines inkongruenten Durchgangs zeigte sich die intentionale S-R-Zuordnung demnach zu einem geringeren Ausmaß durch ein konkurrierendes Task-Set beeinflußt als unter Erwartung eines kongruenten Durchgangs. Der Befund läßt sich – entsprechend assoziierten Befunden in Paradigmen konstanter S-R-Zuordnungen – dahingehend interpretieren, daß unter Erwartung eines Handlungskonflikts die zielrelevante Verarbeitung durch den Einfluß kontrollierender Mechanismen relativ verstärkt wird.

5.5.1 Inhibitionsmechanismen im Aufgabenwechselparadigma

Wie bereits im Abschnitt über die Verarbeitung relevanter Information dargestellt, kann die Durchsetzung zieldienlicher gegenüber zielhinderlicher Verarbeitung zum einen durch zusätzliche Aktivierung der zielrelevanten Verarbeitung, zum anderen durch Inhibition zielhinderlicher Verarbeitung erfolgen. Im Folgenden werden im Hinblick auf die eigene Fragestellung insbesondere empirische Befunde im Aufgabenwechselparadigma dargestellt, welche unter Rekurs auf inhibitorische Steuerungsmechanismen zur Durchsetzung relevanter Task-Sets interpretiert wurden.

5.5.1.1 Negatives Priming von Task-Sets

Allport und Mitarbeitern (Allport, Styles & Hsieh, 1994; Allport & Wylie, 1999; 2000) kommt – wie bereits weiter oben ausgeführt – der Verdienst zu, entscheidend zu einem neuen Verständnis der an einem Wechsel der Aufgabenbearbeitung beteiligten Prozesse beigetragen und den Fokus der Betrachtung vermehrt auf nichtintentionale Prozesse

gerichtet zu haben. Trotz der Fokussierung auf nichtintentionale Primingprozesse bei der Interpretation von Aufgabenwechselkosten nehmen Allport et al. intentionale Steuerungsmechanismen bei der Durchsetzung eines zieldienlichen Task-Sets an: Entscheidend zur Durchsetzung eines zieldienlichen Task-Sets ist zusätzliche Aktivation dieses Task-Sets sowie Inhibition konkurrierender Task-Sets. Diese intentional etablierte Task-Set-Aktivation und Task-Set-Inhibition persistieren jedoch nichtintentional und resultieren in positivem Priming des konkurrierenden Task-Sets („competitor priming“) und Negativem Priming des aktuellen Task-Sets („negative priming“) (Allport & Wylie, 1999; 2000).

Die Dekonfundierung der beiden angenommenen Primingmechanismen – und damit ein separater Nachweis von Negativem Priming auf Ebene von Task-Sets, im Rahmen ihres Ansatzes Evidenz für einen zuvor etablierten Inhibitionsmechanismus – gelang Allport und Wylie (1999; siehe auch Allport & Wylie, 2000; Wylie & Allport 2000) hierbei durch Verwendung asymmetrisch überlappender S-R-Mappings für die zwei verwendeten Aufgaben. In ihrem ersten Experiment präsentierten Allport und Wylie den Versuchspersonen die beiden verwendeten Stroop-Farb-Wort-Aufgaben in alternierenden Sequenzen (AABBAA..), so daß in jedem zweiten Durchgang die Aufgabe gewechselt wurde. In einer Bedingung wurden den Probanden beide Aufgaben mit neutralen Stimuli dargeboten (farbige Xe und Farbwörter in neutraler Schriftfarbe), in einer zweiten Bedingung wurden in beiden Aufgaben konfligierende Stroop-Stimuli verwendet. In der kritischen dritten Bedingung waren die Stimuli, welche in der Farbaufgabe verwendet wurden, neutral, die Stimuli, die in der Wortleseaufgabe verwendet wurden, stellten jedoch konfligierende Stroop-Stimuli dar. Die Dekonfundierung der beiden Faktoren positives Priming des Task-Sets der Voraufgabe und Negatives Priming des jetzt relevanten Task-Sets gelang Allport und Wylie durch den Vergleich von Aufgabenwechseldurchgängen, in denen von einer neutralen Aufgabe weggewechselt wurde mit Durchgängen, in denen von einer Stroop-Aufgabe weggewechselt wurde. Während nach einer neutralen Farbaufgabe zwar das Task-Set der Farbaufgabe nichtintentional persistieren und mit der Ausführung der Wortaufgabe interferieren kann, sollte eine neutrale Aufgabe im Vordurchgang nicht in Negativem Priming resultieren: Der verwendete univalente Stimulus war in der im Vordurchgang irrelevanten Wortleseaufgabe nicht bearbeitbar, demnach mußte eine konkurrierende Verarbeitung nicht unterdrückt werden. Die Daten sprechen für einen Mechanismus des Negativen Primings als eine Ursache der Aufgabenwechselkosten: So zeigte sich ein Wechsel von einem univalenten Durchgang auf einen bivalenten Stroop-

Durchgang einem Wechsel zwischen zwei univalenten Durchgängen vergleichbar. Signifikant höhere Wechselkosten resultierten jedoch bei einem Wechsel von einem Stroop-Durchgang zu einem neutralen Durchgang. Diese Befunde deuten an, daß primär Charakteristika der Aufgabe, von welcher weggewechselt wurde, und weniger Charakteristika des zu etablierenden Task-Sets die Höhe der Wechselkosten bestimmen. Ein geringeres Ausmaß an Wechselkosten nach einem univalenten Vordurchgang zeigt, daß Wechselkosten nach einem bivalenten Vordurchgang neben positivem Priming des im Vordurchgang relevanten Task-Sets zusätzlich auf Negativem Priming des Distraktor-Task-Sets des Vordurchgangs beruhen. Positives Priming des konkurrierenden Task-Sets als auch Negatives Priming des jetzt relevanten Task-Sets stellen Effekte des nichtintentionalen Persistierens der Kontrolleinstellungen des Systems dar. Die gefundenen Effekte resultieren demnach aus einem nichtintentionalen Überdauern eines zuvor intentional etablierten Prozesses der Aktivation des relevanten Task-Sets und der Inhibition des irrelevanten Task-Sets.

5.5.1.2 Negatives Priming der Stimulusdimension

Ein Befund persistierender Inhibition findet sich ebenfalls in einer Studie von Goschke. Goschke (2000) konnte zeigen, daß Aufgabenwechsel nach einem inkongruenten Vordurchgang relativ zu einem kongruenten Vordurchgang verlangsamt sind. Der Befund läßt sich dahingehend interpretieren, daß in einem inkongruenten Durchgang das irrelevante S-R-Mapping zur Vermeidung von oder als Reaktion auf einen Responsekonflikt stärker inhibiert wird als in einem kongruenten Versuchsdurchgang. Diese stärkere Inhibition in einem inkongruenten Durchgang resultiert in einem erhöhten Ausmaß an Negativem Priming, wird im folgenden Versuchsdurchgang die zuvor irrelevante Aufgabe relevant. Das erhöhte Ausmaß an Inhibition der zuvor zu ignorierenden Aufgabe in einem inkongruenten Durchgang resultierte in erhöhten Latenzen bei einem Wechsel auf die zuvor inhibierte Dimension, hingegen zeigten sich die Reaktionen in Aufgabenwiederholungen nichtsignifikant beschleunigt. Somit zeigten sich Wechselkosten nach einem inkongruenten Vordurchgang stärker erhöht als nach einem kongruenten Vordurchgang. Da sich in der Studie von Goschke die verwendeten zwei Aufgaben durch zwei Dimensionen der Stimuli konstituierten, spricht Goschke auch von einem Negativen Priming der im Vordurchgang irrelevanten und jetzt relevanten Dimension („dimension-negative-priming“). Die Inhibition der irrelevanten Stimulusdimension im Vordurchgang läßt sich als

Kontrollmechanismus des kognitiven Systems zur Überwindung eines Responsekonflikts fassen, während das Negative Priming der Dimension, demnach das Persistieren des inhibitorischen Mechanismus, einen nichtintentionalen Prozeß darstellt.

5.5.1.3 Inhibition bei einem Wechsel zwischen Aufgaben unterschiedlicher Dominanz

Kommen im Aufgabenwechselparadigma Aufgaben unterschiedlicher Dominanz zur Anwendung, so erfolgt die Durchsetzung eines zieldienlichen, nichtdominanten Task-Sets gegenüber dominanten S-R-Zuordnungen nicht lediglich durch die zusätzliche Aktivation des relevanten Task-Sets, sondern zudem durch die Inhibition dominanter, konkurrierender Handlungstendenzen (Allport & Wylie, 1999; 2000):

> „ For the weaker of two competing tasks (i.e., here, colour-naming) to be performed, not only must the task-set for colour-naming be activated, but the competing (and normally dominant) task-set for word-reading must be actively suppressed or inhibited." (Allport & Wylie, 1999 p. 278).

Als Folge dieser Mechanismen zur Durchsetzung eines nichtdominanten Task-Sets gegenüber dominanten Konkurrenten im Vordurchgang zeigt sich etwa die bereits erwähnte Wechselkosten-Asymmetrie bei einem Wechsel auf die alternative, dominante Aufgabe.

Auch in der Studie von Sudevan und Taylor (1987) kamen Aufgaben unterschiedlicher Dominanz zur Anwendung. Sudevan und Taylor ließen ihre Probanden zwischen zwei ziffernbezogenen Aufgaben wechseln: In einer kleiner-größer-Aufgabe sollte eine dargebotene Ziffer danach beurteilt werden, ob sie kleiner als 6 oder größer als 5 ist, in der alternativen ungerade-gerade-Aufgabe sollte die dargebotene Ziffer hinsichtlich ihrer Teilbarkeit durch 2 beurteilt werden. Neben der generell schnelleren Bearbeitbarkeit der kleiner-größer-Aufgabe zeigte sich eine asymmetrische (stroopartige) Interferenz: Es interferierte die dominante kleiner-größer-Aufgabe mit der nichtdominanten ungerade-gerade-Aufgabe, die ungerade-gerade-Aufgabe interferierte jedoch nicht mit der kleiner-größer-Aufgabe. Im Falle eines inkongruenten Stimulus besteht die Gefahr, daß der imperative Reiz die falsche Response aktiviert. Diese Gefahr ist bei der Bearbeitung der nichtdominanten Aufgabe maximal, da die falsche Response durch eine stärkere Reiz-Reaktions-Assoziation des aktuell irrelevanten Merkmals verstärkt gebahnt wird. Das kognitive System muß demnach bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe

gewährleisten, daß nicht durch die konkurrierende, dominante Aufgabe die alternative Response über einen Schwellenwert aktiviert wird, so daß eine inkorrekte Handlung resultiert. Die Inhibition der durch die dominante Konkurrenzaufgabe aktivierten Reaktion stellt nun einen Prozeß dar, welcher der Aktivierung einer inadäquaten Response durch die konkurrierende Aufgabe entgegenwirkt:

> „In the compatible condition, where responses for both operations are the same, it does not matter which kind of information wins the race. On the other hand, in the incompatible condition, relative speed becomes important. If magnitude information wins the race, then the response generated by this information will have to be inhibited if the odd-even operation is the required one." (Sudevan & Taylor, 1987, p. 101)

Wie bereits dargestellt, tritt Interferenz im Aufgabenwechselparadigma nicht lediglich als Folge eines Responsekonflikts auf, sondern kann zudem auf übergeordneter Ebene als Folge eines Konflikts auf Task-Set-Ebene auftreten. So konnten Monsell et. al (Monsell, Taylor & Murphy, 2001) eine asymmetrische Interferenz des dominanten Task-Sets des Lesens auf das nichtdominante Task-Set des Benennens der Schriftfarbe aufzeigen, welche auch dann Bestand hatte, wenn das interferierende Wort kein Farbwort darstellte. Interessant in diesem Zusammenhang sind nicht Einzelheiten der Unterscheidung eines Responsekonflikts und eines Task-Set-Konflikts, sondern vielmehr die Annahme Monsell et als., daß die Durchsetzung eines nichtdominanten Task-Sets durch die intentionale Hemmung des dominanteren Konkurrenten realisiert wird. Die Inhibition des stark automatisierten Task-Sets des Lesen ist jedoch nicht hinreichend, um Interferenzen gänzlich zu eliminieren:

> „...we propose that, although endogenous suppression of the strong task set of reading, in favour of colour-naming, is sufficient to ensure that color is (usually) named, it will not be sufficient to prevent frequent "breakthrough" of an irrelevant word to response activation…. " (Monsell, Taylor & Murphy, 2001, p. 148)

Die Annahme intentionaler Inhibition zielirrelevanter Verarbeitung ist zudem in dem konnektionistischen Modell des Aufgabenwechsels zwischen Aufgaben unterschiedlicher Dominanz von Gilbert und Shallice (2002) implementiert. Das Modell von Gilbert und Shallice stellt eine Adaptation der Stroop-Modelle von Cohen, Dunbar und McClelland

(1990) sowie von Cohen und Huston (1994) für das Aufgabenwechselparadigma dar. Das zugrundeliegende Modell von Cohen, Dunbar und McClelland wurde bereits in dem Abschnitt zu Modellen exekutiver Kontrolle dargestellt. An dieser Stelle relevant ist lediglich die Ergänzung, daß Gilbert und Shallice auch für das Paradigma wechselnder Aufgabenanforderungen einen stärkeren Einfluß kontrollierender Prozesse für die Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe relativ zu der Bearbeitung einer dominanten Aufgabe annehmen. Somit bildet das Modell die Annahme ab, daß die Durchsetzung einer nichtdominanten Aufgabe im Aufgabenwechselparadigma an zusätzliche Aktivation der relevanten Verarbeitung und Inhibition der irrelevanten Verarbeitung gebunden ist.

5.5.1.4 Sequentielle Inhibition von Task-Sets („Backward Inhibition“)

Ein Wechsel zwischen zwei Aufgaben ist an das Etablieren des Task-Sets der neuen Aufgabe gebunden. Die Implementierung eines neuen Task-Sets erfordert dabei die Loslösung vom Task-Set des Vordurchgangs. Ein möglicher Mechanismus dieser Entkopplung von der Voraufgabe besteht in der Inhibition des Task-Sets des Vordurchgangs. Die Funktion dieser Inhibition auf Ebene des Task-Sets besteht demnach in der Erleichterung des Wechsels zur aktuell relevanten Aufgabe durch Verringerung der Interferenz der Voraufgabe:

> „We proposed that intentional shifts between internal control settings (i.e., goals or task sets) are accompanied by an inhibitory process. This inhibition should be targeted at the representation of the to-be-abandoned control setting to prevent it from further influencing action.“ (Mayr & Keele, 2000, p. 4)

In einer Reihe von Experimenten konnten Mayr und Keele (Mayr & Keele, 2000) das Bestehen eines derartigen rückwärtsgerichteten Inhibitionsprozesses („Backward Inhibition“) nachweisen. Mayr und Keele präsentierten ihren Versuchspersonen visuelle Stimuli, die unter drei verschiedenen Aufgabenstellungen zu beurteilen waren (Aufgabe A, B und C). Als ein genereller Effekt, welcher sich durch ihre Experimentreihe hindurchzog, zeigte sich, daß die Bearbeitung einer Aufgabe erschwert war, wenn von dieser Aufgabe im Vordurchgang weggewechselt wurde. Schematisch ausgedrückt bedeutet dies in Sequenzen der Form ABA eine Verzögerung der Wiederanwendbarkeit von A relativ zu der Kontrollsequenz CBA. Dieser Befund wird im Sinne eines sequentiellen Inhibitionsmechanismus interpretiert, welcher die Entkopplung von dem Task-Set des

Vordurchgangs und damit die Durchsetzung des relevanten Task-Sets ermöglicht. Backward Inhibition ist hierbei nicht reduzierbar auf den Mechanismus des Negativen Primings, sondern zeigte sich auch für einen Rückwechsel auf eine Aufgabe, von der im Durchgang n-2 weggewechselt wurde, wenn diese Aufgabe im Durchgang n-1 *nicht* Distraktor war. Demnach zeigte sich Backward Inhibition auch in Sequenzen der Form ABA, wenn der B-Durchgang keinen Distraktor der Aufgabe A enthielt.

Inwieweit stellt die sequentielle Inhibition von Task-Sets nun einen exekutiven Mechanismus dar? Die Daten bezüglich dieser Frage liefern heterogene Befunde: So konnten Mayr und Keele zum einen zeigen, daß sequentielle Inhibition nur dann auftritt, wenn eine neue Aufgabe durch einen Hinweisreiz präspezifiziert wurde, demnach wenn intentionale Vorbereitung auf die neue Aufgabenstellung ermöglicht wurde. Keine sequentielle Inhibition zeigte sich hingegen, wenn erst Stimulusattribute selber die relevante Stimulusdimension spezifizierten. Mayr und Keele weisen sequentielle Inhibition damit als Komponente intentionaler Kontrollprozesse aus. Jedoch lassen zwei weitere Befunde daran zweifeln, ob Backward Inhibition tatsächlich einen Mechanismus exekutiver Kontrolle darstellt: So zeigte sich auch dann eine verminderte Anwendbarkeit in Sequenzen der Form ABA relativ zu CBA, wenn eine lange Vorbereitung auf die neue Aufgabe ermöglicht wurde. Würde sequentielle Inhibition einen Mechanismus darstellen, welcher basale Prozesse entsprechend dem aktuellen Handlungsziel moduliert, so wäre zu erwarten, daß lange Vorbereitungszeit (d.h. Wissen darum, daß die Aufgabenregel, von der gerade weggewechselt wurde, unmittelbar wieder relevant wird) den Effekt der sequentiellen Inhibition aufhebt. Dieses Argument scheint jedoch nicht stark zu sein, denn es ist ebenfalls denkbar, daß sich ein exekutiver Mechanismus der Inhibition deshalb auch nach langer Vorbereitung zeigt, da dieser intentionale Mechanismus nichtintentional persistiert. Entsprechend dem Effekt, daß sich Backward Inhibition nicht durch ein langes Vorbereitungsintervall aufheben ließ, zeigte sich in der Studie von Mayr und Keele Backward Inhibition nicht beeinflußbar durch Aufgabenerwartungen: So zeigte sich auch dann ein sequentieller Inhibitionseffekt, wenn die Versuchspersonen aufgrund exakten Wissens um die jeweilige Aufgabensequenz voraussehen konnten, daß die Aufgabe, von der gerade weggewechselt wurde, im darauffolgenden Durchgang wieder relevant wurde. Mayr und Keele werten diese dysfunktionalen Charakteristika des Inhibitionsmechanismus als Evidenz dafür, daß es sich bei sequentieller Inhibition nicht um einen exekutiven Steuerungsmechanismus handelt:

> „To summarize, even though backward inhibition subserves selection of high-level control settings, we suggest that both the way it is controlled and the way it exerts control is characteristic of a low-level process.“ (Mayr & Keele, 2000, p. 23)

Stattdessen interpretieren Mayr und Keele sequentielle Inhibition im Sinne eines lokal gesteuerten Mechanismus lateraler Hemmung, demnach als einen Inhibitionsmechanismus als indirekten Effekt der Aktivation eines alternativen Task-Sets.

Obwohl Funktionalitätsannahmen einen zentralen Stellenwert bei der theoretischen Begründung des Mechanismus der sequentiellen Inhibition einnehmen, weisen Mayr und Keele in ihrer Arbeit letztlich nicht die Utilität des angenommenen Mechanismus nach. Das Aufzeigen eines rückwirkenden Inhibitionsmechanismus auf Task-Set-Ebene erfolgte lediglich über den Nachweis von Leistungseinbußen des kognitiven Systems bei einem Rückwechsel auf eine Aufgabe, von der im Vordurchgang weggewechselt wurde. In einer Studie von Hübner et al. (Hübner, Dreisbach, Haider & Kluwe, 2003) gelang der Nachweis der Funktionalität sequentieller Inhibition. Hübner et al. konnten zeigen, daß nach einem Aufgabenwechsel flankierende Reize, welche im Vordurchgang als Target präsentiert wurden, weniger stark mit der Bearbeitung der jetzt relevanten Aufgabe interferierten als Flanker einer dritten Aufgabe. Damit zeigt die Untersuchung von Hübner et al. die von Mayr und Keele angenommene Funktion sequentieller Inhibition, die aktuelle Verarbeitung vor interferierender Information kürzlich relevanter Verarbeitung zu schützen.

5.6 Zusammenfassung Aufgabenwechselparadigma

Ein flexibler Wechsel der Reiz-Reaktions-Zuordnung galt als ein paradigmatischer Fall der Anwendung exekutiver Kontrollmechanismen. Zur direkten Messung exekutiver Kontrolle wurden demnach insbesondere seit Mitte der 90er Jahre Studien im sog. Aufgabenwechselparadigma vorgenommen. Es sollte sich jedoch zeigen, daß auch ein intentionaler Wechsel der Reiz-Reaktions-Zuordnung kein reines Maß eines exekutiven Mechanismus darstellt. Entsprechend den zuvor dargestellten Befunden der Interferenz z.B. im Stroop- und Simon-Paradigma finden sich bei wechselnden Aufgabenerfordernissen Evidenzen für Interferenz durch konkurrierende Reiz-Reaktions-Zuordnungen. Die Durchsetzung zieldienlicher Verarbeitung gegenüber interferierenden, nichtintentionalen Reiz-Reaktions-Zuordnungen ist inhibitorischen Steuerungsmechanismen zugeschrieben

worden. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, näher zu explizieren, welche Charakteristika irrelevanter Reiz-Reaktions-Zuordnungen primär eine Hemmung dieser konkurrierenden Task-Sets bedingen.

VI Experimentelle Untersuchungen

6.1 Einleitung

Wie an mannigfaltigen Beispielen bereits dargestellt, zeigt sich bei der Verfolgung eines Handlungsziels häufig ein nichtintentionaler Einfluß irrelevanter Information. Dieser Einfluß zeigt sich sowohl bei einer kontinuierlichen Bearbeitung einer einzelnen Aufgabenstellung als auch bei einem flexiblen Wechsel des Handlungsziels. Wie bereits besprochen, bestehen zwei theoretische Möglichkeiten der Minimierung des interferierenden Einflusses irrelevanter Information: Zum einen besteht die Möglichkeit zu zusätzlicher Aktivation der zieldienlichen Verarbeitung, zum anderen besteht die Möglichkeit zur Inhibition zielhinderlicher Verarbeitung. Beide Möglichkeiten dienen dem Ziel der Durchsetzung einer Handlungsintention gegenüber zielhinderlichen Verhaltenskonkurrenten und werden exekutiven Mechanismen zugeschrieben.

Im Aufgabenwechselparadigma existiert derzeit eine Reihe von Befunden, welche mit der Annahme von inhibitorischen Kontrollmechanismen interpretiert wurden. Zwei dieser Befunde sind für die vorliegende Arbeit zentral. Zum einen konnte die Forschergruppe um Allport (Allport, Styles & Hsieh, 1994; Allport & Wylie, 1999) zeigen, daß Aufgabenwechselkosten höher sind bei einem Wechsel von einer weniger automatisierten (schwachen) auf eine stark automatisierte (dominante) Aufgabe als bei einem Wechsel von einer dominanten auf eine schwache Aufgabe. Diese asymmetrischen Wechselkosten interpretieren Allport et al. im Sinne persistierender Aktivation des Task-Sets der Voraufgabe sowie persistierender Inhibition des vorherigen Distraktor-Task-Sets. Den zweiten für die vorliegende Studie unmittelbar relevanten Befund stellt der Befund der rückwärtsgerichteten Inhibition (Backward Inhibition) von Mayr und Keele (2000) dar. Mayr und Keele ließen ihre Probanden zwischen drei Aufgaben wechseln und fanden eine verringerte Anwendbarkeit einer Aufgabe, wenn von dieser Aufgabe im Vordurchgang weggewechselt wurde (ABA versus CBA-Sequenz). Mayr und Keele interpretieren diesen Effekt damit, daß die Etablierung eines neuen Task-Sets an die Inhibition des zuvor relevanten Task-Sets gebunden ist.

Die Studien von Allport et al. sowie von Mayr und Keele zeigen, daß im Aufgabenwechselparadigma prinzipiell zwei Quellen der Interferenz durch konkurrierende

Task-Sets denkbar sind: Zum einen kann Interferenz durch ein zuvor relevantes Task-Set, zum anderen durch ein stark automatisiertes (dominantes) Task-Set ausgeübt werden. Sind inhibitorische Steuerungsmechanismen beteiligt an der Durchsetzung einer relevanten S-R-Zuordnung gegenüber interferierenden Task-Sets, so gilt es zu explizieren, ob sich Task-Set-Inhibition auf beide Interferenzquellen in gleicher Weise richtet. Bezieht sich Task-Set-Inhibition primär auf das unmittelbar vorausgehende oder auf das am stärksten konkurrierende Task-Set? Eine sich anschließende Frage bezieht sich darauf, inwieweit Inhibition des Task-Set des Vordurchgangs und Inhibition dominanter Handlungskonkurrenten unterschiedlichen Charakteristika unterworfen sind und somit prinzipiell unterschiedliche Inhibitionsmechanismen widerspiegeln. Beide Fragen lassen sich in den Studien von Allport und Mitarbeitern nicht entscheiden, da Allport et al. lediglich zwei Aufgaben unterschiedlicher Dominanz verwendeten und so das am stärksten konkurrierende Task-Set auch immer das Task-Set der Voraufgabe darstellte. Auch die Studie von Mayr und Keele stellt keine Entscheidungsgrundlage dar, da Mayr und Keele die verwendeten drei Aufgaben in lediglich einer Dominanzstufe darboten. Demnach entsprach das Task-Set der Voraufgabe in der Studie von Mayr und Keele immer auch dem am stärksten konkurrierenden Task-Set.

Zur Klärung der Frage, ob sich Task-Set-Inhibition primär auf das Task-Set des unmittelbaren Vordurchgangs oder auf das am stärksten automatisierte Task-Set richtet sowie zur Klärung der Frage, ob es sich bei den Inhibitionsmechanismen tatsächlich um disjunkte Mechanismen handelt, ist demnach eine Dekonfundierung der beiden Faktoren der zeitlichen Nähe irrelevanter Task-Sets und der Automatisiertheit oder Dominanz irrelevanter Task-Sets notwendig. In den vorliegenden fünf Experimenten soll ein derartiger Versuch der Dekonfundierung beider Faktoren über die Verwendung von mehr als zwei Aufgaben in mehr als einer Dominanzstufe unternommen werden.

6.2 Paradigma der Experimente

Ziel der vorliegenden fünf Experimente ist es, zu einer näheren Charakterisierung von Task-Set-Inhibition im Aufgabenwechselparadigma beizutragen. Hinweise auf die Inhibition von Task-Sets sollen dabei zum einen durch Verwendung eines Paradigmas der Wiederanwendbarkeit einer Aufgabe (Backward Inhibition (BI-)-Paradigma) als auch durch Messung der Interferenz eines irrelevanten Task-Sets auf die aktuelle Bearbeitung erlangt

werden. Tatsächlich stellt die Messung von Task-Set-Interferenz neben der üblicheren Messung der Anwendbarkeit einer Aufgabe eine geeignete Methode dar, Aussagen über die Aktivität konkurrierender Task-Sets treffen zu können. Demnach sollte diejenige Aufgabe am stärksten mit der Bearbeitung einer relevanten Aufgabe interferieren, die neben der relevanten Aufgabe das höchste Ausmaß an Aktivation aufweist, bzw. am wenigsten von Task-Set-Inhibition betroffen ist.

In den ersten vier der fünf vorgestellten Experimente wurden jeweils vier räumliche Klassifikationsaufgaben präsentiert. Alle Aufgaben bezogen sich – angelehnt an die Studien von Meiran (Meiran, 1996; 2000a; 2000b) – auf einen Targetstimulus, welcher an einer von vier möglichen Positionen in einer Vierfeldermatrix lokalisiert war und auf dessen Lokation mit einer von zwei Responsetasten (Responsetaste oben-rechts und unten-links) reagiert werden sollte (siehe Abbildung 12).

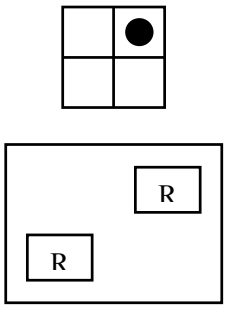


Abbildung 12: Typischer imperativer Stimulus der Experimente 1-4 mit verwendeten Responsetasten

Die dargebotenen vier Aufgaben unterschieden sich hinsichtlich ihrer Dominanz sowie hinsichtlich der zu beurteilenden Stimulusdimension. Sowohl die in den vier Aufgaben verwendeten Stimuli als auch die verwendeten Responses überlappten vollständig. Die beiden Ausprägungen des Faktors der Stimulusdimension bezogen sich auf die vertikale (oben versus unten) und auf die horizontale (rechts versus links) Verortung des Stimulus. Die beiden Ausprägungen des Faktors der Dominanz wurden über die räumliche Kompatibilität der Reiz-Reaktions-Zuordnung (räumlich kompatibel versus inkompatibel) realisiert. Dieses 2x2 Design resultierte in insgesamt vier Lokationsaufgaben, wobei jeweils zwei Aufgaben ein vollständig invertiertes Mapping aufwiesen: War in einer dominanten Aufgabe ein Stimulus einer bestimmten Reaktion zugeordnet, so war dieser Reiz in der nichtdominanten (inversen) Aufgabe der gleichen Stimulusdimension mit der alternativen Response assoziiert.

Folgendes Schema (Abbildung 13) verdeutlicht die verwendeten vier Lokationsaufgaben:

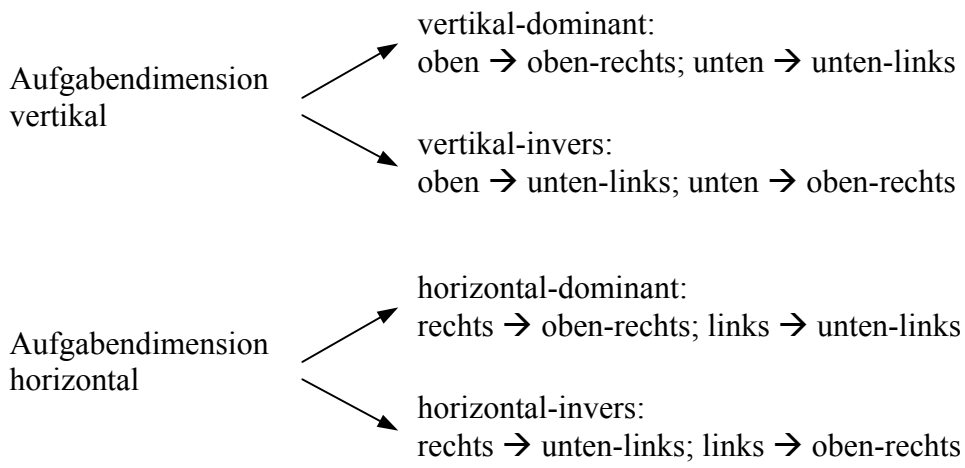


Abbildung 13: Schematische Darstellung der verwendeten Lokationsaufgaben

Die vertikal-dominante Aufgabe wird im Folgenden verkürzend als „V“, die vertikal-inverse Aufgabe als „nV“ bezeichnet. Entsprechend wird auf die horizontal-dominante Aufgabe mittels „H“, auf die horizontal-inverse Aufgabe mittels „nH“ referiert.

Das fünfte der fünf durchgeführten Experimente unterschied sich von den ersten vier Experimenten dahingehend, daß nicht mehr räumliche, sondern numerische Klassifikationen gefordert waren. In diesem Experiment wurden die Ziffern 1-9 dargeboten (mit Ausnahme der 5) und sollten hinsichtlich ihrer numerischen Größe (kleiner versus größer als 5) und hinsichtlich ihrer Teilbarkeit (ungerade versus gerade) beurteilt werden. Die im Experiment 5 verwendete Logik, d.h. das Verwenden von vier Aufgaben, die sich zum einen in der relevanten Stimulusdimension, zum anderen in der Dominanz unterschieden und von denen jeweils eine dominante und die entsprechende nichtdominante Aufgabe ein vollständig entgegengesetztes Mapping aufwiesen, entsprach jedoch dem bereits dargestellten Design.

6.2.1 Interpretation von Kongruenzeffekten

Wie bereits im Abschnitt zu Kongruenz- und Task-Cuing-Effekten (Abschnitt 5.4.9) dargestellt, lassen sich im Aufgabenwechselparadigma multivalente Stimuli dahingehend unterscheiden, ob sie in der relevanten und der irrelevanten Aufgabe eine identische Response erfordern (reaktionskongruente Stimuli), oder ob sie mit verschiedenen

Responses assoziiert sind (reaktionsinkongruente Stimuli). Eine erleichterte Bearbeitbarkeit kongruenter Stimuli (Kongruenzeffekt) zeigt hierbei den Einfluß eines irrelevanten Task-Sets an.

Unter Verwendung von vier Aufgaben, von denen jeweils zwei ein vollständig invertiertes Mapping aufweisen, findet sich jedoch kein Stimulus, der unter allen Aufgaben mit einer identischen Reaktion assoziiert ist. Aus dieser vollständigen Entgegengesetztheit der Mappings ergibt sich, daß, wenn ein Stimulus zu der dominanten Aufgabe der anderen Stimulusdimension kongruent ist, er zur inversen Aufgabe der anderen Stimulusdimension inkongruent ist. Betrachten wir folgendes Beispiel: Unter der Bearbeitung der horizontal-dominanten Aufgabe (H) ist der Stimulus oben rechts kongruent zu der Bearbeitung der irrelevanten, vertikal-dominanten Aufgabe (V). Aus dieser Kongruenz zur vertikal-dominanten Aufgabe ergibt sich jedoch eine Inkongruenz zur vertikal-inversen Aufgabe (nV). In Abbildung 14 sind die Reaktionskongruenzen des verwendeten Beispielstimulus dargestellt:

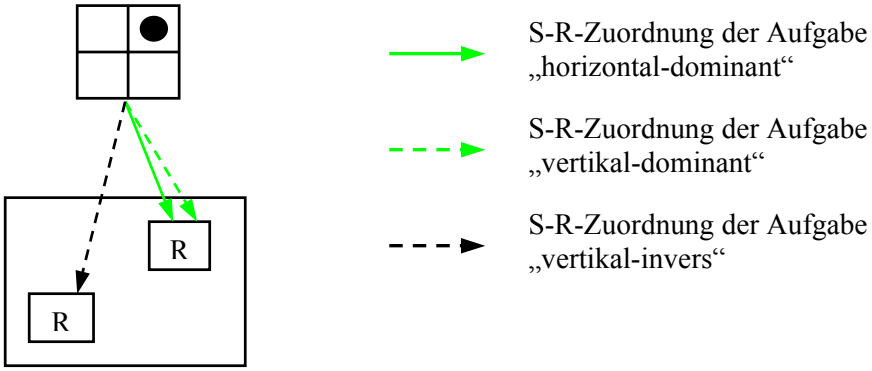


Abbildung 14: Reaktionskongruenzen des Stimulus der Lokation oben-rechts

Es läßt sich demnach in dem hier verwendeten Paradigma nicht von absoluter Kongruenz der Stimuli sprechen. Die Stimuli lassen sich jedoch dahingehend unterscheiden, ob sie zur dominanten Aufgabe der anderen Stimulusdimension oder zur inversen Aufgabe der anderen Stimulusdimension kongruent sind. Ein Stimulus wird als kongruent zur dominanten Aufgabe der anderen Dimension bezeichnet („dominant-kongruent“), wenn er in der dominanten Aufgabe der anderen Dimension die gleiche Response wie die aktuell zu gebende Response erfordert (damit erfordert er – bedingt durch die interne Logik des Designs – in der inversen Aufgabe der anderen Dimension die entgegengesetzte Response). Ein Stimulus wird als kongruent zur inversen Aufgabe der anderen Dimension bezeichnet

(„invers-kongruent“), wenn er in der inversen Aufgabe der anderen Dimension die gleiche, in der dominanten Aufgabe der anderen Dimension die entgegengesetzte Response erfordert.

Zeigt sich nun ein Kongruenzeffekt hinsichtlich der dominanten Aufgabe der anderen Dimension, d.h. zeigt sich eine erleichterte Bearbeitbarkeit dominant-kongruenter Stimuli relativ zu invers-kongruenten Stimuli, so bedeutet dies parallel eine erleichterte Bearbeitbarkeit der Stimuli, die inkongruent zur inversen Aufgabe der anderen Stimulusdimension sind. Eine erleichterte Bearbeitbarkeit dominant-kongruenter Stimuli deutet demnach einen stärkeren Einfluß der irrelevanten, dominanten Aufgabe der anderen Stimulusdimension relativ zur irrelevanten, inversen Aufgabe der anderen Stimulusdimension an. Die Bearbeitung eines Stimulus „leidet“ in diesem Fall mehr, wenn der Stimulus in der dominanten Aufgabe der anderen Dimension mit der „falschen“ Reaktion assoziiert ist, als wenn er in der inversen Aufgabe der anderen Dimension mit der „falschen“ Response assoziiert ist. Findet sich hingegen eine leichtere Bearbeitbarkeit invers-kongruenter Stimuli relativ zu invers-inkongruenten (= dominant-kongruenten) Stimuli, so deutet dies auf eine stärkere Interferenz durch die inverse Aufgabe der anderen Stimulusdimension hin.

6.3 Experiment 1

Experiment 1 diente der generellen Fragestellung, ob sich Task-Set-Inhibition im Aufgabenwechselparadigma vornehmlich auf das Task-Set der Voraufgabe oder auf das am stärksten konkurrierende Task-Set bezieht. Unter der Annahme, daß Task-Set-Inhibition bereits in der Vorbereitung auf eine neue Aufgabe etabliert wird, wurde in Experiment 1 die Möglichkeit zur Aufgabenvorbereitung gewährleistet.

6.3.1 Methode Experiment 1

Versuchspersonen

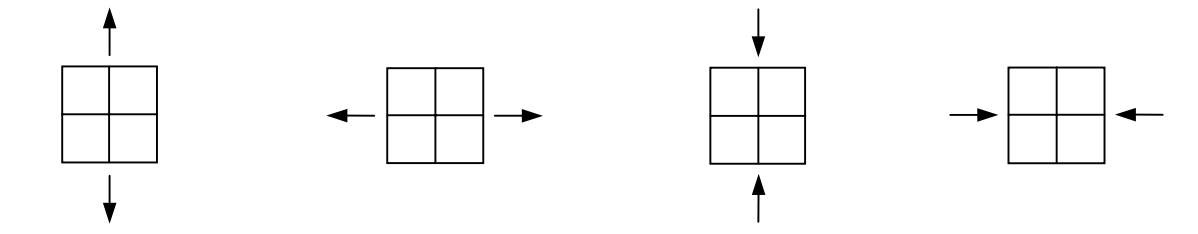
An Experiment 1 nahmen 16 Studenten der Universität Hamburg (9 weibliche und 7 männliche) teil. Die Teilnahme wurde durch die Vergabe eines vordiplomrelevanten

Nachweises vergütet. Das Alter der Probanden variierte zwischen 21 und 51 Jahren (im Mittel 28,3 Jahre).

Apparatur und Stimuli

Experiment 1 beinhaltete vier einfache Lokationsaufgaben, gemäß derer die Position eines Stimulus in einer Vierfeldermatrix angegeben werden sollte. Da die verwendeten Aufgaben sich in den ersten vier Experimente nur geringfügig unterschieden und da die Darstellung der Aufgaben für ein Verständnis der internen Logik des Designs notwendig war, wurden die Aufgaben in dem, der Beschreibung der einzelnen Experimente übergeordneten, Abschnitt 6.2 bereits dargestellt.

In jedem experimentellen Durchgang wurde zentriert auf einem Computerbildschirm in der Mitte eines hellgrauen Rahmens eine aus zwei mal zwei Feldern bestehende Matrix in hellgrauer Farbe auf dunkelgrauem Hintergrund dargeboten. Die Matrix nahm in vertikaler und horizontaler Ausrichtung 2,5° des Sehwinkels ein, der umgebende Rahmen nahm jeweils 5,1° des Sehwinkels ein. Als Aufgabenhinweise wurden am Rand der Vierfeldermatrix jeweils zwei Pfeile präsentiert, die entweder an der horizontalen oder an der vertikalen Achse der Matrix lokalisiert waren. Diese Pfeile kündigten entsprechend ihrer Lokation entweder die horizontale Stimulusdimension (Pfeile an der horizontalen Achse der Matrix) oder die vertikale Stimulusdimension an (Pfeile an der vertikalen Achse der Matrix). Die Hinweispfeile zeigten für die dominanten Aufgaben von der Matrix nach außen, für die inversen Aufgaben in das Innere der Matrix. Die Hinweispfeile kündigten somit immer eine spezifische Aufgabenstellung an. Die Matrix zusammen mit den Hinweispfeilen nahm entsprechend der Ankündigung der jeweiligen Stimulusdimension 4,6° des Sehwinkels (horizontal oder vertikal) ein. Abbildung 15 stellt die verwendeten Aufgabencues dar:



Cue der Aufgabe „vertikal-dominant“ | Cue der Aufgabe „horizontal-dominant“ | Cue der Aufgabe „vertikal-invers“ | Cue der Aufgabe „horizontal-invers“

Abbildung 15: Aufgabencues der vier verwendeten Lokationsaufgaben

An einer der vier möglichen Positionen der Matrix wurde der imperative Stimulus (0,8° des Sehfeldes) in Form eines schwarzen Kreises präsentiert, welcher gemäß der zuvor spezifizierten Aufgabe klassifiziert werden sollte. Die Versuchsperson gab ihre Antwort mittels der gelb markierten „9“ (oben-rechts) und „1“ (unten-links)-Taste des Zahlenbereiches einer - bezogen auf den Zahlenbereich - zentriert vor der Person angeordneten Standardtastatur. Die Zeit von der Präsentation des imperativen Stimulus bis zum Drücken der Responsetaste wurde von der Versuchssteuerung als Reaktionszeit in Millisekunden aufgezeichnet. Fehlerhafte Antworten wurden durch das Einblenden des Schriftzugs „falsch“ zentriert unterhalb der Matrix kenntlich gemacht.

Experiment 1 bestand aus fünf Experimentalblöcken mit jeweils 100 Versuchsdurchgängen. Die Abfolge der verwendeten Aufgaben war entsprechend dem Paradigma von Meiran (Meiran, 1996; 2000b) vollständig zufällig. Ebenfalls wurde die Anzahl der Aufgaben unter den einzelnen Faktorstufen über eine vollständig zufällige Darbietung ausgeglichen. Die jeweils ersten drei Durchgänge eines Blocks wurden von der Analyse ausgeschlossen.

Durchführung

Die Daten der Versuchspersonen wurden entweder in Einzelsitzungen oder in Sitzungen mit zwei parallel arbeitenden Probanden erhoben. Die Probanden erhielten die Aufgaben über einen ca. 60 cm entfernten Computerbildschirm eines IBM-kompatiblen Computers und wurden angewiesen, den Zeigefinger der linken Hand auf der unten links angeordneten und den Zeigefinger der rechten Hand auf der oben rechts angeordneten Reaktionstaste zu positionieren. Zu Beginn einer Experimentalsitzung wurde eine standardisierte Instruktion zur Bearbeitung der Aufgaben präsentiert. Die Darbietung der einzelnen Sätze der Instruktion auf den Computerbildschirm wurde von den Versuchspersonen satzweise selbstgesteuert. Die Probanden erhielten mit der Instruktion die Aufforderung, die Aufgaben so schnell und so korrekt wie möglich zu bearbeiten (maximal 10% Fehler). Am Beginn einer experimentellen Sitzung wurden sechs einführende Übungsblöcke dargeboten. Der erste Übungsblock bestand aus neun Durchgängen der Aufgabe „vertikal-dominant“, im zweiten Übungsblock wurde die Aufgabe „horizontal-dominant“, im dritten Block die Aufgabe „vertikal-invers“ und im vierten Block die Aufgabe „horizontal-invers“ dargeboten. In einem fünften Übungsblock wurden schließlich in insgesamt 30

Versuchsdurchgängen alle vier Aufgaben in randomisierter Reihenfolge präsentiert. In diesen Übungsdurchgängen wurde den Probanden nach jedem Durchgang durch den Schriftzug „richtig“ oder „falsch“ unterhalb der Matrix die Richtigkeit der jeweiligen Antwort rückgemeldet. Der sechste Übungsblock bestand aus 100 Versuchsdurchgängen, in denen alle Aufgaben in randomisierter Abfolge dargeboten wurden. Dieser Übungsblock war für die Probanden nicht von den Experimentalblöcken zu unterscheiden und wurde nicht mehr als Übungsblock angekündigt. In diesem letzten Übungsblock und in den folgenden fünf Experimentalblöcken erhielten die Probanden lediglich Rückmeldung über fehlerhafte Reaktionen. Im Anschluß an einen Fehlerdurchgang wurde die Aufgabe mit dem exakten Stimulus wiederholt.

Folgender Ablauf wurde in allen Versuchsdurchgängen beibehalten:

1200 msec nach Gabe der letzen Response wurde zentral auf dem Bildschirm die Vierfeldermatrix dargeboten, an deren Rändern nach weiteren 300 msec die jeweiligen Aufgabencues erschienen. Nach einem CSI von 500 msec wurde an einer der vier möglichen Positionen der imperative Stimulus präsentiert. Die Darbietung von Matrix, Hinweispfeilen und imperativem Stimulus endete mit der Gabe der Response. Im Falle einer fehlerhaften Antwort wurde mit der Gabe der Response der Schriftzug „falsch“ für 500 msec eingeblendet. In Abbildung 16 ist ein exemplarischer Ablauf eines Versuchsdurchgangs (Aufgabe vertikal-invers) dargestellt:

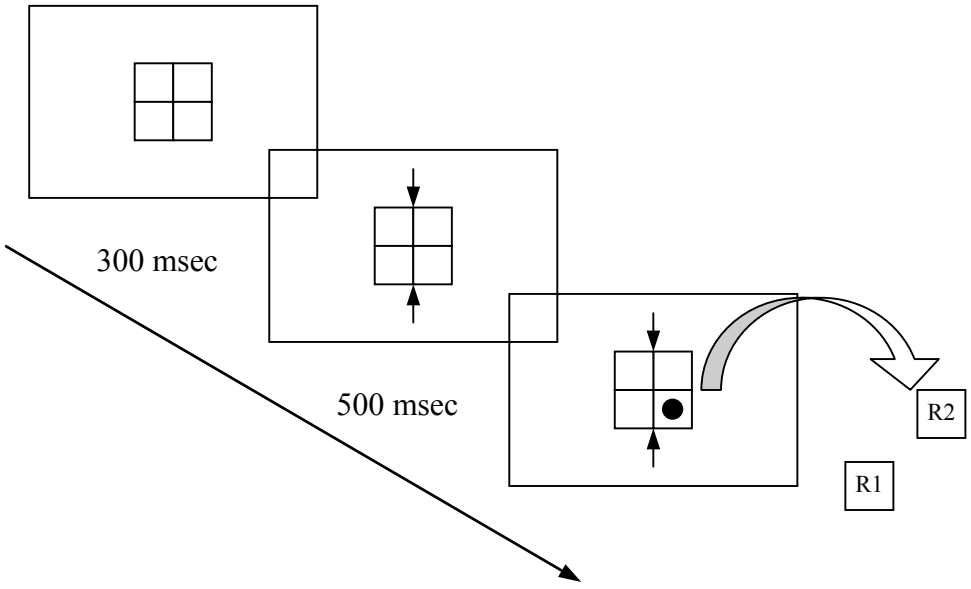


Abbildung 16: Exemplarischer Ablauf eines Versuchsdurchgangs der Aufgabe vertikal-invers

Der Beginn eines experimentellen Blocks wurde von den Probanden selber gewählt, so daß die Möglichkeit zu einer kurzen Pause zwischen den Blöcken gegeben war. Am Ende eines

Blocks erhielten die Probanden Rückmeldung über ihre mittlere Fehlerzahl sowie über die mittleren Reaktionszeiten.
Eine Experimentalsitzung dauerte 45 bis 60 Minuten.

6.3.2 Ergebnisse Experiment 1

In die Auswertung der Reaktionszeiten gingen nur richtige Reaktionen ein. Zur Bereinigung der Extremwerte wurden alle Analysen über die natürlichen Logarithmen der Reaktionszeiten gerechnet. Die logarithmierten Reaktionszeiten der richtigen Antworten gingen in drei verschiedene Varianzanalysen ein. Drei verschiedene Analysen statt einer umfassenden wurden gewählt, da die interessierenden Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz, Dominanz des Vordurchgangs, Kongruenz und BI-Sequenz nicht frei miteinander kombinierbar waren, sondern die Berücksichtigung aller Faktoren in einer Analyse notwendig zu fehlenden Zellenbesetzungen, d.h. zu einem unvollständigen Design geführt hätte. Zudem wäre die Höhe der Zellenbesetzung in dem bei nur einer gerechneten Analyse sehr umfangreichen Design zu gering ausgefallen.

Die erste Analyse wurde mit den drei Faktoren Aufgabensequenz (Wechsel versus Wiederholung), Dominanz (dominant versus invers) und Kongruenz (dominant-kongruent versus invers-kongruent) gerechnet. Die zweite Analyse diente vornehmlich der weiteren Explikation des Faktors der Aufgabensequenz und wurde 2-faktoriell mit dem nunmehr 6-stufigen Faktor Aufgabensequenz (Aufgabenwiederholung dominant, Aufgaben-wiederholung invers, Aufgabenwechsel dominant-dominant, Aufgabenwechsel invers-dominant, Aufgabenwechsel dominant- invers, Aufgabenwechsel invers-invers) und dem 2-stufigen Faktor Kongruenz (dominant-kongruent versus invers-kongruent) gerechnet. Die dritte Analyse umfaßte die Faktoren Dominanz der Voraufgabe (dominant n-1 versus invers n-1), Dominanz der aktuellen Aufgabe (dominant versus invers) und Backward-Inhibition-Sequenz (BI-Sequenz: ABA versus CBA). Aufgrund der Selektionsanforderungen der Backward-Inhibition-Sequenzen ging in diese letzte Analyse nur ein Teil der Daten ein.

Alle Analysen wurden mit vollständiger Meßwiederholung auf den Faktoren gerechnet. Das Signifikanzniveau wurde auf .05 festgelegt. Im Folgenden beziehen sich die dargestellten F- und p-Werte (bzw. die mittleren Fehlerquadratsummen (MSE)) auf die logarithmierten Daten, die graphischen Darstellungen beruhen hingegen auf den

geometrischen Mitteln der Reaktionszeiten (Meiran, 1996). Angegeben sind jeweils nur signifikante Effekte und Interaktionen.
Insgesamt waren 2,01% der Antworten fehlerhaft.

6.3.2.1 Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz

Reaktionszeiten

Eine erste Varianzanalyse mit den Meßwiederholungsfaktoren Aufgabensequenz (Aufgabenwechsel versus Wiederholung), Dominanz (dominant versus invers) und Kongruenz (dominant-kongruent versus invers-kongruent) ergab einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Aufgabensequenz ($F(1,15) = 15{,}00$; $p < 0{,}01$; $MSE = 0{,}0303$), einen signifikanten Effekt des Faktors Dominanz ($F(1,15) = 106{,}38$; $p < 0{,}01$; $MSE = 0{,}0152$), sowie einen signifikanten Effekt Kongruenz ($F(1,15) = 5{,}44$; $p < 0{,}04$; $MSE = 0{,}0062$). Demnach zeigten sich Aufgabenwechselkosten: Aufgabenwiederholungen resultierten in geringeren Latenzen als Aufgabenwechsel. Der Haupteffekt Dominanz zeigt eine erleichterte Bearbeitbarkeit der Stimuli unter einer räumlich kompatiblen relativ zu einer inkompatiblen Reiz-Reaktions-Zuordnung an, und der Effekt der Kongruenz bedeutet eine erleichterte Bearbeitbarkeit dominant-kongruenter relativ zu dominant-inkongruenten Reizen.

Die 2-fachen Interaktionen zwischen Aufgabensequenz und Dominanz als auch zwischen Aufgabensequenz und Kongruenz wurden signifikant ($F(1,15) = 9{,}99$; $p < 0{,}01$; $MSE = 0{,}0042$ und $F(1,15) = 14{,}83$; $p < 0{,}01$; $MSE = 0{,}0028$). Die Interaktion von Aufgabensequenz und Dominanz zeigt asymmetrische Wechselkosten: Ein Wechsel auf eine dominante Aufgabe war mit höheren Wechselkosten assoziiert als ein Wechsel auf eine inverse Aufgabenstellung. Die Interaktion von Aufgabensequenz und Kongruenz zeigt die Eliminierung des Kongruenzeffekts bei einem Wechsel der Aufgabenstellung.

Ebenfalls statistisch bedeutsam war die 2-fach-Interaktion der Faktoren Dominanz und Kongruenz ($F(1,15) = 24{,}25$; $p < 0{,}01$; $MSE = 0{,}0064$). Waren bei der Bearbeitung dominanter Aufgaben dominant-kongruente Stimuli, d.h. Stimuli, die in der dominanten Aufgabe der anderen Stimulusdimension die gleiche Response erfordern würden, schneller bearbeitbar, so zeigte sich bei der Bearbeitung nichtdominanter Aufgaben eine Umkehrung dieses Kongruenzeffekts: Wurde eine inverse Aufgabe bearbeitet, so waren diejenigen Stimuli leichter bearbeitbar, die unter der inversen Aufgabe der anderen Stimulusdimension

eine entsprechende Response erfordern würden. Die Interaktion der Faktoren Dominanz und Kongruenz wurde nicht durch die Aufgabensequenz moduliert (F (1,15) < 1).
Graphisch dargestellt ist die Interaktion der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz in Abbildung 17.

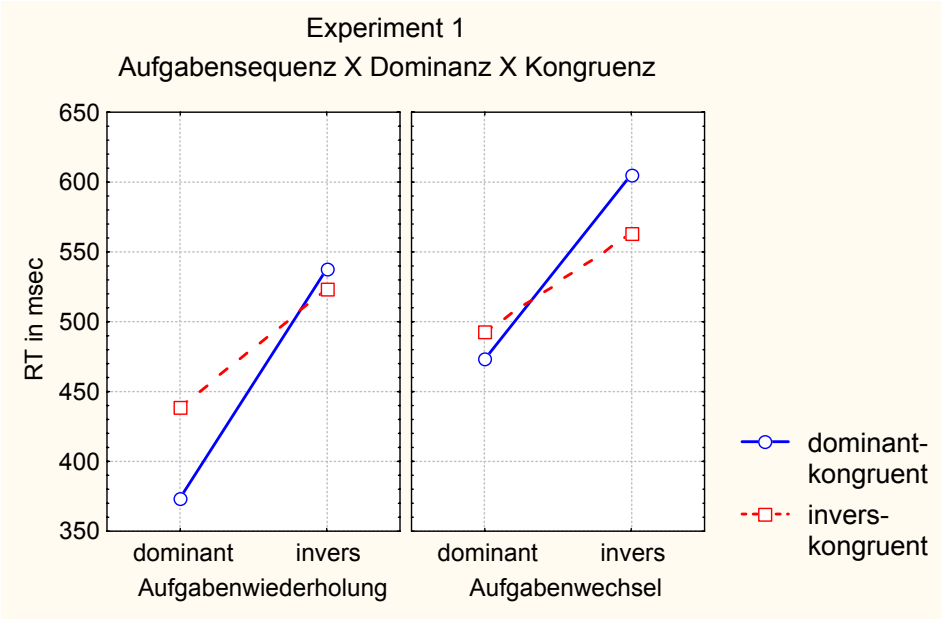


Abbildung 17: Geometrische Mittel der Reaktionszeiten in Experiment 1 in Abhängigkeit von der Aufgabensequenz, der Dominanz der Aufgabe und der Kongruenz des imperativen Stimulus

Fehler

In der entsprechenden Analyse über die Fehlerwerte zeigte sich als Haupteffekt lediglich der Effekt der Aufgabensequenz signifikant ($F(1,15) = 9{,}61$; $p < 0{,}01$; $MSE = 0{,}0004$), Aufgabenwiederholungen wurden relativ zu Aufgabenwechseln erleichtert bearbeitet. Zusätzlich wurden alle 2-fach-Interaktionen signifikant. Die Interaktion zwischen Aufgabensequenz und Dominanz ($F(1,15) = 9{,}91$; $p < 0{,}01$; $MSE = 0{,}0002$) zeigt entsprechend den Daten der Reaktionszeiten asymmetrische Wechselkosten an, die Interaktion von Aufgabensequenz und Kongruenz ($F(1,15) = 5{,}94$; $p < 0{,}03$; $MSE = 0{,}0004$) bedeutet eine Umkehrung des Kongruenzeffekts nach einem Aufgabenwechsel. Die signifikante Interaktion der Faktoren Dominanz und Kongruenz ($F(1,15) = 14{,}03$; $p < 0{,}01$; $MSE = 0{,}0001$) spiegelt den Befund der Umkehrung des Kongruenzeffekts bei der Bearbeitung einer inversen Aufgabenstellung wider.

6.3.2.2 Analyse der Faktoren Aufgabensequenz (6-fach gestuft) und Kongruenz

Reaktionszeiten

Eine zweite Varianzanalyse mit dem 6-fach-gestuften Faktor der Aufgabensequenz (Aufgabenwiederholung dominant, Aufgabenwiederholung invers, Aufgabenwechsel dominant-dominant, Aufgabenwechsel invers-dominant, Aufgabenwechsel dominant-invers, Aufgabenwechsel invers-invers) und dem 2-stufigen Faktor Kongruenz (dominant-kongruent versus invers-kongruent) zeigte einen signifikanten Effekt der Aufgabensequenz ($F(5,75) = 41,50$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0163$). Zudem zeigte sich eine signifikante Interaktion der Faktoren Aufgabensequenz und Kongruenz ($F(5,75) = 17,08$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0045$). Insbesondere für die Frage nach dem primären „Ziel“ von Task-Set Inhibition relevant ist eine Betrachtung derjenigen Aufgabensequenz, in welcher von einer inversen Aufgabe auf die inverse Aufgabe der anderen Stimulusdimension gewechselt wurde. Auch in einer derartigen Aufgabensequenz zeigte sich einer erleichterte Bearbeitung invers-kongruenter Stimuli.

Die Interaktion der Faktoren Aufgabensequenz und Kongruenz ist in Abbildung 18 dargestellt.

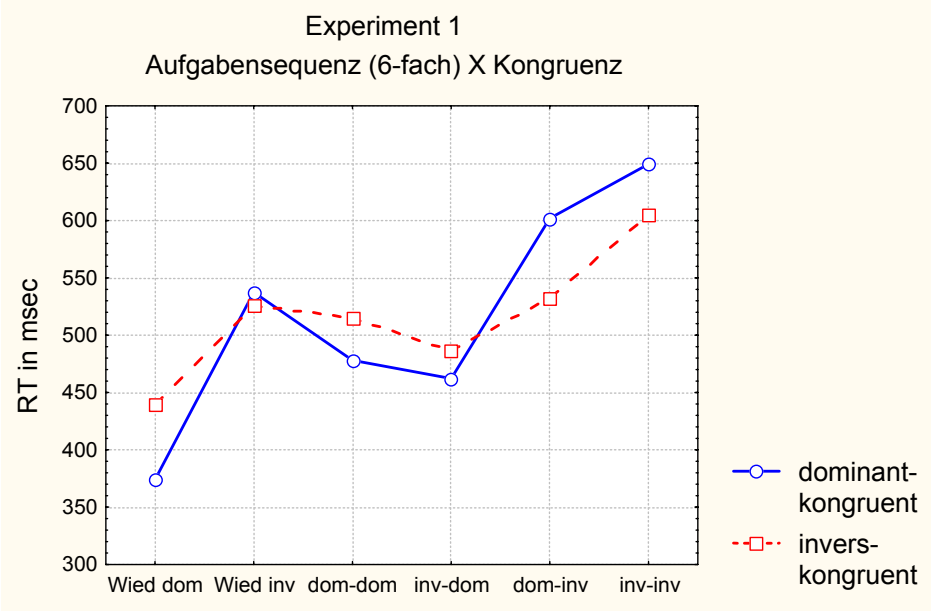


Abbildung 18: Geometrische Mittel der Reaktionszeiten in Experiment 1 in Abhängigkeit von der Aufgabensequenz (6-fach gestuft) und der Kongruenz des imperativen Stimulus

Eine Analyse über die vier Differenzen zwischen Aufgabenwechseln und Aufgabenwiederholungen (Differenz Wechsel dominant-dominant und Wiederholung dominant; Differenz Wechsel invers-dominant und Wiederholung dominant; Differenz Wechsel dominant-invers und Wiederholung invers; Differenz Wechsel invers-invers und Wiederholung invers) erbrachte eine Asymmetrie der Wechselkosten ($F(3,45) = 8,34$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0101$). Ein Wechsel von einer dominanten auf eine inverse Aufgabe zeigte hierbei die signifikant geringsten Kosten (Kontrast zu einem Wechsel zwischen zwei dominanten Aufgaben: $F(1,15) = 15,80$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0150$; Kontrast zu einem Wechsel von einer inversen auf eine dominante Aufgabe: $F(1,15) = 11,74$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0102$; Kontrast zu einem Wechsel zwischen zwei inversen Aufgaben: $F(1,15) = 17,86$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0081$).

Fehler

Die entsprechende Analyse über die Fehlerwerte zeigte einen signifikanten Effekt der Aufgabensequenz, Aufgabenwechselkosten darstellend ($F(5,75) = 3,60$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0006$), sowie eine signifikante Interaktion der Faktoren Aufgabensequenz und Kongruenz ($F(5,75) = 3,33$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0004$). Zeigte sich bei der Wiederholung einer dominanten Aufgabe ein Vorteil derjenigen Stimuli, welche unter der dominanten Aufgabe der anderen Dimension mit der identischen Response assoziiert waren, so wurde dieser Vorteil in den übrigen Aufgabensequenzen nivelliert oder umgekehrt. Der Faktor der Kongruenz wurde lediglich marginal signifikant ($F(1,15) = 4,01$; $p < 0,07$; $MSE = 0,0004$) und deutete insgesamt eine tendenziell leichtere Bearbeitbarkeit invers-kongruenter Stimuli an. Eine Analyse über die vier möglichen Differenzen zwischen Aufgabenwechseln und Aufgabenwiederholungen stellte eine Asymmetrie der Wechselkosten heraus ($F(3,45) = 5,52$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0006$), gemäß derer die signifikant höchsten Wechselkosten auf einen Wechsel von einer inversen zu einer dominanten Aufgabenstellung zurückzuführen sind.

6.3.2.3 Analyse der Faktoren Dominanz n-1, Dominanz n und BI-Sequenz

Reaktionszeiten

Eine Varianzanalyse der Faktoren Dominanz des Vordurchgangs (dominant n-1 versus invers n-1), Dominanz der aktuellen Aufgabe (dominant versus invers) und Backward-Inhibition-Sequenz (ABA versus CBA) ergab für alle drei Faktoren signifikante Haupteffekte. Es zeigte sich ein Vorteil der Bearbeitung, wenn im Vordurchgang eine dominante Aufgabe gefordert war ($F(1,15) = 163,50$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0131$), als auch, wenn aktuell eine kompatible S-R-Zuordnung zu bearbeiten war ($F(1,15) = 316,59$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0097$). Sequenzen der Form ABA waren relativ zu Sequenzen der Form CBA erleichtert (inverser BI-Effekt) ($F (1,15) = 11,26$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0162$). Ein Rückwechsel auf ein Task-Set, von dem im Vordurchgang weggewechselt wurde (entsprechend Sequenz ABA), ging demnach mit geringeren Latenzen einher als ein Wechsel auf eine Aufgabe, von welcher im Vordurchgang nicht weggewechselt wurde (CBA).

Die Interaktion der Faktoren Dominanz n-1 und Dominanz wurde signifikant ($F(1,15) = 12,23$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0161$), ebenso die Interaktionen zwischen der Dominanz in n-1 und der BI-Sequenz ($F(1,15) = 71,99$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0046$) und zwischen der aktuellen Dominanz und der BI-Sequenz ($F(1,15) = 41,49$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0033$). Entsprechend den Interaktionen verringerte sich der Vorteil dominanter Aufgaben nach einer nichtdominanten Voraufgabe. Eine nichtdominante Voraufgabe reduzierte ebenfalls - und entsprechend der Bearbeitung einer aktuell dominanten Aufgabe - den inversen BI-Effekt. Auch die 3-fach-Interaktion der Faktoren wurde signifikant ($F(1,15) = 118,85$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0035$): Der inverse BI-Effekt verdankte sich einer Umkehrung des BI-Effekts, wenn von einem dominanten Aufgabe auf die alternative, dominante Aufgabe gewechselt wurde (Kontrast: $F(1,15) = 57,98$; $p < .01$; $MSE = 0,0177$).
Die Interaktion der Faktoren Dominanz in n-1, Dominanz und BI-Sequenz ist in Abbildung 19 graphisch dargestellt.

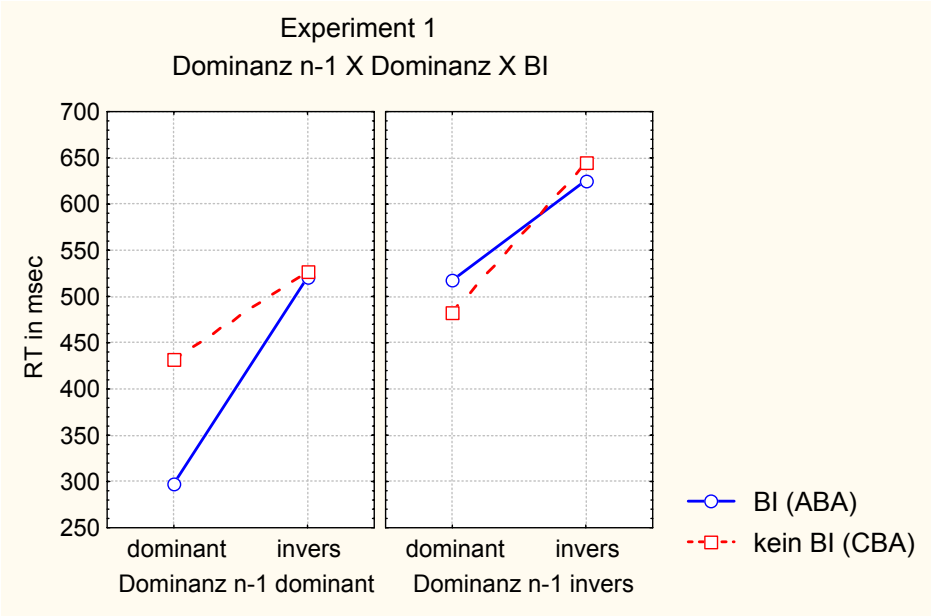


Abbildung 19: Geometrische Mittel der Reaktionszeiten in Experiment 1 in Abhängigkeit von der Aufgabendominanz des Vordurchgangs, der Dominanz der aktuellen Aufgabe und der BI-Sequenz

Fehler

Eine Analyse über die Fehler erbrachte zum einen einen signifikanten Haupteffekt der Dominanz des Vordurchgangs ($F(1,15) = 13,00$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0011$), eine leichtere Bearbeitbarkeit nach einem dominanten Vordurchgang anzeigend, als auch eine signifikante Interaktion der Faktoren Dominanz des Vordurchgangs und BI-Sequenz ($F(1,15) = 6,74$; $p < 0,03$; $MSE = 0,0005$): Zeigte sich nach einer nichtdominanten Aufgabe im Vordurchgang ein BI-Effekt, so wurde der BI-Effekt nach einer dominanten Aufgabe invertiert.

6.3.3 Diskussion Experiment 1

In der Diskussion der Ergebnisse aus Experiment 1 erfahren diejenige Daten besondere Berücksichtigung, welche im Kontext der aktuellen Fragestellung relevant sind. Die Diskussion nicht unmittelbar mit der Fragestellung assoziierter Ergebnisse hinsichtlich der Literatur wird lediglich skizziert.

Die in Experiment 1 gefundenen Aufgabenwechselkosten replizieren einen im Aufgabenwechselparadigma bereits etablierten Effekt: Ein Wechsel der Reiz-Reaktions-Zuordnung ist mit höheren Latenzen und Fehlern verbunden als eine Beibehaltung des Reiz-Reaktions-Mappings (z.B. Allport, Styles & Hsieh, 1994; Meiran, 1996; Rogers &

Monsell, 1995). Entsprechend den Befunden der Forschergruppe um Allport (Allport, Styles & Hsieh, 1994; Allport & Wylie, 1999) zeigten die Wechselkosten einen asymmetrischen Charakter: Wurden in dem verwendeten Paradigma vier Aufgabenübergänge unterschieden (Wechsel dominant-dominant; Wechsel invers-dominant; Wechsel dominant-invers und Wechsel invers-invers), so zeigten sich die signifikant geringsten Wechselkosten bei einem Wechsel von einer dominanten auf eine nichtdominante Aufgabe.

Der Effekt des Faktors Dominanz zeigte eine erleichterte Bearbeitbarkeit dominanter Aufgaben relativ zu nichtdominanten Aufgaben an. In der hier vorgestellten Studie wurde der Faktor Dominanz durch Variation der räumlichen Kompatibilität der Aufgaben realisiert: Dominante Aufgaben besaßen eine räumlich kompatible S-R-Zuordnung, nichtdominante Aufgaben eine räumlich inkompatible S-R-Zuordnung. Der hier gefundene Dominanzeffekt spiegelt demnach einen räumlichen Kompatibilitätseffekt wider und repliziert somit einen typischer Befund im Paradigma der Reiz-Reaktions-Kompatibilität (z.B. Fitts & Deininger, 1954; Fitts & Seeger, 1953; Nicoletti & Umilta, 1984; 1985; Proctor & Lu, 1999; Proctor & Vu, 2002; Shaffer, 1965; Stoffels, 1996a; 1996b).

Der gefundene Haupteffekt der Kongruenz bedeutet eine erleichterte Bearbeitbarkeit dominant-kongruenter relativ zu dominant-inkongruenten Reizen. Es zeigten sich die Stimuli als leichter bearbeitbar, die in der dominanten Aufgabe der anderen Stimulusdimension die gleiche Response erfordern würden. Erfordert ein Stimulus unter der dominanten Aufgabe der irrelevanten Stimulusdimension die gleiche Response wie unter der aktuellen Aufgabe, so bedeutet dies, daß dieser Stimulus in der irrelevanten Aufgabe der Responsetaste zugeordnet ist, die räumlich mit dem Stimulus korrespondiert. Demnach entspricht der Effekt der erleichterten Bearbeitbarkeit dominant-kongruenter Stimuli einem Effekt der Kompatibilität eines irrelevanten, räumlichen Merkmals: Es zeigte sich ein Simon-Effekt. Betrachten wir ein Beispiel, um zu verdeutlichen, warum der Effekt der Kongruenz einen Simon-Effekt darstellt. Unter der vertikal-dominanten Aufgabe ist ein in einem der beiden oberen Quadranten positionierter Stimulus der Responsetaste oben-rechts zugeordnet. Ist der oben lokalisierte Stimulus zusätzlich rechts positioniert, so ist er in der irrelevanten horizontal-dominanten Aufgabe mit der tatsächlich zu gebenden, oben-*rechts* lokalisierten Response assoziiert. Dieser Stimulus wird aufgrund der Responsebelegung (kongruent zur dominanten Aufgabe der anderen Stimulusdimension) als dominant-kongruent bezeichnet. Zeigt sich nun ein Vorteil dominant-kongruenter

Stimuli, so zeigt sich damit ein Vorteil der Reize, die räumlich mit der zu gegebenen Response korrespondieren. Die erleichterte Bearbeitbarkeit dominant-kongruenter Stimuli bei der Bearbeitung dominanter Aufgaben entspricht demnach einem typischen Simon-Effekt (vgl. Abbildung 20).

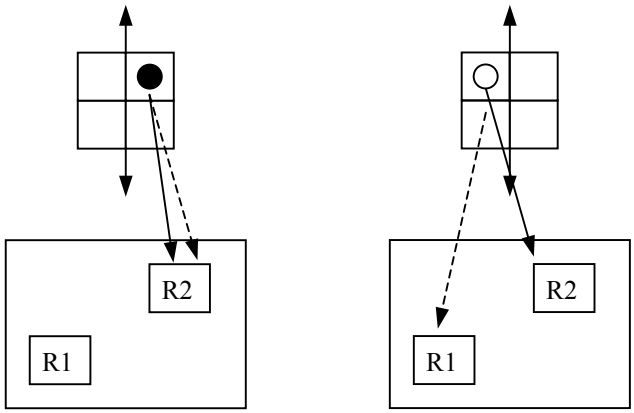


Abbildung 20: Simon-Effekt: Der schwarze Stimulus ist leichter bearbeitbar als der weiße Stimulus. Der schwarze Stimulus erfordert die Response oben-rechts und ist zudem in der irrelevanten, horizontalen Dimension (gestrichelte Linie) räumlich mit der Response oben-rechts assoziiert.

Entsprechend der Logik des verwendeten Paradigmas bedeutet die leichtere Bearbeitbarkeit dominant-kongruenter Stimuli (und damit der Simon-Effekt) einen stärkeren Einfluß der konkurrierenden, dominanten Aufgabe relativ zur konkurrierenden, inversen Aufgabe auf die Bearbeitung der relevanten Aufgabe. Diese stärkere Interferenz durch dominante (stark automatisierte) Reiz-Reaktions-Zuordnungen wurde bereits als stroopartige Interferenz bezeichnet.

Jedoch zeigt die signifikante Interaktion der Faktoren Dominanz und Kongruenz, daß der Effekt der stroopartigen Interferenz in dem hier verwendeten Paradigma kein generelles Phänomen darstellt. Vielmehr zeigte sich bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe eine Umkehrung dieser Interferenz. Waren bei der Bearbeitung dominanter Aufgaben diejenigen Stimuli erschwert bearbeitbar, die in der dominanten Aufgabe der irrelevanten Dimension die entgegengesetzte Response erforderten, so waren bei der Bearbeitung einer inversen Aufgabe diejenigen Stimuli erschwert bearbeitbar, welche in der inversen Aufgabe der irrelevanten Dimension die entgegengesetzte Response erforderten. Da die dominanten und inversen Aufgaben einer Stimulusdimension ein vollständig entgegengesetztes S-R-Mapping aufwiesen, bedeutet diese Invertierung des Kongruenzeffekts, daß die Bearbeitung eines Stimulus unter einer inversen Aufgabe mehr durch einen Reaktionskonflikt zur inversen Aufgabe der anderen Stimulusdimension „litt“

als durch einen Konflikt zu der alternativen, dominanten Aufgabe der anderen Stimulusdimension. Es zeigte sich bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe somit eine stärkere Interferenz durch die nichtdominante Aufgabe der anderen Stimulusdimension relativ zu der dominanten Aufgabe der anderen Stimulusdimension.

Dieser relativ stärkere Einfluß des anderen, schwachen S-R-Mappings entspricht einer Invertierung des Simon-Effekts, leicht zu veranschaulichen an folgendem Beispiel: Unter der vertikal-inversen Aufgabe (oben → unten; unten → oben) sind die beiden Stimuli, die in der horizontal-inversen Aufgabe (rechts → links; links → rechts) die gleiche Response erfordern würde, leichter zu bearbeiten als die Reize, die in der horizontal-inversen Aufgabe eine andere Response erfordern würden. Damit sind die Reize der Positionen oben-rechts und unten-links leichter zu bearbeiten als die Reize der Positionen oben-links und unten-rechts. So ist beispielsweise der Stimulus oben-rechts leicht zu bearbeiten, obwohl dieser Stimulus in der irrelevanten rechts-links-Dimension räumlich nicht kompatibel mit der zu gebenden Response (unten links) ist. Dieses Datenmuster entspricht einer Umkehrung des Simon-Effekts. Die Invertierung des Simon-Effekts ist anhand der verwendeten Beispielstimuli in Abbildung 21 dargestellt.

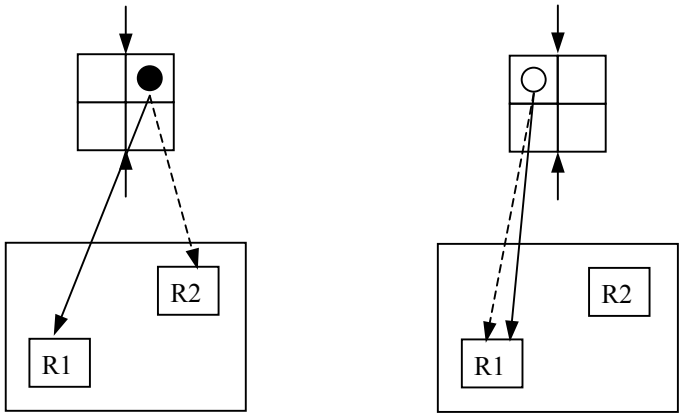


Abbildung 21: Inverser Simon-Effekt: Der schwarze Stimulus ist leichter bearbeitbar als der weiße Stimulus, obwohl der schwarze Stimulus in der irrelevanten, horizontalen Dimension (gestrichelte Linie) räumlich nicht mit der zu gebenden Response assoziiert ist.

Ist die gefundene Invertierung des Simon-Effekts tatsächlich, wie angenommen, ein Indiz für eine stärkere Interferenz durch ein schwächeres (weniger automatisiertes) Task-Set relativ zu einem stark automatisierten Task-Set? Aufgrund der Verwendung eines eingeschränkten Stimulus- und Reaktionsmaterials liegt die Vermutung nahe, daß in dem hier verwendeten Paradigma stimulusspezifische Effekte (z.B. spezifische Bindungen zwischen Reizen und Reaktionen) einen modulierenden Einfluß auf die

Aufgabenbearbeitung haben. Könnte die Invertierung des Simon-Effekts auf derartige Bindungen zwischen Stimuli und Responses zurückzuführen sein? Die Idee einer derartigen Assoziation von Stimuli und den auf sie gegebenen Responses wird von Hommel (1998) in seiner Theorie der Ereigniskodierung expliziert. Hommel macht die Annahme, daß (Merkmale der) Stimuli und tatsächlich auf diese Stimuli gegebene Reaktionen in einer gemeinsamen Gedächtnisepisode repräsentiert werden. Evidenz findet diese Annahme durch den Befund, daß eine gemeinsame Wiederholung oder ein gemeinsamer Wechsel von Reizen und Reaktionen zu Reaktionserleichterungen führen (Hommel, 1998; Pösse, 2001). Wird nun im aktuellen Durchgang ein Stimulusmerkmal des Vordurchgangs wiederholt, wird die gesamte Reiz-Reaktions-Episode des Vordurchgangs erneut aufgerufen. War das aktuell relevante Stimulusmerkmal im Vordurchgang mit einer anderen Reaktion assoziiert, als im aktuellen Durchgang gefordert, ist es notwendig, diese Reiz-Reaktions-Bindung aufzuheben. Könnte dieser zeitkonsumierende Prozeß des Aufhebens der Reiz-Reaktions-Bindung die in Experiment 1 gefundene Interaktion zwischen Dominanz und Kongruenz begründen? So plausibel diese Erwägung aufgrund des begrenzten Stimulus- und Responsesets auch sein mag, scheidet eine Interpretation der Daten in diesem Sinne aus. So zeigte sich in einer weiteren, hier jedoch nicht näher explizierten 4-faktoriellen Analyse über einen 8-stufigen Faktor Aufgabensequenz (Wiederholung dominant; Wiederholung invers; Wechsel dominant-dominant; Wechsel invers-dominant (Wiederholung der Dimension); Wechsel invers-dominant (Wechsel der Dimension); Wechsel dominant-invers (Wiederholung der Dimension); Wechsel dominant-invers (Wechsel der Dimension); Wechsel invers-invers), einen 2-stufigen Faktor Kongruenz (dominant kongruent versus invers-kongruent), einen 2-stufigen Faktor Kongruenz des Vordurchgangs (dominant-kongruent n-1 versus invers-kongruent n-1) sowie einen 2-stufigen Faktor Responsesequenz (Responsewiederholung versus Responsewechsel) auch dann eine stärkere Interferenz der nichtdominanten Konkurrenzaufgabe auf die Bearbeitung einer inversen Aufgabe, wenn imperativer Stimulus und/oder gegebene Response wechselten. Es zeigte sich demnach eine stärkere Interferenz durch die weniger automatisierte Aufgabe, auch wenn entsprechend der Gedächtnisassoziationstheorie der Effekt nicht zu erwarten wäre.

Eine andere Interpretation der Daten liegt nahe: Nachdem typischerweise dominante S-R-Zuordnungen diejenigen Zuordnungen sind, welche mit der aktuellen Bearbeitung interferieren (zu sehen beispielsweise an der asymmetrischen Stroop-Interferenz und am Simon-Effekt), kann angenommen werden, daß ein zusätzlicher Steuerungsmechanismus

den relativen Einfluß des stark automatisierten, konkurrierenden Task-Sets und des schwachen, konkurrierenden Task-Sets modulierte. Der nunmehr stärkere Einfluß einer nichtdominanten Konkurrenzaufgabe relativ zu einer dominanten Konkurrenzaufgabe bietet Evidenz dafür, daß ein derartiger modulierender Einfluß in inhibitorischer Kontrolle stark automatisierter Handlungskonkurrenten besteht. Die Inhibition dominanter Handlungskonkurrenten stellt dabei eine Möglichkeit der Durchsetzung eines schwachen S-R-Mappings gegenüber starken Handlungskonkurrenten dar: Neben einer zusätzlichen Aktivation der zielrelevanten Bearbeitung ist die Durchsetzung eines nichtdominanten Task-Sets an die intentionale Unterdrückung zielirrelevanter, dominanter Handlungskonkurrenten gebunden. Aufgrund der Hemmung der dominanten Reiz-Reaktions-Zuordnung der irrelevanten Dimension übt die inverse Zuordnung der irrelevanten Dimension einen relativ stärkeren Einfluß auf die Bearbeitung aus als die inhibierte, irrelevant-dominante S-R-Zuordnung.

Ein stärkerer Einfluß der nichtdominanten Aufgabe der anderen Stimulusdimension auf eine nichtdominante Aufgabe zeigte sich auch dann, wenn im Vordurchgang diese andere, nichtdominante Aufgabe relevant war. Demnach zeigte sich auch in den Aufgabensequenzen, in denen von einer nichtdominanten Aufgabe auf die nichtdominante Aufgabe der alternativen Dimension gewechselt wurde, ein stärkerer Einfluß dieser im Vordurchgang relevanten, nichtdominanten Aufgabe. Wurde beispielsweise von der vertikal-inversen Aufgabe auf die horizontal-inverse Aufgabe gewechselt, zeigte sich eine stärkere Interferenz der vertikal-inversen Aufgabe auf die aktuell relevante Aufgabe, obwohl die vertikal-inverse Aufgabe die Aufgabe des Vordurchgangs war. Dieser Befund steht im Kontrast zu der Annahme, daß sich zur Bearbeitung einer aktuell relevanten Aufgabe Task-Set-Inhibition auf das Task-Set der Voraufgabe bezieht (Mayr & Keele, 2000). Die stärkere Interferenz durch eine nichtdominante Aufgabe ist jedoch vereinbar mit der Hypothese der Inhibition des am stärksten konkurrierenden Task-Sets. Dieser Befund legt nahe, daß sich Task-Set-Inhibition bei Dekonfundierung der beiden Faktoren zeitliche Nähe und Stärke des Mappings der Konkurrenzaufgaben durch Verwendung von mehr als zwei Aufgaben in mehr als einer Dominanzstufe primär auf das am stärksten konkurrierende Task-Set bezieht. Präsentiert man Versuchspersonen im Kontext wechselnder Aufgabenanforderungen Aufgaben unterschiedlicher Dominanz, so ist dasjenige Task-Set am stärksten mit Inhibition belegt, welches am stärksten um Verhalten konkurriert, und nicht das Task-Set der unmittelbaren Voraufgabe.

Zur Durchsetzung eines nichtdominanten Task-Sets könnte statt Inhibition der beiden konkurrierenden, dominanten Task-Sets alleine das relevante, nichtdominante Task-Set aktiviert werden. Wie wäre in einer derartigen Konzeption die stärkere Interferenz durch die inverse Aufgabe der anderen Stimulusdimension zu erklären? Zur Interpretation der stärkeren Interferenz durch das schwächere Konkurrenzmapping reicht die alleinige Annahme der Aktivation der relevanten, inversen Aufgabe nicht aus. Zusätzlich zu der relevanten, inversen Aufgabe müßte die irrelevante, nichtdominante Aufgabe aktiviert werden, damit diese Aufgabe einen stärkeren Einfluß auf die Bearbeitung der aktuellen Aufgabe ausüben kann als ihr dominanter Gegenspieler. Jedoch wäre bei einer derartigen Aktivationskonzeption zu erwarten, daß sich bei einem Wechsel von einer nichtdominanten Aufgabe auf die nichtdominante Aufgabe der anderen Stimulusdimension geringere Wechselkosten zeigten als bei einem Wechsel von einer beliebigen, anderen Aufgabe auf eben diese nichtdominante Aufgabe. Genau dieser Effekt zeigte sich jedoch nicht: Die Kosten für einen Wechsel zwischen zwei inversen Aufgaben waren größer als die Kosten eines Wechsels von einer dominanten auf eine inverse Aufgabe.

Der Einfluß eines zum aktuellen Zeitpunkt irrelevanten Task-Sets kann neben der Messung der Interferenz dieses Task-Sets auf das aktuell relevante Task-Set durch die Anwendbarkeit des (noch) irrelevanten Task-Sets im folgenden Versuchsdurchgang konzeptualisiert werden. Entsprechend fanden Mayr und Keele (2000) durch die verminderte Wiederanwendbarkeit eines Task-Sets, von welchem im Vordurchgang weggewechselt wurde (Sequenz A-B-A), Evidenz für einen Inhibitionsprozeß, der auf das Task-Set der Voraufgabe gerichtet ist. Bei Verwendung dieses Paradigmas der Wiederanwendbarkeit einer Aufgabe fand sich in Experiment 1 ein inverser Backward-Inhibition-Effekt (BI-Effekt). Ein Rückwechsel auf ein Task-Set, von dem im Vordurchgang weggewechselt wurde, ging mit geringeren Latenzen einher als ein Wechsel auf eine Aufgabe, von der im Vordurchgang nicht weggewechselt wurde. Dieses Ergebnis steht in klarem Gegensatz zu dem Befund von Mayr und Keele. Unter Betrachtung der zusätzlichen Faktoren Dominanz des Vordurchgangs und Dominanz des aktuellen Durchgangs zu dem BI-Faktor ergab sich folgendes Bild: Der umgedreht Backward-Inhibition-Effekt verdankte sich einer Umkehrung des BI-Effekts, wenn von einer dominanten Aufgabe auf die dominante Aufgabe der anderen Stimulusdimension gewechselt wurde. In der Backward-Inhibition-Sequenz ergab sich daraus eine dominante Aufgabe im Durchgang n-2 (Beispiel: A-B-A = H-V-H), in der Nicht-BI-Sequenz resultierte eine nichtdominante Aufgabe im Durchgang n-2 (Beispiel: C-B-A = nV-V-H).

Die Reaktionserleichterung für eine Aufgabe in der Sequenz ABA relativ zu der Sequenz CBA ist nun mit Hilfe eines selektiven Inhibitionsmechanismus, welcher sich primär auf irrelevante Task-Sets in unmittelbarer zeitlicher Nähe richtet, nicht zu erklären.

Könnte ein Inhibitionsmechanismus, der das zu einem Zeitpunkt am stärksten konkurrierende Task-Set hemmt, den inversen Backward-Inhibition-Effekt adäquater abbilden? Ist im Durchgang n-2 eine nichtdominante Aufgabe relevant, kann dieses nichtdominante Mapping gemäß der Hypothese nur dann die Handlung steuern, wenn die dominanten Verhaltenskonkurrenten inhibiert werden. Wird dann auf eine der beiden dominanten Aufgaben gewechselt, muß die Inhibition dieses dominanten Mappings überwunden werden, damit dieses neue, dominante Mapping die Handlung bestimmen kann. Die Inhibition der anderen, dominanten Aufgabe kann jedoch persistieren. Diese persistierende Inhibition des dominanten Handlungskonkurrenten im Durchgang n-2 resultiert nun in einer verringerten Anwendbarkeit dieses Task-Sets im aktuellen Durchgang. Die Annahme von Inhibition dominanter Verhaltenskonkurrenten scheint demnach ein geeignetes Konzept zur Interpretation des inversen Backward-Inhibition-Effekts.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß Experiment 1 unter Verwendung zweier verschiedener Methoden zur Messung von Task-Set-Aktivität (Interferenz- und Anwendbarkeitsmessung) Evidenzen dafür aufzeigen konnte, daß die Durchsetzung eines zieldienlichen, schwachen Task-Sets an die intentionale Hemmung zielirrelevanter Task-Sets gebunden ist. Entsprechend der Annahme, daß Interferenz zum einen aus dominanten Handlungstendenzen, zum anderen aus soeben relevanten Task-Sets resultiert, wird angenommen, daß sich Task-Set-Inhibition als Steuerungsmechanismus im Aufgabenwechselparadigma sowohl auf stark automatisierte Task-Sets als auch auf Task-Sets aus unmittelbarer zeitlicher Nähe bezieht. Die vorliegenden Daten sprechen jedoch dafür, daß sich Task-Set-Inhibition primär auf das am stärksten konkurrierende Task-Set richtet.

6.4 Experiment 2

Eine Evidenz für die Annahme, daß die Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe an die Inhibition dominanter Handlungstendenzen gebunden ist, bestand in Experiment 1 in der Interaktion der beiden Faktoren Dominanz und Kongruenz. Im Unterschied zu der

Bearbeitung dominanter Aufgaben zeigten sich bei der Bearbeitung nichtdominanter Aufgaben diejenigen Stimuli leichter bearbeitbar, die in der nichtdominanten Aufgabe der anderen Stimulusdimension die gleiche Response erforderten wie in der relevanten Aufgabe, was einer Invertierung des Simon-Effekts entsprach.

Ein inverser Simon-Effekt wurde jedoch bereits in einigen Studien zu einfachen Wahlreaktionsaufgaben gefunden. Der Effekt wurde in diesen Studien jedoch nicht auf einen inhibitorischen Mechanismus zurückgeführt, sondern mit einem alternativen Erklärungskonzept zu interpretieren versucht. Erstmals konnten Hedge und Marsh (1975) eine derartige Invertierung des Simon-Effekts beobachten. Wie bereits im Abschnitt zu Theorien des Simon-Effekts skizziert, boten Hedge und Marsh ihren Probanden einfache Wahlreaktionsaufgaben dar, in denen auf einen lateral (links oder rechts) dargebotenen, farbigen Stimulus (rotes bzw. grünes Licht) unter zwei verschiedenen Aufgabenanforderungen reagiert werden sollte. Unter einer „identisch"-Bedingung sollte auf einen farbigen Stimulus mit der gleichfarbigen Responsetaste reagiert werden (beispielsweise auf einen grünen Stimulus mit der grünen (und gleichzeitig links verorteten) Response), in einer „alternativ"-Bedingung sollte auf einen farbigen Stimulus mit der nichtkorrespondierenden Farbe geantwortet werden (beispielsweise auf einen grünen Stimulus mit der roten (und gleichzeitig rechts verorteten) Response). Im Unterschied zu dem bisher etablierten Simon-Paradigma implementierten Hedge und Marsh also eine Bedeutungszuweisung zu den Responsetasten: Die Aufgabe bestand nicht mehr darin, auf einen grünen Reiz mit links (und auf einen roten Reiz mit rechts) zu antworten, sondern auf einen farbigen Reiz mit der entsprechenden (identisch-Bedingung) oder der nichtkorrespondierenden (alternativ-Bedingung) Farbe zu reagieren. Durch die Zuweisung von Bedeutungen zu den einzelnen Responses war die Möglichkeit der Implementierung inverser Aufgabenstellungen (grün $\rightarrow$ rot; rot $\rightarrow$ grün) geschaffen. Während sich unter der identisch-Bedingung der bereits bekannte Simon-Effekt zeige, zeigte sich unter der alternativ-Bedingung eine Invertierung des Simon-Effekts: In dieser Versuchsbedingung waren die Reize leichter bearbeitbar, die räumlich nicht mit der zu gebenden Responsetaste, sondern mit der alternativen Responsetaste korrespondierten. Demnach war in dieser Versuchsbedingung eine Reaktion auf einen linksseitigen Reiz erleichtert, wenn diese Reaktion mit der rechten Responsetaste zu geben war. Eine derartige Invertierung des Simon-Effekts stellt die Modulierbarkeit einer zuvor als streng automatisch geltender Reiz-Reaktions-Zuordnung durch Charakteristika der zu bearbeitenden Aufgabe dar.

Hedge und Marsh führten die Invertierung des Simon-Effekts auf die logische Rekodierung des relevanten und des irrelevanten Stimulusattributs zurück: Reaktionen sind dann erleichtert, wenn relevantes und irrelevantes Stimulusmerkmal in dem gleichen logischen Modus kodiert sind. So ist in der alternativ-Bedingung das relevante Stimulusattribut (Farbe) logisch invers kodiert (grün → rot; rot → grün), und Reaktionen auf den imperativen Stimulus sind erleichtert, wenn auch das irrelevante Positionsattribut in logisch inverser Weise kodiert ist (rechts→ links; links → rechts) :

> „For a given logical recoding (identity or reversal) of the relevant attribute (colour), responding was faster for trials in which the recoding of the irrelevant attribute (position) was of the same logical type as that of the relevant attribute, than for trials in which the logical recoding of the irrelevant attribute was opposite in type." (Hedge & Marsh, 1975, p. 435).

Der inverse Simon-Effekt in Experiment 1 ließe sich alternativ zu Inhibitionsannahmen als Vorteil einheitlicher logischer Rekodierung des relevanten und des irrelevanten Stimulusattributs interpretieren.

Experiment 2 wurde konzipiert, um eine derartige Interpretation der stärkeren Interferenz durch die inkompatible Konkurrenzaufgabe auszuschließen und weitere Evidenzen für eine inhibitionsbasierte Interpretation des inversen Simon-Effekts zu finden. Wenn die Inhibition zielhinderlicher Task-Sets im Vorbereitungsintervall auf eine neue Aufgabe Ursache des inversen Simon-Effekts aus Experiment 1 ist, dann sollte sich kein inverser Simon-Effekt zeigen, wenn keine Möglichkeit der Aufgabenvorbereitung gegeben ist. Ist die Umkehrung des Simon-Effekts in Experiment 1 hingegen auf logische Rekodierung zurückzuführen, so sollte sich ein inverser Simon-Effekt als generelles Phänomen bei der Bearbeitung einer inversen Aufgabe unabhängig von Vorbereitungsmöglichkeit zeigen. Experiment 2 wurde demnach entsprechend Experiment 1 konzipiert, jedoch ohne Präspezifikation der jeweils nächsten Aufgabe.

6.4.1 Methode Experiment 2

Versuchspersonen

An Experiment 2 nahmen 16 Studenten der Universität Hamburg (11 weibliche und 5 männliche) teil. Die Teilnahme wurde durch die Vergabe eines vordiplomrelevanten Nachweises vergütet. Das Alter der Probanden variierte zwischen 21 und 41 Jahren (im Mittel 28,8 Jahre).

Apparatur und Stimuli

Die in Experiment 2 verwendeten Aufgaben und Stimuli entsprachen vollständig denen des ersten Experiments.

Durchführung

Die Durchführung in Experiment 2 wich von der Durchführung in Experiment 1 lediglich dahingehend ab, daß in Experiment 2 nicht bereits vor der Präsentation des imperativen Stimulus die neue Aufgabe spezifiziert wurde. In Experiment 2 erhielten die Versuchspersonen stattdessen erst parallel mit dem imperativen Stimulus Information über die Aufgabenidentität. Entsprechend Experiment 1 wurde 1200 msec nach Gabe der letzten Response die Matrix des neuen Versuchsdurchgangs dargeboten. Nach einem weiteren Intervall von 300 msec (RSI = 1500 msec) wurden simultan der imperative Stimulus und die bereits in Experiment 1 verwendeten Hinweispfeile dargeboten.
Abbildung 22 zeigt exemplarisch den Ablauf der vertikal-inversen Aufgabe:

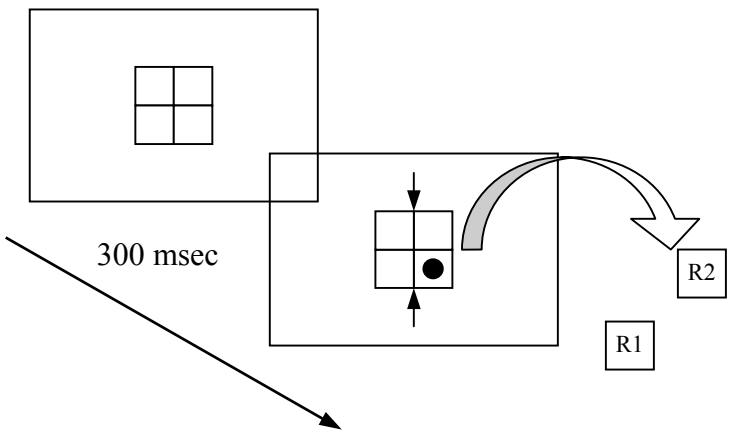


Abbildung 22: Exemplarischer Ablauf der Aufgabe vertikal-invers in Experiment 2

Eine Experimentalsitzung dauerte zwischen 45 und 60 Minuten.

6.4.2 Ergebnisse Experiment 2

Die Extremwertebereinigung der Reaktionszeiten in Experiment 2 erfolgte entsprechend der Bereinigung in Experiment 1. Aufgrund fehlerhafter Antworten wurden 2,88% der Daten von der Analyse ausgeschlossen. In Experiment 2 wurden zwei Analysen gerechnet: In eine ersten Varianzanalyse mit vollständiger Meßwiederholung auf allen Faktoren wurden die Faktoren Aufgabensequenz (Aufgabenwiederholung versus Aufgabenwechsel), Dominanz (dominant versus invers) und Kongruenz (dominant-kongruent versus invers-kongruent) berücksichtigt. Eine zweite Analyse umfaßte die Meßwiederholungsfaktoren Dominanz des Vordurchgangs (dominant in n-1 versus invers in n-1), Dominanz (dominant versus invers) und BI-Sequenz (ABA- versus CBA-Sequenz).

6.4.2.1 Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz

Reaktionszeiten

Eine Varianzanalyse mit den Meßwiederholungsfaktoren Aufgabensequenz (Aufgabenwechsel versus Wiederholung), Dominanz (dominant versus invers) und Kongruenz (dominant-kongruent versus invers-kongruent) ergab einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Aufgabensequenz ($F(1,15) = 90,74$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0099$), geringere Latenzen für Aufgabenwiederholungen als für Aufgabenwechsel anzeigend, einen signifikanten Effekt des Faktors Dominanz ($F(1,15) = 82,31$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0114$), eine schnellere Bearbeitung unter räumlich kompatiblen relativ zu inkompatiblen Zuordnungen bedeutend, sowie einen signifikanten Haupteffekt Kongruenz ($F(1,15) = 13,57$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0049$), dem ein Vorteil dominant-kongruenter Stimuli entsprach.

Die Interaktion zwischen Aufgabensequenz und Dominanz war statistisch bedeutsam ($F(1,15) = 11,53$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0062$): Es zeigten sich geringere Wechselkosten bei einem Wechsel auf eine inverse Aufgabe. Auch die Faktoren Aufgabensequenz und Kongruenz interagierten in dem Sinne, daß sich der Vorteil dominant-kongruenter Stimuli bei Aufgabenwechseldurchgängen reduzierte ($F(1,15) =$

5,82; $p < 0,03$; MSE = 0,0043). Bedeutsam für die Fragestellung bezüglich der Inhibition von Task-Sets ist jedoch die signifikante Interaktion der Faktoren Dominanz und Kongruenz ($F(1,15) = 4,91$; $p < 0,05$; MSE = 0,0119): Zeigte sich bei der Bearbeitung dominanter Aufgaben ein Vorteil der Bearbeitung dominant-kongruenter Stimuli, so wurde dieser Vorteil durch die Bearbeitung nichtdominanter Aufgaben eliminiert: Dominant-kongruente und invers-kongruente Stimuli unterschieden sich nicht bei der Bearbeitung nichtdominanter Aufgaben.

Die geometrischen Mittel der Reaktionszeiten in Abhängigkeit von Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz sind in Abbildung 23 graphisch dargestellt.

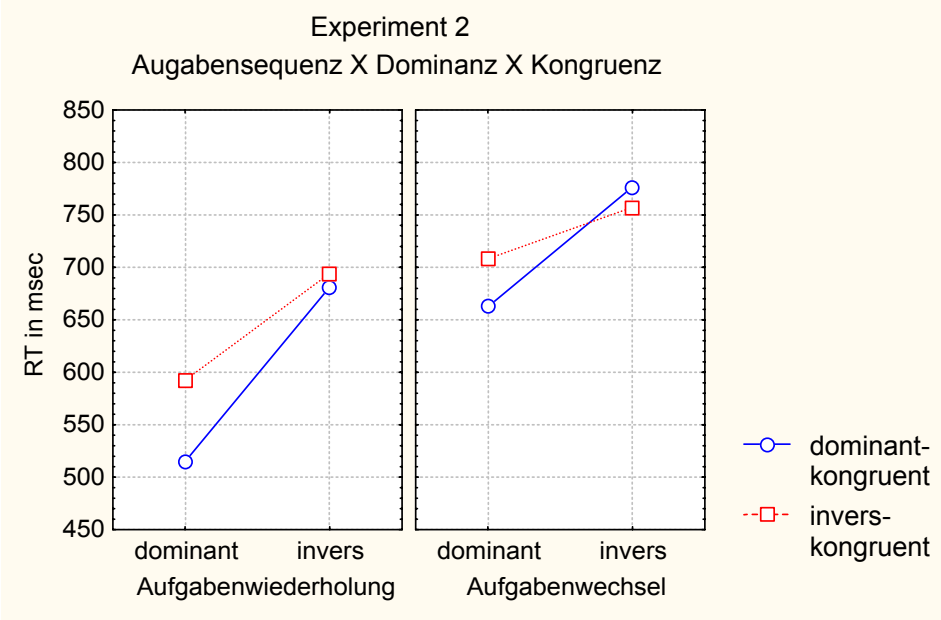


Abbildung 23: Geometrische Mittel der Reaktionszeiten in Experiment 2 in Abhängigkeit von der Aufgabensequenz, der Dominanz der Aufgabe und der Kongruenz des imperativen Stimulus

Fehler

Die Analyse der Fehler zeigte bezüglich der Haupteffekte lediglich einen Effekt der Aufgabensequenz und zeigte somit Aufgabenwechselkosten an ($F(1,15) = 7,46$; $p < 0,02$; MSE = 0,0007). Der Haupteffekt Dominanz wurde lediglich marginal signifikant ($F(1,15) = 3,54$; $p < 0,08$; MSE = 0,0011). Gemäß diesem Haupteffekt waren dominante Aufgabenstellungen tendenziell leichter bearbeitbar als inverse Aufgabenstellungen. Entsprechend den Daten der Reaktionszeiten zeigte sich eine signifikante Interaktion der Faktoren Dominanz und Kongruenz ($F(1,15) = 11,42$; $p < 0,01$; MSE = 0,0003): Der

tendenzielle Vorteil dominant-kongruenter Stimuli bei der Bearbeitung dominanter Aufgaben verlor sich bei der Bearbeitung inverser Aufgabenstellungen.

6.4.2.2 Analyse der Faktoren Dominanz n-1, Dominanz und BI-Sequenz

Reaktionszeiten

Die Varianzanalyse der Faktoren Dominanz des Vordurchgangs (dominant n-1 versus invers n-1), Dominanz der aktuellen Aufgabe (dominant versus invers) und BI-Sequenz (ABA- versus CBA-Sequenz) ergab für alle drei Faktoren signifikante Haupteffekte. So zeigte sich zum einen eine erleichterte Bearbeitbarkeit, wenn im Vordurchgang eine räumlich kompatible S-R-Zuordnung bearbeitet wurde ($F(1,15) = 656,50$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0028$), zum anderen zeigte sich im aktuellen Durchgang ein Vorteil kompatibler Aufgaben ($F(1,15) = 119,52$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0131$). Als dritter Haupteffekt waren ABA-Sequenzen (BI-Sequenzen) schneller bearbeitbar als Sequenzen der Form CBA ($F(1,15) = 113,82$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0030$).

Alle Interaktionen wurden signifikant. Der Vorteil dominanter Aufgaben reduzierte sich nach einer nichtdominanten Voraufgabe ($F(1,15) = 107,71$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0057$), ebenso reduzierte sich nach einer nichtdominanten Voraufgabe der inverse BI-Effekt ($F(1,15) = 21,08$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0045$). Der inverse BI-Effekt war weiterhin bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe reduziert ($F(1,15) = 7,66$; $p < 0,02$; $MSE = 0,0065$). Die 2-fachen Interaktionen wurden moduliert durch eine 3-fach-Interaktion aller Faktoren, gemäß derer sich der inverse BI-Effekt bei einem Wechsel von einer dominanten auf die alternative, dominante Aufgabe ($F(1,15) = 145,64$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0023$), sowie bei einem Wechsel zwischen zwei inversen Aufgaben ($F(1,15) = 57,36$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0018$) zeigte.
Dargestellt ist die Interaktion aller Faktoren in Abbildung 24.

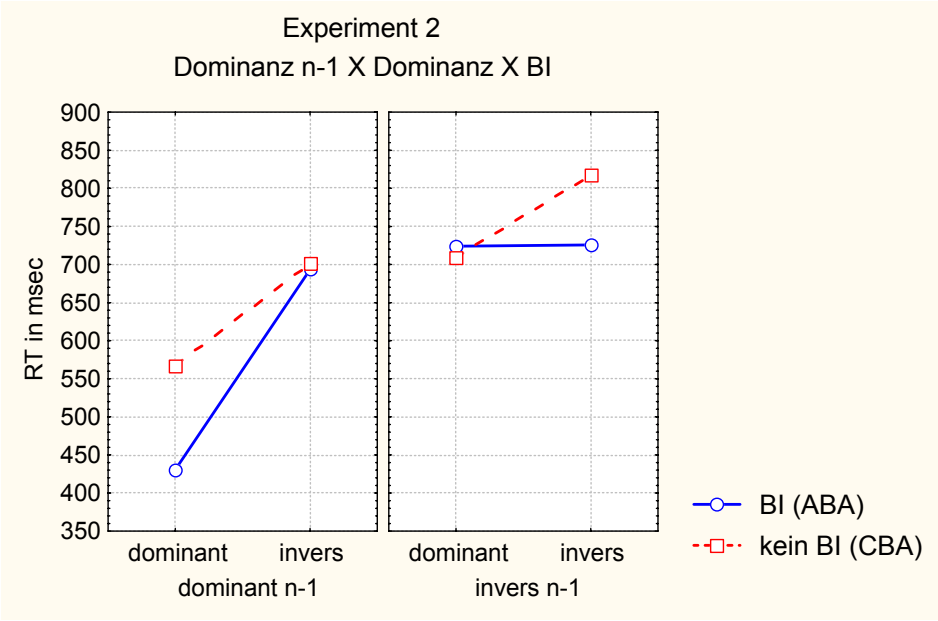


Abbildung 24: Geometrische Mittel der Reaktionszeiten in Experiment 2 in Abhängigkeit von der Aufgabendominanz des Vordurchgangs, der Dominanz der aktuellen Aufgabe und der BI-Sequenz

Fehler

Die entsprechende Analyse der Fehlerraten erbrachte einen signifikanten Haupteffekt der Dominanz ($F(1,15) = 6,37$; $p < 0,03$; $MSE = 0,0013$), dominante Aufgaben waren relativ zu inversen Aufgaben erleichtert bearbeitbar. Ebenfalls signifikant wurde die Interaktion der Faktoren Dominanz des Vordurchgangs und Dominanz ($F(1,15) = 15,76$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0003$). Zeigte sich nach einer dominanten Aufgabe ein Vorteil einer erneut dominanten Aufgabenstellung, so wurde dieser Vorteil durch eine zuvor inverse Aufgabenstellung nivelliert. Der Faktor der BI-Sequenz zeigte lediglich in der signifikanten 3-fach-Interaktion einen Einfluß ($F(1,15) = 5,94$; $p < 0,03$; $MSE = 0,0008$): Im Unterschied zu den Daten der Reaktionszeiten fand sich in den Fehlerzahlen eine Invertierung des BI-Effekts in einem aktuell dominanten Durchgang nach einem inversen Durchgang sowie eine tendenzielle Invertierung in einem inversen Durchgang nach einem dominanten Durchgang.

6.4.3 Diskussion Experiment 2

Die Diskussion der Befunde aus Experiment 2 beschränkt sich auf die für die aktuelle Fragestellung relevanten Ergebnisse.

Entsprechend den Ergebnissen aus Experiment 1 fand sich eine signifikante Interaktion der beiden Faktoren Dominanz und Kongruenz. Bei der Bearbeitung dominanter

Aufgaben zeigte sich eine erleichterte Bearbeitbarkeit dominant-kongruenter Stimuli, d.h. derjenigen Stimuli, die in der dominanten Aufgabe der anderen Stimulusdimension die gleiche Response erfordern würden. Dieser Effekt stellt sich als Replikation des in Experiment 1 gefundenen Simon-Effekts dar. Im Unterschied zu Experiment 1 zeigte sich in Experiment 2 jedoch kein inverser Simon-Effekt bei der Bearbeitung nichtdominanter Reiz-Reaktions-Zuordnungen. Bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe zeigte sich demnach keine stärkere Interferenz durch eine konkurrierende, nichtdominante Aufgabe relativ zu einer stärker automatisierten, konkurrierenden Aufgabe. Aufgrund der Differenz zwischen Experiment 1 und 2 alleine in der Darbietung eines vorbereitenden Hinweisreizes erwies sich Aufgabenvorbereitung somit als notwendiger Faktor für die stärkere Interferenz durch die nichtdominante Konkurrenzaufgabe. Die Invertierung des Simon-Effekts aus Experiment 1 ließ sich demnach ohne Möglichkeit der vorbereitenden Aufgabenaktivierung nicht replizieren, so daß eine Interpretation des Effekts aus Experiment 1 im Sinne einer logischen Rekodierung ausscheidet. Unter der Annahme logischer Rekodierung als Ursache des inversen Simon-Effekts sollte es generell für ein System funktional sein, nur einen logischen Modus zu einem Zeitpunkt zu etablieren, unabhängig von der Möglichkeit zur Aufgabenvorbereitung. Anhänger einer logischen Rekodierungshypothese müßten demnach eine stärkere Interferenz durch die nichtdominante Konkurrenzaufgabe bei der Bearbeitung nichtdominanter Aufgaben annehmen, welche nicht durch die Möglichkeit zur Aufgabenvorbereitung beeinflußt wird. Der Befund eines fehlenden, inversen Simon-Effekts in Experiment 2 zeigt jedoch die Abhängigkeit des inversen Simon-Effekts von der Möglichkeit der Vorbereitung und ist somit nicht vereinbar mit logischer Rekodierung als Ursache des inversen Simon-Effekts in dem hier vorgestellten Paradigma.

Zeigte sich in Experiment 2 keine Umkehrung des Simon-Effekts bei der Bearbeitung einer inversen Aufgabe, so zeigte sich jedoch zumindest eine Aufhebung des Simon-Effekts: Das Fehlen eines Kongruenzeffekts bei der Bearbeitung einer inversen Aufgabe bedeutet, daß die dominante und die inverse Konkurrenzaufgabe in gleichem Ausmaß mit der Aufgabenbearbeitung interferieren. Alleine diese Aufhebung der typischerweise asymmetrischen Interferenz im Sinne einer stärkeren Interferenz durch dominante Aufgaben deutet die Modulation der Bearbeitung durch einen inhibitorischen Mechanismus an: Ohne Vorbereitungsmöglichkeit werden dominante Konkurrenzaufgaben bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe in dem Ausmaß gehemmt, daß ihr Einfluß auf das Einflußniveau einer nichtdominanten Konkurrenzaufgabe reduziert wird.

Die fehlende Umkehrung der Interferenz deutet jedoch zudem darauf hin, daß – sofern die Möglichkeit zur Aufgabenvorbereitung besteht – Task-Set-Inhibition zumindest zum Teil bereits im Vorbereitungsintervall stattfindet.

In der Analyse der Backward-Inhibition-Sequenzen zeigte sich entsprechend dem Befund aus Experiment 1 eine Invertierung des Backward-Inhibition-Effekts: Die Bearbeitung einer Aufgabe zeigte sich dann als erleichtert, wenn von dieser Aufgabe im Vordurchgang weggewechselt wurde. Der inverse Backward-Inhibition-Effekt ist vornehmlich auf eine Aufgabensequenz zurückzuführen, in welcher von einer dominanten Aufgabe auf eine erneut dominante Aufgabe gewechselt wurde. Dieser Wechsel impliziert in der Backward-Inhibition-Sequenz eine dominante Aufgabe im Durchgang n-2. Hingegen impliziert eine CBA-Sequenz aktuell eine Aufgabe, welche weder im aktuellen Durchgang, noch im Vordurchgang relevant war, somit bedeutet in dieser speziellen Aufgabensequenz eine CBA-Sequenz eine nichtdominante Aufgabe im Durchgang n-2. Der gefundene inverse BI-Effekt in Sequenzen, in denen zwischen zwei dominanten Aufgaben gewechselt wurde, stellt demnach eine Replikation des Befundes aus Experiment 1 dar und wurde an dortiger Stelle ausführlich diskutiert. Diese Replikation des Befundes des inversen BI-Effekts bei einem Wechsel zwischen zwei dominanten Aufgaben aus Experiment 1 legt eine Interpretation im Sinne von Inhibition des am stärksten konkurrierenden Mappings nahe. Jedoch zeigte sich in Experiment 2 ein inverser BI-Effekt in den Reaktionszeiten in einer weiteren und in den Fehlerwerten in zwei weiteren Aufgabensequenzen, an welchen diese Umkehrung des BI-Effekts nicht auf Inhibition stark automatisierter Handlungstendenzen zurückgeführt werden kann.

Konnte in Experiment 2 bei fehlender Aufgabenvorbereitung der inverse BI-Effekt aus Experiment 1 repliziert werden, so zeigte sich im Unterschied zu Experiment 1 bei der Bearbeitung einer inversen Aufgabe keine Invertierung des Simon-Effekts (demnach keine Umkehrung der stroopartigen Interferenz). Vielmehr übten die dominante und die inverse Konkurrenzaufgabe in Experiment 2 das gleiche Ausmaß an Interferenz auf die relevante Bearbeitung aus. Die Messung der Aufgabeninterferenz legt nahe, daß die Inhibition dominanter Handlungskonkurrenten in Experiment 1 ein Ausmaß erreichte, nach welchem die Interferenz durch ein dominantes, konkurrierendes Task-Set geringer ausfiel als die Interferenz durch ein inverses Konkurrenzmapping. In Experiment 2, demnach ohne Vorbereitungsmöglichkeit, reduzierte Task-Set-Inhibition den Einfluß eines dominanten Task-Sets lediglich auf die Höhe des Einflusses eines nichtdominanten, konkurrierenden Task-Sets. Zeigte demnach der in Experiment 2 gefundene, inverse BI-Effekt Task-Set-

Inhibition in gleicher Höhe wie in Experiment 1 an, so deutete die Interferenzmessung auf ein geringeres Ausmaß an Task-Set-Inhibition in Experiment 2 relativ zu Experiment 1 hin.

Möglicherweise ist eine Lösung dieses scheinbaren Widerspruchs bezüglich des Ausmaßes an Task-Set-Inhibition in zeitlichen Charakteristika der Aufgabenbearbeitung zu suchen. Bei fehlender Möglichkeit zur Aufgabenvorbereitung können dominante Verhaltenskonkurrenten nicht bereits vor Präsentation des imperativen Stimulus inhibiert werden. Demnach ist es denkbar, daß bei paralleler Präsentation von Stimulus und Aufgabencue die räumlich kompatiblen Reiz-Reaktions-Zuordnungen in einem ersten Schritt nichtintentional aktiviert werden (vgl. z.B. Ridderinkhof, 2002). Die zur Gewährleistung korrekter Reaktionen bei der Bearbeitung der inversen Aufgaben notwendige Inhibition dieser dominanten Handlungskonkurrenten setzt möglicherweise in Experiment 2 so spät an, daß die dominanten Aufgaben die ihnen entsprechenden Responses bahnen können. Als Folge ist der Einfluß dominanter Handlungskonkurrenten auf die Bearbeitung der relevanten, inversen Aufgabe bei fehlender Vorbereitungs-möglichkeit relativ höher als bei bestehender Vorbereitungsmöglichkeit. Da jedoch die Inhibition der dominanten Konkurrenten in jedem Fall vor der Selektion der aufgabenkonformen Reaktion gewährleistet sein muß, zeigt sich die spätere Wirkung der Inhibition zum Zeitpunkt der Wiederanwendung der zuvor inhibierten Aufgaben im selben Ausmaß wie bei Präspezifikation der neuen Aufgabe.

6.5 Zusammenfassende Diskussion der Experimente 1 und 2

Die Experimente 1 und 2 wurden konzipiert, um Evidenz dafür zu erlangen, in welcher Weise sich Task-Set-Inhibition im Kontext mit mehr als zwei Aufgaben in mehr als einer Dominanzstufe auswirkt. Zwei Alternativen sind denkbar: Möglich ist, daß sich Task-Set-Inhibition insbesondere auf das Task-Set der Voraufgabe (wie in der Studie von Mayr und Keele angenommen) bezieht. Alternativ ist denkbar, daß sich Inhibition primär auf das am stärksten konkurrierende Task-Set richtet (wie in den Studien von Allport et al. angenommen). In zwei Experimenten konnten Indizien dafür gefunden werden, daß bei Dekonfundierung der Faktoren zeitliche Nähe der konkurrierenden Task-Sets und Stärke der konkurrierenden Task-Sets sich Task-Set-Inhibition vor allem auf die am stärksten konkurrierenden Mappings bezieht. Die Messung der Task-Set-Inhibition wurde hierbei

mittels zweier Methoden (Interferenzmessung und Messung der Wiederanwendbarkeit einer Aufgabe) realisiert.

Die Messung von Task-Set-Interferenz zeigte in Experiment 1 eine stärkere Interferenz durch die nichtdominante Konkurrenzaufgabe bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe. Diese Invertierung der typischen, stärkeren Interferenz durch dominante, konkurrierende S-R-Zuordnungen bietet Evidenz für die Annahme, daß zur Durchsetzung einer nichtdominanten Aufgabe primär dominante Handlungstendenzen gehemmt werden. Die stärkere Interferenz durch nichtdominante Konkurrenten zeigte sich auch dann, wenn im Vordurchgang von der entsprechenden nichtdominanten Konkurrenzaufgabe weggewechselt wurde. Dieser Befund ist nicht vereinbar mit der Annahme Mayr und Keeles, daß sich Task-Set-Inhibition in besonderem Ausmaß auf ein zuvor relevantes Task-Set bezieht.

Der Befund stärkerer Interferenz durch die nichtdominante Konkurrenzaufgabe bei der Bearbeitung nichtdominanter Aufgaben zeigte sich nicht bei fehlender Vorbereitung der neuen Aufgabe (Experiment 2). Dieser fehlende Befund schließt eine Interpretation der Befunde aus Experiment 1 im Sinne einer logischen Rekodierung (Hedge & Marsh, 1975) aus.

Die Messung der Wiederanwendbarkeit einer Aufgabe führte in Experiment 1 und 2 zu ähnlichen Ergebnissen. Unabhängig von einer Möglichkeit der Aufgabenvorbereitung zeigten sich asymmetrische Wechselkosten (hohe Wechselkosten bei einem Wechsel von einer nichtdominanten zu einer dominanten Aufgabe, niedrige Wechselkosten für einen Wechsel von einer dominanten zu einer nichtdominanten Aufgabe) und ein inverser BI-Effekt (geringere Latenzen bei einem Rückwechsel auf eine Aufgabe, von der im Vordurchgang weggewechselt wurde, sofern die aktuelle Aufgabensequenz zwischen zwei dominanten Aufgaben wechselte). Die Befunde der Messung der Anwendbarkeit sind in Übereinstimmung mit den Befunden der Interferenzmessung und liefern weitere Indizien für dominante Handlungskonkurrenten als primäres Ziel von Task-Set-Inhibition.

Die Effekte aus Experiment 1 und 2 sind vereinbar mit der Annahme eines spezifischen Inhibitionsmechanismus einerseits im Vorbereitungsintervall, andererseits auf späteren Stufen der Reizverarbeitung. Die Durchsetzung einer nichtdominanten Handlungsintention erfolgt über spezifische Inhibitionsprozesse, wobei sich Inhibition nicht primär auf das unmittelbar vorausgehende Task-Set, sondern auf den stärksten Handlungskonkurrenten bezieht.

6.6 Experiment 3

Die Aufhebung der asymmetrischen Stroop-Interferenz bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe in Experiment 2 deutete bereits an, daß sich Inhibition des stärksten Konkurrenten und sequentielle Inhibition nicht lediglich auf ein unterschiedliches „Ziel“ der Inhibition beziehen, sondern daß beide Mechanismen zudem unterschiedlichen Restriktionen unterworfen sind. So zeigte sich in Experiment 2 durch die symmetrische Interferenz durch ein dominantes und ein inverses, konkurrierendes Task-Set bei der Bearbeitung einer inversen Aufgabe Evidenz für Task-Set-Inhibition des am stärksten konkurrierenden Mappings (lediglich in vermindertem Ausmaß) auch bei fehlender Vorbereitung der neuen Aufgabe. Inhibition dominanter Handlungstendenzen ist somit nicht abhängig von vorbereitender Aufgabenaktivierung.

Im Unterschied zu Inhibition dominanter Handlungskonkurrenten ist sequentielle Inhibition hingegen an vorbereitende Aktivierung des neuen Task-Sets gebunden. So konnten Mayr und Keele (2000) keinen BI-Effekt nachweisen, wenn erst mit dem imperativen Stimulus zusammen die relevante Reiz-Reaktions-Zuordnung expliziert wurde. Backward Inhibition scheint jedoch nicht nur generell an Aufgabenvorbereitung gebunden, vielmehr ist Backward Inhibition zudem abhängig von spezifischer Vorbereitung der zu etablierenden Aufgabe. Eine derartige Abhängigkeit sequentieller Inhibition von spezifischer Aufgabenankündigung, gemäß derer sich Backward Inhibition nicht nach unspezifischer Ankündigung eines Aufgabenwechsels (realisiert durch einen „neu“-Hinweisreiz) zeigte, wurde von Hübner et al. (Hübner, Dreisbach, Haider & Kluwe, 2003; siehe auch Mayr & Keele, 2000) dargestellt.

Aufgrund des Befundes, daß sich Task-Set-Inhibition dominanter Handlungskonkurrenten bereits bei fehlender Möglichkeit zur Aufgabenvorbereitung (Experiment 2) zeigte, ist anzunehmen, daß auch ein experimentelles Paradigma mit unvollständiger Vorbereitungsmöglichkeit die Möglichkeit zur Inhibition dominanter Handlungstendenzen bereitstellt. Es stellt sich jedoch die Frage, ob unspezifische Aufgabenvorbereitung, welche alleine präspezifiziert, ob es sich in der zu etablierenden Aufgabe um eine kompatible oder um eine inkompatible Aufgabe handeln wird (demnach lediglich eine Ankündigung der relevanten Faktorstufe des Dominanzfaktors und keine Ankündigung hinsichtlich der relevanten Reizdimension), ausreicht, um das Ausmaß an Task-Set-Inhibition zu erzeugen, welches in Experiment 1 zu der Invertierung des Simon-Effekts führte.

6.6.1 Methode Experiment 3

Versuchspersonen

An Experiment 3 nahmen 16 männliche Studenten der Universität der Bundeswehr Hamburg auf freiwilliger Basis teil. Das Alter der Probanden reichte von 21 bis 28 Jahren (im Mittel 23,9 Jahre).

Apparatur und Stimuli

Die in Experiment 3 verwendeten Aufgaben und Stimuli entsprachen zu großen Teilen denen des ersten Experiments. Im Unterschied zu Experiment 1 wurde jedoch kein spezifischer Aufgabenhinweisreiz im Vorbereitungsintervall gegeben, sondern der Hinweisreiz erhielt alleine Information über die Dominanz der folgenden Aufgabe und spezifizierte, ob es sich bei der folgenden Aufgabe um eine räumlich kompatible oder um eine räumlich inkompatible Zuordnung handelte. Ein Hinweisreiz kündigte somit immer zwei mögliche Aufgaben an. Dominante Aufgabe wurden hierbei durch vier nach außen weisende Pfeile an der Matrix angekündigt, inverse Aufgaben durch vier nach innen weisende Pfeile. Information über die relevante Stimulusdimension (vertikal oder horizontal) wurde nicht bereits im Vorbereitungsintervall gegeben. Abbildung 25 stellt die unspezifischen Aufgabencues dar:

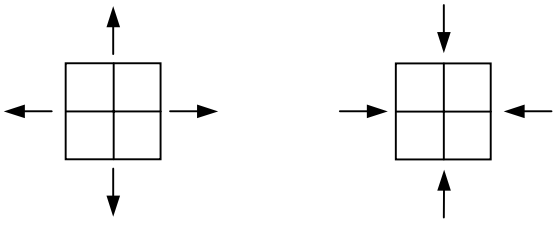


Abbildung 25: Verwendete Aufgabencues in Experiment 3: Der linke Hinweisreiz kündigte unspezifisch die vertikal-dominante und die horizontal-dominante Aufgabe an, der rechte Hinweisreiz kündigte unspezifisch die vertikal-inverse und die horizontal-inverse Aufgabe an.

Durchführung

Die Durchführung in Experiment 3 unterschied sich von der Durchführung in Experiment 1 dahingehend, daß die Probanden im Vorbereitungsintervall anstelle spezifischer Aufgabeninformation lediglich Information über die Dominanz der folgenden Aufgabe

erhielten. Die Probanden erhielten in der Instruktion die Information, daß die verwendeten Hinweisreize eingangs unspezifisch seien und genau zwei mögliche Aufgaben ankündigten. Erst mit der Präsentation des imperativen Stimulus wurden die Aufgabencues eindeutig und kündigten eine spezifische Reiz-Reaktions-Zuordnung an. Die zeitlichen Charakteristika in Experiment 3 entsprachen denen des ersten Experiments.
Abbildung 26 zeigt exemplarisch den Ablauf der vertikal-inversen Aufgabe:

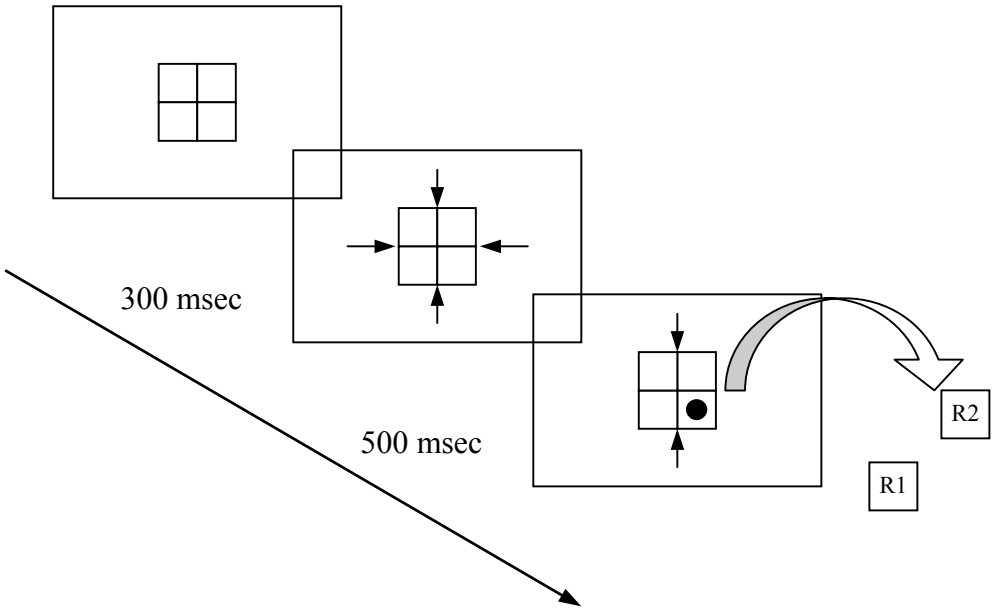


Abbildung 26: Exemplarischer Ablauf der vertikal-inversen Aufgabe in Experiment 3

Die Dauer einer Experimentalsitzung betrug 45 Minuten.

6.6.2 Ergebnisse Experiment 3

Die Auswertung und Extremwertebereinigung in Experiment 3 erfolgte entsprechend den Verfahren in Experiment 1. 2,63% der Reaktionen waren fehlerhaft und wurden von der Analyse ausgeschlossen

6.6.2.1 Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz

Reaktionszeiten

Eine erste Varianzanalyse mit den Faktoren Aufgabensequenz (Aufgabenwiederholung versus Aufgabenwechsel), Dominanz (dominant versus invers) und Kongruenz (dominant-

kongruent versus invers-kongruent), jeweils als Meßwiederholungsfaktoren, zeigte für alle drei Faktoren signifikante Haupteffekte. Aufgabenwiederholungen zeigten sich relativ zu Aufgabenwechseln erleichtert bearbeitbar ($F(1,15) = 80,96$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0110$), zudem zeigte sich ein Vorteil dominanter S-R-Zuordnungen relativ zu inversen S-R-Zuordnungen ($F(1,15) = 117,68$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0142$). Der Haupteffekt der Kongruenz spiegelte eine erleichterte Bearbeitbarkeit dominant-kongruenter relativ zu invers-kongruenten Reizen wider ($F(1,15) = 14,72$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0054$).

Die Interaktion zwischen Aufgabensequenz und Dominanz wurde signifikant und zeigte asymmetrische Wechselkosten auf (höhere Wechselkosten für einen Wechsel zu einer dominanten Aufgabe, $F(1,15) = 5,85$; $p < 0,03$; $MSE = 0,0062$). Die Interaktion zwischen Aufgabensequenz und Kongruenz wurde nur marginal signifikant und deutete eine Verringerung des Kongruenzeffekts bei Aufgabenwechseln an ($F(1,15) = 4,46$; $p < 0,06$; $MSE = 0,0048$). Für die Fragestellung des Experiments 3 relevant war die Interaktion zwischen den Faktoren Dominanz und Kongruenz ($F(1,15) = 17,71$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0075$): Während bei der Bearbeitung dominanter Aufgaben Reaktionskongruenz zur dominanten Konkurrenzaufgabe einen Bearbeitungsvorteil darstellte, wurde dieser Vorteil bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe gänzlich eliminiert (Kontrast: $F(1,15) < 1$).

Abbildung 27 zeigt die Abhängigkeit der Reaktionszeiten von den Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz.

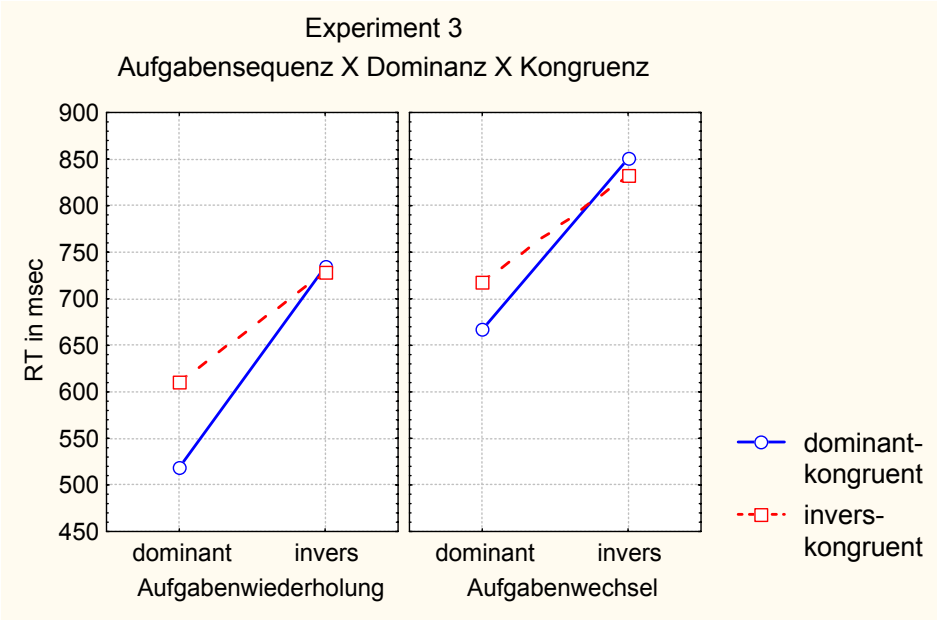


Abbildung 27: Geometrische Mittel der Reaktionszeiten in Experiment 3 in Abhängigkeit von der Aufgabensequenz, der Dominanz der Aufgabe und der Kongruenz des imperativen Stimulus

Fehler

Die entsprechende Analyse über die Fehler ergab lediglich einen signifikanten Effekt der Aufgabensequenz ($F(1,15) = 26,55$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0008$), Aufgabenwechselkosten anzeigend, sowie eine signifikante Interaktion der Faktoren Dominanz und Kongruenz ($F(1,15) = 7,77$; $p < 0,02$; $MSE = 0,0007$). Der tendenzielle Vorteil dominant-kongruenter Stimuli bei der Bearbeitung einer dominanten Aufgabe drehte sich bei der Bearbeitung einer inversen Aufgabenstellung um. Auch der Wechsel der Aufgabenstellung führte zu einer erleichterten Bearbeitbarkeit invers-kongruenter Stimuli, angezeigt durch die Interaktion zwischen Aufgabensequenz und Kongruenz ($F(1,15) = 3,61$; $p < 0,08$; $MSE = 0,0003$). Der marginal signifikante Faktor der Kongruenz ($F(1,15) = 3,38$; $p < 0,09$; $MSE = 0,0002$) kündigte zudem eine insgesamt leichtere Bearbeitbarkeit invers-kongruenter Stimuli an. Die Interaktion aller drei Faktoren ($F(1,15) = 3,14$; $p < 0,10$; $MSE = 0,0005$) zeigte auf, daß die Umkehrung des Kongruenzeffekts bei der Bearbeitung inverser Aufgabenstellungen in besonderem Ausmaß nach einem Wechsel der Aufgabenstellung realisiert war.

6.6.2.2 Analyse der Faktoren Dominanz n-1, Dominanz und BI-Sequenz

Reaktionszeiten

Die 3-faktorielle Analyse mit den Meßwiederholungsfaktoren Dominanz des Vordurchgangs (dominant n-1 versus invers n-1), Dominanz (dominant versus invers) und BI-Sequenz (ABA- versus CBA-Sequenz) zeigte signifikante Haupteffekte aller drei Faktoren. So zeigte sich eine erleichterte Bearbeitbarkeit nach einer dominanten Voraufgabe ($F(1,15) = 253,08$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0088$), eine erleichterte Bearbeitung dominanter Versuchsdurchgänge ($F(1,15) = 132,22$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0258$), sowie eine erleichterte Bearbeitbarkeit in Aufgabensequenzen der Form ABA relativ zu CBA (inverser BI-Effekt) ($F(1,15) = 23,78$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0098$).

Ebenfalls waren alle Interaktionen statistisch bedeutsam. So zeigte sich eine Reduktion des Dominanzeffekts, wenn im Vordurchgang eine inverse Aufgabe bearbeitet wurde ($F(1,15) = 53,72$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0059$), zum anderen zeigte sich eine Aufhebung des inversen BI-Effekts, wenn der Vordurchgang eine inkompatible Reiz-Reaktions-Zuordnung implizierte ($F(1,15) = 36,05$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0069$). Der inverse BI-Effekt

wurde zudem durch die Bearbeitung einer aktuell nichtdominanten Aufgabe reduziert ($F(1,15) = 20,52$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0049$). Der inverse BI-Gesamteffekt verdankte sich der Faktorstufenkombination, in welcher von einer dominanten Aufgabe in n-1 auf die dominante Aufgabe der anderen Stimulusdimension gewechselt wurde (Kontrast $F(1,15) = 49,67$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0180$). Die Interaktion aller drei Faktoren ($F(1,15) = 43,76$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0080$) ist in Abbildung 28 zu sehen.

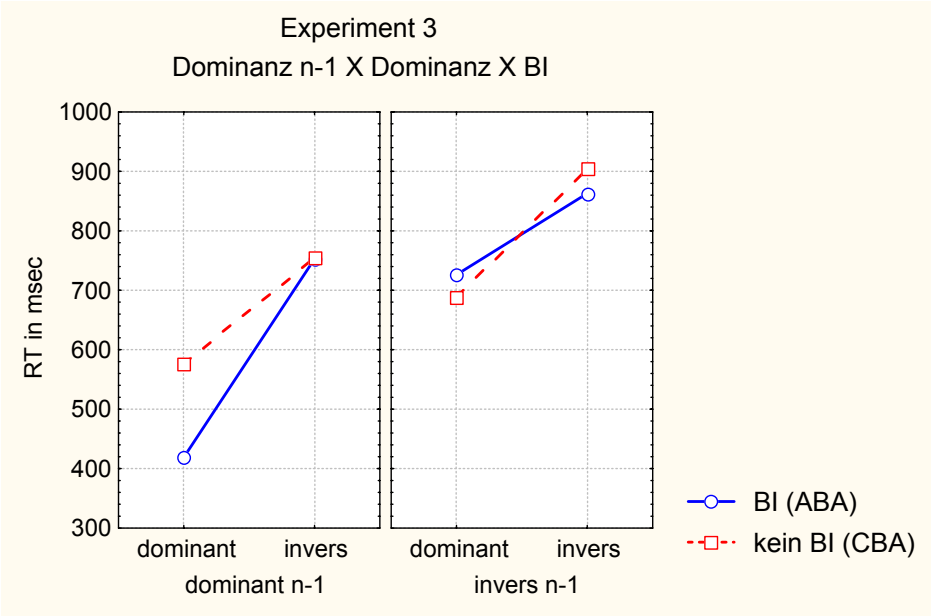


Abbildung 28: Geometrische Mittel der Reaktionszeiten in Experiment 3 in Abhängigkeit von der Aufgabendominanz des Vordurchgangs, der Dominanz der aktuellen Aufgabe und der BI-Sequenz

Fehler

Die Analyse über die Fehlerwerte zeigte einen signifikanten Effekt des Faktors der Dominanz des Vordurchgangs (geringere Fehleranfälligkeit nach einem dominanten Vordurchgang: $F(1,15) = 10,91$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0005$) sowie einen inversen BI-Effekt ($F(1,15)= 5,10$; $p < 0,04$; $MSE = 0,0010$). Signifikant zeigte sich zudem die Interaktion zwischen dem Faktor der Dominanz in n-1 und der aktuellen Dominanz ($F(1,15) = 19,77$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0010$): War nach einem dominanten Durchgang eine dominante Aufgabenstellung erleichtert bearbeitbar, so zeigte sich nach einer inversen Aufgabe ein Vorteil der Bearbeitung gemäß einer inversen Reiz-Reaktions-Zuordnung.

6.6.3 Diskussion Experiment 3

Entsprechend der Diskussion der Experimente 1 und 2 werden an dieser Stelle nur die für die aktuelle Fragestellung relevanten Ergebnisse dargestellt.

Wie in den beiden vorangehenden Untersuchungen zeigte sich in Experiment 3 eine signifikante Interaktion der Faktoren Dominanz und Kongruenz. Der Vorteil dominant-kongruenter Stimuli, welcher sich bei der Bearbeitung dominanter Aufgaben zeigte (Simon-Effekt), verlor sich bei der Bearbeitung inverser Aufgabenstellungen. Dieser Effekt ist gleichbedeutend mit einer asymmetrischen Interferenz bei der Bearbeitung dominanter Aufgabenstellungen und einer Aufhebung der Interferenz-Asymmetrie bei der Bearbeitung nichtdominanter Aufgabenstellungen. Diese Aufhebung der stroopartigen, asymmetrischen Interferenz zeigt erneut die Existenz eines modulierenden Inhibitionsmechanismus an: Ohne den Einfluß inhibitorischer Kontrolle sollte ein stark automatisiertes Task-Set stärkere Interferenz auf die aktuelle Bearbeitung ausüben als ein schwaches, konkurrierendes Task-Set.

Die gefundene Evidenz für Task-Set-Inhibition auch bei unspezifischer Aufgabenankündigung kann als eine weitere Evidenz für die Unterscheidung zwischen der Inhibition automatisierter Handlungstendenzen und sequentieller Inhibition gewertet werden: Konnten Hübner et al. (Hübner, Dreisbach, Haider & Kluwe, 2003; siehe auch Mayr & Keele, 2000) eine Abhängigkeit sequentieller Inhibition von spezifischer Aufgabenankündigung aufzeigen, gemäß derer sich Backward Inhibition nicht nach unspezifischer Ankündigung eines Aufgabenwechsels zeigte, führte eine im vorliegenden Experiment realisierte, unspezifische Aufgabenankündigung zu einer Hemmung dominanter Handlungskonkurrenten.

Wie auch in Experiment 2 zeigte sich jedoch bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe lediglich eine Aufhebung der asymmetrischen Interferenz. Es zeigte sich hingegen keine stärkere Interferenz durch eine nichtdominante Konkurrenzaufgabe. Demnach war eine unspezifische Ankündigung der Aufgabenidentität nicht ausreichend, um das Ausmaß an Task-Set-Inhibition zu erzeugen, welches durch die spezifische Ankündigung einer nichtdominanten Aufgabe in Experiment 1 erreicht wurde. Entsprechend dem Mechanismus der sequentiellen Inhibition weist somit auch die auf dominante Handlungskonkurrenten gerichtete Inhibition eine Abhängigkeit von spezifischer Aufgabenankündigung auf. Jedoch moduliert die Spezifität der Aufgabenankündigung (entsprechend dem Faktor der Aufgabenankündigung generell)

lediglich die Höhe der Inhibition dominanter Task-Sets: Ist das Auftreten sequentieller Inhibition notwendig an die spezifische Ankündigung der Aufgaben gebunden, so ist im Falle auf dominante Handlungskonkurrenten gerichteter Inhibition lediglich das Ausmaß der Inhibition durch die Spezifität der Vorbereitung moduliert.

Entsprechend den Befunden aus Experiment 1 und 2 zeigte sich in Experiment 3 ein inverser Backward-Inhibition-Effekt. Demnach waren die Aufgaben erleichtert bearbeitbar, von denen im Vordurchgang weggewechselt wurde. Auch in Experiment 3 verdankte sich die Umkehrung des BI-Effekts den Aufgabensequenzen, in welchen von einer dominanten Aufgabe auf eine aktuell dominante Aufgabe gewechselt wurde. Entsprechend den Befunden der vorangehenden Experimente läßt sich demnach der inverse BI-Effekt durch die Hemmung dominanter Handlungskonkurrenten zur Durchsetzung einer nichtdominanten Reiz-Reaktions-Zuordnung interpretieren.

Das Datenmuster bei fehlender Aufgabenankündigung in Experiment 2 widerspiegelnd, legt auch bei unspezifischer Aufgabenankündigung die Messung des Kongruenzeffekts und die Messung der Wiederanwendbarkeit einer Aufgabe ein unterschiedliches Ausmaß an Task-Set-Inhibition nahe. Deutet die Messung des Kongruenzeffekts an, daß sich Task-Set-Inhibition nur in begrenztem Ausmaß zeigt, so daß ein äquivalentes Maß an Interferenz durch die dominante und die inverse Konkurrenzaufgabe resultiert, so zeigt hingegen die Messung der Wiederanwendbarkeit einer Aufgabe ein Ausmaß von Task-Set-Inhibition, welches der Inhibition aus Experiment 1 entspricht. Die Unabhängigkeit des inversen BI-Effekts und die Abhängigkeit der stärkeren Interferenz durch nichtdominante Konkurrenzaufgaben von spezifischer Vorbereitung lassen sich entsprechend dem äquivalenten Datenmuster von Experiment 2 durch zeitliche Charakteristika der Task-Set-Inhibition interpretieren. Die Inhibition dominanter, konkurrierender Mappings nach unspezifischer Aufgabenvorbereitung erreicht zum Zeitpunkt der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe (Interferenzmessung) nicht das Ausmaß an Inhibition, welches zum Zeitpunkt der Wiederanwendbarkeit des dominanten Task-Sets gemessen werden kann.

6.7 Experiment 4

Die bisher vorgestellten Experimente unterschieden sich hinsichtlich des Ausmaßes an Vorbereitungsmöglichkeit, ähnelten sich jedoch darin, daß die verwendeten Hinweisreize

im Vorbereitungsintervall (wenn vorhanden) immer valide eine spezifische Aufgabe oder Aspekte der zu etablierenden Aufgabe ankündigten. Experiment 4 stellte den divergierenden Fall dar, in dem in einem Teil der Aufgabendurchgänge im Vorbereitungsintervall eine falsche Aufgabe angekündigt wurde.

Die Erwartung einer falschen Aufgabe führt typischerweise zu einer Erhöhung der Reaktionszeiten (Hübner, Kluwe, Luna-Rodriguez & Peters, in Vorbereitung; Ruthruff, Remington & Johnston, 2001). So fanden Ruthruff et al. unter Präsentation regelhafter Aufgabenabfolgen eine Erhöhung der Reaktionszeiten, wenn die erwartete Aufgabensequenz durch eine nicht erwartete Aufgabenwiederholung oder einen nicht erwarteten Aufgabenwechsel durchbrochen wurde.

Der Faktor der Aufgabenerwartung kann hierbei durch unterschiedliche Manipulationen variiert werden. In dem vorliegenden Experiment wurde eine Variation der Aufgabenerwartung durch die Verwendung valider und invalider Aufgabencues im Vorbereitungsintervall geschaffen. Bei der Präsentation eines invaliden Hinweisreizes wurde eine Aufgabe präsentiert, welche im Vorbereitungsintervall nicht erwartet wurde.

Die Verwendung invalider Hinweisreize stellt nun eine weitere Möglichkeit dar, Evidenzen für die Inhibition dominanter, konkurrierender Task-Sets zu erhalten. Unter der Annahme, daß die Durchsetzung eines zieldienlichen Task-Sets durch bereits im Vorbereitungsintervall einsetzende Inhibition des stärksten Handlungskonkurrenten gewährleistet wird, sollte die Erwartung einer nichtdominanten Aufgabe in Inhibition dominanter Handlungskonkurrenten resultieren. Die Erwartung einer dominanten Aufgabe sollte hingegen nicht (oder zumindest in geringerem Ausmaß) die Inhibition nichtdominanter Reiz-Reaktions-Zuordnungen implizieren. Aufgrund der unterschiedlichen Abhängigkeit dominanter und nichtdominanter Aufgaben von der Inhibition konkurrierender Mappings sollten dominante Aufgaben, die invalide als nichtdominante Aufgaben angekündigt wurden, stärker durch diese invalide Ankündigung leiden als nichtdominante, fälschlich als dominant angekündigte Aufgaben.

6.7.1 Methode Experiment 4

Versuchspersonen

An Experiment 4 nahmen 16 Studenten der Universität Hamburg (12 weibliche und 4 männliche) teil. Die Vergütung der Probanden erfolgte über den Nachweis einer vordiplomrelevanten Teilnahmebescheinigung. Das Alter der Probanden reichte von 20 bis 43 Jahren (im Mittel 29,1 Jahre).

Apparatur und Stimuli

Aufgaben und Stimulusmaterial waren mit denen des Experiments 1 nahezu identisch. Im Unterschied zu Experiment 1 wurde jedoch ein Viertel der Aufgaben invalide (als eine der drei alternativen Aufgaben) angekündigt. Da für die spezifische Fragestellung ein Rückgriff auf nur ein Viertel aller Datenpunkte möglich war, war im Vergleich zu den bisher dargestellten Experimenten eine erhöhte Anzahl an Versuchsdurchgängen notwendig, so daß acht Versuchsblöcke mit jeweils 120 Aufgabendurchgängen präsentiert wurden.

Durchführung

Die Durchführung des Experiments entsprach in weiten Teilen der Durchführung in Experiment 1. Die Probanden erhielten entsprechend der Durchführung in Experiment 1 eingangs für jede der vier Aufgaben einen entsprechenden, kurzen Übungsblock mit neun Durchgängen. In einem fünften Übungsblock wurden in 30 Durchgängen alle vier Aufgaben zusammen präsentiert. In keinem dieser fünf Übungsblöcke erhielten die Probanden Information darüber, daß zu einem späteren Zeitpunkt ein Teil der Aufgabendurchgänge invalide angekündigt wurde. Erst in der Instruktion zu einem sechsten Übungsblock wurde die Information über die teilweise invalide Aufgabenankündigung präsentiert. Die Probanden wurden instruiert, die Aufgabencues trotz allem zu nutzen, da die Verwendung der Hinweisreize insgesamt die Aufgabenbearbeitung erleichtere. Der sechste Übungsblock enthielt in 32 Durchgängen alle Aufgaben in randomisierter Abfolge und implizierte in 25% der Fälle invalide Versuchsdurchgänge. Wurde ein invalider Hinweisreiz dargeboten, so erfolgte anschließend eine Zufallsauswahl einer der drei nicht erwarteten Aufgaben. Eine

Wiederholung invalider Versuchsdurchgänge wurde ausgeschlossen. Ein siebter Übungsblock sowie die folgenden acht Experimentalblöcke umfaßten jeweils 120 Durchgänge, entsprachen jedoch in allen weiteren Details dem sechsten Übungsblock. Die zeitlichen Charakteristika in Experiment 4 entsprachen vollständig denen des ersten Experiments.

In Abbildung 29 ist als ein Beispiel der Ablauf einer invalide angekündigten, vertikal-inversen Aufgabe dargestellt:

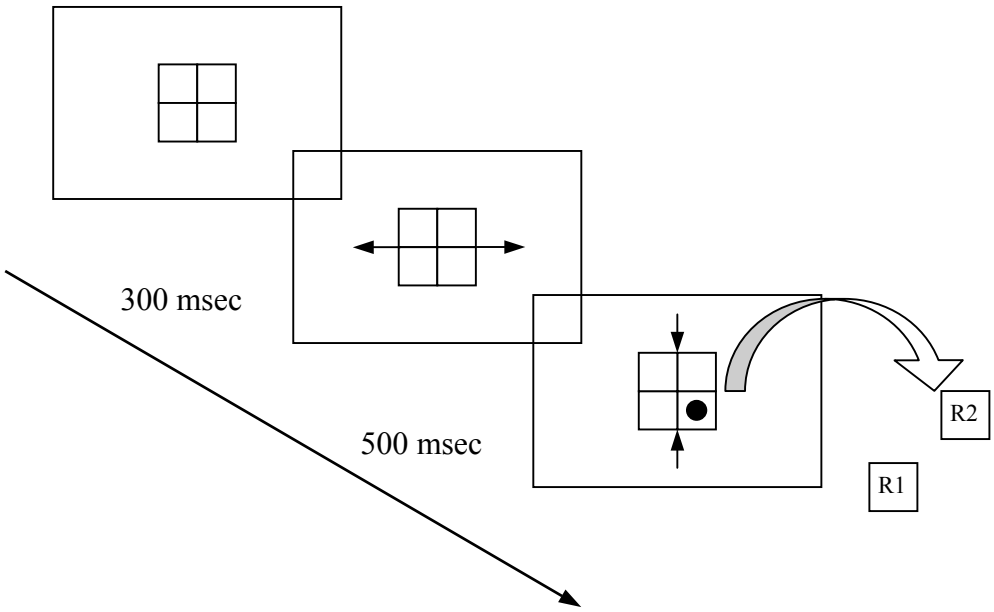


Abbildung 29: Exemplarischer Ablauf einer invalide angekündigten, vertikal-inversen Aufgabe in Experiment 4

Eine experimentelle Sitzung dauerte zwischen 60 und 75 Minuten.

6.7.2 Ergebnisse Experiment 4

Die Extremwertebereinigung der Daten in Experiment 4 folgte der in den bisherigen Experimenten verwendeten Methode. Der Fehlerprozentsatz betrug 3,88%.

In Experiment 4 wurden zwei verschiedene Analysen gerechnet: In einer 4-faktoriellen Analyse mit vollständiger Meßwiederholung auf allen Faktoren wurde zusätzlich zu den in den ersten drei Experimenten verwendeten Faktoren der Aufgabensequenz (Aufgabenwiederholung versus Aufgabenwechsel), Dominanz (dominant versus invers) und Kongruenz (dominant-kongruent versus invers-kongruent) als vierter Faktor die Validität des Hinweisreizes (valide versus invalide) eingeführt.

Des weiteren wurde eine Analyse mit dem 2-stufigen Meßwiederholungsfaktor Cue-Dominanz gerechnet. Diese zweite Analyse diente dem Vergleich der Kosten invalider Vorankündigung für dominante und inverse Aufgaben. Der Faktor Cue-Dominanz umfaßte die folgenden zwei Stufen:

Stufe 1: Differenz-dominant (Aufgabe dominant, cue invalide-invers – Aufgabe dominant, cue valide)
Stufe 2: Differenz-invers (Aufgabe invers, cue invalide-dominant – Aufgabe invers, cue valide)

Zur Bestimmung der Kosten invalider Vorankündigung für dominante und nichtdominante Versuchsdurchgänge wurden demnach die Differenzen zwischen fälschlicherweise als invers angekündigten, dominanten Aufgaben und valide angekündigten, dominanten Aufgaben mit den Differenzen zwischen invalide als dominant angekündigten, inversen Aufgaben und valide angekündigten, inversen Aufgaben bestimmt.

6.7.2.1 Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz, Kongruenz und Cuevalidität

Reaktionszeiten

Die 4-faktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung auf den Faktoren Aufgabensequenz (Aufgabenwiederholung versus Aufgabenwechsel), Dominanz (dominant versus invers), Kongruenz (dominant-kongruent versus invers-kongruent) und Cuevalidität (valide versus invalide) zeigte signifikante Haupteffekte aller vier Faktoren: So zeigten sich Aufgabenwiederholungen relativ zu Aufgabenwechseln erleichtert bearbeitbar ($F(1,15) = 26,16$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0153$), zum anderen zeigte sich eine erleichterte Bearbeitbarkeit dominanter relativ zu inversen Aufgabenstellungen ($F(1,15) = 63,47$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0401$). Ein Haupteffekt der Kongruenz kündigte eine erleichterte Bearbeitbarkeit dominant-kongruenter Stimuli relativ zu invers-kongruenten Stimuli an ($F(1,15) = 9,52$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0034$). Signifikant wurde zudem der Faktor der Cuevalidität: Aufgabendurchgänge, in denen die Aufgabenidentität valide angekündigt wurde, führten zu geringeren Reaktionszeiten als Durchgänge, welche invalide angekündigt wurden ($F(1,15) = 143,79$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0819$).

Der Faktor der Cuevalidität interagierte zudem mit jedem anderen der drei Faktoren: So zeigte sich eine Reduktion der Aufgabenwechselkosten bei einer invaliden Aufgabenankündigung ($F(1,15) = 5,09$; $p < 0,04$; $MSE = 0,0103$), eine Reduktion des Dominanzeffekts bei invalider Aufgabenankündigung ($F(1,15) = 25,66$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0085$), sowie eine Aufhebung des Kongruenzeffekts ($F(1,15) = 12,79$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0031$). Die einzige weitere, signifikante 2-fach-Interaktion war die Interaktion zwischen den Faktoren Dominanz und Kongruenz ($F(1,15) = 46,43$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0052$): Bei der Bearbeitung einer dominanten Aufgabe zeigte sich eine erleichterte Bearbeitbarkeit derjenigen Stimuli, welche in der dominanten Aufgabe der anderen Stimulusdimension mit der identischen Response assoziiert waren, während sich bei der Bearbeitung einer inversen Aufgabe ein Vorteil der Stimuli zeigte, welche in der inversen Konkurrenzaufgabe die identische Response erforderten. Als 3-fach-Interaktionen wurden die Interaktionen zwischen den Faktoren Aufgabensequenz, Kongruenz und Cuevalidität ($F(1,15) = 4,77$; $p < 0,05$; $MSE = 0,0040$) sowie zwischen den Faktoren Dominanz, Kongruenz und Cuevalidität ($F(1,15) = 10,12$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0018$) signifikant. Die erste Interaktion indizierte, daß die Reduktion des Kongruenzeffekts bei Aufgabenwechseln dann in eine Umkehrung des Kongruenzeffekts bei Aufgabenwechseln umschlug, wenn die Aufgabenidentität invalide präspezifiziert wurde. Die Interaktion der Faktoren Dominanz, Kongruenz und Cuevalidität zeigte ein stärkeres Ausmaß der Umkehrung des Kongruenzeffekts bei der Bearbeitung inverser Aufgabenstellungen an, sofern diese Aufgabenstellungen zudem falsch vorbereitet wurden. Marginal signifikant wurde die 3-fach-Interaktion der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Cuevalidität ($F(1,15) = 3,51$; $p < 0,09$; $MSE = 0,0026$): Zeigten sich bei valider Aufgabenankündigung asymmetrische Wechselkosten (höhere Wechselkosten bei einem Wechsel zu einer dominanten Aufgabe: $F(1,15) = 5,57$; $p < 0,04$; $MSE = 0,0316$), so wurde diese Wechselkosten-Asymmetrie durch invalide Aufgabenankündigung eliminiert ($F(1,15) < 1$).

Die Interaktion der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz, Kongruenz und Cuevalidität ist in den Abbildungen 30a/b graphisch dargestellt.

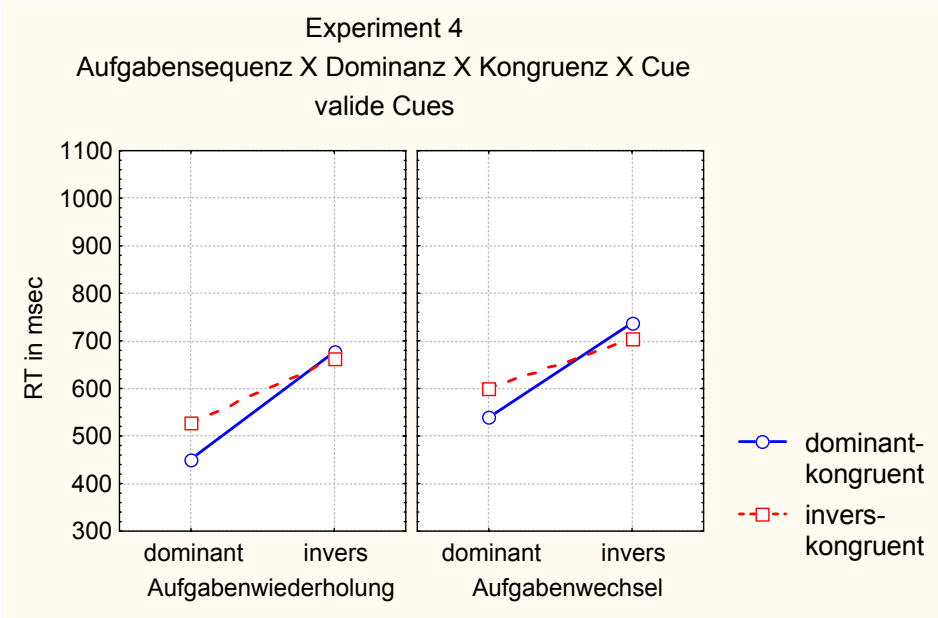


Abbildung 30a: Geometrische Mittel der Reaktionszeiten in Experiment 4 in Abhängigkeit von der Aufgabensequenz, der Dominanz der Aufgabe und der Kongruenz des imperativen Stimulus nach der Darbietung eines validen Cues

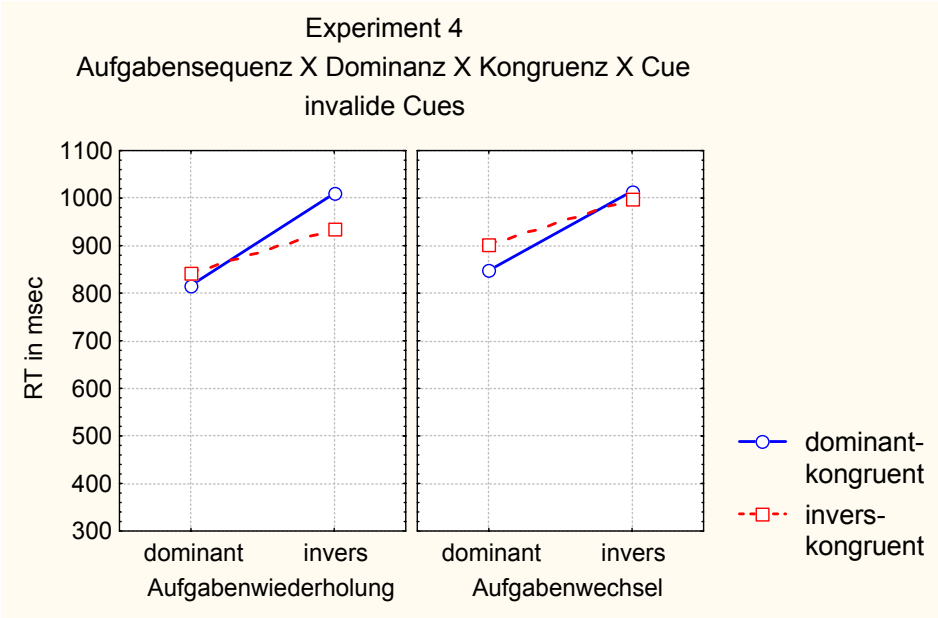


Abbildung 30b: Geometrische Mittel der Reaktionszeiten in Experiment 4 in Abhängigkeit von der Aufgabensequenz, der Dominanz der Aufgabe und der Kongruenz des imperativen Stimulus nach der Darbietung eines invaliden Cues

Fehler

Die entsprechende Analyse der Fehlerwerte zeigte als Haupteffekt alleine einen Effekt der Aufgabensequenz (erleichterte Bearbeitung nach einer Aufgabenwiederholung: $F(1,15) = 13,84$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0010$). Als 2-fach-Interaktionen zeigte sich zum einen eine Interaktion der Faktoren Dominanz und Kongruenz ($F(1,15) = 5,52$; $p < 0,04$; MSE =

0,0028), einen Vorteil dominant-kongruenter Stimuli bei der Bearbeitung einer dominanten Aufgabe und die Umkehrung dieses Vorteils bei der Bearbeitung einer inversen Aufgabe anzeigend. Zum anderen zeigte sich eine Interaktion der Faktoren Dominanz und Cuevalidität ($F(1,15) = 7,19$; $p < 0,02$; $MSE = 0,0024$): Erbrachten dominante Aufgaben unter der Verwendung valider Cues geringere Fehlerzahlen, so zeigte sich unter der Darbietung invalider Cues ein relativer Vorteil inverser Aufgabenstellungen. Die Faktoren Dominanz und Cuevalidität interagierten zudem in einer 3-fach-Interaktion mit dem Faktor der Aufgabensequenz ($F(1,15) = 5,34$; $p < 0,04$; $MSE = 0,0017$). Diese 3-fach-Interaktion zeigte entsprechend den Daten der Reaktionszeiten asymmetrische Wechselkosten bei valider Aufgabenankündigung (höhere Wechselkosten bei einem Wechsel auf eine dominante Aufgabe: $F(1,15) = 6,24$; $p < 0,03$; $MSE = 0,0030$) und eine Aufhebung der Wechselkosten-Asymmetrie (numerisch sogar eine Umkehrung) nach einem invaliden Hinweisreiz an ($F(1,15) = 2,89$; $p < 0,15$; $MSE = 0,0064$). Der letzte signifikante Effekt bestand in der Interaktion aller Faktoren ($F(1,15) = 5,30$; $p < 0,04$; $MSE = 0,0020$) und zeigte auf, daß das dargestellte Datenmuster durch die Kongruenz des imperativen Stimulus moduliert wurde: Wurde durch invalide Cues sowohl bei Aufgabenwechseln als auch bei Aufgabenwiederholungen der Vorteil dominanter Aufgaben bei dominant-kongruenten Stimuli lediglich nivelliert, so invertierten invalide Aufgabenankündigungen den Vorteil dominanter Aufgaben unter Verwendung invers-kongruenter Stimuli.

6.7.2.2 Analyse des Faktors Cue-Dominanz: Kosten invalider Vorankündigung

Reaktionszeiten

Eine zweite Analyse erfolgte über die zwei Faktorstufen des Faktors Cue-Dominanz (Differenz-dominant (Aufgabe dominant, Cue invalide-invers - Aufgabe dominant, Cue valide) versus Differenz-invers (Aufgabe invers, Cue invalide-dominant - Aufgabe invers, Cue valide)). Es zeigte sich ein signifikanter Effekt dieses Faktors ($F(1,15) = 53,24$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0050$). Die Kosten invalider Vorankündigung waren höher für dominante Aufgaben, welche fälschlich als invers angekündigt wurden, relativ zu inversen Aufgaben, die fälschlich als dominant angekündigt wurden. Abbildung 31 stellt diese Kosten invalider Vorankündigung für dominante und inverse Aufgabenstellungen dar:

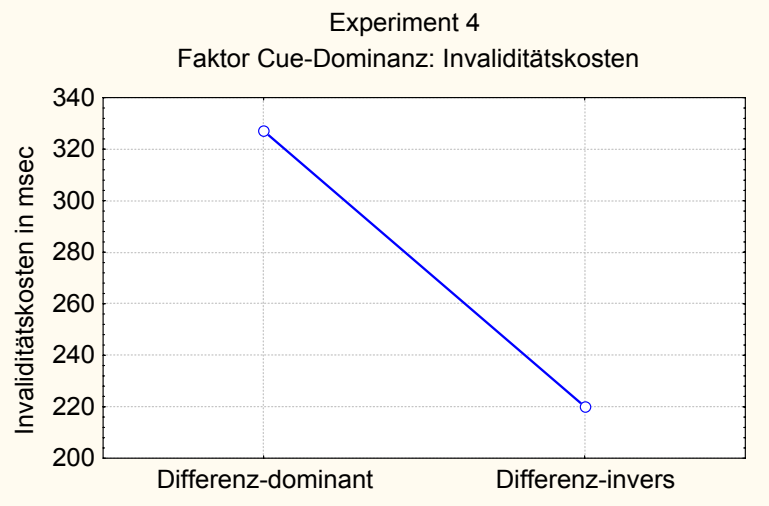


Abbildung 31: Kosten invalider Vorankündigung für dominante Aufgaben, welche invalide als invers angekündigt wurden (Differenz-dominant) und Kosten invalider Cues für inverse Aufgaben, welche invalide als dominant angekündigt wurden (Differenz-invers) in Experiment 4

Fehler

Der Effekt der höheren Invaliditätskosten für dominante Aufgaben, welche fälschlich als invers angekündigt wurden, relativ zu nichtdominanten Aufgaben, die invalide als dominant angekündigt wurden, fand sich ebenfalls in der entsprechenden Analyse über die Fehlerwerte: ($F(1,15) = 9{,}87$; $p < 0{,}01$; $MSE = 0{,}0019$).

6.7.3 Diskussion Experiment 4

Die in Experiment 4 durchgeführten und auch notwendigen Analysen zeigten aufgrund der Faktorenanzahl eine Reihe von Befunden auf, welche für Fragestellungen bezüglich Task-Set-Inhibition nicht unmittelbar relevant sind. In der folgenden Diskussion wird daher alleine auf die Befunde rekurriert, welche insbesondere den Faktor der Invalidität betreffen und daher für die Fragestellung bedeutend sind.

Der Haupteffekt der Validität des verwendeten Hinweisreizes replizierte bereits bestehende Effekte der Erwartungsmanipulation im Aufgabenwechselparadigma: Typischerweise resultiert die Bearbeitung unerwarteter Aufgaben in längeren Reaktionszeiten als die Bearbeitung erwarteter Aufgaben. Dieser generelle Befund zeigt sich unabhängig davon, ob die Aufgabenerwartung durch die Verwendung invalider Hinweisreize (wie in dem hier dargestellten Experiment, siehe auch Hübner, Kluwe, Luna-Rodriguez & Peters, in Vorbereitung), durch regelhafte Aufgabenabfolgen (Ruthruff,

Remington & Johnston, 2001) oder durch die Verwendung von Aufgaben-wahrscheinlichkeitscues (Dreisbach, Haider & Kluwe, 2002) moduliert wird. Unerwartete Durchgänge führen dabei zu einer Erhöhung der Reaktionszeiten sowohl für Aufgabenwechsel als auch für Aufgabenwiederholungen. Häufig gefunden wird Additivität zwischen den Faktoren der Aufgabenerwartung und Aufgabensequenz, d.h. Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholungen werden in gleichem Ausmaß durch die Verwendung unerwarteter Aufgaben verzögert (Dreisbach, Haider & Kluwe, 2002; Ruthruff, Remington & Johnston, 2001; Sohn & Carlson, 2000). Ruthruff et al. fanden diese Additivität jedoch abhängig von der Art der Klassifikation der Durchgänge in Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholungen: Sofern der Faktor der Aufgabensequenz nicht lediglich binär als Aufgabenwiederholung versus Aufgabenwechsel, sondern über die Zeitspanne des tatsächlichen Zurückliegens der jeweiligen Aufgabe gefaßt wurde, zeigte sich keine Reduzierung der Wechselkosten erwarteter relativ zu unerwarteten Aufgaben. Wurde das zeitliche Zurückliegen der letzten Bearbeitung der aktuellen Aufgabe hingegen lediglich 2-stufig mit den Ausprägungen „Aufgabenwiederholung“ und „Aufgabenwechsel“ gefaßt, so zeigte sich eine unteradditive Interaktion: Die Verwendung unerwarteter Aufgaben führte hierbei zu einer verstärkten Reaktionsverzögerung für Aufgabenwiederholungen. Eine derartige Unteradditivität fand sich auch in der vorliegenden Studie: Invalide Hinweisreize verzögerten in stärkerem Ausmaß die Reaktionen auf Aufgabenwiederholungen als die Reaktionen auf Aufgabenwechsel, invalide Hinweisreize führten demnach zu einer Reduktion der Aufgabenwechselkosten.

Neben den generellen Kosten invalider Hinweisreize zeigt diese Reduktion der Wechselkosten bei invalider Aufgabenankündigung, daß Vorbereitung für eine Umkonfigurierung des kognitiven Systems genutzt wird. Bei Erwartung eines Aufgabenwechsels kann das kognitive System (zumindest in Teilen) für die neue Aufgabe konfiguriert werden. Wird dann tatsächlich jedoch eine Wiederholung der alten Aufgabe gefordert, können nun nicht mehr die Systemeinstellungen des Vordurchgangs zur erneuten Bearbeitung der Aufgabe übernommen werden. Als Folge wird der typische Vorteil einer wiederholten Aufgabenbearbeitung reduziert.

Neben den Aufgabenwechselkosten modulierte der Faktor der Cuevalidität zudem den Effekt der Kongruenz: Zeigte sich generell eine erleichterte Bearbeitbarkeit derjenigen Stimuli, welche kongruent zur dominanten Aufgabe der alternativen Stimulusdimension waren, so hob sich dieser Kongruenzeffekt vollständig bei invalider Aufgabenankündigung auf. Fand sich demnach typischerweise eine stärkere Interferenz durch dominante

Konkurrenzaufgaben relativ zu nichtdominanten Konkurrenzaufgaben, so reduzierte sich diese asymmetrische Interferenz bei invalide angekündigten Aufgaben vollständig. In einem Paradigma mit nur zwei Aufgaben fanden Hübner et al. (Hübner, Kluwe, Luna-Rodriguez & Peters, in Vorbereitung) einen divergierenden Effekt: Der Effekt der Cuevalidität interagierte in diesem Paradigma nicht mit dem Effekt der Kongruenz. Die hier gefundene Interaktion der Faktoren Cuevalidität und Kongruenz bildet nun keinen direkten Gegenbefund zu den Ergebnissen von Hübner et al., da in dem hier verwendeten Paradigma der vier Aufgaben der Effekt der Kongruenz nicht den Einfluß einer konkurrierenden Aufgabe per se, sondern den *relativen* Einfluß mehrerer Konkurrenzaufgaben darstellte. Eine Aufhebung des Kongruenzeffekts bei invalider Vorbereitung bedeutet demnach nicht eine Verminderung der Interferenz der alternativen Aufgaben per se, sondern vielmehr eine Verminderung der *relativen* Interferenz durch die stark automatisierte Konkurrenzaufgabe. Invalide Aufgabenankündigung resultierte demnach in einem identischen Ausmaß an Interferenz durch eine dominante und eine nichtdominante, irrelevante Aufgabe.

Der in Experiment 4 gefundene Haupteffekt des Faktors Kongruenz replizierte die in den drei vorangehenden Experimenten gefundene, stärkere Interferenz durch dominante Handlungskonkurrenten. Die Einführung invalider Hinweisreize in einem Teil der Versuchsdurchgänge änderte demnach nicht das generelle Datenmuster der stroopartigen Interferenz. Diese stroopartige Interferenz wurde jedoch entsprechend den Daten der vorherigen Experimente bei die Verwendung nichtdominanter Aufgabenstellungen invertiert. Erforderte die aktuelle Bearbeitung eine inkompatible Reiz-Reaktions-Zuordnung, so zeigte sich eine erleichterte Bearbeitbarkeit derjenigen Stimuli, die unter der inkompatiblen Aufgabe der anderen Stimulusdimension die gleiche Response erforderten. Demnach zeigte sich bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe eine stärkere Interferenz durch die alternative, nichtdominante Aufgabe. Dieses Datenmuster blieb auch bei falscher Aufgabenankündigung im aktuellen Durchgang bestehen. Die Interaktion der Faktoren Dominanz und Kongruenz ist erneut vereinbar mit der Annahme, daß die Durchsetzung einer schwachen Reiz-Reaktions-Zuordnung an die Hemmung stark automatisierter Handlungstendenzen gebunden ist.

Die Interaktion der drei Faktoren Dominanz, Kongruenz und Cuevalidität zeigte ein stärkeres Ausmaß der Invertierung des Kongruenzeffekts bei der Bearbeitung nichtdominanter Aufgabenstellungen an, sofern diese Aufgabenstellungen zudem falsch vorbereitet wurden. Die Vorbereitung auf eine falsche Aufgabe führte demnach, war tatsächlich eine inverse Aufgabe gefordert, zu einer Erhöhung der Task-Set-Inhibition

dominanter Aufgaben. Demnach scheinen Situationen, in denen eine zielkonforme Zuordnung von Reizen zu Reaktionen in besonderem Ausmaß gefährdet ist, ein erhöhtes Ausmaß an Inhibition automatisierter Verhaltenstendenzen zu erfordern.

Zeigten sich generell Kosten invalider Aufgabenvorbereitung, so waren diese Kosten invalider Vorankündigung höher für dominante Aufgaben, die fälschlich als invers angekündigt wurden, relativ zu inversen Aufgaben, welche fälschlich als dominant angekündigt wurden. Auch dieser Befund läßt sich im Sinne einer Inhibition dominanter Reiz-Reaktions-Zuordnungen interpretieren: Wird eine Aufgabe als nichtdominant präspezifiziert, so wird bereits diese Information genutzt, um die beiden dominanten Handlungskonkurrenten zu hemmen. Wird bei der Präsentation des imperativen Stimulus jedoch deutlich, daß der zuvor dargebotene Hinweisreiz invalide war und daß die tatsächlich zu bearbeitende Aufgabe eine kompatible Reiz-Reaktions-Zuordnung erfordert, so ist die Bearbeitung dieser Aufgabe durch die zuvor etablierte Task-Set-Inhibition herabgesetzt. Im Gegensatz hierzu erfordert die Ankündigung einer dominanten Aufgabe keine (oder zumindest in geringerem Ausmaß) Inhibition nichtdominanter Konkurrenten. Wird nun bei Präsentation des Stimulus anstelle der vorbereiteten, dominanten Aufgabe eine nichtdominante Aufgabe gefordert, so ist zur Durchführung dieser Aufgabe keine (kaum) Überwindung von Task-Set-Inhibition notwendig. Die Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe ist demnach nach einem invaliden Hinweisreiz lediglich in einem geringen Ausmaß verzögert. Der gefundene Effekt der höheren Invaliditätskosten für dominante Aufgaben spiegelt sich in dem Effekt der Reduktion des Dominanzeffekts bei der Präsentation invalider Hinweisreize aus der ersten Analyse wider: Wurden dominante Aufgaben inkorrekt angekündigt, so kündigten die invaliden Hinweisreize mit einer Wahrscheinlichkeit von 2/3 eine inverse Aufgabenstellung an. Diese invalide Ankündigung einer dominanten Aufgabe reduzierte den Vorteil kompatibler Reiz-Reaktions-Zuordnungen.

Zusammenfassend finden sich in Experiment 4 zwei zentrale Befunde für die Annahme der Inhibition dominanter Handlungstendenzen: Zum einen ließ sich das bereits bekannte Datenmuster der Interaktion der Faktoren Dominanz und Kongruenz auch für ein Paradigma replizieren, in welchem ein Teil der Versuchsdurchgänge invalide angekündigt wurde. Die Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe führte damit zu einem stärkeren Einfluß einer konkurrierenden, nichtdominanten Aufgabe relativ zu einer dominanten Konkurrenzaufgabe. Der zweite relevante Befund besteht in den erhöhten Kosten einer invaliden Vorankündigung dominanter Aufgaben als nichtdominant relativ zu einer

invaliden Ankündigung nichtdominanter Aufgaben als dominant. Beide Befunde deuten auf einen Mechanismus der Hemmung automatisierter Handlungstendenzen zur Gewährleistung zielkonformer Bearbeitung schwacher S-R-Mappings hin.

6.8 Experiment 5

Die bisherigen Ergebnisse in dem Paradigma der vier räumlichen Aufgaben lieferten über unterschiedliche Auswertungsmethoden Evidenz dafür, daß die Durchsetzung eines schwachen S-R-Mappings an die intentionale Hemmung stärker automatisierter Reiz-Reaktions-Zuordnungen gebunden ist. Jedoch wurden die bisherigen Befunde alle an einem identischen, eingeschränkten Stimulusset und über eine identische Variation des Faktors der Aufgabendominanz (vermittelt über räumliche Kompatibilität) erhoben. Experiment 5 wurde daher konzipiert, Fragen bezüglich Task-Set-Inhibition zum einen unter Verwendung eines neuen Stimulusmaterials, zum anderen durch eine alternative Variation des Faktors der Dominanz der verwendeten Aufgaben zu untersuchen. In Experiment 5 wurden im Unterschied zu den bisherigen räumlichen Aufgaben Klassifikationsaufgaben bezüglich einstelliger Ziffern dargeboten. Im Unterschied zur Implementierung der Aufgabendominanz über die räumliche Kompatibilität der geforderten Reiz-Reaktions-Zuordnungen wurde der Faktor Dominanz im vorliegenden Experiment über das unterschiedliche Ausmaß an Übung für die verschiedenen Aufgaben variiert.

Die Modulierung von Aufgabendominanz durch selektive Übung ist eine bekannte Variation im Stroop- und Simon-Paradigma. So wird im Stroop-Farb-Wort-Paradigma der Befund der asymmetrischen Interferenz häufig im Sinne eines unterschiedlichen Ausmaßes an Übung der Wort- und der Farbaufgabe interpretiert. Ist das Ausmaß an Übung verantwortlich für die Asymmetrie der Interferenz, so sollte der Stroop-Effekt invertiert werden, wenn sich die Asymmetrie des Übungsausmaßes beider Aufgaben (kurzfristig) umkehrt. Tatsächlich konnte Stroop (1935) in seinem dritten Experiment nach acht Tagen der Übung alleine der Farbaufgabe eine Verringerung der Interferenz der Wort- auf die Farbaufgabe aufzeigen. Parallel wurde durch die Übungsphase eine inverse Interferenz der Farbaufgabe auf die Wortaufgabe implementiert. Einen ähnlichen Befund fanden MacLeod und Dunbar (1988). Wie bereits im Abschnitt über Modelle der Reaktionsinterferenz (Abschnitt 3.5.1) dargestellt, ließen MacLeod und Dunbar ihre Probanden Formen mit arbiträr zugeordneten Farbnamen benennen (Beispiel: Quadrat → „grün“). Hierbei zeigte

sich eine asymmetrische Interferenz alleine der Form- auf die Farbaufgabe. Eine selektive Übung der Formaufgabe für die Dauer von fünf Tagen veränderte das Datenmuster zu einer bidirektionalen Interferenz, d.h. zusätzlich zu der bestehenden Interferenz der Farb- auf die Formaufgabe zeigte sich jetzt eine (im Ausmaß äquivalente) Interferenz der Form- auf die Farbaufgabe. Eine Übungsperiode der Formbenennaufgabe von 20 Tagen eliminierte den Einfluß der Farbaufgabe, es zeigte sich nun alleine eine reverse Stroop-Interferenz, d.h. eine Interferenz der Form- auf die Farbaufgabe.

Die dargestellten Datenmuster legen nahe, daß sich Dominanzverhältnisse zwischen Aufgaben durch Variation von Aufgabenübung modulieren lassen. Experiment 5 bediente sich dieses Einflusses der Aufgabenübung.

Experiment 5 umfaßte vier Klassifikationsaufgaben, welche sich auf die Dimensionen Teilbarkeit und numerische Größe dargebotener Ziffern bezogen. Unter Verwendung der beiden Aufgaben Teilbarkeit und numerische Größe zeigt sich typischerweise eine Dominanz der Größenbeurteilung relativ zur Beurteilung der Teilbarkeit (Hübner, Futterer & Steinhauser, 2001; Sudevan & Taylor, 1987): Die Beurteilung der Größe erfolgt schneller als die Beurteilung der Teilbarkeit, zudem interferiert die Größenaufgabe mit der Teilbarkeitsaufgabe, nicht jedoch umgekehrt. Auf dieses Dominanzverhältnis zwischen den Aufgaben der beiden Reizdimensionen soll im Folgenden jedoch nicht fokussiert werden. Vielmehr wurde die interessierende Variation der Dominanz zwischen den verwendeten Aufgaben erneut durch Einführung inverser Aufgabenstellungen realisiert. Zu jeder der beiden dominanten Aufgaben existierte wie in den vier vorangehenden Experimenten eine parallele (inverse) Aufgabe, welche sich auf die entsprechende Dimension des imperativen Stimulus (Teilbarkeit oder numerische Größe) bezog. Die parallelen Aufgaben unterschieden sich jedoch von den ursprünglichen Aufgaben dahingehend, daß in ihnen das S-R-Mapping vollständig invertiert war. War beispielsweise in der ersten Teilbarkeitsaufgabe eine ungerade Ziffer mit der linken Response assoziiert, so war eine ungerade Ziffer in der invertierten Teilbarkeitsaufgabe der rechten Response zugeordnet.

Zur Schaffung eines Dominanzverhältnisses zwischen den als dominant und den als invers klassifizierten Aufgabenstellungen wurde zum einen die natürliche Zuordnung von Reizen zu Responses ausgenutzt (z.B. wird das Merkmal „kleiner als...“ gemäß der Anordnung von Zahlen auf einem Zahlenstrahl eher mit links assoziiert als mit rechts), zum anderen wurde die Direktheit der verwendeten Aufgabencues für die Aufgaben unterschiedlicher Dominanz variiert. Den entscheidendsten Faktor für die Erzeugung

unterschiedlicher Aufgabendominanz stellte jedoch die selektive Übung der dominanten Aufgaben dar.

Unter der Annahme, daß ein selektives Ausmaß an Aufgabenübung entsprechenden Einfluß auf die Aufgabendominanz nimmt wie die Verwendung von Aufgaben unterschiedlicher räumlicher Kompatibilität (Monsell, Yeung & Azuma, 2000), sollten sich den vier vorangehenden Experimenten vergleichbare Ergebnisse zeigen. Insbesondere ist zu erwarten, daß als Folge von Task-Set-Inhibition dominanter Handlungstendenzen bei der Bearbeitung einer wenig geübten Aufgabe eine stärkere Interferenz durch eine konkurrierende, wenig geübte Aufgabe auftritt (relativ zu einer Interferenz durch eine stärker geübte Konkurrenzaufgabe). Entsprechend sollte sich eine Invertierung des Backward-Inhibition-Effekts zeigen, wenn aktuell zwischen zwei geübten (dominanten) Aufgaben gewechselt wird, in n-2 jedoch eine wenig geübte (inverse) Aufgabe gefordert war.

6.8.1 Methode Experiment 5

Versuchspersonen

An Experiment 5 nahmen 15 Studenten (11 weibliche und 4 männliche) der Universität Hamburg teil. Die Teilnahme an dem Experiment wurde über einen vordiplomrelevanten Nachweis vergütet. Das Alter der Probanden reichte von 20 bis 39 Jahren (im Mittel 26,4 Jahre).

Apparatur und Stimuli

Experiment 5 beinhaltete vier Klassifikationsaufgaben, welche sich auf die Dimensionen der Teilbarkeit und der numerischen Größe dargebotener Ziffern bezogen. Jeweils zwei der Aufgaben wiesen ein dominantes S-R-Mapping auf (Aufgaben Teilbarkeit-dominant und Größe-dominant), die zwei weiteren Aufgaben bestanden in einem inversen Mapping (Teilbarkeit-invers und Größe-invers). In allen Aufgaben wurde ein identisches Set imperativer Stimuli verwendet (die Ziffern 1 bis 9, mit Ausnahme der 5). Die Darbietung der Ziffern erfolgte jeweils einzeln auf einen Computerbildschirm. Die Ziffern wurden in schwarzer Schriftfarbe in dem Schrifttyp Courier New auf hellgrauem Hintergrund

dargestellt und nahmen horizontal jeweils 1,0° und vertikal zwischen 1,3° und 1,4° des Sehwinkels ein. In den beiden Aufgaben der Dimension Teilbarkeit sollte die dargebotene Ziffer dahingehend beurteilt werden, ob sie gerade oder ungerade war, in den Aufgaben der Dimension Größe sollte die Ziffer hinsichtlich dessen beurteilt werden, ob sie kleiner oder größer als 5 war. Die inversen Aufgaben unterschieden sich von den ursprünglichen Aufgaben lediglich durch die vollständige Invertierung des S-R-Mappings. Abbildung 32 stellt die Reiz-Reaktions-Zuordnungen der vier verwendeten Aufgaben dar:

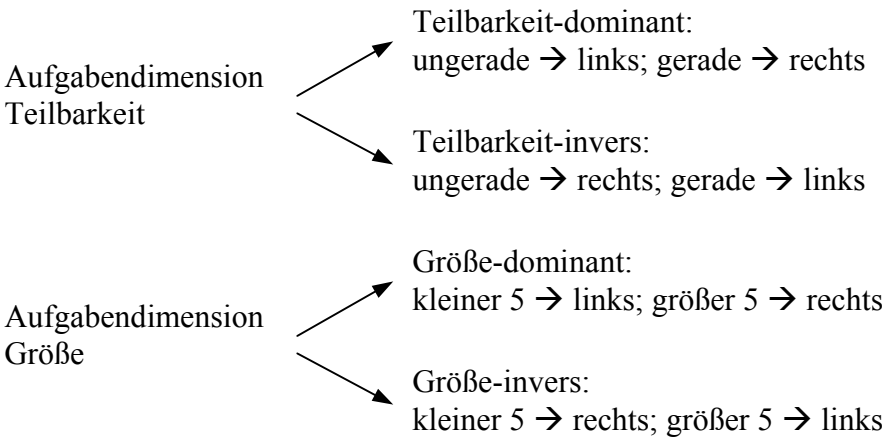
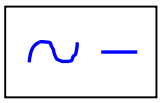


Abbildung 32: Reiz-Reaktions-Zuordnungen der Aufgaben Teilbarkeit-dominant, Teilbarkeit-invers, Größe-dominant und Größe-invers in Experiment 5

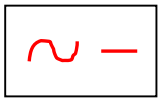
Die vier verwendeten Aufgabencues nahmen horizontal 2,4° (Cues der beiden Aufgaben der Dimension Teilbarkeit) und 2,1° (Cues der beiden Aufgaben der Dimension Größe) und vertikal 0,8° (Cues der beiden Aufgaben der Dimension Teilbarkeit) und 1,5° (Cues der beiden Aufgaben der Dimension Größe) des Sehwinkels ein und wurden mit einem Abstand zu dem später erscheinenden Target von 1,4° (Cues der beiden Aufgaben der Dimension Teilbarkeit) bzw. 1,2° (Cues der beiden Aufgaben der Dimension Größe) dargeboten. Die Hinweise für dominante Aufgaben wurden in blauer Farbe dargeboten, die Hinweisreize für inverse Aufgaben in roter Farbe. Die Aufgabencues wurden auf weißem Hintergrund in einem schwarzen Rahmen (2,6° Sehwinkel horizontal und vertikal) dargeboten. Bei der Präsentation des Targets wurden Cue und Target durch eine gemeinsame Umrandung eingerahmt (2,6° Sehwinkel horizontal und 5,1° vertikal). Die Aufgabencues kündigten eine neue Aufgabe spezifisch und vollständig valide an, unterschieden sich jedoch hinsichtlich der Direktheit der S-R-Spezifikation: Wurde durch die Cues der dominanten Aufgaben die S-R-Zuordnung bereits nahegelegt, so kündigten die

Hinweisreize der inversen Aufgaben die jeweiligen S-R-Zuordnungen in weniger direkter Weise an.

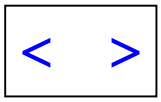
Abbildung 33 stellt die in Experiment 5 verwendeten Aufgabencues dar:



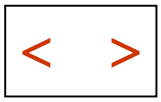
Cue Teilbarkeit-dominant:
ungerade → links; gerade → rechts



Cue Teilbarkeit-invers:
gerade → links; ungerade → rechts



Cue Größe-dominant:
kleiner → links; größer → rechts



Cue Größe-invers:
größer → links; kleiner → rechts

Abbildung 33: Hinweisreize und S-R-Mappings der Aufgaben Teilbarkeit-dominant, Teilbarkeit-invers, Größe-dominant und Größe-invers in Experiment 5

Durchführung

Die Versuchspersonen erhielten jeweils eine standardisierte Instruktion über den Experimentalcomputer, in welcher sowohl die Schnelligkeit als auch die Richtigkeit (maximal 10% Fehler) der Reaktionen betont wurde. Im Rahmen der Instruktion erhielten die Versuchspersonen Information über die verwendeten vier Aufgaben sowie über die Zuordnung der vier Aufgaben zu den vier verschiedenen Aufgabencues.

Zu Beginn des Experiments wurde für jede der vier Aufgaben ein kurzer Übungsblock dargeboten (jeweils 10 Durchgänge), in welchem die Aufgaben einzeln präsentiert wurden. In diesen Übungsblöcken wurde den Probanden in jedem Durchgang die Korrektheit ihrer Reaktion rückgemeldet. An diese Blöcke anschließend wurde ein Übungsblock mit 40 Versuchsdurchgängen dargeboten, in welchem alle vier Aufgaben gemeinsam präsentiert und lediglich falsche Reaktionen rückgemeldet wurden. Nach den einführenden Übungsblöcken erhielten die Probanden zunächst zwei experimentelle Blöcke, in denen lediglich die beiden dominanten Aufgaben dargeboten wurden. Ziel der alleinigen Darbietung der dominanten Aufgaben war die selektive Übung dieser Aufgaben und dadurch die Schaffung eines unterschiedlichen Ausmaßes an Aufgabendominanz. Auf die beiden ersten Experimentalblöcke folgten drei weitere Blöcke, in denen alle vier

Aufgaben dargeboten wurden. In Block 6 wurden wiederum nur die dominanten Aufgaben präsentiert, die Blöcke 7 bis 9 enthielten alle Aufgaben. Die experimentellen Blöcke enthielten jeweils 100 Aufgabendurchgänge, die Abfolge der Aufgaben war dabei vollständig zufällig.

Folgender Ablauf war für alle Versuchsdurchgänge identisch:

1000 msec nach Gabe der letzten Response wurde ein spezifischer, vollständig valider Aufgabencue präsentiert, auf welchen nach einem CSI von 500 msec der imperative Stimulus dargeboten wurde. Die Versuchsperson gab ihre Antwort mittels der gelb markierten, linken „d“- und der rechten „l“-Taste. Die Zeit von der Präsentation des imperativen Stimulus bis zum Drücken der Responsetaste wurde von der Versuchssteuerung als Reaktionszeit in Millisekunden aufgezeichnet. In den experimentellen Durchgängen erhielten die Probanden alleine Rückmeldung über fehlerhafte Reaktionen. Nach einer fehlerhaften Antwort erschien unterhalb des Stimulus der Schriftzug „falsch“, und der Durchgang wurde unter Verwendung des identischen Stimulus wiederholt. Die Daten dieser Wiederholungen gingen jedoch nicht in die Analyse ein.

Abbildung 34 stellt einen exemplarischen Ablauf eines Versuchsdurchgangs dar:

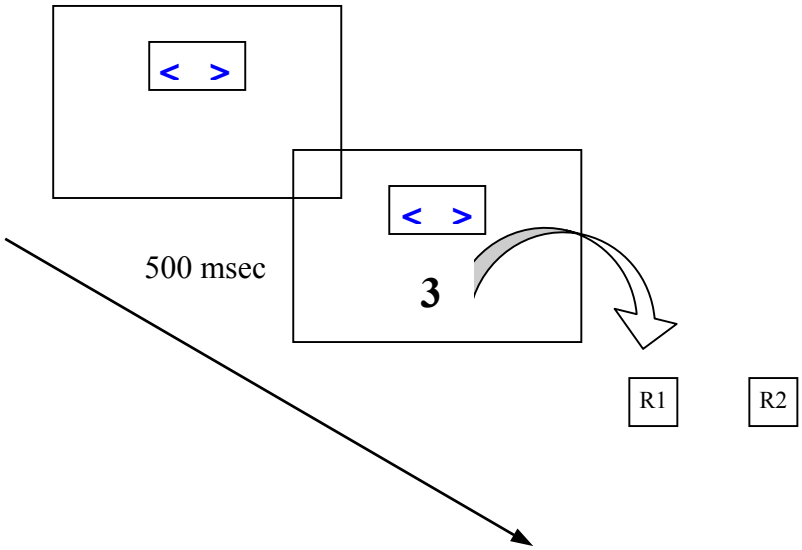


Abbildung 34: Exemplarischer Ablauf eines Durchgangs (Aufgabe Größe-dominant) in Experiment 5

6.8.2 Ergebnisse Experiment 5

Die Extremwertebereinigung erfolgte entsprechend den bisherigen Experimenten. 3,42% der Daten wurden aufgrund fehlerhafter Reaktionen von der Analyse ausgeschlossen. Die

Analysen beziehen sich alleine auf die Daten der Versuchsblöcke, in denen alle vier Aufgaben dargeboten wurden. Zwei Analysen wurden gerechnet: In einer ersten Analyse wurden die Daten hinsichtlich der Meßwiederholungsfaktoren Aufgabensequenz (Aufgabenwiederholungen versus Aufgabenwechsel), Dominanz (dominant = verstärkt geübt versus invers = wenig geübt) und Kongruenz (dominant-kongruent versus invers-kongruent) ausgewertet. Eine zweite Analyse beinhaltete die Meßwiederholungsfaktoren Dominanz in n-1 (dominant n-1 versus invers n-1), Dominanz (dominant versus invers) und BI-Sequenz (ABA- versus CBA-Sequenz).

6.8.2.1 Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz

Reaktionszeiten

Eine erste Varianzanalyse mit Meßwiederholung auf den drei Faktoren Aufgabensequenz (Aufgabenwiederholungen versus Aufgabenwechsel), Dominanz (dominant versus invers) und Kongruenz (dominant-kongruent versus invers-kongruent) zeigte zum einen einen Haupteffekt der Aufgabensequenz, welcher signifikante Aufgabenwechselkosten aufzeigte ($F(1,14) = 76,07$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0367$), zum anderen einen signifikanten Effekt der Aufgabendominanz, geringere Latenzen für räumlich kompatible Reiz-Reaktions-Zuordnungen anzeigend ($F(1,14) = 37,74$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0811$). Der Faktor Kongruenz wurde lediglich tendenziell signifikant (erleichterte Bearbeitbarkeit dominant-kongruenter Stimuli: $F(1,14) = 3,86$; $p < 0,07$; $MSE = 0,0244$).

Keine der Interaktionen erreichte das Signifikanzniveau (alle $p > 0,15$). Jedoch zeigte sich bei der Bearbeitung dominanter Aufgaben eine leichtere Bearbeitung dominant-kongruenter Stimuli (Kontrast $F(1,14) = 23,02$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0059$), wobei sich dieser Vorteil dominant-kongruenter Reize bei der Bearbeitung inverser Aufgaben aufhob (Kontrast $F(1,14) < 1$; $MSE = 0,0389$). Ein Vorteil invers-kongruenter Stimuli bei der Bearbeitung nichtdominanter Aufgabenstellungen zeigte sich nach einem Aufgabenwechsel zwar numerisch, dieser Effekt wurde jedoch nicht statistisch signifikant (Kontrast $F(1,14) = 2,42$; $p < 0,15$; $MSE = 0,0113$).

Die Interaktion der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz ist in Abbildung 35 dargestellt.

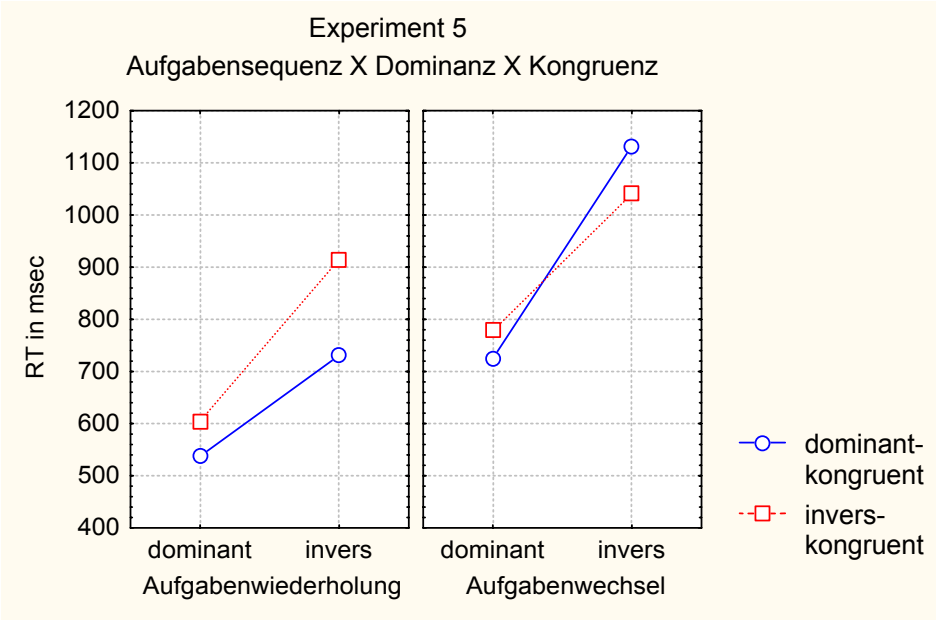


Abbildung 35: Geometrische Mittel der Reaktionszeiten in Experiment 5 in Abhängigkeit von der Aufgabensequenz, der Dominanz der Aufgabe und der Kongruenz des imperativen Stimulus

Fehler

Die entsprechende Analyse über der Fehlerwerte zeigte sowohl einen Haupteffekt bezüglich der Aufgabensequenz (Aufgabenwiederholungen zeigten sich relativ zu Aufgabenwechseln erleichtert bearbeitbar: $F(1,14) = 26,94$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0014$) als auch einen Haupteffekt der Dominanz (leichtere Bearbeitbarkeit dominanter relativ zu inversen Aufgabenstellungen: $F(1,14) = 17,19$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0024$). Signifikant wurden zudem die Interaktionen der Faktoren Aufgabensequenz und Dominanz ($F(1,14) = 10,74$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0020$) als auch der Faktoren Dominanz und Kongruenz ($F(1,14) = 8,77$; $p < 0,02$; $MSE = 0,0013$). Gemäß der Interaktion der Faktoren Aufgabensequenz und Dominanz zeigte sich eine Asymmetrie der Aufgabenwechselkosten in dem Sinne, daß der Wechsel zu einer dominanten Aufgabe mit geringeren Kosten verbunden war als ein Wechsel zu einer inversen Aufgabe. Die Interaktion der Faktoren Dominanz und Kongruenz zeigte an, daß sich der Vorteil dominant-kongruenter Stimuli, welcher bei der Bearbeitung dominanter Aufgaben realisiert wurde, bei der Bearbeitung einer inversen Aufgabenstellung umkehrte. Die Interaktion der Faktoren Aufgabensequenz und Kongruenz erreichte nur marginale Signifikanz ($F(1,14) = 3,37$; $p < 0,09$; $MSE = 0,0013$) und zeigte einen Vorteil invers-kongruenter Stimuli nach einem Wechsel der Aufgabe an.

6.8.2.2 Analyse der Faktoren Dominanz n-1, Dominanz und BI-Sequenz

Reaktionszeiten

Eine zweite Varianzanalyse mit den Faktoren Dominanz des Vordurchgangs (dominant n-1 versus invers n-1), Dominanz (dominant versus invers) und BI-Sequenz (ABA- versus CBA-Sequenz) (jeweils als Meßwiederholungsfaktoren) erbrachte einen signifikanten Haupteffekt der Dominanz des Vordurchgangs, gemäß dessen ein dominanter Vordurchgang die Bearbeitung einer nachfolgenden Aufgabe erleichterte ($F(1,14) = 76,59$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0221$). Zudem zeigte sich ein Dominanzeffekt: Kompatible Reiz-Reaktions-Zuordnungen waren schneller bearbeitbar als inkompatible Zuordnungen ($F(1,14) = 24,77$; $p < 0,01$; $MSE = 0,1709$).

Die Interaktion dieser beiden Faktoren wurde marginal signifikant ($F(1,14) = 3,90$; $p < 0,07$; $MSE = 0,1776$). Der Faktor der BI-Sequenz ergab keinen signifikanten Haupteffekt, jedoch interagierte dieser Faktor tendenziell signifikant mit dem Faktor der Dominanz des Vordurchgangs. Zeigte sich nach einer dominanten Voraufgabe ein inverser BI-Effekt, so zeigte sich nach einer inversen Voraufgabe der von Mayr und Keele gefundene Nachteil von ABA- relativ zu CBA-Sequenzen ($F(1,14) = 3,39$; $p < 0,09$; $MSE = 0,1401$). Die 3-fach-Interaktion mit dem zusätzlichen Faktor der Dominanz der aktuellen Aufgabe lieferte keine statistische Signifikanz ($F < 1$), ist aber im Hinblick auf zu bestimmende Kontraste interessant: So zeigte sich alleine bei einem Wechsel von einer dominanten Aufgabe im Vordurchgang auf erneut eine dominante Aufgabe ein inverser BI-Effekt (Kontrast ($F1,14) = 31,46$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0151$).
Abbildung 36 stellt die Interaktion der Faktoren der Dominanz des Vordurchgangs, der Dominanz und der BI-Sequenz graphisch dar.

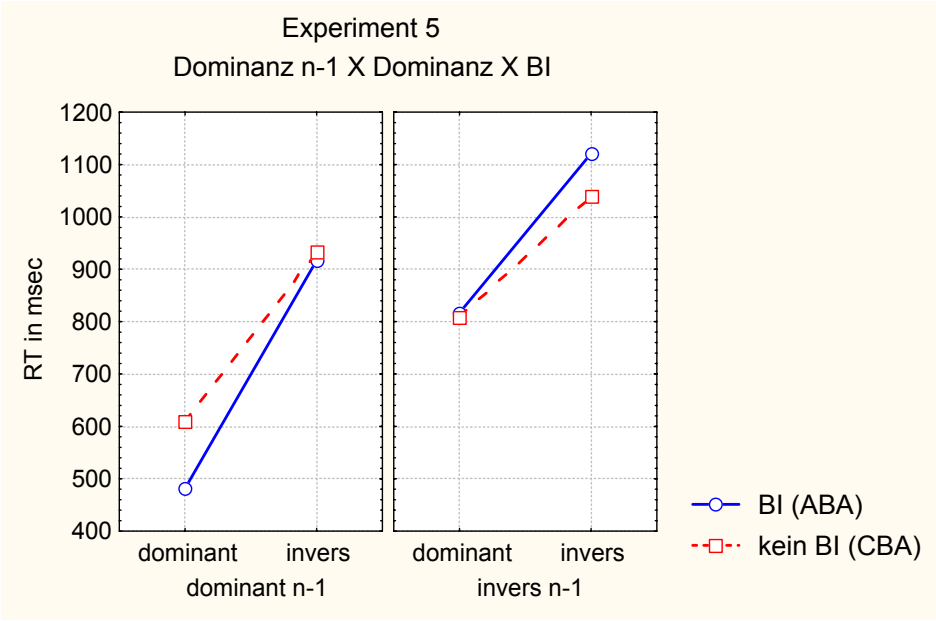


Abbildung 36: Geometrische Mittel der Reaktionszeiten in Experiment 5 in Abhängigkeit von der Aufgabendominanz des Vordurchgangs, der Dominanz der aktuellen Aufgabe und der BI-Sequenz

Fehler

Die Analyse der Fehlerwerte erbrachte lediglich einen signifikanten Haupteffekt der Dominanz des aktuellen Durchgangs (erleichterte Bearbeitbarkeit dominanter Durchgänge: $F(1,14) = 12,92$; $p < 0,01$; $MSE = 0,0081$) sowie eine der Tendenz nach signifikante 3-fach-Interaktion aller Faktoren ($F(1,14) = 3,32$; $p < 0,09$; $MSE = 0,0021$), wobei jedoch keiner der Kontraste das Signifikanzniveau erreichte.

6.8.3 Diskussion Experiment 5

Experiment 5 wurde mit dem Ziel konzipiert, die Befunde, welche in den vorangehenden vier Experimenten auf die Inhibition dominanter Handlungskonkurrenten hindeuteten, auf neues Aufgabenmaterial und eine von räumlicher Kompatibilität unabhängige Variation des Faktors Dominanz zu generalisieren.

Eine unterschiedliche Aufgabendominanz sollte in diesem Experiment über selektive Übung der als dominant klassifizierten Aufgaben realisiert werden. Die Manipulation der Dominanz über die Variation dieses Faktors war erfolgreich: So zeigte sich nach zwei Versuchsblöcken, in denen lediglich die dominanten Aufgaben präsentiert wurden, zum einen ein Dominanzeffekt, d.h. eine erleichterte Bearbeitbarkeit dominanter relativ zu nichtdominanten Aufgabenstellungen, zum anderen zeigte sich generell eine

stärkere Interferenz durch eine dominante Konkurrenzaufgabe relativ zu einer inversen Konkurrenzaufgabe. Die Manipulation der Aufgabenbearbeitung und der Interferenz durch Variationen der Aufgabenübung repliziert gängige Befunde im Stroop- und Simon-Paradigma. So kann selektive Übung eine zuvor asymmetrische Interferenz im Stroop-Paradigma aufheben oder gar invertieren: Interferiert vor einem Intervall selektiver Übung beispielsweise im Farb-Wort-Paradigma die Wortbearbeitung mit der Farbbearbeitung, die Farbbearbeitung jedoch nicht mit der Wortbearbeitung, so zeigt sich nach selektiver Übung der Farbaufgabe nun auch eine Beeinflussung der Wortaufgabe durch die Farbaufgabe (Stroop, 1935) oder alleine eine Interferenz des zuvor schwächeren auf das stärkere Mapping (MacLeod & Dunbar, 1988).

Im Unterschied zu den vier bisher präsentierten Experimenten zeigte sich in Experiment 5 in den Fehlerwerten eine Asymmetrie der Wechselkosten, welche der bisher gefundenen Wechselkosten-Asymmetrie entgegengesetzt war. Fanden sich unter der Verwendung räumlicher Aufgaben höhere Wechselkosten bei einem Wechsel auf eine dominante Aufgabe, demnach Wechselkosten, welche den Kosten der Forschergruppe um Allport (Allport, Styles & Hsieh, 1994; Allport & Wylie, 1999) entsprachen, so zeigten sich in Experiment 5 in den Fehlerwerten höhere Wechselkosten bei einem Wechsel auf eine inverse Aufgabe. Eine Umkehrung der Wechselkosten-Asymmetrie entspricht den von Rubinstein et al. (Rubinstein. Meyer & Evans, 2000) gefundenen Wechselkosten. Die Asymmetrie von Aufgabenwechselkosten wurde von Monsell et al. (Monsell, Taylor & Murphy, 2000) näher expliziert: So konnten Monsell et al. zeigen, daß die Asymmetrie der Wechselkosten abhängig ist von der Weise, in welcher die Dominanz der verwendeten Aufgaben variiert wurde. Werden höhere Wechselkosten bei einem Wechsel auf eine dominante Aufgabe im Sinne persistierender Task-Set-Inhibition interpretiert (Allport, Styles & Hsieh, 1994; Allport & Wylie, 1999), so liefern die mit Aufgabenwechselkosten assoziierten Befunde in Experiment 5 keinen Hinweis auf Task-Set-Inhibition.

Im Unterschied zu den vier präsentierten Experimenten im Paradigma räumlicher Kompatibilität zeigte sich zudem in Experiment 5 in den Reaktionszeiten keine signifikante Interaktion der Faktoren Dominanz und Kongruenz. Jedoch zeigte sich bei der Bearbeitung dominanter Aufgaben eine Differenz in der Bearbeitung dominant-kongruenter und invers-kongruenter Stimuli, wohingegen sich die Bearbeitung dominant-kongruenter und invers-kongruenter Reize nicht bei der Bearbeitung inverser Aufgaben unterschied. Es zeigte sich demnach bei der Bearbeitung einer dominanten Aufgabe eine stroopartige Interferenz-Asymmetrie, welche bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe aufgehoben

wurde. Betrachtet man die Interferenz konkurrierender Reiz-Reaktions-Zuordnungen getrennt für Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholungen, so zeigte sich bei einem Wechsel auf eine nichtdominante Aufgabe zumindest numerisch ein Vorteil invers-kongruenter Stimuli. Eine stärkere Interferenz durch nichtdominante Aufgaben, welche sich bei der Analyse der Reaktionszeiten bereits andeutete, fand sich signifikant in den Fehlerwerten. Hier zeigte sich der in den vorherigen Experimenten bereits etablierte Effekt der leichteren Bearbeitbarkeit derjenigen Stimuli unter einer inversen Aufgabenstellung, welche in der inversen Aufgabe der alternativen Stimulusdimension mit der zu gebenden Response assoziiert waren.

Der Effekt der Aufhebung der stroopartigen Interferenz-Asymmetrie bei der Bearbeitung nichtdominanter Aufgaben in den Reaktionszeiten und die Umkehrung der Stroop-Interferenz in den Fehlerdaten lassen sich entsprechend den Daten der vier bisherigen Experimente im Rahmen eines inhibitorischen Kontrollprozesses interpretieren: Die Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe zeigte eine stärkere Interferenz durch eine ebenfalls nichtdominante Konkurrenzaufgabe relativ zu der Interferenz durch eine stärker automatisierte Aufgabe als Folge von Inhibition dieser stärker automatisierten, konkurrierenden Reiz-Reaktions-Zuordnung. Dieser Befund ist insofern bedeutend, da er eine Generalisierung des bisherigen invertierten Interferenzbefundes darstellt. Eine stärkere Interferenz durch ein schwächeres Mapping stellt damit keinen an ein spezifisches Aufgabenmaterial gebundenen Effekt dar, sondern zeigt sich auch unter Verwendung eines alternativen Aufgaben- und Stimulussets. Die Variation der Aufgabendominanz über die räumliche Kompatibilität der Reiz-Reaktions-Zuordnungen stellt dabei keinen notwendigen Faktor für die Etablierung des Effekts dar. Die gefundene Abhängigkeit des Befundes der stärkeren Interferenz durch eine nichtdominante Aufgabe von einer Aufgaben-wechselsequenz ist mit der Annahme vereinbar, daß bei Aufgabenwiederholungen das Task-Set der relevanten Aufgabe schon in stärkerem Ausmaß etabliert ist, so daß weniger Notwendigkeit zur Inhibition dominanter Handlungskonkurrenten besteht. Möglich ist eine Interpretation dieser Abhängigkeit zudem dahingehend, daß nach einer Aufgabenwiederholung das relevante, inverse Mapping bereits so stark aktiviert ist, daß konkurrierende Task-Sets einen lediglich geringen Einfluß ausüben. Der Befund der stärkeren Interferenz durch ein schwächeres Mapping alleine bei Aufgabenwechseln ist vereinbar mit den Daten der vorangehenden vier Experimente: Unter Verwendung der vier räumlichen Aufgaben waren Aufgabenwechsel numerisch mit einem stärkeren inversen Interferenzeffekt assoziiert als Aufgabenwiederholungen. Die in Experiment 5 gefundene

Dependenz der stärkeren Interferenz durch ein schwächeres Mapping von einem Aufgabenwechsel stellt zudem einen weiteren Befund dar, der eine Alternativhypothese im Sinne logischer Rekodierung (Hedge & Marsh, 1975) ausschließt. Ließe sich der gefundene inverse Interferenzeffekt auf einen Vorteil einer einheitlichen logischen Rekodierung zurückführen, so sollte der Effekt nicht abhängig von der Aufgabensequenz sein.

Die zweite Auswertung des Experiments 5 mit den Faktoren der Dominanz des Vordurchgangs, der aktuellen Aufgabendominanz und der Aufgabensequenz über die letzten drei Durchgänge (ABA- versus CBA-Sequenz) zeigte entsprechend den Befunden der vorangehenden vier Experimente für die Fragestellung interessante Kontraste: So fand sich bei der Bearbeitung einer dominanten Aufgabe nach einem Wechsel von einer dominanten Aufgabe ein inverser BI-Effekt. In dieser Aufgabensequenz war eine Bearbeitung dann erleichtert, wenn im Durchgang n-1 diejenige Aufgabe relevant war, welche aktuell erneut gefordert wurde (ABA) relativ zu der Anwendung einer dritten Aufgabe (CBA). Entsprechend dem experimentellen Design der vier Experimente im Paradigma der räumlichen Kompatibilität bedeutete eine Sequenz der Form ABA in dem hier beschriebenen Aufgabenübergang eine dominante Aufgabe im Durchgang n-2, während eine CBA-Sequenz eine nichtdominante Aufgabe in n-2 implizierte. Die Befunde hinsichtlich dieser sequentiellen Auswertung reflektieren demnach in relevanten Punkten die Befunde der bisherigen Auswertung und bieten einen weiteren Hinweis auf Inhibition dominanter Handlungstendenzen.

Insgesamt stellen sich die für die Fragestellung relevanten Ergebnisse des Experiments 5 als generell vergleichbar mit den Befunden der vier vorangehenden Experimente dar: Zum einen zeigte sich bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe eine Aufhebung (und in den Fehlern eine Umkehrung) der stroopartigen Interferenz, zum anderen zeigte sich in einer zweiten Analyse eine Invertierung des BI-Effekts. Beide Befunde sind damit vereinbar, daß die Durchsetzung einer schwachen S-R-Zuordnung in inhibitorische Kontrolle dominanter Handlungstendenzen resultiert. Inhibition dominanter Handlungstendenzen scheint dabei nicht an eine spezifische Variation der Aufgabendominanz im Sinne einer Variation der räumlichen Kompatibilität gebunden zu sein, sondern zeigt sich in entsprechender Weise bei Variation der Aufgabendominanz über ein unterschiedliches Maß aufgabenspezifischer Übung.

VII Gesamtdiskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zu der Klärung der Frage beizutragen, wie Handlungsintentionen in tatsächliches Verhalten umgesetzt werden und durch welche Mechanismen Interferenz durch nichtintentionale Verhaltenstendenzen minimiert wird.

Drei Hauptergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen sich festhalten: So sprechen die Daten aus fünf Experimenten dafür, daß die Durchsetzung einer intendierten, jedoch nichtdominanten Reiz-Reaktions-Zuordnung an die Inhibition konkurrierender Handlungstendenzen gebunden ist. Diese Inhibition richtet sich in stärkerem Ausmaß auf dominante Handlungstendenzen und in lediglich geringerem Ausmaß auf unmittelbar zuvor relevante Verarbeitungsprozesse. Die Inhibition dominanter Konkurrenten und die Inhibition zuvor relevanter Verarbeitungsprozesse (sequentielle Inhibition) stellen zudem disjunkte Hemmungsmechanismen dar.

Der generelle Nachweis von Hemmung in den Experimenten zeigt die Funktion eines intentionalen Mechanismus zur Durchsetzung einer intendierten Reiz-Reaktions-Zuordnung gegenüber nichtintentionalen Verhaltenskonkurrenten auf. So kann ein zieldienliches Task-Set neben einer vermehrten Zuwendung von Aktivierung entsprechend durch intentionale Hemmung konkurrierender Task-Sets durchgesetzt werden. Beide Mechanismen resultieren in einer relativen Aktivationserhöhung zielgerichteter Handlungstendenzen gegenüber nichtintentionalen Handlungskonkurrenten. Ein zusätzliches Ausmaß an Aktivierung zieldienlicher Task-Sets entspricht dabei einer Zuwendung selektiver Aufmerksamkeit durch Bahnung, zielabhängige Inhibition konkurrierender Task-Sets entspricht einer Selektion durch Hemmung. In Kapitel 4 wurde bereits auf diese beiden prinzipiellen Mechanismen der Selektion zur Handlungssteuerung eingegangen. Die Zuwendung selektiver Aufmerksamkeit zu Verarbeitungsprozessen wird dabei häufig im Sinne exekutiver Kontrolle der Verarbeitung konzeptualisiert. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden exekutive Kontrollprozesse als diejenigen Prozesse, welche (basalere) Verarbeitungsprozesse in Abhängigkeit von einem aktuellen Handlungsziel modulieren, gefaßt. Dieser Einfluß exekutiver Kontrolle ist dann zur Durchsetzung zieldienlicher Verarbeitung notwendig, wenn die zielkonforme Reiz-Reaktions-Zuordnung nicht bereits durch die strukturellen Eigenschaften des Systems gewährleistet ist.

Während Selektion durch Bahnung in Theorien selektiver Aufmerksamkeit ein gängiges Konzept darstellt, ist die Frage nach Selektion durch Hemmung umstrittener.

Jedoch wurden im Laufe des theoretischen Diskurses Paradigmen implementiert, welche den Einfluß inhibitorischer Kontrolle nahelegen: So wird der Effekt des Negativen Primings häufig unter Rekurs auf inhibitorische Mechanismen interpretiert (z.B. Tipper, 1985; 2001; Tipper & Cranston, 1985), ebenso scheint inhibitorische Kontrolle eine bedeutende Steuerungsfunktion bei der Aufrechterhaltung von Inhalten im Arbeitsgedächtnis (Hasher, Zacks & May, 1999; Lustig, Hasher & Tonev, 2001; Zacks & Hasher, 1994) und bei dem Abruf von Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis (Anderson, Bjork & Bjork, 1994; Anderson & Spellman, 1995) zu haben.

In den bisher genannten, experimentellen Paradigmen lassen sich exekutive Inhibitionsmechanismen jedoch nur begrenzt interpretieren. Da (nahezu) jede Handlung in einer Interaktion von Steuerungsprozessen und einfachen Verarbeitungsprozessen begründet ist, sind exekutive Prozesse (nahezu) immer mit basalen Verarbeitungsprozessen konfundiert. Die Etablierung des Aufgabenwechselparadigmas insbesondere ab Mitte der 90er Jahre schien jedoch eine Möglichkeit einer weitgehend von basalen Prozessen unabhängigen Untersuchung exekutiver Kontrolle bereitzustellen. Das Aufgaben-wechselparadigma gilt deshalb als ein geeignetes Paradigma zur Untersuchung exekutiver Funktionen, da die imperativen Stimuli in diesem Paradigma durch die Verwendung von mehr als einer Reiz-Reaktions-Zuordnung unterschiedlichen Reaktionen zugeordnet sind. Die Reaktionen auf derartige multivalente Stimuli und insbesondere der flexible Wechsel von Reiz-Reaktions-Zuordnungen stellen daher einen typischen Anwendungsfall exekutiver Kontrolle dar. Kapitel 5 hat die gängigen Befunde in diesem Paradigma zusammengefaßt.

Konnte bereits in verschiedenen experimentellen Paradigmen Interferenz durch die nichtintentionale Anwendung stark automatisierter Reiz-Reaktions-Zuordnungen aufgezeigt werden (wie in Kapitel 3 am Beispiel von Stroop- und Simon-Interferenz dargestellt), etabliert das Aufgabenwechselparadigma eine Situation, in welcher eine zweite Quelle von Interferenz im hohen Ausmaß relevant wird: Durch den häufigen Wechsel der Reiz-Reaktions-Zuordnungen ist im Aufgabenwechselparadigma die aktuelle Bearbeitung zudem einem starken Einfluß des soeben relevanten Task-Sets ausgesetzt.

Zur Durchsetzung eines zieldienlichen Task-Sets gegenüber konkurrierenden Task-Sets werden im Aufgabenwechselparadigma inhibitorische Steuerungsmechanismen angenommen: Entsprechend den verwendeten experimentellen Designs fokussieren die verschiedenen Studien dabei auf jeweils eine der beiden potentiellen Task-Set-Interferenzquellen: Allport und Mitarbeiter (Allport, Styles & Hsieh, 1994; Allport & Wylie, 1999) ließen ihre Probanden zwischen zwei Aufgaben unterschiedlicher Dominanz

(Stroop-Aufgaben) wechseln. Zur Durchsetzung der nichtdominanten Stroop-Farbaufgabe nehmen sie eine intentionale Hemmung der dominanten Wortaufgabe an und fokussieren damit auf die Automatizität konkurrierender Task-Sets als Faktor der Task-Set-Inhibition. Einen anderen Schwerpunkt setzen Mayr und Keele (2000): Unter Verwendung von drei Aufgaben untersuchten sie die Wiederanwendbarkeit einer Aufgabe, wenn von dieser Aufgabe im Vordurchgang weggewechselt wurde. Die gefundene verringerte Wiederanwendbarkeit in Sequenzen dieser Art attribuieren Mayr und Keele auf einen rückwärtsgerichteten Inhibitionsmechanismus und fokussieren damit auf kürzlich relevante Task-Sets als entscheidende Quelle der Task-Set-Interferenz. Die Frage, ob sich Task-Set-Inhibition in gleicher Weise auf stark automatisierte, konkurrierende Task-Sets und auf kürzlich relevante, konkurrierende Task-Sets bezieht, war jedoch bislang nicht entscheidbar, da keine Studie existierte, in welcher die beiden Faktoren nicht konfundiert waren. In der Studie von Allport und Mitarbeitern war das am stärksten konkurrierende Task-Set zudem das Task-Set des Vordurchgangs, in der Studie von Mayr und Keele bestand die Konfundierung darin, daß das Task-Set der Voraufgabe immer auch das am stärksten konkurrierende Task-Set darstellte.

Eine Dekonfundierung beider Faktoren wurde in der vorliegenden Arbeit vorgenommen. Zur Klärung der Frage, ob sich Task-Set-Inhibition in gleichem Ausmaß auf das am stärksten konkurrierende Task-Set und auf das Task-Set der unmittelbaren Voraufgabe bezieht und ob Inhibition dominanter Handlungstendenzen und sequentielle Inhibition tatsächlich disjunkte Hemmungsmechanismen widerspiegeln, wurden fünf Experimente durchgeführt. In den ersten vier Experimenten wurde der Faktor der Automatisiertheit oder Dominanz der Task-Sets über die räumliche Kompatibilität der Aufgaben variiert, im fünften Experiment über ein unterschiedliches Ausmaß aufgabenspezifischer Übung.

Im Folgenden werden die Hauptergebnisse der fünf Experimente noch einmal abschließend zusammengefaßt.

In allen Experimenten fand sich bei der Bearbeitung einer dominanten Aufgabe eine stärkere Interferenz durch eine dominante Konkurrenzaufgabe, was in den ersten vier Experimenten einem Simon-Effekt entsprach. Bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe (einer räumlich inkompatiblen Aufgabe oder einer wenig geübten Aufgabe) zeigte sich hingegen entweder eine Aufhebung der Interferenz-Asymmetrie oder sogar ein stärkerer Einfluß einer nichtdominanten Konkurrenzaufgabe relativ zu einer dominanten Konkurrenzaufgabe. Die stärkere Interferenz durch eine schwächere Konkurrenzaufgabe

war dabei nicht auf spezifische Bindungen zwischen Stimuli und Reaktionen zurückzuführen (Experiment 1). Tatsächlich stellt der Effekt der stärkeren Interferenz durch eine inkompatible Konkurrenzaufgabe in dem verwendeten Paradigma räumlicher Aufgaben einen inversen Simon-Effekt dar. Dieser Effekt ist jedoch nicht im Sinne einer Theorie logischer Rekodierung (Hedge & Marsh, 1975) zu interpretieren, da die Invertierung des Simon-Effekts sich nicht bei fehlender Präspezifikation der neuen Aufgabe zeigte (Experiment 2). Sollte die stärkere Interferenz durch die nichtdominante Konkurrenzaufgabe in Experiment 1 auf die Tendenz, relevantes und irrelevantes Merkmal in dem gleichen logischen Modus zu kodieren, zurückzuführen sein, so sollte sich auch bei fehlender Vorbereitung auf die jeweilige neue Aufgabe eine stärkere Interferenz durch eine nichtdominante Aufgabe bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe zeigen.

Der Befund der stärkeren Interferenz durch eine nichtdominante Aufgabe bei der Bearbeitung einer nichtdominanten Aufgabe zeigt den modulierenden Einfluß eines zusätzlichen Faktors auf die stroopartige Interferenz an: Die Nivellierung oder Umkehrung der typischerweise stärkeren Interferenz durch dominante Handlungskonkurrenten wurde auf einen Prozeß der Hemmung des am stärksten konkurrierenden Task-Sets zurückgeführt. Ist die Durchsetzung eines nichtdominanten Task-Sets an die Inhibition automatisierter Handlungstendenzen gebunden, so verringert sich der Einfluß dieser automatisierten Task-Sets derart, daß ein stark automatisiertes Task-Set weniger mit der aktuellen Bearbeitung interferiert als ein nicht automatisiertes, konkurrierendes Task-Set.

Ein nichtdominantes Konkurrenzmapping interferierte auch dann stärker mit der Bearbeitung einer inversen Aufgabe, wenn aktuell von diesem nichtdominanten Mapping weggewechselt wurde. Demnach interferierte eine nichtdominante Aufgabe stärker als eine dominante Aufgabe mit der aktuellen Bearbeitung, obwohl die nichtdominante Aufgabe im Vordurchgang relevant war. Dieser Befund stellt eine Möglichkeit dar, zwischen der Höhe von Backward Inhibition und der Inhibition dominanter Handlungskonkurrenten zu unterscheiden: Wäre das Task-Set des Vordurchgangs das primäre Ziel von Task-Set-Inhibition, so sollte die Voraufgabe weniger stark mit der aktuellen Aufgabe interferieren als eine dritte Aufgabe. Genau dieser Befund zeigte sich jedoch nicht. Die stärkere Interferenz durch ein nichtdominantes Task-Set, welches im Vordurchgang relevant war, deutet an, daß sich Task-Set-Inhibition primär auf den dominantesten Handlungs-konkurrenten und erst sekundär auf das zuvor relevante Task-Set richtet.

Entsprechend fehlender Aufgabenankündigung resultierte eine unspezifische Aufgabenvorbereitung lediglich in einer Aufhebung der stroopartigen, asymmetrischen

Interferenz (Experiment 3). Eine Umkehrung der Task-Set-Interferenz zeigte sich demnach nur bei spezifischer Vorbereitung auf eine neue Aufgabe. Die Aufhebung der stroopartigen Interferenz-Asymmetrie in Experiment 2 und 3 alleine liefert jedoch einen Hinweis auf einen inhibitorischen Mechanismus, der den Einfluß konkurrierender, dominanter Task-Sets auf das Einflußniveau konkurrierender, nichtdominanter Task-Sets herabsetzt.

Wurden teilweise invalide Hinweisreize präsentiert (Experiment 4), so änderte sich das generelle Datenmuster nicht. Dominante Aufgaben, welche als nichtdominant angekündigt wurden, zeigten jedoch höhere Kosten invalider Vorbereitung als inverse Aufgaben, welche als dominant präspezifiziert wurden. Dieser Befund stellt eine weitere Evidenz dafür dar, daß die Durchsetzung einer nichtdominanten Handlungstendenz an die Hemmung dominanter Konkurrenten gebunden ist. Der Befund zeigt, daß die Inhibition dominanter Konkurrenten zur Gewährleistung nichtdominanter Handlungen bereits im Vorbereitungsintervall realisiert werden kann. War der vorab präsentierte Hinweisreiz jedoch invalide und wurde statt der erwarteten, nichtdominanten Aufgabe eine dominante Aufgabe relevant, so mußte die Inhibition der dominanten Aufgabe überwunden werden, bevor diese Aufgabe zur Anwendung kommen konnte.

Neben der Messung von Interferenzeffekten wurde in den durchgeführten Experimenten die Wiederanwendbarkeit einer Aufgabe, von welcher im Vordurchgang weggewechselt wurde, gemessen. Konsistent zeigte sich eine Erleichterung derjenigen Aufgaben, von denen im Vordurchgang weggewechselt wurde (ABA-Sequenz) relativ zu dritten Aufgaben (CBA-Sequenz), sofern der aktuelle Durchgang und der Vordurchgang eine dominante Aufgabenbearbeitung erforderten. Diese Bedingungen implizierten eine dominante Aufgabe im Durchgang n-2 in Sequenzen der Form ABA und eine nichtdominante Aufgabe in n-2 in Sequenzen der Form CBA. Der inverse Backward-Inhibition-Effekt in der oben genannten Aufgabensequenz stellt einen weiteren Befund dar, welcher die Funktion eines auf dominante Handlungskonkurrenten gerichteten Inhibitionsmechanismus verdeutlicht: Erfordert der Durchgang in n-2 ein nichtdominantes Mapping (CBA-Sequenz), so ist die Durchsetzung dieses Mappings an die Hemmung dominanter Konkurrenten gebunden. Das Persistieren dieser Hemmung erzeugt die verringerte Anwendbarkeit dominanter Aufgaben im aktuellen Durchgang und kehrt den Backward-Inhibition-Effekt um.

Die Variation des Aufgabenmaterials und die Manipulation der Aufgabendominanz über selektive Aufgabenübung in Experiment 5 brachte den ersten vier Experimenten vergleichbare Befunde.

Über zwei Erhebungsmethoden konnten demnach in fünf Experimenten Evidenzen für zieldienliche Hemmung irrelevanter Task-Sets gefunden werden. Derartige inhibitorische Handlungskontrolle richtet sich primär auf dominante, konkurrierende Handlungstendenzen; Interferenz aufgrund zeitlicher Nähe der Aufgaben ist lediglich eine untergeordnete Quelle der Task-Set-Interferenz.

Die Annahme von Inhibition dominanter Handlungskonkurrenten zur Gewährleistung intentionaler Verarbeitung findet sich in unterschiedlichen experimentellen Paradigmen. Im Folgenden sollen daher die in der vorliegenden Studie gefundenen Evidenzen für einen Mechanismus der Hemmung dominanter Handlungstendenzen an Befunde in weiteren experimentellen Paradigmen angebunden und mit diesen kontrastiert werden.

Der Befund der Inhibition dominanter Handlungskonkurrenten spiegelt eine zentrale Annahme in Studien zu stroopartigen Aufgaben (mit und ohne Wechsel der Reiz-Reaktions-Zuordnung) wider. So wird typischerweise angenommen, daß im Stroop-Paradigma die Durchsetzung der nichtdominanten z.B. Farbaufgabe an die Inhibition der dominanten z.B. Wortaufgabe gebunden ist. Cohen, Dunbar und McClelland (1990) haben in ihrer konnektionistischen Modellierung des Stroop-Paradigmas dieser Annahme Rechnung getragen: Wird die unterschiedliche Dominanz der Farb- und Wortaufgabe durch die unterschiedliche Verbindungsstärke in den Verarbeitungspfaden abgebildet, so wird die Interferenz der Wortaufgabe auf die Farbaufgabe unter anderem durch den Einfluß inhibitorischer Kontrolle auf den Wortverarbeitungspfad minimiert. Die Durchsetzung einer nichtdominanten Farbaufgabe erfordert in dem Modell ein höheres Ausmaß an Task-Set-Inhibition als die Durchsetzung der alternativen, dominanten Wortaufgabe. Eine entsprechende Annahme verstärkter inhibitorischer Kontrolle zur Durchsetzung einer nichtdominanten Handlungsbereitschaft findet sich in der Adaptation des konnektionistischen Modells von Cohen et al. für das Aufgabenwechselparadigma (Gilbert & Shallice, 2002).

Inhibition dominanter Handlungstendenzen spielt zudem bei dem Abruf intendierter Inhalte aus dem Langzeitgedächtnis eine bedeutende Rolle. Die Funktion inhibitorischer Kontrolle auf Abrufprozesse aus dem Langzeitgedächtnis wurde bereits in Kapitel 4 dargestellt. Neu an den an dieser Stelle präsentierten Befunden ist die explizite Annahme, daß sich Inhibition als Steuerungsfunktion beim Gedächtnisabruf primär auf dominante Gedächtnisassoziationen richtet. Im – bereits im Abschnitt zu intentionaler Steuerung durch Bahnung und Hemmung eingeführten – Paradigma des abrufbedingten Vergessens boten

Anderson und Mitarbeiter (Anderson, Bjork & Bjork, 1994) in einer Lernphase Begriffspaare dar, welche aus einer Kategoriebezeichnung und einer Bezeichnung eines Exemplars der Kategorie bestanden (beispielsweise Frucht – Orange). In einer anschließenden Übungsphase wurde aus einzelnen Kategorien die Hälfte der Begriffspaare präsentiert und der Abruf der entsprechenden Begriffe geübt, aus anderen Kategorien wurde gar kein Begriffspaar berücksichtigt. In einem auf die Übungsphase folgenden Erinnerungstest *aller* in der Lernphase präsentierten Items zeigte sich der Abruf nicht geübter Items aus geübten Kategorien relativ zu nicht geübten Items aus nicht geübten Kategorien erschwert. Der relative Bearbeitungsnachteil ungeübter Begriffe aus geübten Kategorien zeigte sich in besonderem Ausmaß für den Abruf dominanter Vertreter einer Kategorie. Anderson et al. interpretieren ihre Daten dahingehend, daß der Abruf einzelner Begriffe in der Übungsphase an die Inhibition anderer mit dem Kategorienamen assoziierter (aber aktuell irrelevanter) Begriffe gebunden ist und daß sich ein derartiger Hemmungsmechanismus in verstärktem Ausmaß auf stark mit der Kategorie assoziierte Begriffe richtet.

Ein weiteres, in dieser Arbeit ausführlich dargestelltes Paradigma, in welchem die Annahme inhibitorischer Prozesse zur Durchsetzung intendierter Handlungen gegenüber stark automatisierten Verhaltenstendenzen gemacht wird, stellt das Simon-Paradigma dar. Die Interferenz durch das irrelevante, räumliche Attribut des imperativen Stimulus wird hierbei häufig im Sinne nichtintentionaler Reaktionsaktivierung durch die räumliche Information gefaßt (z.B. Barber & O´Leary, 1997; DeJong, Liang & Lauber, 1994; Ridderinkhof, 2002; Stürmer, Leuthold, Soetens, Schröter & Sommer, 2002; Tagliabue, Zorzi & Umiltà, 2002; Wallace, 1971). Die Aktivation einer räumlich korrespondierenden Reaktion durch ein irrelevantes, räumliches Merkmal des Stimulus erfüllt Charakteristika automatischer Verarbeitung, so daß die zur Gewährleistung zielkonformen Handelns angenommene Hemmung der Verarbeitung der Rauminformation somit eine Inhibition automatischer oder dominanter Verarbeitung darstellt (z.B. Ridderinkhof, 2002; Stoffels, 1996a; 1996b Stürmer, Leuthold, Soetens, Schröter, Sommer, 2002). Neuere Modelle des Simon-Effekts attribuieren die Interferenz durch die irrelevante Rauminformation auf eine direkte, durch Langzeitgedächtnis-Strukturen vermittelte Assoziation eines räumlichen Stimulusmerkmals mit einer räumlich korrespondierenden Reaktion (z.B. Barber & O´Leary, 1997; Burle, Possamai, Vidal, Bonnet & Hasbroucq, 2002; DeJong, Liang & Lauber, 1994; Tagliabue, Zorzi & Umiltà, 2002). Für eine weniger automatisierte Reiz-Reaktions-Zuordnung sind keine derartigen Langzeitgedächtnis-Verknüpfungen etabliert,

die Implementierung eines nichtdominanten Task-Sets und Interferenz durch ein nichtdominantes Task-Set ist demnach an die Strukturen des Arbeitsgedächtnisses gebunden.

In Anbindung an die Vorstellungen zu den Mechanismen des Simon-Effekts ist entsprechend den beiden möglichen Quellen von Task-Set-Interferenz (Interferenz durch dominante Task-Sets und Interferenz durch soeben ausgeführte Task-Sets) eine Beeinflussung der relevanten Verarbeitung über zwei prinzipiell unterschiedliche Pfade der Informationsverarbeitung möglich. Interferenz kann aus direkten, langzeitgedächtnisbasierten Verbindungen der Stimuli zu Responses als auch durch persistierende Aktivation konkurrierender Task-Sets im Arbeitsgedächtnis resultieren (siehe Abb. 37).

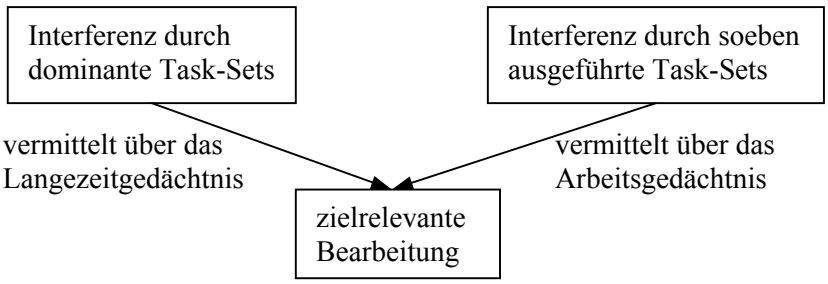


Abbildung 37: Interferenz durch dominante Task-Sets und Interferenz durch soeben relevante Task-Sets

Das in der hier vorgestellten Studie verwendete Aufgabenwechselparadigma realisiert beide Quellen der Task-Set-Interferenz. Interferenz durch ein unmittelbar zuvor relevantes Task-Set ist hierbei an persistierende Aktivation im Arbeitsgedächtnis gebunden. Derartige Interferenz würde nicht auftreten, hätte nicht zu einem unmittelbar zurückliegenden Zeitpunkt ein diesem Task-Set entsprechendes Handlungsziel vorgelegen. Gänzlich anders verhält es sich mit Interferenz durch ein stark automatisiertes Task-Set: Interferenz durch dominante Handlungskonkurrenten ist über Strukturen des Langzeitgedächtnisses vermittelt und nicht abhängig davon, daß ein korrespondierendes Handlungsziel in zeitlicher Nähe vorlag. Aus diesem Grund zeigt sich Interferenz durch ein stark automatisiertes Task-Set in entsprechender Weise in Paradigmen ohne Wechsel der Reiz-Reaktions-Zuordnung.

Interessant ist die Kontrastierung der Annahme der Interferenz im Aufgabenwechselparadigma über verschiedene Verarbeitungspfade mit dem Ansatz von Mayr und Kliegl (2000). Entgegen der häufig expliziten oder zumindest impliziten Annahme, Interferenzeffekte im Aufgabenwechselparadigma resultierten aus paralleler Aktivität konkurrierender Task-Sets im Arbeitsgedächtnis, führen Mayr und Kliegl Reaktionskongruenzeffekte auf direkte Langzeitgedächtnis-Assoziationen der verwendeten

Stimuli zu Responsekodes zurück. Zur Stützung dieser Hypothese führen Mayr und Kliegl Daten ins Feld, welche nahelegen, daß der Wechsel zu einer neuen Aufgabe Abrufprozesse aus dem Langzeitgedächtnis impliziert. Die Interpretation der Interferenzeffekte im Aufgabenwechselparadigma alleine unter Rekurs auf direkte, langzeitgedächtnisbasierte Assoziationen irrelevanter Reizmerkmale zu Reaktionskodes scheint jedoch problematisch. So ist im Rahmen einer derartigen Konzeption nicht ersichtlich, wie Interferenzeffekte, welche alleine auf der Ebene von Task-Sets und ohne das parallele Vorliegen von Reaktionskonflikten bestehen, interpretiert werden können. Task-Set-Interferenz unabhängig von Responseinterferenz konnte von Rogers und Monsell (1995) im Aufgabenwechselparadigma am Beispiel des bereits dargestellten Task-Cuing-Effekts aufgezeigt werden: So ist die Bearbeitung eines bivalenten Stimulus, auch wenn dieser Stimulus in der irrelevanten Aufgabe mit der tatsächlich zu gebenden Reaktion assoziiert ist, generell verlangsamt relativ zu der Bearbeitung eines univalenten Stimulus. Dieser Effekt ist nicht durch die Bahnung konfligierender Responses im Falle des bivalenten Stimulus zu interpretieren, sondern deutet alleine einen Konflikt auf übergeordneter Task-Set-Ebene an.

Der in der vorliegenden Studie vorgeschlagene Ansatz konfligiert mit der Annahme von Mayr und Kliegl, ist aber zudem als eine Erweiterung zu typischen Ansätzen der Task-Set-Interferenz als Interferenz durch parallele Task-Set-Aktivität im Arbeitsgedächtnis zu sehen. Es werden weder ausschließlich Langzeitgedächtnis-Assoziationen noch ausschließlich konkurrierende Arbeitsgedächtnis-Verknüpfungen als Ursache der Task-Set-Interferenz betrachtet, sondern vielmehr beide Strukturen als Interferenzquellen gefaßt.

Die Annahme von Interferenz durch Langzeitgedächtnis- als auch durch Arbeitsgedächtnis-Assoziationen deckt sich hingegen mit neueren Modellen des Simon-Effekts. Diese neueren Simon-Modelle bilden den Effekt der Reduzierung oder Invertierung des Simon-Effekts nach Bearbeitung (oder längerer Übung) einer räumlich nicht korrespondierenden Aufgabe ab. Die Reduzierung oder Umkehrung des Simon-Effekts wird im Sinne persistierender Aktivation der zuvor relevanten Zuordnungsregeln der inkompatiblen, räumlichen Aufgabe im Arbeitsgedächtnis interpretiert (Tagliabue, Zorzi & Umiltà, 2000; Tagliabue, Zorzi, Umiltà & Bassignani, 2002). Die Reiz-Reaktions-Zuordnung der zuvor geübten, räumlich inkompatiblen Aufgabe interferiert mit der aktuellen Bearbeitung nicht über Langzeitgedächtnis-Assoziationen (da es sich in der zuvor bearbeiteten Aufgaben eben nicht um eine stark automatisierte, kompatible Reiz-Reaktions-Zuordnung handelt), vielmehr erfolgt die Interferenz dadurch, daß eine zuvor über das

Arbeitsgedächtnis realisierte Aufgabenbearbeitung im Arbeitsgedächtnis persistiert. Neben der, auf Strukturen des Arbeitsgedächtnis basierenden, Interferenz durch eine soeben ausgeführte, inkompatible Aufgabe wird in aktuellen Modellen des Simon-Effekts die typische Interferenz durch das irrelevante, räumliche Merkmal im Sinne einer Interferenz durch Langzeitgedächtnis-Assoziationen interpretiert.

Eine experimentelle Überprüfung der Annahme der Interferenz im Aufgabenwechselparadigma über zwei verschiedene Verarbeitungsrouten wäre durch die Verwendung des Doppelaufgabenparadigmas möglich. Interferenz, welche an die Strukturen des Arbeitsgedächtnisses gebunden ist, sollte unter der Annahme begrenzter Kapazität des Arbeitsgedächtnisses durch die parallele Belastung des Arbeitsgedächtnisses (beispielsweise durch Verwendung von Doppelaufgaben) reduziert werden (siehe z.B. Hommel & Eglau, 2002). Hingegen sollte Interferenz über Langzeitgedächtnis-Assoziationen nicht durch Doppeltätigkeiten moduliert werden.

Wie sehen nun Kontrollmechanismen aus, die der möglichen Interferenz durch zuvor relevante Task-Sets und der Interferenz durch stark automatisierte Task-Sets entgegenwirken? Prinzipiell sind zwei Annahmen möglich: So ist zum einen denkbar, daß Task-Set-Interferenz zwar über verschiedene Verarbeitungsrouten realisiert sein kann, der Prozeß der Task-Set-Inhibition jedoch lediglich ein anderes „Ziel“ der Inhibition hat und Inhibition dominanter Konkurrenten und Inhibition zuvor etablierter Task-Sets prinzipiell gleiche Charakteristika aufweisen. Hingegen ist es ebenso denkbar, daß beide Inhibitionsmechanismen nicht lediglich durch das Objekt der Inhibition, sondern zudem durch Merkmale der Mechanismen selber zu unterscheiden sind. Die Daten des zweiten und dritten Experiments legen diese zweite Annahme nahe: So zeigte sich, daß auch bei fehlender oder unspezifischer Möglichkeit der Vorbereitung auf eine neue Aufgabe eine Inhibition dominanter Handlungstendenzen möglich ist, während derartige experimentelle Bedingungen sequentielle Inhibition nicht erlauben (Hübner, Dreisbach, Haider & Kluwe, 2003; Mayr & Keele, 2000). Diese Divergenz in den Charakteristika der beiden Hemmungsmechanismen ist als Evidenz dafür zu werten, daß Backward Inhibition und Inhibition dominanter Konkurrenten tatsächlich disjunkte Hemmungsmechanismen darstellen. Unspezifische oder fehlende Vorbereitung läßt demnach die Inhibition langzeitgedächtnisbasierter Assoziationen zu, nicht jedoch die Inhibition konkurrierender Task-Sets im Arbeitsgedächtnis.

Der angenommene Mechanismus der Inhibition dominanter Verhaltenskonkurrenten wird in der vorliegenden Studie im Sinne eines exekutiven Steuerungsmechanismus

interpretiert. Insbesondere im Hinblick auf die Argumentation von Mayr und Keele ist diese Interpretation zu rechtfertigen. Mayr und Keele interpretieren ihren Mechanismus sequentieller Inhibition im Sinne lateraler Inhibition, demnach nicht als intentionalen Steuerungsmechanismus. Ein Verständnis des hier angenommen Inhibitionsmechanismus als Steuerungsmechanismus resultiert jedoch aus der für diese Studie relevanten Definition des Begriffs exekutiver Kontrolle: Ein Mechanismus wird dann als exekutiver Kontrollmechanismus verstanden, wenn dieser Mechanismus (basalere) Verarbeitungsprozesse moduliert und diese Modulierung in Abhängigkeit von einem Handlungsziel geschieht. Beide Charakteristika weist der angenommene Mechanismus der Hemmung dominanter Handlungskonkurrenten auf. Zum einen richtet sich die Inhibition auf die basaleren Prozesse der Verarbeitung des relevanten Stimulus, zum anderen ist diese Inhibition abhängig von der aktuellen, zielrelevanten Verarbeitung und tritt entsprechend nicht auf, wenn die relevante Bearbeitung entsprechend einer dominanten Reiz-Reaktions-Zuordnung erfolgt.

Inhibition dominanter Handlungstendenzen stellt somit einen exekutiven Kontrollmechanismus des kognitiven Systems zur Gewährleistung zieldienlicher, jedoch weniger automatisierter Reiz-Reaktions-Zuordnungen dar.

VIII Zusammenfassung

Zielgerichtetes Verhalten ist an die Durchsetzung und Abschirmung zielkonformer Verarbeitung gegenüber konkurrierenden Handlungstendenzen (Task-Sets) gebunden. Die vorliegende Arbeit stellt intentionale Hemmung konkurrierender Task-Sets als einen zentralen Mechanismus der Durchsetzung zieldienlicher Verarbeitung heraus. Ein konkurrierendes Task-Set kann zum einen ein dominantes Task-Set als auch ein unmittelbar zurückliegendes Task-Sets darstellen. Entsprechend diesen beiden Quellen der Task-Set-Interferenz kann sich intentionale Hemmung sowohl auf zuvor relevante als auch auf dominante Reiz-Reaktions-Zuordnungen richten. In fünf Experimenten mit wechselnden Aufgabenanforderungen sowohl im Paradigma räumlicher Kompatibilität als auch moduliert durch selektive Übung zeigte sich, daß die Durchsetzung eines nichtdominanten (räumlich inkompatiblen oder wenig geübten) Task-Sets an die Inhibition konkurrierender Verarbeitung gebunden ist. Insbesondere konnten die vorliegenden Daten zeigen, daß sich Inhibition in stärkerem Ausmaß auf dominante Handlungskonkurrenten und lediglich in geringerem Ausmaß auf zeitlich unmittelbar zurückliegende, konkurrierende Verarbeitung richtet. Inhibition dominanter Handlungstendenzen und sequentielle Inhibition weisen zudem unterschiedliche Charakteristika auf und sind als disjunkte Hemmungsmechanismen zu interpretieren. Während sich sequentielle Inhibition auf konkurrierende Task-Sets im Arbeitsgedächtnis richtet, bezieht sich Inhibition dominanter Handlungskonkurrenten auf langzeitgedächtnisbasierte Reiz-Reaktions-Assoziationen.

IX Literatur

Allport, A. (1987). Selection for action: Some behavioural and neurophysiological considerations of attention and action. In H. Heuer & A.F. Sanders (Eds.), *Perspectives of Perception and Action* (pp. 395-419). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Allport, A. (1993). Attention and control: Have we been asking the wrong questions? A critical review of twenty-fife years. In D. Meyer & S. Kornblum (Eds.), *Attention and Performance XIV: Synergies in Experimental Psychology, Artificial Intelligence, and Cognitive Neuroscience* (pp. 183-218). Cambridge, MA: MIT Press.

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: Conscious and Nonconscious Information Processing* (pp. 421-452). Cambrige, MA: 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: Studies in Cognitive Neuroscience* (pp. 273-296). New York: Oxford University Press.

Allport, A. & Wylie, G. (2000). Task switching, stimulus-response bindings, and negative priming. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes* (pp. 35-70). Cambridge, MA: MIT Press.

Anderson, M.C., Bjork, R.A. & Bjork, E.L. (1994). Remembering can cause forgetting: Retrieval dynamics in long-term-memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 20,* 1063-1087.

Anderson, M.C. & Green, C. (2001). Suppressing unwanted memories by executive control. *Nature, 410,* 366-369.

Anderson, M.C. & Spellman, B.A. (1995). On the status of inhibitory mechanisms in cognition: Memory retrieval as a model case. *Psychological Review, 102,* 68-100.

Bacon, W.F. & Egeth, H.E. (1994). Overriding stimulus-driven attentional capture. *Perception & Psychophysics, 55,* 485-496.

Baddeley, A.D. (1986). *Working Memory.* Oxford: Oxford University Press.

Barber, P. & O´Leary, M. (1997). The relevance of salience: Toward an activational account of irrelevant stimulus-response compatibility effects. In B. Hommel & W. Prinz (Eds.), *Theoretical Issues in Stimulus-Response-Compatibility* (pp. 135-172). North-Holland: Elsevier.

Barsalou, L.W. (1992). *Cognitive Psychology.* Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Baylis, G.C., Tipper, S.P & Houghton, G. (1997). Externally cued and internally generated selection: Differences in distractor analysis and inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 23,* 1617-1630.

Berger, A. (1992). *Competition between Endogenous and Exogenous Covert Orienting of Attention.* Unpublished mater´s thesis, Ben-Gurion University of the Negev.

Botvinick, M.M., Braver, T.S., Barch, D.M., Carter, C.C. & Cohen, J.D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review, 108,* 624-652.

Broadbent, D. (1958). *Perception and Communication.* London: Pergamon.

Brown, T.L., Gore, C.L. & Carr, T.H. (2002). Visual attention and word recognition in Stroop color naming: Is word recognition „automatic"? *Journal of Experimental Psychology: General, 131,* 220-240.

Burle, B., Possamai, C.-A., Vidal, F., Bonnet, M. & Hasbroucq, T. (2002) Executive control in the Simon effect: An electromyographic and distributional analysis. *Psychological Research, 66,* 324-336.

Carr, T.H. & Dagenbach, D. (1990). Semantic priming and repetition priming from masked words: Evidence for a center-surround attentional mechanism in perceptual recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 16,* 341-350.

Cherry, E.C. (1953). Some experiments on the recognition of speech with one and two ears. *Journal of the Acoustical Society of America, 25,* 975-979.;

Cohen, J.D., Dunbar, K & McClelland, J.L. (1990). On the control of automatic processing: A parallel distributed processing account of the Stroop effect. *Psychological Review, 97,* 332-361.

Cohen, J.D. & Huston, T.A. (1994). Progress in the use of interactive models for understanding attention and performance. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and Performance XV: Conscious and Nonconscious Information Processing* (pp. 453-476). Cambrige, MA: MIT Press.

Connelly, S.L., Hasher, L. & Zacks, R.T. (1991). Age and reading: The impact of distraction. *Psychology and Aging, 6,* 533-541.

Dagenbach, D. & Kubat-Silman, A.K. (2003). The principle of inhibition. In R.H. Kluwe, G. Lüer, F. Rösler (Eds.), *Principles of Learning and Memory* (pp.207-221). Basel: Birkhäuser.

Dalrymple-Alford, E.C. & Budayr, B. (1966). Examination of some aspects of the Stroop color-word test. *Perceptual and Motor Skills, 23,* 1211-1214.

DeJong, R. (1997). Compatibility effects on performance and executive control in dynamic task settings. In B. Hommel & W. Prinz (Eds.), *Theoretical Issues in Stimulus-Response-Compatibility* (pp. 223-239). North-Holland: Elsevier.

DeJong, R. (2000). An intention-activation account of residual switch costs. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes* (pp. 357-376). Cambridge, MA: MIT Press.

DeJong, R., Liang, C.-C. & Lauber, E. (1994). Conditional and unconditional automaticity: A dual process model of effects of spatial stimulus-response correspondence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 20,* 731-750.

DeSchepper, B. & Treisman, A. (1996). Visual memory for novel shapes: Implicit coding without attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 22,* 27-47.

Deutsch, J.A. & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review, 70,* 80-90.

Dreisbach, G. Haider, H. & Kluwe, R.H. (2002). Preparatory processes in the task switching paradigm: Evidence from the use of probability cues. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 28,* 468-483.

Dunbar, K. & MacLeod, C,M. (1984). A horse race of a different color: Stroop interference patterns with transformed words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 10,* 622-639.

Duncan, J., Johnson, R., Swales, M. & Freer, C. (1997). Frontal lobe deficit after head injury: Unity and diversity of function. *Cognitive Neuropsychology, 14,* 713-741.

Egeth, H.E. & Yantis, S. (1997). Visual attention: Control, representation, and time course. *Annual Review of Psychology, 48,* 269-297.

Eimer, M, Hommel, B. & Prinz, W. (1995). S-R-compatibility and response selection. *Acta Psychologia, 90,* 301-313.

Eimer, M., Nattkemper, D., Schröger, E. & Prinz, W. (1996). Unwillkürliche Aufmerksamkeit. In N. Birbaumer (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C, Theorie und Forschung. Serie 2, Kognition. Band 2. Aufmerksamkeit* (S. 219-266). Göttingen: Hogrefe.

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,* 143-149.

Eriksen, B.A. & Schultz, D.W. (1979). Information processing in visual search: A continuous flow conception and experimental results. *Perception & Psychophysics, 25,* 249-263.

Eysenck, M.W. & Keane, M.T. (2000). *Cognitive Psychology: A Student´s Handbook*. Hove, East Sussex: Psychology Press.

Fagot, C. (1994). *Chronometric Investigations of Task Switching*. Ph.D. Dissertation, University of California, San Diego.

Fitts, P.M. & Deininger, R.L. (1954). S-R compatibility: Correspondence among paired elements within stimulus and response codes. *Journal of Experimental Psychology, 48,* 483-492.

Fitts, P.M. & Seeger, C.M. (1953). S-R compatibility: Spatial characteristics of stimulus and response code. *Journal of Experimental Psychology, 46,* 199-210.

Folk, C.L., Remington, R.W. & Johnston, J.C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 18,* 1030-1044.

Folk, C.L., Remington, R.W. & Wright, J.H. (1994). The structure of attentional control: Contingent attentional capture by apparent motion, abrupt onset, and color. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 20,* 317-329.

Gilbert, S.J. & Shallice, T. (2002). Task switching: A PDP model. *Cognitive Psychology, 44,* 297-337.

Glaser, W.R. & Düngelhoff, F.-J. (1984). The time course of picture-word interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 10,* 640-654.

Glaser, M.O. & Glaser, W.R. (1982). Time course analysis of the Stroop phenomenon. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 8,* 875-894.

Gopher, D., Armony, L. & Greenshpan, Y. (2000). Switching tasks and attention policies. *Journal of Experimental Psychology: General, 129,* 308-339.

Goschke, T. (2000). Intentional reconfiguration and involuntary persistence in task set switching. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes* (pp. 331-355). Cambridge, MA: MIT Press.

Goschke, T. (2002). Volition und kognitive Kontrolle. In J. Müsseler & W. Prinz (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (S. 270-335). Heidelberg: Spektrum.

Gratton, G., Coles, M.G.H. & Donchin, E. (1992). Optimizing the use of information: Strategic control of activation of responses. *Journal of Experimental Psychology: General, 121,* 480-506.

Guiard, Y., Hasbroucq, T. & Possamai, C.-A, (1994). Stimulus congruity, irrelevant spatial SR correspondence, and display-control arrangement correspondence: A reply to O´Leary, Barber, and Simon (1994). *Psychological Research, 56,* 210-212.

Hartmann, M. & Hasher, L. (1991). Age and suppression: Memory for previously relevant information. *Psychology and Aging, 6,* 581-594.

Harvey, N. (1984). The Stroop effect: Failure to focus attention or failure to maintain focusing? *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 36A,* 89-115.

Hasbroucq, T. & Guiard, Y. (1991). Stimulus-response compatibility and the Simon effect: Toward a conceptual clarification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 17,* 246-266.

Hasbroucq, T. Guiard, Y. & Ottomani, L. (1990) Principles of response determination: The list rule model of SR compatibility. *Bulletin of the Psychonomic Society, 28,* 327-330.

Hasher, L., Stoltzfuß, E.R., Zacks, R.T. & Rypma, B. (1991). Age and inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 17,* 163-169.

Hasher, L., Zacks, R.T. & May, C.P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and Performance XVII: Cognitive Regulation of Performance: Interaction of Theory and Application* (pp. 653-675). Cambridge, MA: MIT Press.

Hedge, A. & Marsh, N.W.A. (1975). The effect of irrelevant spatial correspondence on two-choice response-time. *Acta Psychologia, 39,* 427-439.

Heuer, H. (1996). Doppeltätigkeiten. In N. Birbaumer (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C, Theorie und Forschung. Serie 2, Kognition. Band 2. Aufmerksamkeit* (S. 163-218). Göttingen: Hogrefe.

Hommel, B. (1993a). Inverting the Simon effect by intention. *Psychological Research, 55,* 270-279

Hommel, B. (1993b). The relationship between stimulus processing and response selection in the Simon task: Evidence for a temporal overlap. *Psychological Research, 55,* 280-290.

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,* 183-216.

Hommel, B. (2000a). The prepared reflex: Automaticity and control in stimulus-response translation. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes* (pp. 247-273). Cambridge, MA: MIT Press.

Hommel, B. (2000b). Intentional control of automatic stimulus-response translation. In Y. Rossetti & A. Revonsuo (Eds.), *Beyond dissociation: Interaction between dissociated implicit and explicit processing* (pp.221-242). Amsterdam: Benjamins.

Hommel, B. & Eglau, B. (2002). Control of stimulus-response translation in dual-task performance. *Psychological Research, 66,* 260-273.

Houghton, G. & Tipper, S.P. (1994). A model of inhibitory mechanisms in selective attention. In D. Dagenbach & T.H. Carr (Eds.), *Inhibitory Processes in Attention, Memory, and Language* (pp. 53-112). San Diego: Academic Press.

Hübner, M. (2001). *Sequentielle Selektion zielspezifischer Handlungsbereitschaften.* Marburg: Tectum. (Dissertation)

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, M., Kluwe, R.H., Luna-Rodriguez, A. & Peters, A. (in preparation). Preparation and stimulus-evoked task competition. *Acta Psychologia.*

Hübner, R., Futterer, T. & Steinhauser, M. (2001). On attentional control as a source of residual shift costs: Evidence from two-component task-shifts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 27,* 640-653.

Hunt, A.R. & Klein, R.M. (2002). Eliminating the costs of task set reconfiguration. *Memory & Cognition, 30,* 529-539.

Jersild, A.T. (1927). Mental set and shift. *Archives of Psychology, Whole No. 89.*

Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind´s eye´s movement. In J.B. Long & A.D. Baddeley (Eds.) *Attention and Performance IX* (pp. 187-203). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Jonides, J. & Smith, E.F. (1997). The architecture of working memory. In M.D. Rugg (Ed.), *Cognitive Neuroscience* (pp. 243-278). Hove, East Sussex: Psychology Press.

Jonides, J., Sylvester, C.-Y.C., Lacey, S.C., Wager, T.D., Nichols, T.E. & Awh, E. (2003). Modules of working memory. In R.H. Kluwe, G. Lüer, F. Rösler (Eds.), *Principles of Learning and Memory* (pp.113-134). Basel: Birkhäuser.

Kahneman, D. & Chajczyk, D. (1983). Tests of the automaticity of reading: Dilution of Stroop effects by color-irrelevant stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 9,* 497-509.

Keele, S.W. & Neill, T. (1978). Mechanisms of attention. In E.C. Carterette & P. Friedman (Eds.), *Handbook of Perception, Vol. IX* (pp. 3-47). New York: Academic Press.

Klein, G.S. (1964). Semantic power measured through the interference of words with color-naming. *American Journal of Psychology, 77,* 576-588.

Kluwe, R.H. (1997). Intentionale Steuerung kognitiver Prozesse. *Kognitionswissenschaft, 6,* 53-69.

Koch, I. (2001). Automatic and intentional activation of task sets. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 27,* 1474-1486.

Koch, I. & Allport, A. (2002). *Dissoziierbare Bahnungseffekte beim Aufgabenwechsel.* Vortrag gehalten auf der 44. Tagung experimentell arbeitender Psychologen, Chemnitz.

Kornblum, S. (1994). The way irrelevant dimensions are processed depends on what they overlap with: The case of Stroop- and Simon-like stimuli. *Psychological Research, 56,* 130-135.

Kornblum, S., Hasbroucq, T. & Osman, A. (1990). Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulus-response compatibility – a model and a taxonomy. *Psychological Review, 97,* 253-270.

LaBerge, D. (1981). Automatic information processing: A Review. In J. Long & A. Baddeley (Eds.), *Attention & Performance IX* (173-186). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

LaBerge, D. (2002). Attentional control: Brief and prolonged. *Psychological Research, 66,* 220-233.

Lhermitte, F. (1983). "Utilization behaviour" and its relation to lesions of the frontal lobes. *Brain, 106,* 237-255.

Logan, G.D. (1980). Attention and automaticity in Stroop and priming tasks: Theory and data. *Cognitive Psychology, 12,* 523-553.

Logan, G.D. (1985). Executive control of thought and action. *Acta Psychologia, 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: A user´s guide to the stop signal paradigm. In D. Dagenbach & T.H. Carr (Eds.), *Inhibitory Processes in Attention, Memory, and Language* (pp. 189-239). San Diego: Academic Press.

Logan, G.D. & Zbrodoff, N.J. (1979). When it helps to be misled: Facilitative effects of increasing the frequency of conflicting stimuli in a Stroop-like task. *Memory & Cognition, 7,* 166-174.

Long, D.L. & Pratt, C.S. (2002). Working memory and Stroop interference: An individual differences investigation. *Memory & Cognition, 30,* 294-301.

Lowe, D.G. (1979). Strategies, context, and the mechanism of response inhibition. *Memory & Cognition, 7,* 382-389.

Lowe, D.G. (1985). Further investigations of inhibitory mechanisms in attention. *Memory & Cognition, 13,* 74-80.

Lowe, D.G. (1998). Long-term positive and negative identity priming: Evidence for episodic retrieval. *Memory & Cognition, 26,* 435-443.

Lowe, D.G. & Mitterer, J.O. (1982). Selective and divided attention in a Stroop task. *Canadian Journal of Psychology, 36 A,* 684-700.

Lu, C.-H. (1997). Correspondence effects for irrelevant information in choice-reaction tasks : Characterizing the stimulus-response relations and the processing dynamics. In B. Hommel & W. Prinz (Eds.), *Theoretical Issues in Stimulus-Response-Compatibility* (pp. 85-117). North-Holland: Elsevier.

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.

Ludwig, C.J.H. & Gilchirst, I.D. (2002). Stimulus-driven and goal-driven control over visual selection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 28,* 902-912.

Lustig, C., Hasher, L. & Tonev, S.T. (2001). Inhibitory control over the present and the past. *European Journal of Cognitive Psychology, 13,* 107-122.

MacLeod, C.M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin, 109,* 163-203.

MacLeod, C.M. & Dunbar, K. (1988). Training and Stroop-like interference: Evidence for a continuum of automaticity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 14,* 126-135.

Marble, J.G. & Proctor, R.W. (2000). Mixing location-relevant and location-irrelevant choice-reaction tasks: Influences of location mapping on the Simon Effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 26,* 1515-1533.

Mayr, U. (2003). Towards principles of executive control: How mental sets are selected. In R.H. Kluwe, G. Lüer, F. Rösler (Eds.), *Principles of Learning and Memory* (pp. 223-240). Basel: Birkhäuser.

Mayr, U. & Keele, S.W. (2000). Changing internal constraints on action: The role of backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: General, 129,* 4-26.

Mayr, U. & Kliegl, R. (2000). Task-set switching and long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 26,* 1124-1140.

Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 22,* 1423-1442.

Meiran, N. (2000a). Modeling cognitive control in task-switching. *Psychological Research, 63,* 234-249.

Meiran, N. (2000b). Reconfiguration of stimulus task sets and response task sets during task switching. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes* (pp. 377-399). Cambridge, MA: MIT Press.

Meiran, N., Chorev, Z. & Sapir, A. (2000). Component processes in task switching. *Cognitive Psychology, 41,* 211-253.

Meiran, N. & Marciano, H. (2002). Limitations in advance task preparation: Switching the relevant stimulus dimension in speeded same-different comparisons. *Memory & Cognition, 30,* 540-550.

Mewaldt, S.P., Connelly, C.L. & Simon, J.R. (1980). Response selection in choice reaction time: Test of a buffer model. *Memory & Cognition, 8,* 606-611.

Miller, E.K. & Cohen, J.D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience, 24,* 167-202.

Milliken, B. & Tipper, S.P. (1998). Attention and Inhibition. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 191-221). San Diego: Psychology Press.

Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, M.J., Witzki, A.H., Howerter, A. & Wager, T.D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contribution to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41,* 49-100.

Monsell, S. & Driver, J. (2000). Banishing the control homunculus. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes* (pp. 3-32). Cambridge, MA: MIT Press.

Monsell, S., Taylor, T.J. & Murphy, K. (2001) Naming the color of a word: Is it responses or task sets that compete? *Memory & Cognition, 29,* 137-151.

Monsell, S. Yeung, N. & Azuma, R. (2000). Reconfiguration of task-set: Is it easier to switch to the weaker task? *Psychological Research, 63,* 250-264.

Müller, H.-J. & Krummenacher, J. (2002). Aufmerksamkeit. In J. Müsseler & W. Prinz (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (S. 118-177). Heidelberg: Spektrum.

Müller, H.-J. & Rabbitt, P.M.A. (1989). Reflexive and voluntary orienting of visual attention: Time course of activation and resistance to interruption. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 15,* 315-330.

Navon, D. & Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychological Review, 86,* 214-255.

Neill, W.T. (1977). Inhibitory and facilitatory processes in selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 3,* 444-450.

Neill, W.T. (1979). Switching attention within and between categories; Evidence for intracategory inhibition. *Memory & Cognition, 7,* 283-290.

Neill, W.T., Lissner, L.S. & Beck, J.L. (1990). Negative priming in same-different matching: Further evidence for a central locus of inhibition. *Perception & Psychophysics, 48,* 398-400.

Neill, W.T., Valdes, L.A. (1992). Persistence of negative priming: Steady state or decay? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 18,* 565-576.

Neill, W.T., Valdes, L.A. & Terry, K.M. (1995). Selective attention and the inhibitory control of cognition. In F.N. Dempster & C.J. Brainerd (Eds.), *Interference and Inhibition in Cognition* (pp. 207-261). San Diego: Academic Press.

Neill, W.T., Valdes, L.A., Terry, K.M. & Gorfein, D.S. (1992). Persistence of negative priming: II. Evidence for episodic trace retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 18,* 993-1000.

Neill, W.T. & Westberry, R.L. (1987). Selective attention and the suppression of cognitive noise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 13,* 327-334.

Neumann, E. & DeSchepper, B.G. (1992). An inhibition-based fan effect: Evidence for an active suppression mechanism in selective attention. *Canadian Journal of Psychology, 46,* 1-40.

Neumann, O. (1984). Automatic Processing: A review of recent findings and a plea for an old theory. In W. Prinz & A.F. Sanders (Eds.), *Cognition and Motor Processes* (pp. 255-293). Berlin: Springer.

Neumann, O. (1987). Beyond capacity: A functional view of attention. In H. Heuer & A.F. Sanders (Eds.), *Perspectives of Perception and Action* (pp. 361-394). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Neumann, O. (1992). Theorien der Aufmerksamkeit: Von Metaphern zu Mechanismen. *Psychologische Rundschau, 43,* 83-101.

Neumann, O. (1996). Theorien der Aufmerksamkeit. In N. Birbaumer (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C, Theorie und Forschung. Serie 2, Kognition. Band 2. Aufmerksamkeit* (S. 559-643). Göttingen: Hogrefe.

Nicoletti, R. & Umiltà, C. (1984). Right-left prevalence in spatial compatibility. *Perception & Psychophysics, 35,* 333-343.

Nicoletti, R. & Umiltà, C. (1985). Responding with hand and foot: The right/left prevalence in spatial compatibility is still present. *Perception & Psychophysics, 38,* 211-216.

Norman, D.A. & Shallice, T. (1986). Attention to Action. In R.J. Davidson, G.E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and Self Regulation: Advances in Research (and Theory), Vol. 4,* (pp. 1-18). New York: Plenum.

O´Leary, M.J. & Barber, P.J. (1993). Interference effects in the Stroop and Simon Paradigms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 19,* 830-844.

O´Leary, M.J. & Barber, P.J. (1994). Stimulus congruence and the Simon effect. *Psychological Research, 56,* 196-202.

Palef, S.R. & Olson, D.R. (1975). Spatial and verbal rivalry in a Stroop-like task. *Canadian Journal of Psychology, 29,* 201-209.

Pardo, J.V., Pardo, P.J., Janer, K.W. & Raichle, M.E. (1990). The anterior cingulated cortex mediates processing selection in the Stroop attentional conflict paradigm. *Proceedings of the National Academy of Science, USA, 87,* 256-259.

Pashler, H. (1998). *Attention.* San Diego: Psychology Press.

Pashler, H., Johnston, J.C. & Ruthruff, E. (2001). Attention and Performance. *Annual Review of Psychology, 52,* 629-651.

Pösse, B. (2001). *Eine Aufgabe umfaßt mehr als eine Menge von Regeln. Zur Bindung von Reiz- und Reaktionsmerkmalen unter Aufgabenwechselbedingungen.* Berlin: Logos-Verlag. (Dissertation)

Posner, M.I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 32,* 3-25.

Posner, M.I. & Boies, S.J. (1971). Components of attention. *Psychological Review, 78,* 391-408.

Posner, M.I. & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In H. Bouma & D.G. Bouwhuis (Eds.), *Attention and Performance X: Control of Language Processes* (pp. 531-556). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Posner, M.I., Nissen, M.J. & Ogden, W.C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H.L. Pick (jr.) & I.J. Saltzman (Eds.), *Modes of Perceiving and Processing Information* (pp. 137-157). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Posner, M.I. & Snyder, C.R.R. (1975a). Attention and cognitive control. In R. Solso (Ed.), *Information Processing and Cognition: The Loyola Symposium* (S. 55-85). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Posner, M.I. & Snyder, C.R.R. (1975b). Facilitation and Inhibition in the processing of signals. In P.M.A. Rabbitt & S. Dornic (Eds.), *Attention and Performance V* (pp. 669-682). New York: Academic Press.

Prinz, W. (1998). Die Reaktion als Willenshandlung. *Psychologische Rundschau, 49,* 10-20.

Proctor R.W. & Lu, C.-H. (1999). Processing irrelevant location information: Practice and transfer effects in choice-reaction tasks. *Memory & Cognition, 27,* 63-77.

Proctor R.W., Lu, C.-H., Wang, H. & Dutta, A. (1995). Activation of response codes by relevant and irrelevant stimulus information. *Acta Psychologia, 90,* 275-286.

Proctor, R.W. & Vu, K.-P-L (2002). Mixing location-irrelevant and location-relevant trials : Influence of stimulus mode on spatial compatibitity effects. *Memory & Cognition, 30,* 281-293.

Rafal, R. & Henik, A. (1994). The neurology of inhibition. Integrating controlled and automatic processes. In D. Dagenbach & T.H. Carr (Eds.), *Inhibitory Processes in Attention, Memory, and Language* (pp. 1-51). San Diego: Academic Press.

Remington, R.W, Folk, C.L. & McLean, J.P. (2001). Contingent attentional capture or delayed allocation of attention? *Perception & Psychophysics, 63,* 298-307.

Ridderinkhof, K.R. (2002) Micro- and macro-adjustments of task sets: Activation and suppression in conflict tasks. *Psychological Research, 66,* 312-323.

Rogers, R.D. & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General, 124,* 207-231.

Rubinstein, J.S., Meyer, D.E. & Evans, J.E. (2001). Executive control of cognitive processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 27,* 763-797.

Ruthruff, E., Remington, R.W. & Johnston, J.C. (2001). Switching between simple cognitive tasks: The interaction of top-down and bottom-up factors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 27,* 1404-1419.

Sandson, J. & Albert, M.L. (1984). Varieties of perseveration. *Neuropsychologia, 22,* 715-732.

Schneider, W., Dumais, S.T. & Shiffrin, R.M. (1984). Automatic and control processing and attention. In Parasuranam & D.R. Davies (Eds.), *Varieties of Attention* (pp.1-27). New York: Academic Press.

Schneider, W. & Shiffrin, R.M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review, 84,* 1-66.

Schuch, S. & Koch, I. (2003). The role of response selection for inhibition of task sets in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 29,* 92-105.

Shaffer, L.H. (1965). Choice reaction with variable S-R mapping. *Journal of Experimental Psychology, 70,* 284-288.

Shallice, T. & Burgess, P. (1991). Higher-order cognitive impairments and frontal lobe lesions in man. In H.S. Levin, H.M. Eisenberg & A.L. Benton (Eds.), *Frontal Lobe Function and Dysfunction* (pp. 125-138). New York: Oxford University Press.

Shiffrin, R.M. & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review, 84,* 127-190.

Simon, R. (1969). Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology, 81,* 174-176.

Simon, R. (1990). The effect of an irrelevant directional cue on human information processing. In R.W. Proctor & T.G. Reeve (Eds.), *Stimulus-Response Compatibility* (pp. 31-86). North-Holland: Elsevier.

Simon, R. & Acosta, E. (1982). Effect of irrelevant information on the processing of relevant information: Facilitation and/or interference? The influence of experimental design. *Perception & Psychophysics, 31,* 383-388.

Simon, R. & Berbaum, K. (1990). Effect of conflicting cues on information processing: The "Stroop effect" vs. the "Simon effect". *Acta Psychologia, 73,* 159-170.

Simon, J.R, Hinrichs, J.V. & Craft, J.L. (1970). Auditory S-R compatibility: Reaction time as a function of ear-hand correspondence and ear-response-location correspondence. *Journal of Experimental Psychology, 86,* 97-102.

Simon, J.R & Rudell, A.P. (1967). Auditory S-R compatibility: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology, 51,* 300-304.

Smith, E.E. & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science, 283 (12),* 1657-1661.

Sohn, M.-H. & Anderson, J.R. (2001). Task preparation and task repetition: Two-component model of task switching. *Journal of Experimental Psychology: General, 130, 764-778.*

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.

Spector, A. & Biederman, T. (1976). Mental set and mental shift revisited. *American Journal of Psychology, 89,* 669-679.

Stoffels, E.J. (1996a). On stage robustness and response selection routes: Further evidence. *Acta Psychologia, 91, 67-88.*

Stoffels, E.-J. (1996b). Uncertainty and processing routes in the selection of a response: An S-R compatibility study. *Acta Psychologia, 94,* 227-252.

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology, 18,* 643-662.

Stürmer, B. Leuthold, H., Soetens, E., Schröter, H. & Sommer, W. (2002) Control over location-based response activation in the Simon task: Behavioral and electrophysiological evidence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 28,* 1345-1363.

Styles, E. (1997). *The Psychology of Attention.* Bucks: Psychology Press.

Sudevan, P. & Taylor, D.A. (1987). The cuing and priming of cognitive operations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 13,* 89-103.

Tagliabue, M., Zorzi, M. & Umiltà, C. (2002). Cross-modal re-mapping influences the Simon effect. *Memory & Cognition, 30,* 18-23.

Tagliabue, M., Zorzi, M., Umiltà, C. & Bassignani, F. (2000). The role of long-term-memory and short-term-memory links in the Simon effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 26,* 648-670.

Theeuwes, J. (1991). Exogenous and endogenous control of attention: The effect of visual onsets and offsets. *Perception & Psychophysics, 49,* 83-90.

Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & Psychophysics, 51,* 599-606.

Theeuwes, J., Achtley, P. & Kramer, A.F. (2000). On the time course of top-down and bottom-up control of visual attention. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes* (pp. 105-124). Cambridge, MA: MIT Press.

Tipper, S.P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 37A,* 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, 54A,* 321-343.

Tipper, S.P. & Cranston, M. (1985). Selective attention and priming: Inhibitory and facilitatory effects of ignored primes. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 37A,* 591-611.

Tipper, S.P. & Driver, J. (1988). Negative priming between pictures and words in a selective attention task: Evidence for semantic processing of ignored stimuli. *Memory & Cognition, 16,* 64-70.

Tipper, S.P., MacQueen, G.M. & Brehaut, J.C. (1988). Negative priming between response modalities: Evidence for the central locus of inhibition in selective attention. *Perception & Psychophysics, 43,* 45-52.

Tipper, S.P., Weaver, B., Cameron, S., Brehaut, J.C. & Bastedo, J. (1991). Inhibitory mechanisms of attention in identification and localization tasks: Time course and disruption. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 17,* 681-692.

Tipper, S.P., Weaver, B. & Houghton, G. (1994). Behavioural goals determine inhibitory mechanisms of selective attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 47A,* 809-840.

Tipper, S.P., Weaver, B. & Kirkpatrick, J. (1991). Inhibitory mechanisms of attention: Locus, stability, and relationship with distractor interference effects. *British Journal of Psychology, 82,* 507-520.

Treisman, A. & Geffen, G. (1967). Selective attention: Perception or response? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, XIX,*1-17.

Umiltà, C. & Nicoletti, R. (1985). Attention and coding effects in S-R-compatibility due to irrelevant spatial cues. In M.I. Posner & O.S.M. Marin (Eds.), *Attention and Performance XI* (pp. 457-471). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Umiltà, C. & Nicoletti, R. (1990). Spatial stimulus-response-compatibility. In R.W. Proctor & T.G. Reeve (Eds.), *Stimulus-Response Compatibility* (pp. 89-116). North-Holland: Elsevier.

Umiltà, C. & Nicoletti, R. (1992). An integrated model of the Simon effect. In J. Alegria, D. Holender, J. Junca de Morais & M. Radeau (Eds.), *Analytic Approaches to Human Cognition* (pp. 331-350). North Holland: Elsevier.

Underwood, G. & Everatt, J. (1996). Automatische und gesteuerte Informations-verarbeitung: Die Rolle der Aufmerksamkeit bei der Verarbeitung des Neuen. In N. Birbaumer (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C, Theorie und Forschung. Serie 2, Kognition. Band 2. Aufmerksamkeit* (S. 267-331). Göttingen: Hogrefe.

Van der Heijden, A.H.C. (1992). *Selective Attention in Vision*. London: Routeledge.

Van der Heijden, A.H.C. (1996). Visuelle Aufmerksamkeit. In N. Birbaumer (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C, Theorie und Forschung. Serie 2, Kognition. Band 2. Aufmerksamkeit* (S. 7-60). Göttingen: Hogrefe.

Virzi, R.A. & Egeth, H.E. (1985). Toward a translational model of Stroop interference. *Memory & Cognition, 13,* 304-319.

Vu, K.-P.L. & Proctor, R.E. (2001). Determinants of right-left and top-bottom prevalence for two-dimensional spatial compatibility. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 27,* 813-828.

Wallace, R.J. (1971). S-R compatibility and the idea of a response code. *Journal of Experimental Psychology, 88,* 354-360.

Walley, R.E. & Weiden, T.D. (1973). Lateral inhibition and cognitive masking: A neuropsychological theory of attention. *Psychological Review, 80,* 284-302.

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 Psycholoy.*

Wickens, C.D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D.R. Davies (Eds.), *Varieties of Attention* (pp. 63-102). New York: Academic Press.

Wylie, G. & Allport, A. (2000). Task switching and the measurement of "switch costs". *Psychological Research, 63,* 212-233.

Yantis, S. (1998). Control of visual attention. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 223-256). San Diego: Psychology Press.

Yantis, S. (2000). Goal-directed and stimulus-driven determinants of attentional control. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes* (pp. 73-103). Cambridge, MA: MIT Press.

Yantis, S. & Jonides, J. (1984). Abrupt visual onsets and selective attention : Evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *10,* 601-621.

Yantis, S. & Jonides, J. (1990). Abrupt visual onsets and selective attention : Voluntary versus automatic allocation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 16,* 121-134.

Zacks, R.T. & Hasher, L. (1994). Directed ignoring. In D. Dagenbach & T.H. Carr (Eds.), *Inhibitory Processes in Attention, Memory, and Language* (pp. 241-264). San Diego: Academic Press.

Zorzi, M. & Umiltà, C. (1995). A computational model of the Simon effect. *Psychological Research, 58,* 193-205.

X Anhang

Im Anhang enthalten sind die mittleren Fehlerwerte sowie die mittleren natürlichen Logarithmen der Reaktionszeiten und die zugehörigen Standardabweichungen der Experimentalbedingungen der Experimente 1 bis 5. Für die verschiedenen gerechneten Analysen sind die jeweiligen Daten getrennt angegeben.

Tabelle 1: Mittlere Fehlerwerte und Standardabweichungen der Fehler in Experiment 1 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz)

		Kongruenz			
		dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Aufgabenwiederholung					
	dominant	,002	,008	,015	,016
	invers	,021	,022	,020	,026
Aufgabenwechsel					
	dominant	,029	,025	,026	,016
	invers	,031	,018	,014	,012

Tabelle 2: Mittlere logarithmierte Reaktionszeiten und Standardabweichungen in Experiment 1 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz)

		Kongruenz			
		dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Aufgabenwiederholung					
	dominant	5,899	,226	6,050	,269
	invers	6,242	,304	6,228	,259
Aufgabenwechsel					
	dominant	6,103	,331	6,157	,298
	invers	6,348	,340	6,288	,306

Tabelle 3: Mittlere Fehlerwerte und Standardabweichungen der Fehler in Experiment 1 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz (6-fach gestuft) und Kongruenz)

	Kongruenz			
	dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
Aufgabenübergang:	M	SD	M	SD
Wiederholung dominant	,002	,008	,015	,016
Wiederholung invers	,021	,022	,020	,026
Wechsel dominant-dominant	,019	,026	,013	,022
Wechsel invers-dominant	,034	,034	,031	,019
Wechsel dominant-invers	,025	,016	,013	,014
Wechsel invers-invers	,041	,036	,014	,026

Tabelle 4: Mittlere logarithmierte Reaktionszeiten und Standardabweichungen in Experiment 1 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz (6-fach gestuft) und Kongruenz)

	Kongruenz			
	dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
Aufgabenübergang	M	SD	M	SD
Wiederholung dominant	5,899	,227	6,049	,269
Wiederholung invers	6,242	,302	6,236	,244
Wechsel dominant-dominant	6,103	,364	6,193	,318
Wechsel invers-dominant	6,080	,329	6,145	,292
Wechsel dominant-invers	6,345	,330	6,237	,284
Wechsel invers-invers	6,418	,342	6,355	,321

Tabelle 5: Mittlere Fehlerwerte und Standardabweichungen der Fehler in Experiment 1 (Analyse der Faktoren Dominanz n-1, Dominanz und BI-Sequenz)

		BI-Sequenz			
		ABA		*CBA*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Dominanz n-1: dominant					
	dominant	,005	,021	,021	,025
	invers	,011	,019	,022	,017
Dominanz n-1: invers					
	dominant	,033	,036	,032	,026
	invers	,044	,061	,034	,029

Tabelle 6: Mittlere logarithmierte Reaktionszeiten und Standardabweichungen in Experiment 1 (Analyse der Faktoren Dominanz n-1, Dominanz und BI-Sequenz)

		BI-Sequenz			
		ABA		*CBA*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Dominanz n-1: dominant					
	dominant	5,651	,305	6,009	,347
	invers	6,221	,268	6,218	,320
Dominanz n-1: invers					
	dominant	6,205	,299	6,130	,315
	invers	6,388	,319	6,411	,345

Tabelle 7: Mittlere Fehlerwerte und Standardabweichungen der Fehler in Experiment 2 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz)

		Kongruenz			
		dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Aufgabenwiederholung					
	dominant	,007	,013	,018	,029
	invers	,027	,028	,027	,038
Aufgabenwechsel					
	dominant	,022	,022	,036	,026
	invers	,046	,039	,027	,037

Tabelle 8: Mittlere logarithmierte Reaktionszeiten und Standardabweichungen in Experiment 2 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz)

		Kongruenz			
		dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Aufgabenwiederholung					
	dominant	6,222	,207	6,343	,280
	invers	6,488	,266	6,514	,240
Aufgabenwechsel					
	dominant	6,470	,227	6,525	,270
	invers	6,631	,219	6,611	,193

Tabelle 9: Mittlere Fehlerwerte und Standardabweichungen der Fehler in Experiment 2 (Analyse der Faktoren Dominanz n-1, Dominanz und BI-Sequenz)

		BI-Sequenz			
		ABA		*CBA*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Dominanz n-1: dominant					
	dominant	,006	,017	,007	,017
	invers	,028	,030	,044	,043
Dominanz n-1: invers					
	dominant	,014	,023	,040	,038
	invers	,034	,055	,027	,035

Tabelle 10: Mittlere logarithmierte Reaktionszeiten und Standardabweichungen in Experiment 2 (Analyse der Faktoren Dominanz n-1, Dominanz und BI-Sequenz)

		BI-Sequenz			
		ABA		*CBA*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Dominanz n-1: dominant					
	dominant	6,015	,312	6,315	,229
	invers	6,516	,226	6,532	,205
Dominanz n-1: invers					
	dominant	6,550	,259	6,535	,242
	invers	6,570	,188	6,682	,227

Tabelle 11: Mittlere Fehlerwerte und Standardabweichungen der Fehler in Experiment 3 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz)

		Kongruenz			
		dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Aufgabenwiederholung					
	dominant	,007	,017	,015	,026
	invers	,008	,015	,004	,010
Aufgabenwechsel					
	dominant	,033	,039	,042	,028
	invers	,045	,055	,015	,022

Tabelle 12: Mittlere logarithmierte Reaktionszeiten und Standardabweichungen in Experiment 2 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz)

		Kongruenz			
		dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Aufgabenwiederholung					
	dominant	6,233	,190	6,394	,201
	invers	6,581	,195	6,571	,201
Aufgabenwechsel					
	dominant	6,480	,210	6,548	,236
	invers	6,719	,232	6,699	,226

Tabelle 13: Mittlere Fehlerwerte und Standardabweichungen der Fehler in Experiment 3 (Analyse der Faktoren Dominanz n-1, Dominanz und BI-Sequenz)

		BI-Sequenz			
		ABA		*CBA*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Dominanz n-1: dominant					
	dominant	0,00	0,00	,021	,037
	invers	,039	,064	,035	,040
Dominanz n-1: invers					
	dominant	,039	,045	,058	,038
	invers	,017	,049	,034	,040

Tabelle 14: Mittlere logarithmierte Reaktionszeiten und Standardabweichungen in Experiment 3 (Analyse der Faktoren Dominanz n-1, Dominanz und BI-Sequenz)

		BI-Sequenz			
		ABA		*CBA*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Dominanz n-1: dominant					
	dominant	6,004	,266	6,338	,200
	invers	6,590	,255	6,603	,215
Dominanz n-1: invers					
	dominant	6,559	,239	6,508	,225
	invers	6,737	,212	6,783	,226

Tabelle 15: Mittlere Fehlerwerte und Standardabweichungen der Fehler in Experiment 4 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz, Kongruenz und Cuevalidität): Valide Durchgänge

Valide Durchgänge		*Kongruenz*			
		dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Aufgabenwiederholung					
	dominant	,007	,021	,008	,014
	invers	,050	,058	,032	,058
Aufgabenwechsel					
	dominant	,022	,022	,047	,035
	invers	,070	,105	,028	,025

Tabelle 16: Mittlere Fehlerwerte und Standardabweichungen der Fehler in Experiment 4 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz, Kongruenz und Cuevalidität): Invalide Durchgänge

invalide Durchgänge		*Kongruenz*			
		dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Aufgabenwiederholung					
	dominant	,040	,061	,059	,081
	invers	,040	,064	,013	,029
Aufgabenwechsel					
	dominant	,048	,049	,047	,042
	invers	,050	,064	,056	,041

Tabelle 17: Mittlere logarithmierte Reaktionszeiten und Standardabweichungen in Experiment 4 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz, Kongruenz und Cuevalidität):
Valide Durchgänge

Valide Durchgänge		*Kongruenz*			
		dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Aufgabenwiederholung					
	dominant	6,079	,254	6,232	,269
	invers	6,458	,347	6,432	,354
Aufgabenwechsel					
	dominant	6,246	,298	6,344	,322
	invers	6,540	,364	6,503	,333

Tabelle 18: Mittlere logarithmierte Reaktionszeiten und Standardabweichungen in Experiment 4 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz, Kongruenz und Cuevalidität):
Invalide Durchgänge

Invalide Durchgänge		*Kongruenz*			
		dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Aufgabenwiederholung					
	dominant	6,668	,270	6,699	,278
	invers	6,868	,313	6,796	,304
Aufgabenwechsel					
	dominant	6,715	,243	6,769	,268
	invers	6,886	,270	6,864	,291

Tabelle 19: Mittlere Differenzen der Fehlerraten und Standardabweichungen in Experiment 4 (Differenzen (dominant, invers angekündigt – dominant, valide angekündigt) versus (invers, dominant angekündigt – invers, valide angekündigt)

Invaliditätskosten für:	*M*	*SD*
dominante Aufgabe, invers angekündigt	,040	,052
inverse Aufgabe, dominant angekündigt	-,008	,054

Tabelle 20: Mittlere logarithmierte Reaktionszeiten und Standardabweichungen in Experiment 4 (Differenzen (dominant, invers angekündigt – dominant, valide angekündigt) versus (invers, dominant angekündigt – invers, valide angekündigt)

Invaliditätskosten für:	*M*	*SD*
dominante Aufgabe, invers angekündigt	,466	,154
inverse Aufgabe, dominant angekündigt	,284	,179

Tabelle 21: Mittlere Fehlerwerte und Standardabweichungen der Fehler in Experiment 5 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz)

		Kongruenz			
		dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Aufgabenwiederholung					
	dominant	,008	,019	,021	,029
	invers	,028	,027	,022	,029
Aufgabenwechsel					
	dominant	,019	,017	,028	,019
	invers	,112	,084	,062	,047

Tabelle 22: Mittlere logarithmierte Reaktionszeiten und Standardabweichungen in Experiment 5 (Analyse der Faktoren Aufgabensequenz, Dominanz und Kongruenz)

		Kongruenz			
		dominant-kongruent		*invers-kongruent*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Aufgabenwiederholung					
	dominant	6,269	,192	6,388	,183
	invers	6,565	,248	6,660	,475
Aufgabenwechsel					
	dominant	6,562	,218	6,634	,215
	invers	6,983	,314	6,923	,229

Tabelle 23: Mittlere Fehlerwerte und Standardabweichungen der Fehler in Experiment 5 (Analyse der Faktoren Dominanz n-1, Dominanz und BI-Sequenz)

		BI-Sequenz			
		ABA		*CBA*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Dominanz n-1: dominant					
	dominant	,017	,033	,028	,031
	invers	,086	,062	,078	,057
Dominanz n-1: invers					
	dominant	,023	,031	,026	,024
	invers	,060	,067	,106	,099

Tabelle 24: Mittlere logarithmierte Reaktionszeiten und Standardabweichungen in Experiment 5 (Analyse der Faktoren Dominanz n-1, Dominanz und BI-Sequenz)

		BI-Sequenz			
		ABA		*CBA*	
	Dominanz	M	SD	M	SD
Dominanz n-1: dominant					
	dominant	6,144	,284	6,396	,191
	invers	6,784	,276	6,811	,243
Dominanz n-1: invers					
	dominant	6,665	,280	6,653	,281
	invers	6,990	,264	6,777	,840