

**DER EINFLUSS VON STRATEGIEN AUF DIE AUSWAHL
UND VERARBEITUNG VON INFORMATIONEN
BEI EINFACH- UND DOPPELAUFGABEN**

Dissertation

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

an der Universität Konstanz
Mathematisch-naturwissenschaftliche Sektion
Fachbereich Psychologie

vorgelegt von
Carola Lehle
2007

Tag der mündlichen Prüfung: 09. Juli 2007

1. Referent: Prof. Dr. Ronald Hübner
2. Referent: Prof. Dr. Harald Schupp

Danksagung

Verschiedene Personen haben mich während der Entstehung dieser Arbeit sehr unterstützt. Ihnen möchte ich an dieser Stelle meinen herzlich empfundenen Dank ausdrücken:

Dieser gilt an erster Stelle Herrn Prof. Dr. Ronald Hübner für die freundliche Betreuung dieser Arbeit und seinen tiefen Rat in allen fachlichen Fragen. Danken möchte ich außerdem Herrn Prof. Dr. Harald Schupp für die Übernahme der Zweitbegutachtung. Meinen Kollegen Dr. Michel Druey, Tobias Studer und Dr. Marco Steinhauser möchte ich für ihre nützlichen Anregungen und Aufmunterungen, Katalin Kermendi und Franka Glöckner für die Hilfe bei der Datenerhebung danken.

Ein besonderes Dankeschön geht an meine Eltern Dr. Elisabeth und Karl Schlögl, an meinen Bruder Frank Schlögl und an meinen Mann Dr. Thomas Lehle für ihre persönliche Unterstützung, die sich nur schwer in Worte fassen lässt. Auf sie konnte ich mich auch in schwierigen Zeiten immer verlassen.

Schließlich möchte ich noch meiner Großmutter Julie Preis danken, die die Fertigstellung dieser Arbeit nicht mehr erlebt hat. Ihre mitfühlende Art wird mir immer in Erinnerung bleiben.

Zusammenfassung

Bei der menschlichen Informationsverarbeitung stellen Reizidentifizierung und insbesondere Antwortauswahl Vorgänge mit begrenzter Kapazität dar. Ein zeitgleicher Ablauf dieser Vorgänge für mehrere Aufgaben kann daher nur bedingt stattfinden. Über eine strategische Variation der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit ist es möglich, zwei Aufgaben (eher) seriell oder (eher) parallel zu verarbeiten. Serielle Verarbeitung, bei der die Prozesse mit begrenzter Verarbeitungskapazität von jeweils nur einer Aufgabe beansprucht werden, gilt als optimale Strategie, um die Interferenz zwischen den Aufgaben zu reduzieren und damit die Leistung zu verbessern (Logan & Gordon, 2001; Meyer & Kieras, 1997b). Strategische Parallelverarbeitung mehrerer Reize kann unter bestimmten Bedingungen ebenfalls Leistungsvorteile erbringen. Dies wurde bislang nur für Einfachaufgaben aufgezeigt (z.B. Gratton, Coles, & Donchin, 1992). Um den Kenntnisstand zu dieser Thematik zu erweitern bzw. zu vertiefen, wurden in der vorliegenden Arbeit zwei Studien zur Untersuchung von Bedingungen, Auswirkungen und Grenzen einer strategischen Variation zwischen serieller bzw. fokussierter und paralleler Verarbeitung in Einfach- und Doppelaufgaben durchgeführt. Die erste Studie sollte klären, ob aktuell irrelevante Reize dann verstärkt parallel mit einem Zielreiz verarbeitet werden, wenn sie im Anschluss an die Beantwortung des Zielreizes für eine weitere Aufgabe *relevant* sind (Doppelaufgabe), als wenn dies nicht der Fall ist (Einfachaufgabe). Die Ergebnisse machten deutlich, dass eine starke Tendenz besteht, in Doppelaufgaben mit Aufgabenwiederholung parallel und in Einfachaufgaben fokussiert zu arbeiten. Bei bestimmten Veränderungen in der Aufgabenstruktur bzw. im Kontext wurde jedoch auch in Doppelaufgaben eine serielle und in Einfachaufgaben eine parallele Strategie angewandt. Von daher stellte sich die Frage, ob der Grad der Parallelverarbeitung auch variiert werden kann, wenn Struktur und Kontext der Aufgabe konstant bleiben. Um dies zu untersuchen, wurde die zweite Studie durchgeführt. Dort erwiesen sich die Versuchsteilnehmer in der Lage, innerhalb gewisser Grenzen serielle und parallele Verarbeitungsstrategien in Doppelaufgaben entsprechend expliziter Instruktionen *direkt* umzusetzen. Der Grad strategischer Parallelverarbeitung stellte sich damit als bewusst zugänglich und kognitiv beeinflussbar dar. Evident wurde ferner, dass verstärkte Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben *keinen* ersichtlichen Leistungsvorteil ergibt. Möglicherweise aber minimiert Parallelverarbeitung den Aufwand kognitiver Kontrolle. Insgesamt unterstützen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit theoretische Modelle, die Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben auch auf der Stufe der Antwortauswahl zulassen und zugleich Strategien einen wesentlichen Einfluss auf die Aufgabenbearbeitung einräumen.

Summary

In the human information processing system, identification of stimuli and particularly response selection constitute processes with restricted capacity. Therefore, these processes can run simultaneously for several stimuli, respectively, tasks only in a limited way. However, by a strategic variation of visuo-spatial attention, two tasks can be processed either in a (more) serial or in a (more) parallel mode. Serial processing, where the processes with limited capacity are accessed only by one task at a time, is believed to be an optimal strategy to minimize the interference between the tasks and thus to improve performance (Logan & Gordon, 2001; Meyer & Kieras, 1997b). Parallel processing of several stimuli can also lead to benefits in performance under certain conditions. Up to now, this has only been demonstrated for single tasks (z.B. Gratton et al., 1992). To expand, respectively, deepen the state of knowledge about this issue, two studies were conducted in the present work. There, the preconditions, consequences and limitations of a strategic modulation between serial, respectively, focused and parallel processing in single *and* dual tasks were investigated. In the first study, it was examined whether momentarily irrelevant stimuli are processed more in parallel with a target, if they are *relevant* – after responding to the target – as stimuli for a secondary task (dual tasks), as compared to a situation where this is not the case (single task). The results clearly indicated a strong tendency to work in parallel in dual tasks with task repetition and in a focused mode in single tasks. However, with particular changes in the task structure, respectively, in the context, participants also adopted a serial strategy in dual tasks and a parallel strategy in single tasks. This led to the question whether the degree of parallel processing can also be varied if the essential features of the task remain fixed. In order to investigate this, the second study was conducted. There, participants proved to be able to *directly* realize serial and parallel processing strategies in dual tasks according to explicit instructions – within certain boundaries. The degree of strategic parallel processing thus appeared to be consciously accessible and cognitively modifiable. Moreover, it became evident that increased parallel processing in dual tasks does *not* lead to an obvious benefit in performance. Parallel processing, however, might minimize the effort of cognitive control. Altogether, the results of the present work support theoretical models that allow parallel processing also on the stage of response selection in dual tasks and that, moreover, concede strategies a major role in task processing.

Inhaltsverzeichnis

I Einführung: Die Auswahl relevanter und der Einfluß irrelevanter Informationen bei der Aufgabenbearbeitung	1
1 Allgemeine Aspekte zu Strategien und Kontrolle.....	2
2 Auswahl durch visuelle selektive Aufmerksamkeit.....	9
2.1 Mechanismen der Auswahl.....	9
2.1.1 Passive Mechanismen: Physikalisch-perzeptuelle Einflüsse.....	10
2.1.2 Aktive Mechanismen: Einfluss kognitiver Kontrolle.....	17
2.2 Der Einfluss irrelevanter Reize in Einfachaufgaben.....	21
2.2.1 Das Eriksen Flankerparadigma.....	22
2.2.2 Der Filterort irrelevanter Reize.....	25
2.3 Verarbeitung irrelevanter Information: Automatisch, unwillkürlich oder strategisch?	30
2.3.1 Automatische versus unwillkürliche Mitverarbeitung.....	30
2.3.2 Strategische Mitverarbeitung.....	32
3 Informationsverarbeitung bei Doppelaufgaben.....	37
3.1 Leistung und Interferenz in Doppelaufgaben.....	38
3.1.1 Allgemeine Befunde.....	38
3.1.2 Spezifische Interferenz bei Aufgaben mit und ohne semantische Überlappung.....	40
3.2 Erklärungsansätze zur Doppelaufgabenverarbeitung.....	43
3.2.1 Art und Ort des Engpasses.....	43
3.2.2 Einflüsse von Vorbereitung, Strategien und Antwortgruppierung.....	48
3.3 Auswahl von Antworten: Serielle Abfolge oder Kapazitätsteilung?	56
3.3.1 Das Central Bottleneck (CB) Modell.....	57
3.3.2 Das Central Capacity Sharing (CCS) Modell.....	61
3.3.3 Schwierigkeiten beim Nachweis von Kapazitätsteilung.....	65
4 Überlegungen zum Kapazitätsbegriff.....	69
5 Zusammenfassung und Ausblick auf die Studien.....	72
II Studie 1: Zur Rolle der Aufgabenrelevanz bei der strategischen Mitverarbeitung von Flankern bei Einfach- und Doppelaufgaben	75
1 Einleitung.....	76
2 Experiment 1.....	78
2.1 Methode.....	79
2.2 Ergebnisse.....	82
2.3 Diskussion.....	84
3 Experiment 2A.....	89
3.1 Methode.....	91
3.2 Ergebnisse.....	92

3.3	Diskussion	95
4	Experiment 2B	99
4.1	Methode	99
4.2	Ergebnisse	100
4.3	Diskussion	102
5	Experiment 3	103
5.1	Methode	105
5.2	Ergebnisse	106
5.3	Diskussion	108
6	Experiment 4	109
6.1	Methode	111
6.2	Ergebnisse	111
6.3	Diskussion	113
7	Experiment 5	115
7.1	Methode	116
7.2	Ergebnisse	117
7.3	Diskussion	120
8	Zwischendiskussion von Studie 1	121
III Studie 2: Strategische Kapazitätsteilung in Doppelaufgaben.....		131
1	Einleitung	132
2	Experiment 1	134
2.1	Methode	136
2.2	Ergebnisse	139
2.3	Diskussion	145
3	Experiment 2	149
3.1	Methode	149
3.2	Ergebnisse	150
3.3	Diskussion	154
4	Zwischendiskussion von Studie 2	155
IV Gesamtdiskussion.....		167
V Literaturverzeichnis.....		187
Anhang		
A.	Formalisierte Beschreibung des CCS Modells.....	ii
B.	Anpassung des CCS Modells an die Daten aus Studie 2.....	v

I

Einführung:

Die Auswahl relevanter und der Einfluß irrelevanter Informationen bei der Aufgabenbearbeitung

1 Allgemeine Aspekte zu Strategien und Kontrolle

Im Alltagsverständnis impliziert der Begriff Strategie den Einsatz eines bestimmten Verhaltens zum Erreichen eines angestrebten Ziels. Strategisches Verhalten kommt also nicht zufällig zustande, sondern beinhaltet vielmehr bewusste Überlegung und Planung. Sinnvolle Planung setzt ihrerseits eine hinreichend genaue Kenntnis der Bedingungen und Konsequenzen des beabsichtigten Verhaltens voraus.

Doch wie lässt sich strategisches Verhalten genauer beschreiben? Bekanntlich können viele Wege zum Ziel führen und praktisch jede Art von Handlung zum Bestandteil einer Strategie werden. Dies offenbart bereits die Schwierigkeit, die konkrete Erscheinungsform sowie inhaltliche Beschaffenheit strategischen Verhaltens festzuschreiben. Hinzu kommt, dass die Beschaffenheit einer Handlung selten rein strategischer Natur ist. Gewöhnlich sind nur bestimmte Komponenten einer Handlung intentional beeinflussbar, während andere Aspekte bestimmten Einschränkungen seitens der Umwelt unterliegen und somit nicht oder nur schwer modifizierbar sind. Kennzeichen strategischen Verhaltens müssen daher in vergleichsweise abstrakter Art und Weise definiert werden.

Höhere kognitive Funktionen

Der Begriff Strategie wird in der Kognitiven Psychologie häufig in Zusammenhang mit dem Begriff Kontrolle genannt. Denn nur wenn eine Person über ausreichende Kontrollmöglichkeiten in Bezug auf das eigene Verhalten und die Umgebung verfügt, können zielgerichtete Handlungen wirkungsvoll geplant und ausgeführt werden. Dies ist beispielsweise dann nicht möglich, wenn der Ausgang einer Situation vollständig von Umweltfaktoren abhängt, auf welche die Person keinen Einfluss nehmen kann. Strategisches Verhalten setzt also eine gewisse Kontrollierbarkeit seitens der Person voraus.

Als wichtige Kontrollfunktionen gelten dabei vor allem Selektivität und Inhibition. Unter Selektivität versteht man die Fähigkeit zur Bewertung und Auswahl von Informationen; Inhibition bezeichnet dabei die Hemmung unerwünschter Verarbeitungsprozesse und Verhaltenstendenzen. Dies soll im Folgenden kurz erläutert werden: Voraussetzung für strategisches Verhalten ist zunächst die Bewertung dessen, was für die Erreichung eines bestimmten Ziels wesentlich ist. Entsprechend dieser Einschätzung muss dann eine Auswahl getroffen werden,

die alle Ebenen der Informationsverarbeitung und des Verhaltens betreffen kann. Bereits auf der Stufe der Wahrnehmung gilt es, relevante von irrelevanten Informationen zu unterscheiden und erstere bevorzugt zu beachten. Sodann müssen geeignete kognitive Operationen zur Weiterverarbeitung der Information festgelegt werden, wie z.B. die Speicherung der Information im Langzeitgedächtnis. Auf der Ausgangsseite der Informationsverarbeitung schließlich heißt es, angemessene offene Reaktionen auszuwählen und auszuführen. Inhibition bezeichnet dabei, wie bereits erwähnt, die aktive Unterdrückung von nicht zum Ziel führenden Prozessen. Die Fähigkeit zur Inhibition steht daher in engem Zusammenhang mit der Selektivität und spielt auf allen Verarbeitungsebenen eine Rolle – von der Blockierung irrelevanter Reize während des Wahrnehmungsprozesses (Houghton & Tipper, 1994) bis zur aktiven Unterdrückung unerwünschter Handlungsimpulse bei der Reaktionsausführung (Logan & Cowan, 1984). Insbesondere bei der Unterdrückung reflexhafter und automatisierter Verhaltenstendenzen ist die Fähigkeit zur Inhibition entscheidend (Logan, 1985). Bei der strategischen Informationsverarbeitung geht es also darum, die Verarbeitung relevanter Inhalte zu verstärken und die irrelevanter abzuschwächen. Analog dazu müssen zielgerichtete Verhaltensweisen ausgewählt und irreführende bzw. unerwünschte Handlungstendenzen unterdrückt werden.

Die hier umrissenen kognitiven Funktionen gehören zu den so genannten *exekutiven Funktionen*, die für die aktive und erfolgreiche Gestaltung des täglichen Lebens entscheidend sind. Das neurophysiologische Korrelat dieser Funktionen befindet sich aller Wahrscheinlichkeit nach im präfrontalen Kortex (z.B. D'Esposito, Detre, Alsop, Shin, Atlas, & Grossmann, 1995; Frith, Friston, Liddle, & Frackowiak, 1991; Miller & Cohen, 2001). Eine Beeinträchtigung der exekutiven Funktionen, wie z.B. nach erworbener Schädigung des Zentralnervensystems in diesem Bereich, hat in der Regel gravierende Auswirkungen auf das Leben eines Betroffenen. Beobachtet wird hier die Unfähigkeit, Handlungen zu planen und zu initiieren, sowie einem gefassten Handlungsplan konsequent zu folgen. Des Weiteren werden Probleme beim Lernen aus Fehlern, bei flexibler Modifikation unangemessenen Verhaltens, bis hin zu erheblichen Schwierigkeiten beim Treffen persönlicher Entscheidungen und bei adäquatem Verhalten im sozialen Bereich festgestellt. Dies kann zu erheblicher Abhängigkeit von der Umgebung führen und die Selbständigkeit stark einschränken (z.B. Burgess & Shallice, 1996; Lhermitte, 1983).

Bottom-up und top-down Kontrolle

Strategische Steuerbarkeit des Verhaltens durch eine Person ist nur insofern gegeben, als die Person selbst der Urheber der Kontrolle ist. Es können sich jedoch auch bestimmte Umgebungsfaktoren mehr oder weniger stark kontrollierend auf das Verhalten auswirken. Bereits die Wahrnehmung wird von den Absichten und dem Vorwissen der Person gesteuert. Durch endogene Aufmerksamkeitsausrichtung kann die Wahrnehmungsintensität und -qualität bestimmter Reize verstärkt oder abgeschwächt werden. Geht die Steuerung von Wahrnehmung und Aufmerksamkeit in erster Linie von Eigenschaften des Reizmaterials aus, wird dies als *bottom-up Kontrolle* bezeichnet (im Sinne von „unten“ in der Hierarchie der Informationsverarbeitung); analog wird von *top-down Kontrolle* gesprochen, sofern Absichten und Ziele der Person ausschlaggebend sind (für eine Übersicht siehe z.B. Yantis, 2000). In ähnlicher Hinsicht werden auch die Begriffe *exogene* und *endogene* Kontrolle verwendet, wenn zwischen der Steuerung durch die Umgebung bzw. durch Faktoren „innerhalb“ der Person differenziert werden soll (z.B. Ruthruff, Remington, & Johnston, 2001b).

Allerdings unterliegen Informationsverarbeitung und Verhalten selten entweder der einen oder der anderen Kontrolle in reiner Form, sondern eher einer Mischung aus beiden mit variablen Anteilen. Sind bestimmte Ziele gefasst, determinieren dennoch Eigenschaften der Umgebung mehr oder minder stark die Beschaffenheit und Realisierung des Vorhabens. Dabei besitzt die Umgebung zumeist einschränkenden Charakter, indem die Anzahl theoretisch möglicher Verhaltensoptionen reduziert wird. *Datenlimitierte Verarbeitung* bedeutet in diesem Sinne, dass die Güte der Informationsverarbeitung aufgrund der Beschaffenheit des Reizmaterials verringert ist (Norman & Bobrow, 1975). So kann ein bestimmtes Reizmaterial zu schwach, verrauscht oder unvertraut sein, um eine tiefer gehende Verarbeitung zu ermöglichen. Ein Beispiel hierfür wäre das Entziffern eines schwerleserlichen Textes. In diesem Fall ist die Verarbeitung klar datenlimitiert und die resultierende schlechte Leseleistung entsprechend *bottom-up* verursacht.

Ressourcenlimitierte Verarbeitung ist hingegen dadurch charakterisiert, dass die Leistungsgrenze bei einer Aufgabe von der Verfügbarkeit kognitiver oder affektiver Ressourcen abhängt (Norman & Bobrow, 1975). Ressourcen bedeuten in diesem Zusammenhang z.B. Fähigkeiten und Fertigkeiten, Gedächtniseinheiten, Anstrengungsfähigkeit und -bereitschaft der Person. Insofern wäre bei einem verstärkten Einsatz von Ressourcen auch mit besserer

Leistung zu rechnen. Kann beispielsweise eine Person einen Text wegen unzureichender Lesefähigkeit nur schlecht verstehen, ließe sich die Leistung durch einen erhöhten Einsatz der genannten Ressourcen entsprechend steigern.

Strategische Einflüsse bei der Aufgabenbearbeitung können nur dann untersucht werden, wenn einerseits die Leistung nicht zu stark datenlimitiert ist und andererseits die verfügbaren Ressourcen einen entsprechenden Spielraum zur strategischen Einflussnahme zulassen. Bei der Untersuchung strategischen Verhaltens sind also immer auch die einschränkenden Faktoren zu berücksichtigen. Entsprechend kann eine Strategie definiert werden als eine optionale Organisation kognitiver Prozesse, um bestimmte Ziele in einer bestimmten Umgebung zu erreichen (siehe Logan, Zbrodoff, & Fostey, 1983). Nach dieser Definition stellt strategisches Verhalten stets einen Kompromiss dar zwischen den Beschränkungen durch die Umgebung, den Fähigkeiten und anderen Ressourcen im kognitiven und emotionalen Repertoire der Person sowie der Beschaffenheit der Ziele, die durch das Verhalten erreicht werden sollen. Da sich Strategien – wie andere Einflussfaktoren auch – systematisch verhalten, sind sie für experimentelle Untersuchungen prinzipiell geeignet.

Strategische Informations- und Reaktionsauswahl

Unter der Voraussetzung ausreichender *top-down* Kontrolle über eine Situation können Strategien auf verschiedenen Ebenen des Informationsverarbeitungsprozesses wirksam werden. Aktuell relevante Reize können so bevorzugt wahrgenommen, die gewünschte Verarbeitungstiefe gesteuert (z.B. oberflächliche Verarbeitung perzeptueller Merkmale oder Speicherung im Gedächtnis) und Art und Zeitpunkt einer offenen motorischen Reaktion bestimmt werden. Von besonderer Relevanz sind zwei Arten intentionaler Verhaltenskontrolle, nämlich die gezielte Ausrichtung von Aufmerksamkeit und die Bereitschaft, auf eine bestimmte Art und Weise zu reagieren. Die endogen gesteuerte Ausrichtung von Aufmerksamkeit spielt bereits während des Wahrnehmungsprozesses eine wichtige Rolle, weil damit Reize mit bestimmten Merkmalen oder aus bestimmten Kategorien bevorzugt beachtet und entsprechend schneller und tiefer gehender verarbeitet werden als die weniger beachteten Reize (für einen Überblick siehe z.B. Lachter, Forster, & Ruthruff, 2004).

Ist über die perzeptuelle Verarbeitung von Reizen hinaus eine bestimmte Aufgabe durchzuführen, müssen in der Regel auch Antworten ausgewählt und ausgeführt werden. Untersucht werden Prozesse der Antwortauswahl typischerweise mit Wahlreaktionsaufgaben.

Dort geht es darum, z.B. im Falle zweier Antwortalternativen, so rasch und so richtig wie möglich eine Entscheidung für eine Antwort A oder eine Antwort B zu treffen. Ähnlich wie bei der bevorzugten Verarbeitung bestimmter Reize auf der Wahrnehmungsseite kann es auf der Antwortseite eine erhöhte Bereitschaft geben, auf eine bestimmte Art und Weise zu reagieren. Man kann auch sagen, die Aufmerksamkeit ist endogen auf eine bestimmte Reaktionsalternative ausgerichtet. Eine solche Gewichtung kann strategische Ursachen haben, z.B. die Erwartung, dass in einer bestimmten Aufgabe „linke Taste drücken“ mit hoher Wahrscheinlichkeit die richtige Reaktion darstellt und diese daher bereits vor der eigentlichen Antwortauswahl in erhöhter Bereitschaft gehalten wird.

Erhöhte Bereitschaft für eine Reaktion bedeutet, dass die Antwortkriterien Geschwindigkeit und Genauigkeit entsprechend angepasst werden: Wird in einer Aufgabe Antwort A erwartet und die entsprechende Reaktion voraktiviert, so führt dies, wenn tatsächlich Antwort A ausgeführt wird, zu einer beschleunigten Antwort. Stellt sich jedoch Antwort B als richtig heraus, so ist aufgrund der falschen Voraktivierung die Fehlerwahrscheinlichkeit erhöht. Die Antwortkriterien Geschwindigkeit und Genauigkeit können in einer Aufgabe in Form eines Abgleichs strategisch angepasst werden (für eine Übersicht siehe z.B. Luce, 1986; Sanders, 1998). Eine Erhöhung der Geschwindigkeit führt häufig zu einer Erhöhung der Fehlerrate, während langsames Reagieren die Fehlerwahrscheinlichkeit verringert. Was im Einzelfall bevorzugt wird, hängt freilich von der jeweiligen Zielsetzung ab.

In Zusammenhang mit Strategien bei der Aufgabenbearbeitung werden auch die Begriffe Automatisierung und Fertigkeitserwerb genannt. Fertigkeitserwerb betrifft hauptsächlich die *top-down* Komponenten einer Aufgabe und geht mit der Anpassung von Antwortkriterien einher, d.h. mit der Optimierung von Geschwindigkeit und Genauigkeit (z.B. Sperling & Doshier, 1986; Treisman & Williams, 1984). Der Begriff der Automatisierung bezieht sich in erster Linie auf die *bottom-up* Aspekte einer Leistung, z.B. darauf, dass bestimmte Wahrnehmungsprozesse durch verstärkte Übung nach und nach rascher ablaufen (z.B. LaBerge & Samuels, 1974). Mit anderen Worten, Automatisierung lässt sich als die kontinuierliche Veränderung spezifischer Operationen im Informationsverarbeitungsprozess beschreiben, während man unter einer Fertigkeit die Koordination von verschiedenen Komponenten zur Durchführung komplexer Aufgaben versteht. Automatisierung einzelner Abläufe kann man auch als eine (notwendige) Komponente von Fertigkeit begreifen.

Zusammengefasst können sich strategische Einflüsse bei der Informationsverarbeitung im Wesentlichen auf zweierlei Art manifestieren: Im Rahmen der *Inputgewichtung* können – in Relation zu anderen Reizen – bestimmte Reize bevorzugt Zugang zu tiefer gehender Verarbeitung erhalten. Durch die *Outputgewichtung*, d.h. durch die Variation von Antwortkriterien im Sinne erhöhter oder erniedrigter Reaktionsbereitschaft und durch den Abgleich von Geschwindigkeit und Genauigkeit, lässt sich zum einen das gesamte Reaktionsniveau verändern und zum anderen die relative Aktivierung oder Inhibition einer bestimmten Antwortalternative gegenüber anderen Alternativen anpassen. In der vorliegenden Arbeit werden die Möglichkeiten der strategischen Inputgewichtung im Wesentlichen in Kapitel 2, die der Outputgewichtung in Kapitel 3 der Einführung näher dargestellt.

Flexibilität strategischer Anpassung

Automatisierung und Fertigkeitserwerb gehen mit Anpassungsprozessen über einen mehr oder weniger langen Zeitraum einher. Typischerweise können überwiegend *top-down* gesteuerte Prozesse rascher und flexibler angepasst werden als *bottom-up* gesteuerte. Letztere lassen sich mit zunehmender Übung zwar durchaus beschleunigen, wie z.B. visuelle Wahrnehmungsvorgänge (LaBerge & Samuels, 1974); es handelt sich dabei aber um zeitintensive, kontinuierliche Lernprozesse, die außerdem stimulusspezifisch zu sein scheinen, d.h. sich kaum bis gar nicht auf anderes Reizmaterial übertragen lassen (Strayer & Kramer, 1994b). Die Veränderung von *top-down* abhängigen Aspekten in einer Aufgabe kann – da bewusst-intentionaler Modifikation zugänglich – grundsätzlich flexibler und mit größerer Transferleistung ablaufen (Strayer & Kramer, 1994b). Man kann jedoch davon ausgehen, dass eine strategische Modifikation bestimmter Kriterien auch Zeit und kognitive Ressourcen benötigt, woraus sich Grenzen für die Flexibilität ergeben können (siehe hierzu z.B. Logan, 1985).

Treisman und Williams (1984) entwickelten ein Zwei-Stufen Modell zur Kriteriums-anpassung, das sich aus der Erfahrung mit Signalentdeckungsaufgaben herleitet. Diesem Modell zufolge werden in einer ersten Stufe die Antwortkriterien gemäß überdauernder Faktoren, wie z.B. der Aufgabeninstruktion oder der Belohnungsstruktur, eingestellt. Dieser erste Anpassungsprozess läuft in der Regel a priori, d.h. vor Beginn der Aufgabenbearbeitung, ab und die hier eingestellten Strategien gelten für eine längere Zeitdauer, z.B. für die Dauer eines gesamten Blocks von Aufgaben. Die zweite Stufe betrifft die Feinabstimmung, d.h. die Anpassung der Kriterien während der Aufgabenbearbeitung selbst auf der Basis aktueller

Gegebenheiten. Dabei kann die Feinabstimmung flexibel von Durchgang zu Durchgang modifiziert werden, während dies bei der übergeordneten strategischen Anpassung nicht möglich ist.

Strayer und Kramer (1994b) überprüften die Annahmen des Zwei-Stufen Modells der Kriteriums Anpassung in einer Serie von Experimenten, wobei davon ausgegangen wurde, dass die Versuchsteilnehmer die Antwortkriterien unterschiedlich anpassen, je nachdem ob eher automatisierte oder eher kontrollierte Verarbeitung gefordert ist. Automatisierte und kontrollierte Verarbeitung wurden daher durch verschiedene Aufgabenparadigmen realisiert (siehe Shiffrin & Schneider, 1977). Es wurde erwartet, dass im Falle automatisierter Verarbeitung die Antwortkriterien zugunsten höherer Geschwindigkeit verändert werden – beziehungsweise im Falle kontrollierter Verarbeitung zugunsten von mehr Genauigkeit. Die eher automatisiert respektive eher kontrolliert ablaufenden Aufgaben wurden sowohl in jeweils geblockter als auch in randomisierter Form präsentiert. Es zeigte sich, dass die Versuchsteilnehmer tatsächlich unterschiedliche Strategien für automatisierte bzw. kontrollierte Verarbeitung in der geblockten Bedingung etablierten, während diese Anpassung in den randomisierten Blöcken nicht erfolgte. Bei randomisierter Darbietung wurden die Kriterien somit nicht gemäß Aufgabentyp modifiziert, sondern eine Strategie durchgehend angewandt. Selbst Hinweisreize – verbunden mit einer ausreichenden Vorbereitungszeit – sowie explizite Instruktionen bezüglich Geschwindigkeit und Genauigkeit führten lediglich zu einer moderaten spontanen Kriteriums Anpassung (Strayer & Kramer, 1994b). Offensichtlich muss die strategische Modifikation von Geschwindigkeit und Genauigkeit, einer Form der *Outputgewichtung*, kontinuierlich über einen längeren Zeitraum erfolgen.

Die Anpassung von Antwortkriterien stellt jedoch lediglich *eine* Art strategischer Verhaltenskontrolle dar. Prozesse der *Inputgewichtung*, insbesondere Strategien bei der endogenen Kontrolle von Aufmerksamkeit, könnten sich als flexibler steuerbar erweisen (z.B. Dark, 1990; LaBerge, 1973; Logan & Zbrodoff, 1982). Diese Frage ist allerdings bislang noch unzureichend untersucht.

2 Auswahl durch visuelle selektive Aufmerksamkeit

Unsere Sinnesorgane, allen voran das visuelle System¹, nehmen gewöhnlich eine unvorstellbar große Menge an Informationen auf. Die Fähigkeit des visuellen Systems zur Parallelverarbeitung von Reizen ist zwar insgesamt hoch, aber nicht jede Information kann und soll tiefer gehend verarbeitet werden. Deshalb wählt ein kontinuierlicher Selektionsprozess relevante Evidenzquellen für die Weiterverarbeitung aus. Dieser Prozess läuft größtenteils unbewusst ab, kann jedoch auch bewusst gesteuert werden. Zu einem gegebenen Zeitpunkt stehen in der Regel nur bestimmte Ausschnitte des visuellen Feldes im Zentrum der Aufmerksamkeit.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, nach welchen Mechanismen dieser Selektionsprozess abläuft. Eine weitere Frage besteht darin, was mit den nicht-selektierten Reizen geschieht. Diese letzte Frage ist insbesondere deshalb interessant, da zahlreiche Befunde zeigen, dass auch eine als irrelevant ausgewiesene und nicht bewusst verarbeitete Information dennoch das Verhalten beeinflussen kann.

2.1 Mechanismen der Auswahl

Zur Untersuchung der Selektionsleistung durch visuelle Aufmerksamkeit wurden in früheren Studien unterschiedliche Arten von Aufgaben angewandt. Typischerweise werden im Kontext dieser Aufgaben eine Anzahl relevanter und irrelevanter Reize dargeboten. Dabei werden die relevanten Reize, auf die eine Reaktion gefordert ist, als *Zielreize* bezeichnet, die irrelevanten Reize, die in der Regel ignoriert werden sollen, als *Ablenkreize*. Für die erfolgreiche Aufgabendurchführung ist die Auswahl und Verarbeitung der antwortrelevanten Reize erforderlich. Je nach Art der Aufgabe sowie der Anzahl und Eigenschaften der Ablenkreize ist diese Selektionsleistung mehr oder weniger schwierig.

Bei der Auswahl relevanter Reize lassen sich in erster Linie „passive“ und „aktive“ Mechanismen unterscheiden. Bei den passiven Mechanismen handelt es sich im Wesentlichen um *bottom-up* Einflüsse der physikalischen Strukturierung des visuellen Feldes, die von räumlichen und anderen Eigenschaften des Reizmaterials abhängen. Die aktiven Mechanis-

¹ Da in der vorliegenden Arbeit ausschließlich visuelle Aufgaben verwendet werden, wird die Selektion durch Aufmerksamkeit hier vorrangig am Beispiel der visuellen Modalität dargestellt. Für Wirkungsmechanismen selektiver Aufmerksamkeit im auditiven Bereich siehe z.B. die Übersicht bei Scharf (1998).

men beziehen sich auf die intentionale, *top-down* gesteuerte Ausrichtung der Aufmerksamkeit durch die Person. Diese Unterscheidung spielt eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit der Frage nach der strategischen Beeinflussbarkeit der Reizverarbeitung.

2.1.1 Passive Mechanismen: Physikalisch-perzeptuelle Einflüsse

Reizort

Die so genannte *Lichtkegel-Metapher* visueller selektiver Aufmerksamkeit besagt, dass die Aufmerksamkeit gleich einem Scheinwerfer auf bestimmte zusammenhängende Regionen im visuellen Feld ausgerichtet werden kann. Die Information innerhalb dieser Region wird dementsprechend verstärkt beachtet und verarbeitet, die Information außerhalb hingegen mehr oder weniger ignoriert.

Evidenz für diese Annahmen kam in erster Linie aus Experimenten mit dem *Spatial-Cueing* Paradigma (Posner, 1978; Posner, Snyder, & Davidson, 1980). Bei diesen Aufgaben geht es darum, auf visuelle Reize hin, die an unterschiedlichen Stellen im visuellen Feld präsentiert werden, einfache Reaktionen auszuführen. Die Versuchsteilnehmer sollen dabei zu Beginn eines Durchgangs eine bestimmte Stelle, z.B. die Mitte des Bildschirms, fixieren. Mittels eines kurz erscheinenden Hinweisreizes wird dann der Ort markiert, an dem mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Zielreiz erscheint. Die Hinweisreize sind jedoch nur in einem bestimmten Prozentsatz der Durchgänge valide, d.h. sie zeigen nur in einem Teil derselben den Ort zuverlässig an, an dem der Zielreiz tatsächlich erscheinen wird. In den restlichen Durchgängen wird der Zielreiz an einem anderen Ort als angezeigt präsentiert. Zur Kontrolle werden üblicherweise auch Durchgänge ohne Hinweisreize eingestreut. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Entdeckungsleistung der Zielreize durch valide Hinweisreize deutlich verbessert im Vergleich zur Bedingung ohne diese. Sie wird hingegen beeinträchtigt durch invalide Hinweisreize (Posner, 1978; Posner et al., 1980).

Erscheint ein Hinweisreiz direkt an einem potentiellen Zielreizort (z.B. in Form eines Lichtblitzes), wird er in der Literatur auch als *peripherer Hinweisreiz* bezeichnet. Es zeigte sich, dass periphere Hinweisreize nicht ignoriert werden können, selbst wenn sie bekanntermaßen invalide sind. Das bedeutet, die visuell-räumliche Aufmerksamkeit wird unwillkürlich und automatisch auf den angezeigten Ort ausgerichtet. Periphere Hinweisreize erzielen die stärksten Effekte, wenn sie ca. 100-200 ms vor dem Zielreiz dargeboten werden, wobei sich

ein minimaler Effekt bereits nach 50 ms zeigt. Auch der Zerfall des Effekts tritt rasch ein; wird der Zielreiz erst ca. 200 ms nach dem Hinweisreiz oder noch später präsentiert, ist kein Vorteil (valide Hinweisreize) oder Nachteil (invalide Hinweisreize) mehr für die Reaktionszeit zu erwarten. Die exogen gesteuerte, räumliche Ausrichtung der Aufmerksamkeit erfolgt demnach sehr rasch und geht in der Regel den sakkadischen Augenbewegungen voraus (für eine Übersicht zu diesem Thema siehe z.B. Hoffman, 1998). Diese Ergebnisse veranlassten Posner (1980), die Existenz eines *exogenen Aufmerksamkeitsystems* zu postulieren, wonach die Aufmerksamkeit in passiv-automatischer Weise sehr schnell auf bestimmte Reize aus der Umgebung reagiert.

Frühe Theorien zu visuell-räumlicher Aufmerksamkeit gingen davon aus, dass der Lichtkegel der Aufmerksamkeit einen mehr oder weniger konstanten Durchmesser aufweist und lediglich in seiner Ausrichtung variabel ist (Eriksen & Eriksen, 1974; Posner et al., 1980). Jonides (1983) schlug später vor, anstatt eines konstanten Durchmessers zwei mögliche Anpassungsstufen anzunehmen, nämlich entweder eine breite Verteilung oder einen engen Fokus. Eriksen und Yeh (1985) teilten die Annahmen von Jonides (1983) weitgehend, kritisierten jedoch das Alles-oder-Nichts Prinzip der Aufmerksamkeitsverteilung. Die Modi „fokussiert“ und „verteilt“ sollten hingegen mehr als Pole eines Kontinuums denn als zwei distinkte Klassen betrachtet werden. Die Idee eines im Durchmesser kontinuierlich einstellbaren Fokus der Aufmerksamkeit prägte die *Zoomlinse-Metapher* der visuellen Aufmerksamkeit – später von Eriksen und St. James (1986) näher spezifiziert anhand der Annahme, dass sich die Beziehung zwischen dem Durchmesser der Linse und der Auflösungskraft invers verhält. Da die insgesamt zur Verfügung stehenden Aufmerksamkeitsressourcen weitgehend konstant bleiben, stehen bei kleinerem Aufmerksamkeitsfokus umso mehr Ressourcen pro Bildpunkt zur Verfügung. Freilich ist die Inversität der Beziehung zwischen Fokusbreite und Ressourcen nicht perfekt, da darüber hinaus ein Prinzip optimaler Aufmerksamkeitsverteilung wirkt und das Leistungsniveau beispielsweise auch von der Aufgabenschwierigkeit abhängt. Die Existenz variabler Verarbeitungsressourcen wird auch von anderen Theoretikern angenommen (siehe z.B. Kahneman, 1973; Navon, 1985; Norman & Bobrow, 1975).

Empirische Bestätigung für die Zoomlinse-Metapher der Aufmerksamkeit kam aus einer Reihe von Experimenten ähnlich dem *Spatial-Cueing-Paradigma*. In diesen Versuchen wurde die Anzahl der räumlichen Positionen, die jeweils durch Hinweisreize vorab markiert wurden, variiert (Eriksen & St James, 1986). Zusätzlich wurden hier in manchen Durchgän-

gen Reize dargeboten, die im Sinne einer Wahlreaktionsaufgabe mit der dem Zielreiz entgegen gesetzten Reaktion assoziiert waren. Der räumliche Abstand dieser Ablenkreize wurde dabei ebenfalls variiert und zwar sowohl im Hinblick auf die tatsächliche Position des Zielreizes als auch auf den gesamten durch die Hinweisreize markierten Bereich. Insgesamt fielen die Reaktionszeiten auf den Zielreiz stets geringer aus, wenn dieser an einer der zuvor markierten Stellen erschien, als wenn dies nicht der Fall war. Je mehr Positionen markiert waren, desto breiter wurde der Aufmerksamkeitsfokus. Die gleichzeitig dargebotenen Ablenkreize wirkten sich besonders dann störend aus, wenn sie an einer zuvor durch die Hinweisreize markierten Stelle erschienen. Ablenkreize wurden also deutlich stärker mitverarbeitet, wenn sie sich innerhalb des Aufmerksamkeitsfeldes befanden, selbst wenn dabei der räumliche Abstand zwischen Zielreiz und Ablenkreiz konstant blieb. Je mehr sich allerdings der Abstand des Ablenkreizes zum gesamten Aufmerksamkeitsbereich vergrößerte, desto mehr verringerte sich auch dessen Störwirkung.

Der Aufmerksamkeitsfokus muss wohl nicht immer zu einem ausgefüllten Kreis geformt sein. So konnte z.B. gezeigt werden, dass er auch die Form eines Satellitenrings annehmen kann (z.B. Müller & Hübner, 2002). In einzelnen Fällen ließ sich eine Teilung der Aufmerksamkeit zwischen räumlich nicht zusammenhängenden Orten beobachten (z.B. Awh & Pashler, 2000; Castiello & Umiltà, 1992). Darüber hinaus geht die *Gradiententheorie* der Aufmerksamkeit davon aus, dass die Ressourcen innerhalb des Aufmerksamkeitsfeldes nicht homogen verteilt sind, sondern die Verarbeitungseffizienz über das visuelle Feld hinweg variiert (z.B. Andersen, 1990; Downing, 1988; LaBerge & Brown, 1986).

Die theoretischen Ansätze zur räumlich-visuellen Aufmerksamkeit haben indes gemeinsam, dass insbesondere die Funktion der Verstärkung von Wahrnehmung und Verarbeitung ausgewählter Reize betont wird. Daneben illustriert die *Filter-Metapher* der Aufmerksamkeit (Broadbent, 1958) in erster Linie den Aspekt der Hemmung irrelevanter Information. Diese Funktion tritt vor allem in Situationen mit Reizüberflutung oder bei Reiz- bzw. Antwortkonflikten in den Vordergrund.

Räumliche Indizes und Merkmalsintegration

Bei der visuellen Aufmerksamkeitsverteilung spielen – neben dem tatsächlichen Raum – auch *abstrakte* räumliche Merkmale eine Rolle. Diese können zusammengefasst als *räumliche Indizes* bezeichnet werden (siehe z.B. Logan, 1995). Auch Objekte oder Merkmale, die

sich nicht in unmittelbarer physikalischer Nähe befinden, können mit demselben räumlichen Index versehen werden. Ein solcher Index ist als symbolhaftes Attribut zu verstehen, das einem Ort oder einem Objekt in der perzeptuellen Repräsentation hinzugefügt wird. Es handelt sich insofern um einen Auswahlmechanismus, als durch die Indizes bestimmte Wahrnehmungsinhalte von anderen unterschieden werden können. Abgesehen von der tatsächlichen physikalischen Distanz können zwei weitere Arten räumlicher Indizes differenziert werden: Die Gruppierung von Merkmalen durch Gestaltgesetze und die Zusammenfassung einzelner Merkmale zu Objekten.

Merkmalseigenschaften wie Bewegungsrichtung, Orientierung oder Farbe bestimmen, welche Reize gemäß der Gestaltgesetze zu perzeptuellen Gruppen geformt werden (Duncan, 1984; Harms & Bundesen, 1983; Kahneman & Henik, 1981; Prinzmetal, 1981). Durch die frühe perzeptuelle Unterteilung des visuellen Feldes wird gemäß der *Feature Integration Theory (FIT)* von Treisman und Gelade (1980) die Ausrichtung der visuellen Aufmerksamkeit in passiver Weise gesteuert (Treisman & Gormican, 1988; Treisman & Sato, 1990): In einer ersten Phase werden einfache physikalische Eigenschaften von Objekten, wie Farbe, Form und Bewegungsrichtung, in paralleler Weise verarbeitet. Gruppen gleicher Merkmale werden bereits hier als solche erkannt, indem sie denselben räumlichen Index zugewiesen bekommen. In einer zweiten Phase werden mittels fokussierter räumlicher Aufmerksamkeit die Merkmale mit gleichen Indizes zu Objekten verbunden. Die fokussierte Aufmerksamkeit stellt sozusagen den „Klebstoff“ für die Merkmalsintegration dar. Unbeachtete Reize können demnach nur als einzelne, unverbundene Merkmale wahrgenommen werden, so dass Objekterkennung bereits Aufmerksamkeit voraussetzt. Die Vorstellung zweier diskreter Stufen in der perzeptuellen Verarbeitung gemäß der FIT entspricht weitgehend dem Zwei-Stufen Modell von Gratton und Mitarbeitern (Gratton et al., 1992). Empirische Evidenz für die Annahme zweier perzeptueller Stufen stammt in erster Linie aus Untersuchungen zu visueller Suche, wonach einzelne, unverbundene Zielmerkmale über parallel verteilte Aufmerksamkeit entdeckt werden können, während spezifische Konjunktionen von Merkmalen ein sukzessives Absuchen aller vorhandenen Reize erforderlich machen.

Belege für eine bevorzugte Beachtung von Reizen mit gemeinsamen Merkmalen, die über die Eigenschaft „räumlich benachbart“ hinausgehen, stammen u.a. von Driver und Baylis (1989). In dieser Studie wurden in einer speziellen Versuchsanordnung räumliche Nähe und Bewegungsrichtung gegeneinander getestet. Ein Zielreiz wurde mittig präsentiert – umgeben

von mehreren irrelevanten Reizen, die sich in unterschiedlicher Nähe zum Zielreiz befanden. Zusätzlich wurden der Zielreiz und bestimmte Ablenkreize in Bewegung dargestellt. Dabei bewegten sich in einer Bedingung die weiter entfernten Ablenkreize gleichzeitig mit dem Zielreiz in eine bestimmte Richtung, während die näher angrenzenden Ablenkreize stationär blieben. In einer anderen Bedingung verhielt sich dies umgekehrt. Die Ergebnisse zeigten eine durchgehend höhere Störwirkung für die sich gleichsinnig bewegenden Ablenkreize als für die stationären, selbst wenn sich letztere näher beim Zielreiz befanden. Auch Kramer und Jacobsen (1991) fanden Unterstützung dafür, dass sowohl die tatsächliche räumliche Distanz als auch andere Gruppierungsfaktoren, wie z.B. gemeinsame Bewegung oder gemeinsame Farbe, für die Ausrichtung visueller Aufmerksamkeit bedeutsam sind. Die Identifizierung eines einzelnen Zielreizes fällt, wenn dieser mit Ablenkreizen eine perzeptuelle Gruppe bildet, schwerer, als wenn er außerhalb einer solchen Gruppe dargeboten wird (Banks & White, 1984; Prinzmetal & Banks, 1977; Treisman, Kahneman, & Burkell, 1983). Werden mehrere Zielreize präsentiert, ist es in analoger Weise von Vorteil, wenn diese eine von den Ablenkreizen leicht zu unterscheidende perzeptuelle Gruppe bilden, als wenn dies nicht der Fall ist (Skelton & Eriksen, 1976; Treisman et al., 1983).

Abgesehen vom Einfluss perzeptueller Gruppierung und räumlicher Nähe – beide Ansätze werden zusammengefasst auch als *raumbasierte* Theorien visueller Aufmerksamkeit bezeichnet – spielt bei der selektiven Aufmerksamkeit auch die Zugehörigkeit zu einem oder mehreren Objekten eine Rolle (Kahneman & Treisman, 1984; Kanwisher & Driver, 1992; Neisser, 1967). So wird die Aufmerksamkeit auf verschiedene Merkmale eines Objektes eher parallel, auf Merkmale unterschiedlicher Objekte eher seriell ausgerichtet. Dies ist auch dann der Fall, wenn der räumliche Abstand zwischen den entsprechenden Merkmalen ausbalanciert ist (Duncan, 1984; Kahneman, Treisman, & Burkell, 1983; Treisman et al., 1983). Ansätze, die die Objektzugehörigkeit bei der Reizauswahl für entscheidend erachten, werden abgrenzend auch als *objektbasierte* Theorien bezeichnet.

Den bisherigen Befunden zufolge spielen sowohl der absolute räumliche Abstand als auch andere Indizes bei der Selektion eine Rolle; objekt- und raumbasierte Theorien ergänzen sich somit. Die visuelle selektive Aufmerksamkeit richtet sich also faktisch in automatischer Weise parallel auf Reize bzw. Merkmale aus, die durch räumliche Nähe, perzeptuelle Gruppierung oder Zugehörigkeit zum selben Objekt gekennzeichnet sind. Entsprechend ist die Störwirkung von Ablenkreizen dann deutlich erhöht, wenn diese mit dem Zielreiz eine per-

zeptuelle Gruppe oder ein Objekt bilden. Die Interferenz von Ablenkreizen lässt sich also verringern, wenn Ziel- und Ablenkreize in unterschiedlicher Farbe, zu verschiedenen Objekten gehörig und mit größerem räumlichen Abstand präsentiert werden.

Bei einer Integration der verschiedenen Ansätze ist jedoch zu beachten, dass objekt- und raumbasierte Theorien visueller Aufmerksamkeit grundlegend unterschiedliche Annahmen in Bezug auf die Rolle, die Aufmerksamkeit beim *Binden von Merkmalen* spielt, machen. Wie bereits erwähnt, wird in den raumbasierten Theorien davon ausgegangen, dass visuell-räumliche Aufmerksamkeit unabdingbar für die Integration von Merkmalen ist. Nach dieser Vorstellung können während der prä-attentiven Verarbeitung nur unverbundene Merkmale wahrgenommen werden. Im Gegensatz dazu wird in den objektbasierten Theorien angenommen, dass Objekte bereits prä-attentiv durch einfache perzeptuelle Merkmale konstruiert werden. Fokussierte Aufmerksamkeit ist nach dieser Vorstellung keine Voraussetzung für Merkmalsintegration. Diese Unterscheidung ist auch für weiterführende Theorien wesentlich.

Perzeptuelle Auslastung

Gestaltfaktoren räumlichen und nicht-räumlichen Ursprungs sowie weitere physikalische Eigenschaften beeinflussen die Ausrichtung visueller Aufmerksamkeit sowie die Güte der Selektionsleistung in passiver Art und Weise. Es gibt jedoch noch mindestens einen weiteren Mechanismus, der die Verteilung der Aufmerksamkeit exogen beeinflusst: Lavie und Tsal (1994) stellten die Theorie auf, dass es für die Selektionsleistung entscheidend sei, wie stark die *Aufmerksamkeitskapazität* insgesamt belastet wird. Neben der Zoomlinse- und der Filter-Metapher handelt es sich hierbei um eine weitere Metapher der Aufmerksamkeit, nämlich um die einer distinkten, begrenzten Kapazität. Unter Kapazität versteht man dabei Einheiten innerhalb des kognitiven Systems, die für die Verarbeitung essentiell sind. Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass die verfügbare Kapazität begrenzt ist und zwischen mehreren Aufgaben aufgeteilt werden muss (z.B. Navon, 1990; Navon & Gopher, 1979). In Zusammenhang mit der selektiven Aufmerksamkeit stellt sich jedoch weniger die Frage nach dem Maximum an Kapazität, wie z.B. in der Doppelaufgabenforschung (siehe Kapitel 3 der Einführung) üblich, sondern es geht vielmehr um deren *untere* Grenze. Was passiert, wenn die vorhandene Kapazität durch eine Aufgabe nicht vollständig ausgelastet wird? Lavie und Mitarbeiter (Lavie, 1995; Lavie & Tsal, 1994) nehmen an, dass relevante Information aus einer Menge irrelevanter Reize umso leichter und erfolgreicher selektiert werden kann, je

mehr die gesamte Aufmerksamkeitskapazität durch die Verarbeitung des oder der Zielreize ausgelastet ist. Bleiben Ressourcen übrig, so verteilen sich diese mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die restlichen (Ablenk-)Reize, so dass diese auch verarbeitet werden und gegebenenfalls die Leistung beeinträchtigen. Demnach ist die selektive Ausrichtung von Aufmerksamkeit maßgeblich von ausreichender perzeptueller Auslastung abhängig.

Die Auslastung in einer Aufgabe kann verstärkt werden, indem entweder die Anzahl der Reize unterschiedlicher Identität erhöht wird, oder indem für dieselbe Anzahl an Reizen die perzeptuelle Identifikation erschwert wird. Die Menge der insgesamt zu leistenden Arbeit für die Wahrnehmungsprozesse muss also erhöht werden. Ein Beispiel für eine Situation mit niedriger Kapazitätsauslastung wäre die folgende Aufgabe: Gegeben ist ein Bildschirm mit vier Reizen. Die Aufgabe besteht darin, die roten Reize zu zählen, wobei es nur zwei relevante Merkmale (rot oder grün) gibt, die mit unterschiedlichen Antworten in der Aufgabe verknüpft sind. Die Art der erforderlichen Aufgabe (einfaches Zählen) ist zudem minimal anspruchsvoll. Als Folge werden deshalb aller Wahrscheinlichkeit nach auch die grünen – irrelevanten – Reize verarbeitet. Die Kapazitätsauslastung ließe sich hier erhöhen, indem man z.B. Reize mit mehr relevanten Merkmalen darbietet oder die einfache Aufgabe durch eine perzeptuell schwierigere ersetzt.

Die Auswirkung perzeptueller Auslastung lässt sich in Anlehnung an die Zoomlinse-Metapher visueller Aufmerksamkeit (Eriksen & St James, 1986) in etwa so beschreiben: Eine Erhöhung der Auslastung führt dazu, dass sich der Aufmerksamkeitsfokus zunehmend um den Zielreiz herum verengt und die Ablenkreize entsprechend ausgeblendet werden. Geht eine Aufgabe hingegen nur mit geringer Auslastung einher, so tendiert das Aufmerksamkeitsfeld dazu, sich auf einen größeren Bereich bzw. auf mehr Reize auszudehnen.

Diese Annahme wird unterstützt durch Befunde, wonach in Aufgaben mit hoher perzeptueller Auslastung räumliche Hinweisreize größere Effekte erzielen als in Aufgaben mit niedriger Auslastung. Diese Effekte sind nicht nur in Bezug auf die Reaktionszeit verstärkt, sondern auch hinsichtlich der beobachteten okzipitalen Aktivierungen (z.B. Handy & Mangun, 2000). Das heißt, die Fokussierung der Aufmerksamkeit in Reaktion auf den Hinweisreiz konnte in Aufgaben mit hoher Auslastung offensichtlich effizienter erfolgen. Dabei scheint die Erhöhung der Schwierigkeit bzw. der damit einhergehende Anstieg der Reaktionszeit selbst nicht entscheidend zu sein: In datenlimitierten Aufgaben führt eine Erhöhung des

Schwierigkeitsgrads, z.B. aufgrund eines schlechteren Kontrasts der Reize, zwar zu einer Verlängerung der Reaktionszeiten, nicht jedoch zu einer verringerten Interferenz durch Ablenkreize (Lavie & de Fockert, 2003). Die Störwirkung erwies sich hier sogar als erhöht.

Allem Anschein nach führt also nicht eine beliebige Schwierigkeitsmanipulation, sondern nur eine verstärkte Investition von Aufmerksamkeitsressourcen zu einer besseren Fokussierungsleistung und somit auch zu einer verringerten Interferenz durch Ablenkreize. Eine Abnahme der Interferenz bei erhöhter Aufmerksamkeitsbelastung lässt sich neurophysiologisch belegen (z.B. Rees & Frith, 1999; Yi, Woodman, & Widders, 2004). Des Weiteren unterstützen auch klinische Beobachtungen einen solchen Zusammenhang: Patienten mit Gehirnläsionen, insbesondere im parietalen Bereich, leiden häufig unter beeinträchtigten Aufmerksamkeitsfunktionen im Sinne einer reduzierten Gesamtkapazität. Da die verringerte Kapazität dieser Patienten folglich schneller ausgelastet ist, wirken sich bereits geringere Belastungsunterschiede deutlich in der Leistung aus (Duncan, Bundesen, Olson, Humphreys, Chavda, & Shibuya, 1999; Lavie & Robertson, 2001).

2.1.2 Aktive Mechanismen: Einfluss kognitiver Kontrolle

Endogenes Aufmerksamkeitssystem

Wie bereits dargestellt, können anhand des *Spatial-Cueing-Paradigmas* (Posner, 1978; Posner et al., 1980) Mechanismen der Ausrichtung visueller selektiver Aufmerksamkeit untersucht werden. Hinweisreize an entsprechenden räumlichen Positionen ziehen die Aufmerksamkeit direkt auf sich und führen, je nach deren Validität, zu Vorteilen bzw. Nachteilen in der Reaktionszeit. Mit diesem Paradigma konnte jedoch nicht nur auf die Existenz eines exogenen Systems der Aufmerksamkeit geschlossen werden, sondern auch auf einen Gegenspieler dieses passiven Systems, das *endogene Aufmerksamkeitssystem*, das selbst nicht der *bottom-up* Kontrolle durch Umweltreize unterliegt. Dieses wird *top-down* durch Absichten und Motivationen der Person gesteuert, funktioniert mittels anderer Mechanismen und spricht daher auch anders auf Hinweisreize an als das exogene System.

Endogen kontrollierte Aufmerksamkeit kommt z.B. dann ins Spiel, wenn symbolische Hinweisreize dargeboten werden, deren Entschlüsselung einen kognitiven Zwischenschritt erfordert. Ein Beispiel dafür sind Pfeile, die an einem neutralen Ort dargeboten werden, die jedoch mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die Richtung des zu erwartenden Zielreizes

anzeigen. Um die Information eines solchen Reizes nutzen zu können, muss der Pfeil zunächst interpretiert, d.h. dessen Bedeutung entschlüsselt werden. Bei Hinweisreizen hingegen, die *direkt* an dem entsprechenden Ort erscheinen und das exogene System ansprechen, ist eine solche Entschlüsselung nicht erforderlich. Der größte Gegensatz zwischen beiden Systemen der Aufmerksamkeit besteht darin, dass die Ausrichtung des exogenen Systems zwingend erfolgt, d.h. nicht oder nur geringfügig unterdrückt werden kann, während das endogene System strategisch steuerbar ist. Sind z.B. symbolische Hinweisreize mit hoher Wahrscheinlichkeit invalide, so kann die Person diese bewusst ignorieren – im Gegensatz zu peripheren Reizen.

Endogene und exogene Aufmerksamkeit besitzen auch andere dynamische Eigenschaften. Symbolische Hinweisreize benötigen, um ihre maximale Wirkung zu erzielen, mehr Zeit als periphere Reize. Dafür hält der Effekt auch deutlich länger an ($> 500\text{ ms}$), während er bei peripheren Reizen rasch verstreicht. Werden beide Systeme gegeneinander getestet, so kann das endogene System die exogene Aufmerksamkeit bis zu einem gewissen Grad modifizieren, jedoch niemals vollständig unterdrücken.

Strategische Selektion von Informationsquellen

Die passive Steuerung der visuellen Aufmerksamkeit hängt von Faktoren der Außenwelt ab, z.B. von bestimmten perzeptuellen Eigenschaften des visuellen Feldes. Anders verhält sich die Situation beim endogenen Aufmerksamkeitssystem; auch ohne Veränderung exogener Faktoren kann die Aufmerksamkeit in ihrer Ausrichtung bzw. Ausdehnung willentlich modifiziert werden. Zwischen endogen und exogen gesteuerter Aufmerksamkeit findet allerdings eine Interaktion statt: Bei ungünstigen perzeptuellen Bedingungen kann die endogene Aufmerksamkeit nicht beliebig angepasst werden bzw. geht die Anpassung mit erhöhten Kosten einher.

Die aktiv-intentionale Ausrichtung visueller Aufmerksamkeit kann sich auf mehreren Ebenen manifestieren und stellt somit ein komplexes Geschehen dar. So lässt sich grob unterscheiden zwischen einer strategischen Gewichtung bestimmter Reize bzw. Reizmerkmale der Außenwelt einerseits und einer eher intern gelagerten Verschiebung der Aufmerksamkeit andererseits. Die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf bestimmte perzeptuelle Merkmale von Reizen wird auch *Stimulus Set* oder *Filterung* genannt (siehe z.B. Bundesen, 1990; Logan & Gordon, 2001). Der Filtermechanismus dient dazu, Reize mit bestimmten Eigenschaften – im

Vergleich zu anderen – bevorzugt zu verarbeiten. So können Reize einer bestimmten Farbe, einer bestimmten Form oder einer bestimmten räumlichen Position gezielt beachtet werden. Reize ohne das entsprechende Merkmal lassen sich hingegen anhand dieses Mechanismus sehr früh im Verarbeitungsprozess – bei der Entschlüsselung einfacher physikalischer Eigenschaften – wegfiltern.

Eine strategische Gewichtung ist jedoch auch auf einer späteren Verarbeitungsstufe noch möglich, nämlich bei der bevorzugten Aktivierung bestimmter Kategorien. Dieser Prozess wird, in Abgrenzung zum o.g. Mechanismus, auch als *Response Set* bzw. *Pigeonholing* bezeichnet (Bundesen, 1990; Logan & Gordon, 2001). *Pigeonholing* vollzieht sich weniger im Sinne einer bestimmten Ausrichtung der Aufmerksamkeit nach außen, sondern ist eher Ausdruck einer internalen Verteilung der Aufmerksamkeit, die wiederum von bestimmten Entscheidungsparametern abhängt. Die jeweiligen Entscheidungsparameter richten sich ihrerseits nach der aktuell geforderten Aufgabe. Handelt es sich bei den Reizen z.B. um Zahlen und besteht die Aufgabe darin, diese nach „gerade/ungerade“ zu beurteilen, so führt das *Response Set* zu einer bevorzugten Auswahl der Ziffernkategorien „gerade/ungerade“. Dieser Mechanismus verhält sich dabei unabhängig vom Filterprozess; er erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass ein Reiz x , der bereits (z.B. aus einer Menge Ablenkreize) ausgewählt wurde, als ein Reiz der Kategorie y (z.B. gerade oder ungerade) und nicht als ein Reiz der Kategorien z (z.B. größer oder kleiner) eingestuft wird. Die Aufmerksamkeit wird hier also auf bestimmte antwortrelevante Kategorien ausgerichtet.

Beide Arten strategischer Selektionsmechanismen können in einer Aufgabe zur gleichen Zeit aktiv sein, nämlich dann wenn sowohl bestimmte Merkmale von Zielreizen als auch bestimmte Antwortkategorien spezifiziert werden sollen. Das relative Aufmerksamkeitsgewicht eines zu klassifizierenden Reizes hängt also sowohl von der aktiven Einstellung des *Stimulus Set* und des *Response Set* ab, als auch von bestimmten passiv-perzeptuellen Eigenschaften, wie z.B. der Güte des Reizmaterials sowie dem Grad der Diskriminierbarkeit von anderen Reizen.

Eine Weiterentwicklung dieser Annahmen für den Bereich der geteilten Aufmerksamkeit bzw. der Doppelaufgaben stellt das ECTVA Modell von Logan und Gordon dar (2001; siehe Kapitel 3.2.2 und 4 der Einführung).

Kognitive Auslastung

Die aktiven Mechanismen der Aufmerksamkeitskontrolle, insbesondere bei der Filterung von Reizen, sind vor allem dann gefordert, wenn die physikalischen Eigenschaften des visuellen Feldes so geartet sind, dass irrelevante Reize leicht mitverarbeitet werden. Eine solche Situation ist z.B. dann gegeben, wenn relevante und irrelevante Reize perzeptuell schwer diskriminierbar sind oder im visuellen Feld nur eine geringe perzeptuelle Auslastung gegeben ist. Mit anderen Worten, aktive Mechanismen müssen dann eingreifen, wenn die passiven Mechanismen der Aufmerksamkeitssteuerung allein bei der Selektion des Zielreizes versagen würden.

Für die intentionale Steuerung, d.h. für die oben genannten Mechanismen der Reiz- und Kategoriegewichtung, ist ein kognitives Kontrollsystem erforderlich. Dieses kann jedoch, ähnlich dem perzeptuellen System, mehr oder weniger stark ausgelastet sein. Entsprechend ist mehr oder weniger viel Kapazität für Kontrollvorgänge vorhanden (Lavie, Hirst, de Fockert, & Viding, 2004). Während Lavie und Mitarbeiter annehmen, dass perzeptuelle Auslastung zu einer verbesserten Auswahl relevanter Informationsquellen führt, wird für das Ausmaß kognitiver Auslastung das Gegenteil vorhergesagt: Je stärker die *Kapazität kognitiver Kontrolle* belastet ist, desto weniger Kapazität bleibt für die aktive Reiz- und Antwortauswahl übrig.

Eine erhöhte Auslastung des Kontrollsystems liegt z.B. dann vor, wenn eine Aufgabe das Arbeitsgedächtnis stark belastet. Bei erhöhten Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis sollte also die Selektion relevanter Reize erschwert und die Interferenz durch irrelevante Reize verstärkt sein. Dieser Zusammenhang konnte in einer Reihe von Experimenten nachgewiesen werden, in denen die Interferenzanfälligkeit in einer Aufmerksamkeitsaufgabe mit dem Grad der Arbeitsgedächtnisbelastung anstieg (de Fockert, Rees, Frith, & Lavie, 2001; Lavie et al., 2004). Dabei zeigte sich, dass alleine die Ankündigung, im Anschluss an eine aktuelle Aufgabe eine weitere Aufgabe durchführen zu müssen, zu erhöhter Interferenz in der aktuellen Aufgabe führen kann. Demnach belegen auch Vorhaben und Instruktionen das Arbeitsgedächtnis und damit die Kapazität kognitiver Kontrolle, welche dann für die Steuerung selektiver Aufmerksamkeit fehlt.

Das kognitive Kontrollsystem ist bei der Selektion von Reizen insbesondere auch dann gefordert, wenn ein Antwortkonflikt in Form starker konkurrierender Ablenkreize vorliegt. In Situationen mit konfligierenden Reizen bzw. Reaktionstendenzen wird das Kontrollsystem in

besonderem Maße in Anspruch genommen und dementsprechend ungünstig wirkt sich eine erhöhte Belastung des Kontrollsystems aus. Bei Selektionsaufgaben hingegen, in denen die Zielreize z.B. innerhalb einer Menge neutraler Reize dargeboten werden, ist dies vergleichsweise weniger der Fall (siehe auch Lavie & Fox, 2000; Woodman & Luck, 2004; Yi et al., 2004).

Ferner kann die Theorie der kognitiven Auslastung in Interaktion mit der perzeptuellen Auslastung verschiedene Befunde aus dem klinisch-neuropsychologischen Bereich und aus der Forschung zu kognitivem Altern gut integrieren. Es ist bereits seit längerem bekannt, dass der präfrontale Cortex eine zentrale Rolle für die selektive Aufmerksamkeit und andere Kontrollprozesse spielt (z.B. Miller & Cohen, 2001; Posner & Petersen, 1990). Im Laufe des Alterungsprozesses bauen nun in erster Linie frontale Gehirnstrukturen ab, was zu einer generellen Verringerung der kognitiven Kontrolle und der Flexibilität führen kann. Andererseits nimmt gewöhnlich auch die perzeptuelle Kapazität ab. Das heißt, ältere Personen zeigen bei Aufgaben mit niedriger perzeptueller Auslastung häufig eine bessere Leistung als jüngere, während sie in Aufgaben mit stärkerer Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses eine erhöhte Interferenz aufweisen (z.B. Hasher & Zacks, 1988; Maylor & Lavie, 1998). Auch Patienten mit erworbenen Schädigungen in präfrontalen kortikalen Strukturen zeigen im Vergleich zu gesunden Personen bereits erhöhte Schwierigkeiten unter geringerer kognitiver Belastung (z.B. Burgess & Shallice, 1996).

2.2 Der Einfluss irrelevanter Reize in Einfachaufgaben

Zur Untersuchung der Selektionsleistung durch visuelle Aufmerksamkeit wurden unterschiedliche Paradigmen entwickelt. Von zentraler Bedeutung ist hier das *Eriksen Flankerparadigma* (Eriksen & Eriksen, 1974). Im Flankerparadigma lässt sich in der Regel eine mehr oder minder starke Interferenz durch irrelevante Reize beobachten, die auf Einschränkungen der selektiven Aufmerksamkeit hinweist und somit Aufschluss über wichtige Aspekte der Reizverarbeitung liefern kann. Es hat sich gezeigt, dass die Höhe der Interferenzeffekte im Flankerparadigma von einer Vielzahl von Faktoren abhängt, nämlich von der perzeptuellen Diskriminierbarkeit relevanter und irrelevanter Informationen, von der Aufgabenstellung sowie dem Einsatz von Strategien.

2.2.1 Das Eriksen Flankerparadigma

Methodisches Prinzip

Das Flankerparadigma wurde von Eriksen und Eriksen (1974) eingeführt und zog seither zahlreiche Folgeuntersuchungen nach sich. Im Laufe der Zeit wurde eine Vielzahl von Variationen des klassischen Paradigmas entwickelt. Das Grundprinzip ist dabei jedoch stets ähnlich und lässt sich, wie folgt, beschreiben: Es wird ein *Zielreiz* präsentiert, der so rasch und so richtig wie möglich anhand einer Wahlreaktionsaufgabe beantwortet werden soll. Der Zielreiz wird dabei flankiert von zumeist zwei oder auch mehr aufgabenirrelevanten Ablenkreizen, genannt *Flanker*. Als Reize dienen üblicherweise alphanumerische Zeichen.

Bei welchem der Reize es sich um den Zielreiz handelt, wird durch die räumliche Position oder durch Hinweisreize angezeigt. In der klassischen Variante der Flankeraufgabe wird der Zielreiz mittig dargeboten, sowie rechts und links angrenzend jeweils ein oder mehrere Flanker (siehe Abbildung I-1). Die Flanker sind dabei üblicherweise redundant, d.h. dasselbe Zeichen erscheint in mehrfacher Ausführung. Ein Beispiel einer solchen Reizanordnung wäre z.B. der Buchstabe „H“, links und rechts umgeben von zwei Buchstaben der Ausprägung „S“. Im Flankerparadigma besteht üblicherweise keine oder nur wenig Ortsunsicherheit, da der Zielreiz entweder stets an derselben Stelle erscheint oder ein Hinweisreiz die entsprechende Position markiert. Die Reizauswahl läuft also in der Regel über die räumliche Position des Zielreizes ab.

Die Güte der Selektionsleistung bzw. der Einfluss der Flanker wird gemessen, indem die Leistung unter dreierlei Aufgabenbedingungen verglichen wird: Kongruent, inkongruent und neutral (siehe Abbildung I-1). Die Kongruenz bezieht sich auf die Antworten, die mit den Reizen assoziiert sind. *Kongruent* bedeutet, dass Zielreiz und Flanker dieselbe Antwort aktivieren, während im *inkongruenten* Fall die Flanker mit einer anderen Antwort als der Zielreiz verknüpft sind. Ein Beispiel wären Zahlen als Reizmaterial für Zielreiz und Flanker und eine Paritätsbeurteilung (gerade/ungerade) als Aufgabe. Handelt es sich bei dem Zielreiz um eine gerade Zahl, so soll eine linke Taste, handelt es sich um eine ungerade Zahl, eine rechte Taste gedrückt werden. Sind sowohl Zielreiz als auch Flanker gerade bzw. ungerade, entspricht dies einer kongruenten Situation, da beide entweder mit „links“ oder mit „rechts“ assoziiert sind. Ist jedoch der Zielreiz gerade und die Flanker ungerade bzw. umgekehrt, so werden gegenläufige Reaktionen aktiviert, was eine inkongruente Situation darstellt. Darüber hinaus kann es

sein, dass sich die Flanker *antwortneutral* verhalten, d.h. wenn im aktuellen Beispiel anstatt Zahlen andere Symbole als Flanker präsentiert werden.

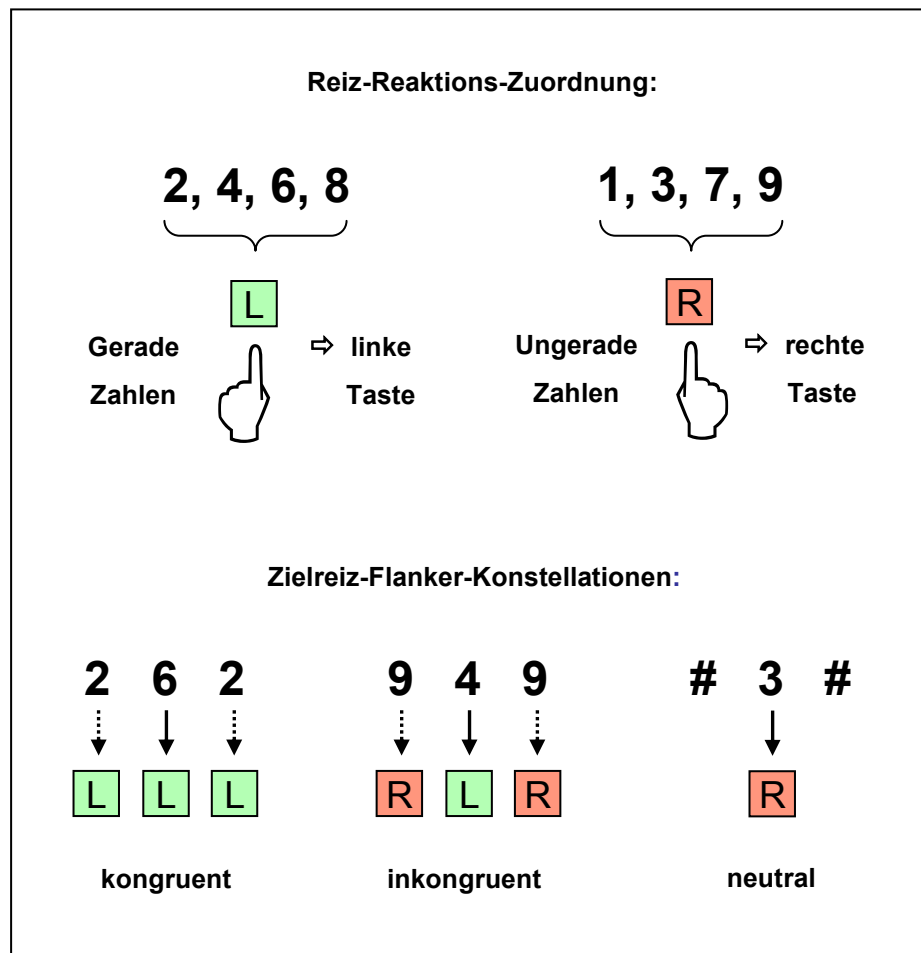


Abbildung I-1: Diese Abbildung veranschaulicht das methodische Prinzip im Eriksen Flankerparadigma anhand eines Beispiels. Für Details siehe den Text.

Misst man Reaktionszeit und Fehlerrate unter den drei verschiedenen Bedingungen, so ergibt sich typischerweise die längste Reaktionszeit bzw. die höchste Fehlerrate unter inkongruenter Reizbedingung. Der Unterschied in der Leistung zwischen kongruenten und inkongruenten Bedingungen, insbesondere in der Reaktionszeit, wird als *Flanker-Kongruenzeffekt (FKE)* bezeichnet (Eriksen & Eriksen, 1974; Eriksen & Schultz, 1979). Der FKE gilt als Maß für die Stärke der Interferenz durch die Flankerreize. Der FKE in Einfachaufgaben bewegt sich häufig im Bereich von 20-60 ms (z.B. Eriksen & Schultz, 1979; Flowers & Wilcox, 1982; Grice & Gwynne, 1985; Miller, 1987).

Das Auftreten von Flankereffekten

Die Beantwortung eines Zielreizes wird bereits durch die räumlich nahe Anwesenheit eines anderen Reizes geringfügig beeinträchtigt, selbst wenn der andere Reiz mit dem Zielreiz identisch ist (z.B. Eriksen & Eriksen, 1974; Grice & Gwynne, 1985). Wird als Vergleichsbedingung jedoch nicht die alleinige Präsentation des Zielreizes, sondern die Bedingung mit antwortneutralen Flankern gewählt, sind in der Regel keine Kosten identischer oder antwortkongruenter Flanker zu beobachten – in bestimmten Fällen kann die Leistung sogar verbessert werden (Cohen & Shoup, 1997; Flowers, 1990; Grice, Boroughs, & Canham, 1984). Insgesamt fallen Effekte kongruenter Flanker deutlich geringer aus als Beeinträchtigungen durch inkongruente Flanker (z.B. Miller, 1991).

Die Höhe der Flankereffekte hängt sowohl von dynamischen als auch von strukturellen Faktoren der Reizpräsentation ab. Einen dynamischen Faktor stellt das Zeitintervall zwischen der Präsentation des Zielreizes und dem Erscheinen der Flanker dar: Ein substantieller Faszilitationseffekt durch identische oder kongruente im Vergleich zu neutralen Flankern ist nur dann zu erwarten, wenn diese bereits eine gewisse Zeit *vor* Erscheinen des Zielreizes präsentiert werden. Beim Interferenzeffekt durch inkongruente Flanker, dem FKE, sind dagegen die stärksten Effekte zu verzeichnen, wenn die Flanker gleichzeitig mit oder unmittelbar vor dem Zielreiz erscheinen (Eriksen & Eriksen, 1974; Flowers, 1990; Grice & Gwynne, 1985). Je später nach der Darbietung des Zielreizes die Flanker präsentiert werden, desto mehr verringert sich der FKE oder verschwindet vollständig bei ausreichend langem Intervall (Eriksen & Schultz, 1979). Dieses Zeitintervall zwischen Zielreiz und Flankern wird in der Regel als *Stimulus Onset Asynchrony (SOA)* bezeichnet.

Daneben beeinflussen auch strukturelle Eigenschaften des visuellen Feldes, wie z.B. der *räumliche Abstand* der Reize, die Höhe des FKE maßgeblich. So ist der FKE dann am höchsten, wenn die Flanker etwa 0.06° Sehwinkel vom Zielreiz entfernt präsentiert werden. Mit Vergrößerung des Abstandes reduziert er sich kontinuierlich und nähert sich bei etwa 0.5° bis 1° Sehwinkel einer Asymptote an (Eriksen & Eriksen, 1974; Miller, 1991; Paquet & Craig, 1997). Dabei spielt jedoch auch die Art der Aufgabe eine Rolle. Besteht beispielsweise eine Unsicherheit bezüglich des Darbietungsortes der Zielreize, so werden substantielle Effekte auch bei größerem Abstand beobachtet (z.B. Eriksen & Hoffman, 1973). Gleichzeitig führt eine *farbliche Trennung* von Zielreiz und Flankern zu einer Verringerung des FKE (Harms &

Bundesen, 1983; Kramer & Jacobson, 1991), wobei sich die *Farbbeziehung* zwischen Zielreiz und Flankern als wichtiger erweist als die absolute Farbe der Reize (Harms & Bundesen, 1983).

Auch der Grad perzeptueller Auslastung kann sich auf den FKE auswirken (Lavie, 1995; Lavie & Tsal, 1994). Klassische Flankeraufgaben beinhalten in der Regel nur zwei Reize unterschiedlicher Identität und die geforderte Beurteilung ist perzeptuell häufig einfach. Das bedeutet, es handelt sich hierbei um Aufgaben mit geringer perzeptueller Auslastung. Wird die Anzahl distinkter Reize oder die Schwierigkeit der geforderten perzeptuellen Identifikationsleistung erhöht, so kann die Selektionsleistung verbessert und der FKE entsprechend gesenkt werden (Lavie, 1995; Lavie & Cox, 1997; Lavie & Fox, 2000; Lavie et al., 2004). Nicht zuletzt kann die räumliche Aufmerksamkeit bereits durch vorab präsentierte Hinweisreize direkt auf die räumliche Position des Zielreizes ausgerichtet werden. Dies kann sogar zu einer Eliminierung des FKE führen (z.B. Paquet, 2001).

Insgesamt hängt die Entstehung des FKE und dessen Höhe von einer Vielzahl von Faktoren ab, insbesondere von solchen, die die Diskriminierbarkeit von Zielreiz und Flankern beeinflussen. Je besser Zielreiz und Flanker voneinander separiert werden können, desto leichter fällt eine Fokussierung der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit auf den Zielreiz. Alle Mechanismen, die die Aufmerksamkeitsverteilung in passiver Art und Weise beeinflussen, können hier eine Rolle spielen (siehe auch Kapitel 2.1.1 der Einführung). Dies bedeutet jedoch nicht, dass *ausschließlich bottom-up* Faktoren bei der Entstehung des FKE eine Rolle spielen. Tatsächlich kann auch die *top-down* gesteuerte Ausrichtung der visuellen Aufmerksamkeit entscheidend sein. Im Flankerparadigma ist dies jedoch – im Gegensatz zu den *bottom-up* Faktoren – weitaus weniger gut untersucht. Die Frage nach dem relativen Beitrag von automatischen und strategischen Einflüssen bei der Entstehung und Variation des FKE wird in Kapitel 2.3 der Einführung diskutiert.

2.2.2 Der Filterort irrelevanter Reize

Unter bestimmten Bedingungen können sich irrelevante Reize in visuellen Selektionsaufgaben störend auswirken. Doch aufgrund welcher Mechanismen spielt sich diese Interferenz ab? Welche Prozesse erweisen sich während der Informationsverarbeitung als störanfällig? Verbunden sind diese Überlegungen mit der Frage nach dem „Wirkungsort“ der Aufmerksamkeit, das heißt, zu welchem Zeitpunkt während der Reizverarbeitung die Filterung

durch selektive Aufmerksamkeit einsetzt. Dies wiederum hängt zusammen mit der Frage, ob die kognitive Verarbeitung seriell in diskreten Stufen oder eher kontinuierlich und parallel abläuft.

Diskrete oder kontinuierliche Reizverarbeitung

Da mentale Prozesse von außen nicht direkt beobachtet werden können, muss zur Beschreibung kognitiver Verarbeitung auf chronometrische Modelle Bezug genommen werden. Diese Modelle basieren auf dem Prinzip, durch die Untersuchung von Reaktionszeiten bei der Bearbeitung bestimmter kognitiver Aufgaben Rückschlüsse auf Denkvorgänge zu ziehen. In chronometrischen Modellen wird davon ausgegangen, dass die Informationsverarbeitung auf einer Anzahl distinkter geistiger Verarbeitungseinheiten beruht, die jeweils logisch unterschiedliche Funktionen erfüllen (z.B. Wahrnehmung oder Antwortauswahl).

In Anlehnung an Donders (1969) wird weiterhin oftmals davon ausgegangen, dass es sich bei den Verarbeitungseinheiten um *diskrete Stufen* handelt. Gemäß der strengen Diskretheitsannahme wird eine nächste Verarbeitungsstufe erst dann aktiv, wenn sie Input aus der vorhergehenden Stufe erhält. Erst wenn die Verarbeitung auf einer Stufe vollständig abgeschlossen ist, findet eine Weiterleitung der Information in weiterführende Verarbeitungsstufen statt. Demnach stellt die Gesamtreaktionszeit in einer Aufgabe die Summe der Zeiten dar, die von einer Serie diskreter Stufen zwischen Reiz und Reaktion benötigt wird. Nach dieser Vorstellung läuft die Reizverarbeitung folgendermaßen ab: Auf einer ersten Stufe wird ein Reiz wahrgenommen und enkodiert, wobei zunächst einfache physikalische Merkmale und dann zunehmend abstrakte Eigenschaften extrahiert werden. Nach der Enkodierung aller Merkmale werden diese kombiniert bzw. zu Objekten integriert. Das vollständige Perzept aktiviert anschließend Assoziationen aus dem Kurzzeit- und dem Langzeitgedächtnis. Schließlich wird eine Entscheidung bezüglich einer Reaktion gefällt, die dann, in einem letzten Schritt, zur Ausführung gelangt. In diesem Zusammenhang wird auch unterschieden zwischen peripherer Verarbeitung – darunter werden in der Regel Wahrnehmung und motorische Handlungsausführung verstanden – und zentraler Verarbeitung, also Entscheidung und Antwortauswahl (für eine Übersicht siehe z.B. Driver, 2001).

Es wurde jedoch kritisiert, dass sich die Reaktionszeit in einer kognitiven Aufgabe möglicherweise nicht in eine Summe von Verarbeitungszeiten diskreter Stufen unterteilen lässt. Alternativ wurden *kontinuierliche* Modelle vorgeschlagen (z.B. Eriksen & Schultz,

1979; McClelland, 1979). Nach dieser Vorstellung initiiert z.B. die Präsentation bildhaften Reizmaterials im visuellen System eine graduell ablaufende Akkumulation von Informationen in Bezug auf die Eigenschaften des Reizmaterials. Bereits während des Akkumulationsvorganges wird die Reizinformation kontinuierlich an das Antwortsystem weitergeleitet, wo schrittweise mit der Aktivierung der Antworten begonnen wird. Das bedeutet, die Aktivierung des Antwortsystems beginnt bereits vor Abschluss der Stimulusanalyse. In diesen Modellen wird also davon ausgegangen, dass der Output einer beliebigen Verarbeitungseinheit für alle nachfolgenden oder gleichzeitig ablaufenden Prozesse in kontinuierlicher Weise verfügbar ist.

Eine Differenzierung zwischen diskreten und kontinuierlichen Modellen ist empirisch schwierig. Die Entstehung des FKE, der primär auf einem Konflikt inkongruenter Antworttendenzen beruht, kann beispielsweise sowohl mittels kontinuierlicher als auch mittels diskreter Modelle erklärt werden. Eriksen und Schultz (1979) nahmen an, die zum FKE führende Interferenz entsteht aufgrund der parallelen Aktivierung richtiger und falscher Antworten, die sich im Laufe der Reizverarbeitung kontinuierlich verstärkt. Die richtige Antwort auf den Zielreiz wird dadurch gehemmt und in ihrer Ausführung verzögert, was zur charakteristischen Leistungseinbuße im inkongruenten Fall führt.

Jedoch auch die Annahme einer diskret-seriellen Abfolge einzelner Verarbeitungsprozesse lässt es durchaus zu, dass diese Verarbeitung für *mehrere* Reize parallel abläuft und somit Antwortkonflikte erzeugt. Welche theoretische Vorstellung die Realität besser abbildet, ist bislang noch nicht endgültig geklärt (für eine Übersicht hierzu siehe Miller, 1988).

Frühe versus späte Auswahl der Reize

Die Filterung irrelevanter Reize setzt einen Zeitpunkt voraus, zu dem die selektive Aufmerksamkeit einsetzt und die Reizauswahl getroffen wird. Obwohl die Selektion von Informationen im Zentrum der Aufmerksamkeitsforschung steht, ist die Frage nach dem Zeitpunkt der Auswahl innerhalb der Informationsverarbeitung noch immer nicht endgültig geklärt. Über dieses Thema wird seit Einführung der so genannten Filtertheorie der Aufmerksamkeit von Broadbent (1958) diskutiert. Dieser Theorie zufolge wird Aufmerksamkeit als eine Art Filter verstanden, der in den Informationsfluss eingreift. Broadbent ging davon aus, dass die Reize bereits auf einer sehr frühen Stufe ausgewählt bzw. gefiltert werden, nämlich im Anschluss an die Verarbeitung einfacher physikalischer Merkmale. Abstraktere Eigenschaften, wie z.B. die Bedeutung eines Reizes, könnten nur für ausgewählte Reize und unter

Einsatz der beschränkten Aufmerksamkeitsressourcen analysiert werden. Dieser Standpunkt wird daher auch als Annahme der *frühen Selektion* bezeichnet: Bereits die Wahrnehmung stellt eine kapazitätslimitierte Stufe dar, die zur vollständigen Analyse selektive Aufmerksamkeit benötigt. Irrelevante Reize werden demnach nicht vollständig wahrgenommen. Frühe Experimente lieferten Unterstützung für diese Annahme, allen voran die Untersuchungen zum *dichotischen Hören* (Cherry, 1953; Johnston & Heinz, 1978; Wood & Cowan, 1995). Bei dieser Art von Aufgaben stellte sich heraus, dass die Auswahl der relevanten Reizquelle am zuverlässigsten anhand einfacher physikalischer Merkmale, wie z.B. der Tonhöhe der Reize, funktionierte. Semantische Kriterien hingegen erwiesen sich zur Selektion als weniger gut geeignet.

Die Theorie der frühen Selektion wurde jedoch bereits von Deutsch und Deutsch (1963) kritisiert. Sie stellten im Gegenzug dazu die Theorie der *späten Selektion* auf, wonach die Wahrnehmung einen hinsichtlich Kapazität unbeschränkten Prozess darstellt, der automatisch und für mehrere Reize parallel abläuft – ohne Notwendigkeit für Reizelektion. Nach dieser Annahme findet die Auswahl relevanter Reize erst später im Informationsverarbeitungsprozess statt, d.h. nach vollständiger Wahrnehmung in Zusammenhang mit der Antwortauswahl. Auch für diese Theorie wurde empirische Unterstützung gefunden, nämlich dass irrelevante Information gelegentlich doch semantisch verarbeitet wird (z.B. Corteen & Dunn, 1974; Moray, 1959; Treisman, 1960). Unterstützung für die Theorie der späten Selektion lieferten ferner Studien zu *negativem Priming* (z.B. Tipper, 1985; Tipper & Cranston, 1985). Allerdings gibt es auch eine Reihe von Studien, die keine Effekte *negativen Primings* durch – mit hoher Wahrscheinlichkeit – unbeachtete Reize nachweisen konnten (Driver & Baylis, 1989; Lachter et al., 2004; Paquet, 2001; Ruthruff & Miller, 1995).

Da die Datenlage hinsichtlich des Selektionsortes noch weitgehend uneindeutig ist, haben beide starken Formen der Selektionstheorien, die Theorie der frühen Selektion (z.B. Broadbent, 1982; Lachter et al., 2004; Paquet, 2001) und die Theorie der späten Selektion (z.B. Duncan, 1980; Hommel, 1998; Miller, 1987) auch heute noch ihre Anhänger.

Locus der Auswahl in Abhängigkeit von der Kapazitätsauslastung

Die Diskussion um den Ort der Reizauswahl wurde vorwiegend empirisch geführt. Man wollte anhand von Daten zeigen, dass frühe Selektion entweder möglich (z.B. Yantis & Johnston, 1990) oder unmöglich ist (z.B. Miller, 1991). Dabei fand bislang vergleichsweise

wenig Auseinandersetzung damit statt, welche Ursachen für eine frühe oder späte Reizauswahl in Betracht kommen.

Die Notwendigkeit der Reizselektion erwächst freilich aus der Kapazitätsbeschränkung des menschlichen Informationsverarbeitungssystems. Möglicherweise lassen sich jedoch die Theorien zu früher und später Selektion integrieren, wenn weitere Faktoren berücksichtigt werden, die hinsichtlich der Kapazitätsauslastung eine Rolle spielen. Der Aspekt der Aufmerksamkeitskapazität wurde in der Forschung zumeist vernachlässigt zugunsten der Frage, welche Rolle die physikalische Diskriminierbarkeit bei der Selektion relevanter Informationen spielt. Allerdings sind selbst klare physikalische Unterschiede zwischen den Reizen unter Umständen nicht hinreichend für selektive Verarbeitung (z.B. Gatti & Egeth, 1978). Unterschiedliche Grade an Auslastung von Aufmerksamkeitsressourcen könnten die widersprüchlichen Befunde zu früher bzw. später Reizauswahl integrieren. Wie bereits dargestellt (Kapitel 2.1.1 der Einführung), wirkt sich der Grad perzeptueller Auslastung in einer Aufgabe *bottom-up* auf die Aufmerksamkeitsverteilung aus: So wird bei hoher Auslastung die Aufmerksamkeit eher fokussiert als bei geringer Auslastung. Empirische Unterstützung für diese Annahme kam u.a. aus Studien zum Flankerparadigma, in denen sich eine Interaktion des Grads perzeptueller Auslastung mit der Höhe des FKE zeigte (z.B. Navon, 1989).

Den Annahmen von Lavie und Mitarbeitern zufolge ergibt sich unter der Bedingung *hoher* perzeptueller Auslastung bereits in passiver Weise eine frühe Selektion der Reize. Ist die Auslastung jedoch eher gering, so tendiert das System automatisch zur Mitverarbeitung der irrelevanten Information. Um deren tiefer gehende Verarbeitung dennoch zu stoppen und damit die Auswahl der richtigen Antwort zu gewährleisten, ist kognitive Kontrolle erforderlich. Durch Kontrolle kann die Interferenz durch die irrelevanten Reize zwar nicht ganz verhindert, aber doch merklich reduziert werden. Eine solche Situation entspricht wiederum der späten Reizauswahl. Im Falle erwünschter Parallelverarbeitung, wie z.B. in Doppelaufgabensituationen, kann sozusagen die kognitive Kontrolle dann darüber entscheiden, ob die Parallelverarbeitung der Reize zugelassen werden soll (siehe z.B. Yantis & Johnston, 1990).

Eine ähnliche Sichtweise ist in der *Dämpfungstheorie* (Treisman, 1969) beschrieben. Auch hier wird kein Alles-oder-Nichts-Filter der Reizauswahl postuliert. Stattdessen wird angenommen, dass die eingehende Information entsprechend ihrer Relevanz gewichtet wird. Je nach Gewichtung werden dann die Reize in ihrer Signalstärke mehr oder weniger abge-

schwächt. Da der Grad der Dämpfung variabel ist, ist eine frühe *oder* späte Auswahl von Reizen prinzipiell möglich. Bei starker Abschwächung der Reize können nur noch oberflächliche Eigenschaften identifiziert werden. Entsprechend kommt es bei hoher Gewichtung der Reize zu tief gehender Verarbeitung und – gegebenenfalls – auf späterer Stufe zur Selektierung.

Der Grad der Auslastung der Aufmerksamkeitskapazität bestimmt also mit, wie stark kognitive Kontrolle in einer Aufgabe zur erfolgreichen Reizauswahl gefordert ist und ob die Auswahl zu einem eher frühen oder einem eher späten Zeitpunkt einsetzt. Freilich ist eine späte Auswahl unter diesem Standpunkt anders zu verstehen als in der ursprünglichen Theorie der späten Selektion angenommen. Letztere ging davon aus, dass *Aufmerksamkeit* erst *nach* der Reizauswahl zum Tragen kommt, während die Theorie der Auslastung als Ursache für die späte Auswahl die Zuteilung von Aufmerksamkeitskapazität bereits *vor* der Selektion verantwortlich macht. Ein wesentlicher Aspekt der Auslastungs-Theorie besteht darin, dass *top-down* Faktoren für den Grad der Mitverarbeitung von Reizen eine entscheidende Rolle eingeräumt wird. Bei gegebenen *bottom-up* Bedingungen kann über kognitive Kontrolle eine eher fokussierte oder eine eher parallele Verarbeitung von Reizen erzielt werden. Die Differenzierung dieser verschiedenen Möglichkeiten ist essentiell für die Frage, inwiefern Strategien die Reizauswahl und Verarbeitung beeinflussen können.

2.3 Verarbeitung irrelevanter Information: Automatisch, unwillkürlich oder strategisch?

Werden in einer Aufgabe Reize mitverarbeitet, die per Aufgabendefinition irrelevant sind, wie z.B. die Flanker im Eriksen Paradigma, so stellt sich die Frage, auf welche Ursachen diese Mitverarbeitung zurückzuführen ist. Wie bereits dargestellt, kommen hierfür sowohl *bottom-up* Einflüsse als *top-down* Kontrollvorgänge in Betracht. Daher kann die Mitverarbeitung irrelevanter Reize wie der Flanker – und somit der FKE – auf automatischen Prozessen bzw. auf einer unwillkürlichen Aufmerksamkeitsverteilung beruhen oder aber das Ergebnis einer bestimmten Verarbeitungsstrategie darstellen.

2.3.1 Automatische versus unwillkürliche Mitverarbeitung

Der Theorie der Auslastung perzeptueller und kognitiver Prozesse zufolge tendiert das Aufmerksamkeitssystem dazu, seine verfügbare Kapazität möglichst vollständig auf vorhandenes Reizmaterial zu verteilen. Angesichts dieser Theorie handelt es sich beim klassischen

Flankerparadigma um eine Aufgabe, die nur ein geringes Maß an Auslastung perzeptueller Prozesse mit sich bringt (siehe z.B. Lavie & Tsal, 1994); aus diesem Grund tendiert das kognitive System hier dazu, sowohl den Zielreiz als auch die Flanker mit Aufmerksamkeit zu verarbeiten. Neben der Auslastung spielen noch weitere Eigenschaften des visuellen Feldes eine Rolle, allen voran Faktoren, die sich auf die perzeptuelle Diskriminierbarkeit von Zielreiz und Flankern beziehen. Nur wenn diese Bedingungen eine erfolgreiche Fokussierung der Aufmerksamkeit auf den Zielreiz erlauben, ist selektive Verarbeitung möglich.

In einer Reihe von Studien mit dem Flankerparadigma konnte gezeigt werden, dass eine verstärkte Aufmerksamkeitsausrichtung auf die Flanker zu einer entsprechenden Erhöhung des FKE führt (z.B. Baylis & Driver, 1992; Chastain, Cheal, & Lyon, 1996; Diedrichsen, Ivry, Cohen, & Danziger, 2000; Flowers & Wilcox, 1982; Holender, 1986; Johnston & Dark, 1986; Lambert, 1985; McCann & Johnston, 1992; Paquet, 2001; Paquet & Craig, 1997; Paquet & Lortie, 1990; Schmidt & Dark, 1998; Yantis & Johnston, 1990). Der FKE stellt also ein sensitives Maß für den Grad der Parallelverarbeitung von Zielreiz und Flankern bzw. für die den Flankern zugeteilte Aufmerksamkeitskapazität dar. Es gilt als weitgehend unbestritten, dass die Zuteilung von Aufmerksamkeit die Flankermitverarbeitung und somit den FKE verstärkt.

Diskutiert wird allerdings nach wie vor die Frage, ob eine Mitverarbeitung der Flanker tatsächlich vollständig *verhindert* werden kann, indem – unter den entsprechenden Bedingungen – keinerlei Aufmerksamkeit auf die Flanker verteilt wird. Einige Theoretiker, insbesondere Anhänger der „orthodoxen“ Theorie der späten Selektion, sind der Ansicht, dass Flanker ihre Wirkung auch ganz ohne Zutun von Aufmerksamkeit entfalten können (z.B. Cowan, 1988; Evans & Craig, 1992; Hommel, 2003; Miller, 1987, 1991; Ro, Machado, Kanwisher, & Rafal, 2002). Nach dieser Ansicht setzt die Selektion ja erst nach der vollständigen perzeptuellen Analyse der Flanker ein. Folglich werden die Flanker *immer* identifiziert, d.h. ihre aufgabenrelevanten Kategorien aktiviert, so dass ein FKE selbst bei erfolgreicher Fokussierung der Aufmerksamkeit entstehen sollte. Hieraus ergibt sich also die Frage, ob die Flankermitverarbeitung tatsächlich automatisch und ohne Aufmerksamkeit ablaufen kann. Wäre dies der Fall, ergäben sich insofern weitreichende Konsequenzen, als die Mitverarbeitung der Flankerreize selbst durch verstärkten Einsatz kognitiver Kontrolle *nicht* zu vermeiden wäre.

Eine empirische Überprüfung dieser Annahme erweist sich als äußerst schwierig. Als Kriterium dafür, ob die Flanker in einem Experiment tatsächlich beachtet wurden oder nicht, werden meist indirekte Maße verwendet, wie z.B. die Wiedererkennensleistung der fraglichen Reize im Anschluss daran. Selbst wenn keine Erinnerung an die präsentierten Reize mehr besteht, kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass die Reize doch mit Aufmerksamkeit verarbeitet, anschließend aber vergessen wurden. Zu berücksichtigen ist außerdem, dass die (exogen gesteuerte) Ausrichtung der Aufmerksamkeit lediglich 50-100 *ms* benötigt (siehe z.B. Posner et al., 1980) und dass in den meisten Aufgaben sowohl relevante als auch irrelevante Reize lange genug präsentiert werden, um solche Verschiebungen der Aufmerksamkeit nicht ausschließen zu können. Aber selbst bei einer Präsentationsdauer der Reize von weniger als 50 *ms* besteht noch immer die Möglichkeit, dass die Aufmerksamkeit innerhalb des ikonischen Gedächtnisses auf die irrelevanten Reize ausgerichtet wird (für eine Übersicht zu diesem Thema siehe z.B. Lachter et al., 2004).

Wenngleich der Nachweis schwierig ist, ob Reize mit oder ohne Aufmerksamkeit verarbeitet wurden, mehren sich empirische Belege, wonach eine erhebliche Reduzierung des FKE bis hin zu seiner Eliminierung über eine Verbesserung diverser passiv-physikalischer Selektionsbedingungen erzielt werden kann (Eriksen & Schultz, 1979; Flowers, 1990; Harms & Bundesen, 1983; LaBerge, Brown, Carter, & Bash, 1991; Lavie & Fox, 2000; Lavie et al., 2004). Ferner wurde beobachtet, dass Personen auch symbolische Hinweisreize erfolgreich nutzen können, um ihre Aufmerksamkeit auf den Zielreiz zu zentrieren und die Ablenkreize weitgehend auszublenden (Jonides, 1981; Müller & Rabbitt, 1989; Yantis & Johnston, 1990).

Sind die visuellen Selektionsbedingungen ausreichend gut, erscheint eine frühe Filterung der Flanker somit möglich. Aufgrund bestimmter perzeptueller Mechanismen (z.B. einer geringen Auslastung) kann es jedoch vorkommen, dass Aufmerksamkeitsressourcen unwillkürlich auf die Flanker verteilt werden und ein FKE erzeugt wird. Generell handelt es sich bei Aufmerksamkeit wohl doch um eine notwendige Voraussetzung für die Identifizierung von Reizen; so konnte bislang kein eindeutiger Nachweis erbracht werden, dass völlig unbeachtete Reize vollständig analysiert wurden.

2.3.2 Strategische Mitverarbeitung

Nach der Theorie der Auslastung eignet sich das Flankerparadigma gut zur Untersuchung von Strategien bei der Reizauswahl, da die passiven Bedingungen allein aufgrund der

geringen perzeptuellen Auslastung noch keine ausreichende Selektivität bewirken sollten. Kognitive Kontrolle ist demnach für den Grad der Mitverarbeitung der Flankerreize maßgeblich verantwortlich. Geht man hingegen von der Annahme aus, dass der FKE bereits ohne Zutun von Aufmerksamkeit zustande kommt und somit einen fixen, strategie-unabhängigen Aspekt der Informationsverarbeitung darstellt, sollte er folglich durch *top-down* Kontrolle nicht wesentlich modifiziert werden können.

Es stellt sich daher die Frage, ob strategische Effekte im Flankerparadigma beobachtet werden können. Zum Einfluss von Strategien im Flankerparadigma existieren nur wenige Untersuchungen (siehe weiter unten im Text). Deren Ergebnisse weisen jedoch darauf hin, dass eine intentionale Beeinflussung des Grads der Flankermitverarbeitung und somit des FKE möglich ist. Der Grundgedanke dieser Untersuchungen besteht darin, dass es sich bei der Fokussierung auf den Zielreiz bei gleichzeitiger Ausblendung der Flanker um nur *eine* mögliche Strategie handelt. Die Aufmerksamkeit kann zwischen Zielreiz und Flankern aufgrund strategischer Erwägungen auch geteilt werden. Doch weshalb sollten die Flanker absichtlich mitverarbeitet werden, wenn sie in der typischen Flankeraufgabe explizit irrelevant sind? Offensichtlich versprechen sich die Personen aus der Parallelverarbeitung von Zielreiz und Flankern in manchen Fällen einen Vorteil.

Ein solcher Vorteil aus der Mitverarbeitung der Flanker kann sich z.B. dann ergeben, wenn deren Auftreten mit einer bestimmten Antwort auf den Zielreiz korreliert ist, d.h., mit hoher Wahrscheinlichkeit die richtige Reaktion vorhersagt. Miller (1987) verwendete in einer Studie Flankerreize, die zwar nicht explizit mit einer Antwort verknüpft waren, aber überzufällig häufig gemeinsam mit einem bestimmten Zielreiz auftraten und daher auch mit einer bestimmten Antwort korrelierten. Die Ergebnisse zeigten, dass die Versuchsteilnehmer die Flanker als Hinweisreize für die richtige Antwort auf den Zielreiz nutzten. So zeigte sich, wenn die Flanker mit der gegenteiligen Antwort als der Zielreiz assoziiert waren, eine Verlangsamung der Reaktionszeit. Carlson und Flowers (1996) konnten ferner zeigen, dass eine solche Korrelation zwischen Flankern und richtigen Antworten einen Effekt unabhängig davon hat, ob die Versuchsteilnehmer über diesen Zusammenhang explizit informiert worden waren oder nicht. Es handelt sich dabei wohl um eine Form von Strategie, die in kontinuierlicher Weise entsteht und nicht bewusstseinspflichtig ist (siehe Strayer & Kramer, 1994b).

Strategische Anpassungen in Flankeraufgaben wurden auch von Gratton und Mitarbeitern (Gratton et al., 1992) beobachtet. Theoretischer Ausgangspunkt hierzu war ihr Zwei-Stufen-Modell der Informationsverarbeitung, das in Analogie zur FIT (Treisman & Gelade, 1980) folgende Annahmen macht: Auf einer ersten und zeitlich frühen Stufe werden alle im visuellen Feld verfügbaren Merkmale – also auch Zielreiz und Flanker – parallel verarbeitet, gefolgt von einer zweiten, zeitlich späteren Stufe mit fokussierter Verarbeitung. Nach dieser Vorstellung sind auf der ersten Stufe die verschiedenen Merkmale des visuellen Feldes noch nicht zu Objekten gebunden. Erst auf der späteren Stufe werden vollständige Objekte identifiziert (siehe auch Kapitel 2.1.1 der Einführung). Eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf den Zielreiz ist somit erst ab Erreichen der zweiten Verarbeitungsstufe möglich; erfolgt die Antwort aber bereits davor, so ist sie durch Zielreiz und Flanker in etwa gleichermaßen determiniert. Wird auf der frühen Stufe geantwortet, führt dies zwar zu schnellen Reaktionen bei gleichzeitig jedoch hohem Fehlerrisiko. Spätere Reaktionen fallen entsprechend langsamer aus, sind dabei aber wesentlich weniger fehleranfällig. Aus diesem Modell wurde vorhergesagt, dass Personen im Falle niedriger Fehlerwahrscheinlichkeit (vorwiegend kongruente Reizkonstellationen) aus strategischen Erwägungen heraus bereits auf der frühen Stufe reagieren sollten. Eine Antwort auf der späteren Stufe hingegen sollte bei hohem Fehlerrisiko (vorwiegend inkongruente Reizkonstellationen) bevorzugt werden.

Diese Hypothesen wurden in einer Reihe von Experimenten überprüft, in denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens kongruenter bzw. inkongruenter Reize variiert wurde. Zum einen geschah dies über eine Erwartungsmanipulation, indem einer Gruppe von Versuchsteilnehmern vor jedem Aufgabendurchgang ein Hinweisreiz dargeboten wurde, der mit hoher Validität (80%) die Kongruenz des aktuellen Durchgangs vorhersagte. In einer Vergleichsgruppe erschienen dieselben Hinweisreize vor jedem Durchgang, hier jedoch mit einer Validität von lediglich 50%, d.h. sie waren hier uninformativ. Beiden Gruppen wurden zusätzlich in insgesamt 20% der Durchgänge neutrale Hinweisreize dargeboten. Außerdem wurden sie über die Hinweisreize und deren Validität jeweils vorab informiert. Zum anderen wurde die Auftretenshäufigkeit einer bestimmten Reizkongruenz dadurch variiert, indem der Anteil kongruenter bzw. inkongruenter Durchgänge in einem Aufgabenblock insgesamt verändert wurde. Das heißt, der Anteil kongruenter Durchgänge in den verschiedenen Blöcken von Aufgaben war entweder 0%, 25%, 50%, 70% oder 100%. Über den relativen Anteil wurden die Versuchsteilnehmer ebenfalls vorab informiert.

Gemäß der theoretischen Annahmen wurde erwartet, dass die Versuchsteilnehmer in den mit hoher Wahrscheinlichkeit kongruenten Durchgängen im Wesentlichen eine Strategie des Antwortens auf der frühen Stufe bevorzugten, während sie bei hoher Wahrscheinlichkeit inkongruenter Durchgänge häufiger auf der späteren Stufe antworten sollten. Unterschiedliche Strategien dieser Art sollten sich deutlich auf die Reaktionszeiten und Fehlerraten niederschlagen: Werden kongruente Durchgänge erwartet, ist mit insgesamt niedrigeren Reaktionszeiten zu rechnen sowie mit einer stark erhöhten Fehlerrate in den (wenigen) inkongruenten Durchgängen. Wird hingegen mit hoher Wahrscheinlichkeit die Präsentation einer inkongruenten Reizkonstellation erwartet, so sollten die Reaktionszeiten insgesamt länger ausfallen und die Fehlerrate deutlich sinken. Die Ergebnisse von Gratton und Mitarbeitern unterstützen diese Vorhersagen im Wesentlichen (Gratton et al., 1992). Offensichtlich nahmen die Versuchsteilnehmer – je nach ihrer Erwartung – eine unterschiedliche Gewichtung von Geschwindigkeit und Genauigkeit vor. Allerdings zeigte sich in späteren Studien, dass die Ergebnisse zum Teil durch überzufällig häufige Reizwiederholungen beeinflusst waren (siehe Mayr, Awh, & Laurey, 2003).

Auch Harms und Bundesen (1983) konnten beobachten, dass bei Erwartung vorwiegend kongruenter Reize eine Tendenz zur Parallelverarbeitung besteht. Darüber hinaus zeigte sich, dass auch die *Nutzung* von Faktoren, die eine bessere Diskriminierbarkeit von Zielreiz und Flankern und daher eine leichtere Selektion ermöglichen, strategischen Erwägungen unterworfen ist. Zum Beispiel kann eine unterschiedliche Einfärbung von Zielreiz und Flankern die Reizauswahl und somit die Fokussierung auf den Zielreiz erleichtern – jedoch nur, wenn eine Person hiervon bewusst Gebrauch macht. Versprechen sich die Versuchsteilnehmer aus der Filterung der Flanker aber keinen Vorteil, z.B. da nur kongruente Reize erwartet werden, werden die Flanker absichtlich mitverarbeitet und die farbliche Trennung hat nicht die entsprechende Auswirkung (Harms & Bundesen, 1983).

Auch in anderen visuellen Selektionsaufgaben als dem Flankerparadigma konnten ähnliche strategische Effekte beobachtet werden. Im *Stroop-Paradigma* (Stroop, 1935) beispielsweise werden den Versuchsteilnehmern Wörter präsentiert, deren Wortbedeutung in kongruenter, inkongruenter oder neutraler Beziehung zu bestimmten perzeptuellen Eigenschaften der Präsentation steht, so wird das Wort „rot“ in roter (kongruent) bzw. in grüner Farbe (inkongruent) präsentiert, oder das Wort „oben“ erscheint oben (kongruent) bzw. unten am Bildschirm (inkongruent). Anhand einer Wahlreaktion soll auf eine bestimmte perzeptuelle

Eigenschaft (Farbe oder Ort) reagiert werden, während die Wortbedeutung zu ignorieren ist. Typischerweise sind die Reaktionszeiten und Fehlerraten in der inkongruenten im Vergleich zur kongruenten Bedingung erhöht. Variationen der Häufigkeit bzw. Erwartung bestimmter Kongruenzbedingungen führten hier zu ähnlichen Effekten wie im Flankerparadigma (Logan & Zbrodoff, 1979, 1982; Logan et al., 1983; Logan, Zbrodoff, & Williamson, 1984). Erscheint z.B. vor jedem Durchgang ein Hinweisreiz, der anzeigt, ob die zu erwartende Reizkonstellation mit hoher Wahrscheinlichkeit kongruent oder inkongruent ist, so kann im der *Stroop-Paradigma* die irrelevante Dimension als Prädiktor für die Zielreizantwort genutzt werden (Logan & Zbrodoff, 1982).

Eine solche Strategie erweist sich dort als noch vorteilhafter als in der Flankeraufgabe, da die irrelevante Dimension (typischerweise die Wortbedeutung) von geübten Lesern gewöhnlich noch rascher als die Farbe oder der Ort der Reize identifiziert wird. Logan und Mitarbeiter interpretierten ihre Ergebnisse im Sinne unterschiedlicher Aufmerksamkeitsstrategien, die je nach erwarteter Kongruenz variierten. Entscheidend dabei ist ihrer Auffassung nach, wie viel Aufmerksamkeitskapazität der irrelevanten im Verhältnis zur relevanten Dimension zugeteilt wird: Je mehr der irrelevanten Dimension Beachtung geschenkt wurde, desto mehr profitierte die Reaktionszeit von einer rascheren Identifikation der Antwort. Allerdings stieg mit zunehmender Beachtung der irrelevanten Dimension auch das Fehlerrisiko. Geschwindigkeit und Genauigkeit wurden hier nicht direkt angepasst, sondern eine Anpassung dieser Maße resultierte indirekt aus einer bestimmten Aufmerksamkeitsverteilung.

Gratton und Mitarbeiter (Gratton et al., 1992) hingegen erklärten die strategischen Effekte im Flankerparadigma nicht im Sinne einer Variation der Aufmerksamkeitsverteilung, sondern vielmehr als Outputgewichtung gemäß ihres Zwei-Stufen-Modells. Diese beiden Erklärungsansätze stehen jedoch nicht prinzipiell im Widerspruch zueinander. Es gibt starke empirische Evidenz für die Annahme, dass Reizmerkmale zunächst tatsächlich unverbunden verarbeitet werden (z.B. Treisman & Gelade, 1980). Die strategische Variation der Aufmerksamkeitsverteilung auf einzelne Reize oder Reizdimensionen vollzieht sich vermutlich erst auf einer späteren Verarbeitungsstufe, wenn bereits Objekte geformt und identifiziert wurden und somit eine Unterscheidung zwischen relevanten und irrelevanten Reizen möglich ist. Es ist anzunehmen, dass sich eine frühe (und systemimmanente) Parallelverarbeitung grober, unverbundener Merkmale von einer strategischen Parallelverarbeitung identifizierter Objekte grundlegend unterscheidet. Wird auf der Stufe noch unverbundener Merkmale reagiert, ist mit

einer sehr niedrigen Reaktionszeit bei einer hohen Fehlerrate zu rechnen (siehe z.B. die Ergebnisse von Gratton et al., 1992). Werden hingegen Objekte strategisch parallel verarbeitet, sind hohe Fehlerquoten nicht zwingend zu erwarten. Allerdings wäre in diesem Fall von höheren Reaktionszeiten auszugehen.

3 Informationsverarbeitung bei Doppelaufgaben

Wie bereits dargestellt, gibt es sowohl passive als auch aktive Mechanismen der Verhaltenssteuerung, so z.B. bei der Kontrolle visueller Aufmerksamkeit. Insbesondere die Möglichkeit zur *top-down* Ausrichtung von Aufmerksamkeit bildet eine wesentliche Voraussetzung dafür, Informationsverarbeitung und Verhalten strategisch steuern zu können. Die Person kann so selbst darüber bestimmen, welche Reize bevorzugt verarbeitet und als Grundlage für Entscheidungen und Handlungen verwendet werden sollen. Fragen optimaler Aufmerksamkeitsverteilung beschäftigen sich im Wesentlichen mit Einfachaufgaben, d.h. mit der selektiven Beachtung und Beantwortung *eines* Zielreizes bei gleichzeitiger Anwesenheit irrelevanter Reize.

Die Situation ändert sich, wenn mehrere Aufgaben zugleich oder rasch hintereinander bearbeitet werden sollen. Während es bei Einfachaufgaben in erster Linie um die Möglichkeit einer Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einen oder wenige Reize geht, stehen bei Mehrfachaufgabensituationen vor allem Fragen nach der Teilbarkeit von Aufmerksamkeit im Vordergrund. Aller Evidenz nach ist visuelle Aufmerksamkeit zwischen mehreren Reizen teilbar; dies ist bislang jedoch für andere Vorgänge der Informationsverarbeitung weitaus weniger eindeutig.

Ein zentrales Thema der Doppelaufgabenforschung besteht daher in der Klärung der Frage, inwieweit zwei Aufgaben tatsächlich parallel bearbeitet werden können. Dabei geht es vor allem auch darum, ob der Grad der Parallelverarbeitung in erster Linie von Strategien der Person oder aber von strukturellen Einschränkungen des Verarbeitungssystems abhängt. Wenngleich diese Frage bei der Forschung in den vergangenen Jahren erhebliches Interesse hervorgerufen hat, konnte sie dennoch nicht im Konsens beantwortet werden (Byrne & Anderson, 2001; Hazeltine, Teague, & Ivry, 2002; Navon & Miller, 2002; Ruthruff, Pashler, & Hazeltine, 2003b).

3.1 Leistung und Interferenz in Doppelaufgaben

3.1.1 Allgemeine Befunde

In der Psychologie hat die Beschäftigung mit Doppelaufgaben eine lange Geschichte, beginnend mit der häufig zitierten Studie von Telford (1931; für eine Übersicht hierzu siehe z.B. Pashler, Johnston, & Ruthruff, 2000). Im klassischen experimentellen Doppelaufgabenparadigma werden einer Versuchsperson zwei Stimuli in rascher Folge präsentiert, die beide beantwortet werden müssen. Um herauszufinden, welcher Grad zeitlicher Überlappung welche Kosten in der Leistung nach sich zieht, wird das Zeitintervall (SOA) zwischen der Präsentation des ersten (S_1) und der des zweiten Reizes (S_2) variiert.

Bei entsprechend kurzem SOA ist die Beantwortung des ersten Reizes zum Zeitpunkt der Präsentation des zweiten Reizes noch nicht abgeschlossen. Für diesen Fall steigt die Reaktionszeit auf S_2 mit abnehmendem SOA kontinuierlich an (z.B. Carrier & Pashler, 1995; De Jong, 1993; Logan & Gordon, 2001; Logan & Schulkind, 2000; McCann & Johnston, 1992; Pashler & Johnston, 1989). Die Phase der Verzögerung der zweiten Reaktion (R_2) in Abhängigkeit vom SOA wurde *Psychologische Refraktärperiode (PRP)* genannt. Analog dazu wird die charakteristische Reaktionszeiteinbuße bei R_2 als *PRP-Effekt* bezeichnet. Bei ausreichend kurzem zeitlichen Abstand zwischen beiden Reizen weist die SOA-Funktion der Reaktionszeit auf S_2 (RT_2) eine Steigung von etwa -1 auf (Pashler, 1994a), d.h. bei einem SOA von beispielsweise 100 ms verlängert sich RT_2 um 100 ms.

Die Reaktionszeit auf die erste Aufgabe (RT_1) hingegen scheint durch die Präsenz einer zweiten Aufgabe gewöhnlich nicht oder deutlich weniger beeinflusst zu werden (z.B. Carrier & Pashler, 1995; McCann & Johnston, 1992; Pashler & Johnston, 1989). In einigen Studien konnte jedoch auch eine maßgebliche Beeinflussung von RT_1 beobachtet werden, z.B. eine Verlangsamung von RT_1 bei Doppelaufgaben im Vergleich zur aufgabentypischen Reaktionszeit bei Einfachaufgaben (Logan & Schulkind, 2000; Pashler, 1984; Smith, 1969). Diese Verlangsamung von RT_1 interagiert ferner mit dem SOA, d.h. sie wird geringer, je später S_2 präsentiert wird (Pashler, 1990, 1991; Smith, 1969; Tombu & Jolicoeur, 2002, 2005).

Des Weiteren wurde beobachtet, dass insbesondere bei der zweiten Aufgabe einer Doppelaufgabe verschiedene Schwierigkeitsmanipulationen unterschiedliche Effekte nach

sich ziehen. Wird beispielsweise die Wahrnehmung von S_2 erschwert, z.B. indem der Kontrast verringert wird, so hat dies häufig nur einen geringen Effekt auf RT_2 im Vergleich zu einer Einfachaufgabensituation (De Jong, 1993; Pashler, 1984; Pashler & Johnston, 1989). Wird hingegen die Antwortauswahl erschwert, z.B. über eine Erhöhung der Anzahl der Antwortalternativen, so werden in der Regel keine Unterschiede zur Einfachaufgabensituation berichtet (für eine Übersicht hierzu siehe Pashler, 1998). RT_1 wird durch Schwierigkeitsmanipulationen der zweiten Aufgabe in der Regel kaum beeinflusst; auch hier gibt es jedoch einige Ausnahmen (Logan & Gordon, 2001; Logan & Schulkind, 2000; Miller, 2006; Pashler, 1984; Smith, 1969).

Die Ergebnisse zur Leistung in Doppelaufgaben zeigen, dass der Parallelverarbeitung mehrerer Aufgaben Grenzen gesetzt sind. In der Regel können zwei Aufgaben gleichzeitig nicht genauso rasch bearbeitet werden wie eine isolierte Aufgabe. Möglicherweise verhindert eine Art „Engpass“ im Informationsverarbeitungssystem des Menschen eine „perfekte“ Parallelverarbeitung, so dass Kosten im Vergleich zur Einfachaufgabensituation entstehen. Die Gesamtreaktionszeit in einer Doppelaufgabe fällt jedoch zumeist nicht länger aus als die *addierte* Reaktionszeit beider Aufgaben bei der Durchführung als Einfachaufgaben; in einzelnen Fällen wird sogar über Einsparungen berichtet (für eine Übersicht siehe z.B. Kahneman, 1973; Kerr, 1973; Moray, 1967; Wickens, 1984). Eine effiziente Parallelverarbeitung scheint vor allem bei der Wahrnehmung von Reizen möglich zu sein.

In den meisten Doppelaufgabenstudien wurden Aufgaben verwendet, die möglichst wenig gemeinsame Merkmale bzw. eine geringe strukturelle Überlappung aufwiesen. Dies ist dann der Fall, wenn das Reizmaterial beider Aufgaben über unterschiedliche Sinnesmodalitäten verarbeitet wird und die Ausführung der Antworten unterschiedliche Effektoren beansprucht, z.B. bei einer Kombination einer visuell-manuellen mit einer auditiv-verbale Aufgabe. Darüber hinaus spielt auch die Art der Beurteilung eine wesentliche Rolle, d.h. ob gleiche oder unterschiedliche Antwortkategorien verwendet werden. Geht es z.B. in einer Doppelaufgabe mit Zahlen als Reizmaterial in einer ersten Aufgabe um die Beurteilung der Reize nach gerade/ungerade, so ist die inhaltliche Überlappung geringer, wenn eine zweite Aufgabe die Beurteilung von Zahlen nach kleiner/größer erfordert, als wenn dieselbe Aufgabe wiederholt wird. Durch die Verwendung von Aufgaben mit geringer struktureller Überlappung sollte in der Regel gezeigt werden, dass selbst unter diesen Bedingungen Kosten bei der gleichzei-

tigen Bearbeitung zweier Aufgaben entstehen (z.B. Levy & Pashler, 2001; Ruthruff, Pashler, & Klaassen, 2001a).

3.1.2 Spezifische Interferenz bei Aufgaben mit und ohne kategoriale Überlappung

Allgemeine Kosten bei der Durchführung von Doppelaufgaben, wie z.B. der PRP-Effekt, verhalten sich sehr robust und lassen sich im PRP-Paradigma nahezu immer und mit einer praktisch beliebigen Kombination von Aufgaben nachweisen. Unter bestimmten Bedingungen können darüber hinaus jedoch noch weitere Interferenzeffekte auftreten, die von der inhaltlichen Beschaffenheit der Aufgaben abhängen und somit spezifischer sind.

Effekte dieser Art wurden beispielsweise von Hommel (1998) beobachtet. In einer Reihe von Experimenten wurde als Reizmaterial jeweils ein einzelner Buchstabe präsentiert, entweder ein *H* oder ein *S*, der in roter oder grüner Farbe erschien. Die erste Aufgabe bestand darin, eine linke oder rechte Taste auf die Farbe des Reizes hin zu drücken; als zweite Aufgabe musste eine mündliche Wahlreaktion hinsichtlich der Identität des Buchstabens ausgeführt werden. Letztere erforderte entweder die Antwort „rechts“/„links“ (Experiment 1) oder „rot“/„grün“ (Experiment 2), so dass R_2 folglich mit den Kategorien von R_1 bzw. von S_1 überlappte. Als Ergebnis zeigte sich, dass sowohl RT_1 als auch RT_2 deutlich niedriger ausfielen, wenn die relevante Kategorie von S_1 bzw. R_1 mit R_2 kongruent war. Hier entstand also ein *Crosstalk-Effekt* von R_2 auf RT_1 . Unter *Crosstalk* versteht man, dass der Input, der bei Doppelaufgaben nur für eine der beiden Aufgaben bestimmt ist, fälschlicherweise auch auf die andere Aufgabe übertragen wird (Navon, 1984, 1985; Navon & Miller, 1987). *Crosstalk* geht also über die unspezifische Interferenz hinaus, die aufgrund des Ressourcenwettbewerbs zwischen den Aufgaben entsteht und sich z.B. im PRP-Effekt manifestiert. In der Regel handelt es sich bei *Crosstalk*-Effekten um Kongruenzeffekte, d.h. der Reiz oder die geforderte Antwort der einen Aufgabe verhält sich kongruent oder inkongruent zu den entsprechenden Merkmalen der anderen Aufgabe.

Solche *Crosstalk*-Effekte in Doppelaufgaben wurden auch von Logan und Mitarbeitern berichtet (Logan & Delheimer, 2001; Logan & Gordon, 2001; Logan & Schulkind, 2000). Logan und Schulkind (2000) verwendeten als Reizmaterial beispielsweise zwei nicht-identische Zahlen, die vertikal nebeneinander und mit variablem SOA präsentiert wurden. Die Zahlen sollten entweder nach ihrer Parität (gerade/ungerade) oder nach ihrer Größe (kleiner/größer als fünf) beurteilt werden. Die Versuchsteilnehmer bearbeiteten jeweils

Blöcke mit ausschließlich derselben Aufgabe für R_1 und R_2 (Aufgabenwiederholung) als auch Blöcke mit Aufgabenwechsel. In den Blöcken mit Aufgabenwiederholung wurden sehr hohe *Crosstalk*-Effekte beobachtet. In einer weiteren Studie (Logan & Gordon, 2001) wurden ähnliche Experimente mit Aufgabenwiederholung durchgeführt, und zwar sowohl als Doppelaufgaben als auch als Einfachaufgaben. Bei den Doppelaufgaben zeigten sich wiederum deutliche Kongruenzeffekte, nicht jedoch bei den Einfachaufgaben. Weitere Beispiele von S_1 - S_2 *Crosstalk* – und darüber hinaus auch von R_1 - R_2 *Crosstalk* – finden sich bei Hübner und Druey (2006), bei Miller und Reynolds (2003) sowie bei Lien und Mitarbeitern (Lien & Proctor, 2000; Lien, Schweickert, & Proctor, 2003).

Offensichtlich kommt es bei Doppelaufgaben *mit überlappenden Eigenschaften* der Aufgaben (z.B. bei Aufgabenwiederholung) zu Kongruenzeffekten, die auf einer Beeinflussung von R_1 durch S_2 bzw. R_2 beruhen. Es gibt zudem Hinweise darauf, dass diese Kongruenzeffekte in Doppelaufgaben tendenziell höher ausfallen als bei Einfachaufgaben, d.h., wenn ein S_2 zwar präsentiert wird, aber nicht beantwortet werden muss (z.B. Hommel, 1998; Hommel & Eglau, 2002; Logan & Gordon, 2001). Da der R_2 - R_1 Kongruenzeffekt auf RT_1 auf einer Aktivierung kongruenter bzw. inkongruenter Antworten beruht, muss während der ersten Aufgabe S_2 bereits identifiziert bzw. eine dazugehörige Antwort aktiviert worden sein.

Es stellt sich die Frage, ob *Crosstalk*-Effekte nur in Doppelaufgaben mit gemeinsamen semantischen Merkmalen vorkommen, oder ob sich solche Effekte auch bei Doppelaufgaben ohne kategoriale Überlappung nachweisen lassen. Einige Studien haben sich dieser Frage bereits gewidmet (Miller, 2006; Miller & Alderton, 2006; Watter & Logan, 2006) und starke Evidenz für eine Generalisierbarkeit dieser Effekte gefunden. Miller (2006) verwendete PRP-Paradigmen, bei welchen die Aufgaben nicht aufeinander bezogen waren; Reizmaterial, S-R Regeln und Antworten unterschieden sich zwischen den Aufgaben. R_2 erforderte jeweils eine *Go/No-Go Reaktion*, d.h. in manchen Durchgängen sollte reagiert werden, in anderen nicht. Mit dieser Versuchsanordnung sollte getestet werden, ob R_1 in den Durchgängen verlangsamt ist, die für R_2 eine Hemmung der Antwort erfordern. Dies würde man erwarten, wenn ein inhibitorischer Prozess, assoziiert mit der zweiten Aufgabe, einen *Crosstalk*-Effekt auf die erste Aufgabe hat. Es stellte sich heraus, dass die Antworten auf die erste Aufgabe tatsächlich konsistent langsamer ausfielen, wenn der zweite Reiz *keine* Antwort erforderte.

In einer weiteren Studie konnten ähnliche Beobachtungen gemacht werden (Miller & Alderton, 2006). Hier kamen ebenfalls PRP-Paradigmen mit unähnlichen Aufgaben zur Anwendung, wobei R_2 hier darin bestand, einen leichten oder einen festen Tastendruck auszuüben. Die Kraftanforderungen in der zweiten Aufgabe hatten – unabhängig von motorischer Antwortkopplung – einen Effekt auf R_1 . So wurde R_1 mit mehr Kraft ausgeführt, wenn R_2 ebenfalls einen festen Tastendruck erforderte. In einem weiteren Experiment sollten die Versuchsteilnehmer nur auf einen Zielreiz reagieren, wobei sich die Flanker antwortkongruent oder -inkongruent zum Zielreiz verhielten. Bei diesen Einfachaufgaben traten keine Kongruenzeffekte auf; Miller und Alderton (2006) zogen hieraus den Schluss, dass es sich bei den *Crosstalk*-Effekten nicht um automatische Effekte handeln könne.

Auch Watter und Logan (2006) konnten zeigen, dass trotz Aufgabenwechsel und der Verwendung unterschiedlicher Kategorien *Crosstalk*-Effekte zwischen der ersten und der zweiten Aufgabe entstehen können. Ihre Untersuchung zielte insbesondere darauf ab, zwischen der Interferenz auf der Ebene von Reizkategorien bzw. auf der Ebene von Antwortkategorien zu differenzieren. In einem ersten Experiment wurde die Leistung bei gleichen bzw. unterschiedlichen Aufgaben für S_1 und S_2 verglichen. Als Reizmaterial wurden Zahlen verwendet; bei den Aufgaben handelte es sich um Beurteilung der Reize nach gerade/ungerade und größer/kleiner fünf. Für die erste und die zweite Aufgabe standen insgesamt vier unterschiedliche Reaktionstasten zur Verfügung. Eine Hälfte der Versuchsteilnehmer sollte auf beide Aufgaben mit unterschiedlichen Händen reagieren, die andere Hälfte sollte jeweils dieselbe Hand für beide Aufgaben verwenden; auf diese Weise wurde die Überlappung der Antwortkategorien zwischen beiden Aufgaben variiert. Insgesamt konnten die Ergebnisse starker *Crosstalk*-Effekte bei Aufgabenwiederholung repliziert werden. Diese Effekte fielen jedoch bei Aufgabenwechsel deutlich geringer aus. Im Falle eines Handwechsels unterschieden sich die Antwortkategorien zwischen den Aufgaben vollständig; unter diesen Bedingungen konnten keine signifikanten Kongruenzeffekte mehr beobachtet werden. In einem weiteren Experiment wurde die Bedeutung der Antwortkategorien näher untersucht, indem bei Aufgabenwechsel verschiedene Hände, aber identische Kategorien verwendet wurden. Der Vorhersage gemäß kam es nun trotz Aufgaben- und Handwechsels zu signifikanten Kongruenzeffekten. Offensichtlich ist für die Entstehung von Interferenzeffekten bei Doppelaufgaben die Verwendung gleicher Antwortkategorien ausschlaggebend.

3.2 Erklärungsansätze zur Doppelaufgabenverarbeitung

Wie in Kapitel 3.1 dargestellt, kommt es bei Doppelaufgaben im Vergleich zu Einfachaufgaben in der Regel zu typischen Kosten und Interferenzeffekten, selbst wenn die Aufgaben nur einen niedrigen Schwierigkeitsgrad und kaum gemeinsame Merkmale aufweisen. Dies lässt die Annahme plausibel erscheinen, dass ein genereller Engpass innerhalb des kognitiven Verarbeitungssystems dazu führt, dass bestimmte Prozesse nicht oder nur eingeschränkt für mehrere Aufgaben gleichzeitig ablaufen können. Zur Erklärung dieser vermuteten Einschränkung wurden mehrere theoretische Ansätze entwickelt. Diese unterscheiden sich im Wesentlichen dahingehend, welche Verarbeitungsstufe² sie für ressourcenlimitiert halten. Des Weiteren existieren unterschiedliche Annahmen in Bezug auf Parallelverarbeitung. So wird in einigen Modellen angenommen, dass die ressourcenlimitierten Prozesse nur eine strikt serielle Verarbeitung erlauben. Andere Theorien gehen davon aus, dass Parallelverarbeitung für zwei und mehr Aufgaben durchgehend möglich ist.

3.2.1 Art und Ort des Engpasses³

Globaler Ein-Kanal

In frühen Studien zur Leistung in Doppelaufgaben wurde zunächst nicht zwischen verschiedenen Einheiten der Informationsverarbeitung differenziert. Man ging davon aus, dass alle Verarbeitungsprozesse zwischen Reizeingang und Antwortproduktion einen so genannten *Ein-Kanal* bilden, der nur mit *einer* Aufgabe zu einem Zeitpunkt belegt sein kann. Eine zweite Aufgabe müsse in ihrer Verarbeitung daher solange aufgeschoben werden, bis der Kanal wieder frei ist. Frühe Ergebnisse schienen diese Annahme zu bestätigen, insbesondere Befunde aus dem PRP-Paradigma, wonach die Erhöhung von RT_2 bei gleichzeitiger Präsentation von S_1 und S_2 identisch mit der Dauer von RT_1 war (Davis, 1956, 1957; Welford, 1952). Craik (1948) beobachtete beispielsweise, dass Versuchsteilnehmer in einem

² Einige Modelle unterscheiden sich ferner hinsichtlich der Frage, ob die Informationsverarbeitung als Abfolge diskreter Stufen oder als kontinuierlich konzeptualisiert wird (siehe Kapitel 2.2.2 der Einführung). Im Folgenden wird diese Frage jedoch nicht vertieft diskutiert, da im Wesentlichen Stufenmodelle miteinander verglichen werden.

³ Der Begriff *Engpass* bezeichnet in der vorliegenden Arbeit eine Verarbeitungsbeschränkung bei Doppelaufgaben – im Sinne limitierter Ressourcen – weitgehend theorieneutral. Das bedeutet, *Engpass* impliziert weder strikt serielle Verarbeitung noch Kapazitätsteilung zwischen den Aufgaben (siehe Kapitel 3.3 der Einführung).

Experiment, bei dem eine kontinuierliche manuelle Verfolgung eines Zielreizes gefordert war, statt einer kontinuierlichen Bewegung intermittierende Bewegungen durchführten, und zwar mit einem zeitlichen Zwischenintervall von etwa 500 ms. Dieses Ergebnis wurde auch von Vince (1948) bestätigt. Diese 500 ms entsprechen in etwa der summierten Zeit für Wahrnehmung, Antwortauswahl und Antwortproduktion bei Wahlreaktionsaufgaben (Sternberg, 1969).

Die bisher dargestellten Ergebnisse deuteten also darauf hin, dass die zweite Aufgabe während der gesamten Verarbeitung der ersten aufgeschoben wurde. Später stellte sich jedoch heraus, dass der PRP-Effekt bei einem SOA von 0 ms in der Regel kürzer ausfällt als die gesamte Dauer von RT_1 (siehe z.B. die Übersichtsarbeiten von Kahneman, 1973; Kerr, 1973; Moray, 1967; Wickens, 1984). Der postulierte Ein-Kanal bzw. Engpass zwischen Reizeingang und -ausgang umfasst folglich wohl nicht alle Prozesse (siehe z.B. Allport, Antonis, & Reynolds, 1972; Gottsdanker, 1980; McLeod, 1978).

Globale Ressourcen

Nachdem die anfängliche Erklärung des PRP-Effekts im Sinne eines globalen Ein-Kanals als weitgehend widerlegt gelten konnte, entwickelte sich eine Reihe alternativer Erklärungsansätze. So gaben die so genannten Ressourcen- oder Kapazitätstheorien⁴, ein Sammelbegriff für verschiedene Ansätze, die Vorstellung eines seriellen Ein-Kanals in der Verarbeitung vollständig auf (Kahneman, 1973; Norman & Bobrow, 1975; Wickens, 1984). Um die Kosten zu erklären, gehen die Ressourcentheoretiker davon aus, dass die Verarbeitung in Doppelaufgaben auf ein gemeinsames „mentales Gut“ zurückgreift, welches für die verschiedenen Aufgaben benötigt wird. Dieses sei quantifizierbar und limitiert, jedoch zwischen den Aufgaben teilbar. Die Annahme eines für alle Aufgaben gemeinsamen, beschränkten Ressourcenpools hat ihren Ursprung in der Beobachtung, dass bei Doppelaufgaben nicht nur RT_2 , sondern gelegentlich auch RT_1 verlangsamt ist (z.B. Smith, 1969). Aufgrund der erforderlichen Ressourcenteilung erfahren nach dieser Vorstellung beide Aufgaben eine teilweise Reduzierung der Verarbeitungskapazität. Demnach ist Parallelverarbeitung auf jeder Stufe des Verarbeitungsprozesses möglich, sofern die Anforderungen mehrerer Aufgaben die Gesamtmenge verfügbarer Kapazität nicht überschreiten. Im Rahmen dessen können die zur

⁴ Die Begriffe *Ressourcen* und *Kapazität* werden im Folgenden gleichbedeutend verwendet.

Verfügung stehenden Ressourcen in beliebigem Verhältnis auf mehrere Aufgaben aufgeteilt werden, so dass ein breites Spektrum an Verarbeitungsmodi möglich ist.

Abgesehen von diesen Kernannahmen machen unterschiedliche Ressourcenansätze jedoch abweichende Aussagen darüber, worin das zu teilende „mentale Gut“ besteht. Dies spiegelt sich in hierfür unterschiedlichen Begrifflichkeiten wider, wie Verarbeitungsraum (Kerr, 1973), Verarbeitungsressourcen (Navon & Gopher, 1979; Norman & Bobrow, 1975), Energiemengen (Gopher, 1986), mentale Anstrengung und Aufmerksamkeit (Kahneman, 1973). Nach Ansicht der Theorien *globaler* Ressourcen wird nicht zwischen verschiedenen Ressourcenpools für unterschiedliche kognitive Verarbeitungsprozesse differenziert, sondern es greifen sowohl Wahrnehmungs- als auch Entscheidungsprozesse auf eine globale Form der Kapazität zurück.

Es wurde jedoch eingeräumt, dass die Leistung nicht nur von der Menge an Ressourcen, sondern auch von gewissen peripheren und zentralen „Strukturen“ beeinflusst wird, wie z.B. der Funktionsweise der Sinnessysteme, der Verfügbarkeit von Gedächtniskapazität sowie den Effektoren für die motorische Ausführung (z.B. Kahneman, 1973). Die gleichzeitige Beanspruchung dieser Strukturen könne zusätzliche Interferenz bei der Parallelverarbeitung von Aufgaben hervorrufen. Die hauptsächliche Ursache für die Kosten sah man jedoch in der beschränkten Kapazität.

Die theoretische Vorstellung, dass Ressourcen flexibel zwischen verschiedenen Aufgaben geteilt werden können, wird durch eine Reihe von Studien unterstützt (z. B. Gopher, Brickner, & Navon, 1982; Kramer, Wickens, & Donchin, 1985; Sperling & Melchner, 1978). Ähnlich der Theorie des Ein-Kanals hat allerdings auch die Annahme Globaler Ressourcen Schwierigkeiten bei der Erklärung von Ergebnissen, die auf eine effektive Parallelverarbeitung während der Wahrnehmung hindeuten. Jede Kapazitätsteilung zwischen Aufgaben sollte zu Kosten in der Leistung führen, unabhängig davon, um welche Prozesse es sich dabei handelt.

Periphere Engpässe

Wie bereits angedeutet, räumen die Kapazitätstheorien die Möglichkeit struktureller Interferenz zwischen zwei Aufgaben ein, die z.B. aufgrund der Verwendung gleicher Modalitäten oder gleicher Effektoren entstehen kann. Dabei handelt es sich um Strukturen oder Prozesse „in der Peripherie“, d.h. die in Zusammenhang stehen mit Sinnes- und Motoriksysteme-

men. Unter *peripherer* Verarbeitung werden häufig auch die Reizwahrnehmung sowie die Planung motorischer Abläufe subsumiert – in Abgrenzung zu *zentralen* kognitiven Prozessen wie Entscheidung und Antwortauswahl. In einigen Theorien wird indes angenommen, dass nicht Kapazitätsteilung beim Ablauf zentraler Prozesse, sondern periphere Verarbeitungsprozesse die Hauptquelle für die Interferenz bei Doppelaufgaben darstellen.

Die Idee eines *perzeptuellen Flaschenhalses* wurde von Broadbent im Jahr 1958 im Rahmen seiner *Filtertheorie* eingeführt (Broadbent, 1958). In der Filtertheorie wird davon ausgegangen, dass ein Engpass bereits im Zuge der Reizidentifikation entsteht. Demnach gehen alle Reize zunächst parallel in einen sensorischen Speicher ein, wo ihre physikalischen Merkmale für einen nachfolgenden *Aufmerksamkeitsfilter* analysiert und aufbereitet werden. Auf der Basis dieser Merkmale, vorangegangener Erfahrung und begleitender Aufgabenanforderungen sollte dieser Filter dann bestimmte Reize für die Weiterverarbeitung im kapazitätsbeschränkten Kanal auswählen. Erst dort werden die Reize dann vollständig identifiziert und semantisch analysiert. Unterstützt wurde diese Vorstellung von einem bereits während der Wahrnehmungsvorgänge bestehenden Filter durch eine Reihe früher Untersuchungen (z.B. Broadbent, 1952; Broadbent, 1954). Nachfolgende Forschung ließ jedoch gewisse Zweifel an dieser Annahme aufkommen (z.B. Corteen & Dunn, 1974; Moray, 1959, 1967; Treisman, 1960).

In einer anderen theoretischen Vorstellung wird nicht die Wahrnehmung, sondern die Stufe motorischer Antwortproduktion als kapazitätsbeschränkt erachtet, d.h. es wird ein *Antwortproduktionsflaschenhals* postuliert (Keele & Neill, 1978). Sowohl Wahrnehmung als auch zentrale Verarbeitung gelten nach dieser Annahme hinsichtlich verfügbarer Kapazität als weitgehend unbeschränkt, d.h. sie können für zwei Aufgaben parallel und ohne Einbußen ablaufen. Der sich daran anschließende Prozess, der sukzessive individuelle Bewegungsabläufe vorbereitet, initiiert und ausführt, ist hingegen stark kapazitätsbeschränkt und kann nicht für mehrere Aufgaben gleichzeitig stattfinden. Dies führt somit zu Verzögerungen bei der anderen Aufgabe. Auch für diese Annahme gab es zunächst einige empirische Unterstützung (z.B. Karlin & Kestenbaum, 1968; Keele, 1973; Keele & Neill, 1978).

Nachfolgende Untersuchungen ergaben jedoch, dass Einschränkungen im Sinne generell begrenzter Ressourcen bei der Wahrnehmung oder bei der Antwortproduktion wohl eine eher untergeordnete Rolle spielen. Vielmehr entsteht Interferenz aufgrund bestimmter Aufga-

benkombinationen (z.B. Allport et al., 1972; Arnell & Duncan, 2002; Hirst & Kalmar, 1987; Wickens, 1984; Wickens, Sandry, & Vidulich, 1983). Demnach lässt sich strukturelle Interferenz in Doppelaufgaben durch eine Kombination von Aufgaben verringern, die unterschiedliche Sinnesmodalitäten auf der Eingangsseite (z.B. visuelle und auditive Reize) und unterschiedliche Effektoren auf der Ausgangsseite (z.B. manuelle und mündliche Antworten) beanspruchen.

Zentraler Engpass

Offensichtlich kann sich die Verwendung gleicher Eingangs- bzw. Ausgangsmodalitäten in Doppelaufgaben ungünstig auf die Leistung auswirken. Es handelt sich dabei jedoch nicht um die Hauptquelle der bei Doppelaufgaben – im Vergleich zu Einfachaufgaben – anfallenden Kosten. Wird nämlich periphere Interferenz durch die Verwendung strukturell sehr unterschiedlicher Aufgaben weitgehend eliminiert, so können in der Regel dennoch erhebliche Kosten beobachtet werden (für eine Übersicht hierzu siehe z.B. Pashler, 1994a). Dies ist ein starker Hinweis darauf, dass allgemeine Kosten aufgrund interferierender zentraler Prozesse entstehen.

Bereits Welford (1967) und Smith (1967) interpretierten den PRP-Effekt als Ausdruck eines Engpasses auf der Stufe der Antwortauswahl. Gemäß dieser Annahme ist die Kapazität insbesondere für zentrale Verarbeitungsvorgänge begrenzt. Periphere Verarbeitung hingegen erlaubt prinzipiell ein hohes Maß an Parallelverarbeitung, insbesondere bei der Verwendung unterschiedlicher Modalitäten und Effektoren. Überlappt jedoch die zentrale Verarbeitung zweier Aufgaben zeitlich, so sollten – weitgehend unabhängig von der Art der Aufgaben – entsprechende Kosten entstehen, wie z.B. der PRP-Effekt auf RT_2 . Tatsächlich handelt es sich beim PRP-Effekt um ein sehr robustes Phänomen. Weitere Unterstützung für die Existenz eines zentralen Engpasses kommt aus Untersuchungen, bei welchen die Dauer der zentralen Verarbeitungsstufe von Aufgaben manipuliert wurde, z.B. über eine Erhöhung der Anzahl von Antwortalternativen (Fitts & Seeger, 1953; Kornblum, Hasbroucq, & Osman, 1990; Sternberg, 1969). Es zeigte sich, dass sich eine Erhöhung der Schwierigkeit der Antwortauswahl nicht nur auf RT_1 , sondern auch auf RT_2 auswirkte (Fagot & Pashler, 1992; McCann & Johnston, 1992; Pashler & Johnston, 1989). Eine Verlängerung der zentralen Entscheidungsstufe kann ferner auch über erhöhte Inkompatibilität von Reizen und Reaktionen in einer Aufgabe erzielt werden. Analog fanden Broadbent und Gregory (1967), dass eine erhöhte S-R

Inkompatibilität bei der ersten Aufgabe mit einem Anstieg sowohl von RT_1 als auch von RT_2 einherging.

Falls Wahrnehmungsprozesse tatsächlich parallel und weitgehend interferenzfrei für zwei Aufgaben ablaufen können, sollte eine Verlängerung der Wahrnehmungsstufe andere Effekte nach sich ziehen als eine Verlängerung der zentralen Stufe. Wird die Dauer der perceptuellen Verarbeitung, z.B. bei der zweiten Aufgabe, erhöht, so sollte dies zu Effekten vergleichbar einer SOA Manipulation führen. Da gemäß der Vorstellung eines zentralen Engpasses die Wahrnehmung der zweiten Aufgabe ohne größere Kosten mit der zentralen Verarbeitung der ersten Aufgabe überlappen kann, führt eine Verlängerung der Wahrnehmung der zweiten Aufgabe zwar zu einer Erhöhung von RT_2 , nicht aber von RT_1 (für eine Übersicht siehe Pashler & Johnston, 1989).

Besteht bei Doppelaufgaben ein zentraler Engpass, so sollten sich außerdem die Ergebnisse verändern, wenn keinerlei Antwortauswahl bei der einen oder anderen Aufgabe erforderlich ist. Handelt es sich bei der ersten Aufgabe z.B. um eine *Go/No-Go Aufgabe*, bedeutet dies, dass in manchen Durchgängen keine Antwort und somit auch keine Antwortauswahl auf S_1 erfolgt. In einer solchen Situation konnte tatsächlich beobachtet werden, dass sich der PRP-Effekt auf RT_2 reduzierte (z.B. Davis, 1956; Nickerson, 1965) oder sogar ganz verschwand (z.B. Borger, 1963; Davis, 1962).

Insgesamt spricht die Mehrzahl empirischer Befunde dafür, dass die Quelle der beobachteten Kosten bei Doppelaufgaben in erster Linie in der zentralen Stufe zu suchen ist. Unabhängig von spezifischer Interferenz bei peripheren Prozessen gibt es vermutlich eine Limitation hinsichtlich abstrakter, konzeptueller Entscheidungsvorgänge. Während der Antwortauswahl ist also eine Parallelverarbeitung zweier Aufgaben nicht oder nur mit Kosten verbunden möglich (siehe Kapitel 3.3 der Einführung).

3.2.2 Einflüsse von Vorbereitung, Strategien und Antwortgruppierung

Die typischen Leistungseinbußen und sonstigen Ergebnisse in Doppelaufgabensituationen sind auf verschiedene Ursachen zurückzuführen, wie z.B. begrenzte Kapazität und strukturelle Interferenz bei ähnlichen Aufgaben. Daneben gibt es noch eine Reihe weiterer, vergleichsweise unspezifischer Faktoren, die die Leistung in Doppelaufgaben maßgeblich beeinflussen können, nämlich eine bestimmte Erwartungs- oder Vorbereitungshaltung der Person oder besondere Verarbeitungsstrategien. Einflüsse dieser Art können – weitgehend unabhän-

gig vom Grad der Aufgabenähnlichkeit oder der Überlappung auf zentraler Verarbeitungsstufe – in nahezu jeder Aufgabensituation beobachtet werden.

Unterschiede in der Vorbereitung

Die Durchführung einer Aufgabe setzt stets eine bestimmte *Vorbereitungsstruktur* voraus. Eine entsprechende Intention zur Aufgabenbearbeitung und eine Bereitschaft zum Antworten müssen vorhanden sein. Im PRP-Paradigma ist eine Vorbereitung sowohl auf die erste als auch auf die zweite Aufgabe erforderlich. Die Aufgabenvorbereitung scheint dabei ein Vorgang zu sein, der in hohem Maß kognitive Kontrolle erfordert (siehe z.B. De Jong, 1995). Dazu gehört vor allem, dass die Anforderungen für beide Aufgaben im Arbeitsgedächtnis aktiv gehalten werden. Auch bei Doppelaufgaben mit Aufgabenwiederholung spielt dies eine Rolle, da selbst scheinbar geringe Abweichungen in der Aufgabenstellung (z.B. Antworten auf die erste Aufgabe mit der linken Hand, auf die zweite Aufgabe mit der rechten Hand) eine distinkte Bearbeitung erforderlich machen. Darüber hinaus ist in der Regel eine bestimmte Antwortreihenfolge einzuhalten und der Wechsel zwischen erster und zweiter Aufgabe zu planen.

Das Arbeiten wird umso effizienter, je weniger Aufgaben zur gleichen Zeit vorzubereiten sind. Der Vorbereitungsaufwand ist bei Doppelaufgaben im Vergleich zu Einfachaufgaben erhöht: Kosten in Zusammenhang mit der Vorbereitung sind vermutlich ausschlaggebend dafür, dass RT_2 in Doppelaufgaben selbst bei sehr langem SOA (d.h. ohne zeitliche Überlappung der Aufgaben) durchschnittlich höher ausfällt als die entsprechende Reaktionszeit in Einfachaufgaben (Gottsdanker, 1980). Die Aufgabenleistung fällt gewöhnlich schlechter aus, wenn die Reihenfolge der Reize bzw. der Aufgaben unbekannt ist und die Vorbereitung daher im Vorfeld nicht vollständig erfolgen kann (De Jong, 1995; Pashler, 1990). Es besteht Evidenz für die Annahme, dass in Doppelaufgaben die Vorbereitung auf die zweite Aufgabe nicht erst *nach* R_1 beginnt, sondern bereits vor bzw. während der Verarbeitung der ersten Aufgabe erfolgt (De Jong, 1995).

Levy und Pashler (2001) untersuchten in einer Reihe von Experimenten den Einfluss von Aufgabenvorbereitung. Der Grad der Vorbereitung wurde variiert, indem drei verschiedene Arten von Aufgabenblöcken dargeboten wurden, nämlich zwei unterschiedliche Arten von Einfachaufgaben- sowie eine weitere Art mit Doppelaufgabenblöcken. Bei dem einen Typ von Einfachaufgabenblöcken war stets nur eine von zwei verschiedenen Aufgaben zu

beantworten. Bei den Einfachaufgaben des anderen Typs musste zwar pro Durchgang auch jeweils nur eine Aufgabe beantwortet werden, es wurden aber beide Aufgaben in zufälliger Reihenfolge dargeboten. Aus dieser Anordnung folgt, dass in den ersten Einfachaufgabenblöcken jeweils nur eine Aufgabe, in den zweiten jedoch beide Aufgaben vorbereitet werden mussten. Zum Vergleich wurden Doppelaufgabenblöcke bearbeitet, in denen die Reize beider Aufgaben gleichzeitig erschienen und beantwortet werden mussten. Insgesamt ergab sich eine deutliche Verlangsamung der Reaktionszeit in den Einfachaufgabenblöcken, in denen sich die Versuchsteilnehmer auf beide Aufgaben vorbereiten mussten, was bei den Einfachaufgabenblöcken mit der Vorbereitung auf jeweils nur eine Aufgabe nicht der Fall war. Der erhöhte Vorbereitungsbedarf bei den gemischten Einfachaufgabenblöcken ging also mit einer Erhöhung der Reaktionszeit einher. Im Vergleich dazu fielen die Reaktionszeiten in den Doppelaufgabenblöcken jedoch noch wesentlich höher aus. Ein ähnliches Resultat beim Vergleich gemischter Einfachaufgaben mit Doppelaufgaben erzielten auch Ruthruff und Mitarbeiter (2001a). Das bedeutet, dass nur *ein Teil* der Kosten bei Doppelaufgaben auf einen erhöhten Vorbereitungsaufwand zurückgeführt werden kann.

Strategische Verschiebung

Personen sind bekanntermaßen dazu in der Lage, die Aufgabenbearbeitung auf verschiedene Weise strategisch zu steuern, indem z.B. Verarbeitungsprioritäten über eine bestimmte Aufmerksamkeitsgewichtung gesetzt werden. Die charakteristischen Ergebnisse in Doppelaufgaben, insbesondere der PRP-Effekt, könnten also auch aufgrund einer bestimmten Bearbeitungsstrategie zustande kommen. Eine solche Strategie wäre, sich zunächst nur auf die erste Aufgabe zu konzentrieren und die Verarbeitung der zweiten bewusst hinauszuschieben. Insbesondere in älteren PRP-Studien wurde die Priorität per Instruktion zumeist auf die erste Aufgabe gelegt, was einer solchen Strategie Vorschub geleistet haben mag. Aber auch andere Bedingungen, wie z.B. die SOA-verzögerte Darbietung von S_2 oder die Notwendigkeit, eine bestimmte Antwortreihenfolge einzuhalten, könnten die Verarbeitung von S_1 vorrangig erscheinen lassen und so eine serielle Bearbeitungsstrategie fördern.

Eine extreme theoretische Position in diesem Zusammenhang geht von der Annahme aus, dass unter optimalen Bedingungen „perfekte“ Parallelverarbeitung bei Doppelaufgaben möglich sei; das heißt, es sollte keine Interferenz entstehen bzw. keine Kosten im Vergleich zur Verarbeitung von Einfachaufgaben mehr nachweisbar sein (Greenwald & Shulman, 1973;

Meyer & Kieras, 1997a). Eine entscheidende Voraussetzung hierfür ist diesen Autoren zufolge, dass beiden Aufgaben die gleiche Priorität eingeräumt wird. Darüber hinaus müssten unterschiedliche Grade an Vorbereitung sowie das Auftreten peripherer Interferenz vermieden werden. Schließlich sei auch ein gewisses Maß an Übung Voraussetzung für eine perfekte Parallelverarbeitung zweier Aufgaben. Nach dieser Vorstellung beruhen also der PRP-Effekt und weitere typische Befunde in Doppelaufgaben im Wesentlichen auf einer bestimmten Bearbeitungsstrategie. Dieser theoretische Ansatz wird auch als *Strategic Response Deferment (SRD)* Modell bezeichnet. SRD geht zurück auf komplexe Modellierungen mit der *Executive-Process Interactive Control (EPIC)* Architektur nach Meyer und Kieras (1997a). Dort wird u.a. davon ausgegangen, dass die menschlichen Verarbeitungskapazitäten wesentlich größer und flexibler seien als von den meisten Theorien angenommen. Auch auf einer zentralen Verarbeitungsstufe existiert demnach kein strukturell bedingter Engpass. Vielmehr kontrollieren exekutive Funktionen gemäß bestimmter Regeln, Intentionen und Aufgabenanforderungen, inwieweit und auf welcher Stufe zwei oder mehr Aufgaben gleichzeitig ablaufen. Das SRD Modell, das sich der EPIC-Architektur bedient, ist dabei speziell auf das PRP-Paradigma zugeschnitten. Nach diesem Modell ist eine strategisch bedingte Aufschiebung der zweiten Aufgabe entweder vor Beginn der Antwortauswahl oder vor der Antwortausführung möglich. Es wird angenommen, dass ohne eine solche Strategie zwei Aufgaben prinzipiell gleichzeitig und ohne Interferenz bearbeitet werden können.

Die Voraussetzungen für interferenzfreie Parallelverarbeitung erwiesen sich jedoch als schwer realisierbar (siehe z.B. Pashler, 1994b; Ruthruff et al., 2001a). Entscheidend ist offensichtlich weniger eine bestimmte Strategie, sondern vielmehr das Ausmaß an Übung. Bei extremer Übung hoch S-R kompatibler Aufgaben lässt sich eine Verringerung oder Eliminierung des PRP-Effekts beobachten (z.B. Schumacher & Lauber, 1999; Schumacher, Seymour, Glass, Fencsik, Lauber, Kieras, & Meyer, 2001). Bei derart extensivem Training einfachster Aufgaben kann man jedoch davon ausgehen, dass nicht eine optimale Teilung von Verarbeitungskapazität, sondern vielmehr automatisierte Verarbeitung ohne Kapazitätsbedarf gelernt wurde (siehe z.B. Levy & Pashler, 2001). In anderen Untersuchungen vergleichbarer Art, jedoch mit weniger Übung, konnte folglich keine perfekte Parallelverarbeitung beobachtet werden (Ruthruff, Johnston, van Selst, Whitsell, & Remington, 2003a; Ruthruff et al., 2001a; Tombu & Jolicoeur, 2004; siehe jedoch Hazeltine et al., 2002 für einen gegenteiligen Befund).

Strategische Gewichtung hat dennoch einen Einfluss auf die Leistung in Doppelaufgaben, wenngleich wohl weniger extrem als im SRD Modell angenommen. In einer Untersuchung von Pashler (1994b) wurden die Versuchsteilnehmer instruiert, in einem PRP-Paradigma gleiche Priorität auf beide Aufgaben zu legen, um ein strategisches Aufschieben der zweiten Aufgabe zu verhindern. Zudem wurden die Aufgaben in randomisierter Abfolge präsentiert, um eine gleichmäßige Vorbereitung auf beide Aufgaben zu gewährleisten. Die Antwortreihenfolge war frei gestellt. Auch unter diesen Bedingungen wurde ein PRP-Effekt auf RT_2 gefunden, was die Annahme eines Verarbeitungsengpasses über strategische Einflüsse hinaus unterstützt. Gleichzeitig sprach ein signifikanter SOA-Effekt auf RT_1 dennoch für verstärkte Parallelverarbeitung unter diesen Bedingungen.

In ähnlicher Weise sollte in der bereits erwähnten Studie von Levy und Pashler (2001) Parallelverarbeitung durch eine gleichzeitige Präsentation von Reizen und gleicher Priorität für beide Aufgaben erzielt werden. Schnelles und richtiges Antworten auf *beide* Aufgaben wurde zudem belohnt. Deutliche Doppelaufgabenkosten, wie der PRP-Effekt, blieben dennoch bestehen, obwohl Vorbereitung, periphere Interferenz und strategische Verschiebung so gut wie ausgeschlossen werden konnten. Ähnlich wie bei Pashler (1994b) zeigte sich unter diesen Bedingungen jedoch auch eine erhöhte Interferenz auf RT_1 . Offensichtlich wurde aufgrund verstärkter Parallelverarbeitung der Aufgaben die Leistung in der ersten Aufgabe deutlicher beeinträchtigt.

Ruthruff und Mitarbeiter (2001a) kontrollierten in einem PRP-Paradigma ebenfalls den Vorbereitungszustand und schlossen periphere Interferenz durch die Verwendung unähnlicher Aufgaben weitgehend aus. Darüber hinaus wurde eine Aufgabe im Schwierigkeitsgrad manipuliert. Es ergaben sich wiederum hohe Doppelaufgabenkosten für RT_1 und RT_2 ; ferner wirkte sich die Erhöhung der Aufgabenschwierigkeit hier – im Vergleich zu Einfachaufgaben – stärker aus.

Insgesamt scheinen die Ergebnisse zu belegen, dass es tatsächlich begrenzte Kapazität auf einer zentralen Verarbeitungsstufe gibt, aufgrund derer in Situationen wie dem PRP-Paradigma im Vergleich zu Einfachaufgaben Kosten entstehen. Erhöhte Anreize zur Parallelverarbeitung können diese Kosten nicht eliminieren, so dass eine *rein* strategische Ursache so gut wie ausgeschlossen werden kann. „Seriell“ und „parallel“ sollten folglich nicht als Abschlusskategorien, sondern als Pole eines Verarbeitungscontinuums betrachtet werden. Ein

verstärktes Maß an Parallelverarbeitung scheint möglich zu sein und mit Kosten für RT_1 einherzugehen. Personen können offensichtlich den Grad der Parallelverarbeitung, z.B. gemäß einer bestimmten Aufgabeninstruktion, anpassen.

Gewichtung durch Aufmerksamkeit

Wie bereits dargestellt, kann bei Doppelaufgaben eine der beiden Aufgaben prioritär verarbeitet werden. Eine starke Priorität auf die erste Aufgabe kann serielle, gleiche Gewichtung eher parallele Verarbeitung zur Folge haben. Eine entscheidende Rolle spielt hierbei die Verteilung der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit, deren Ausrichtung durch unterschiedliche Mechanismen beeinflusst wird (siehe Kapitel 2 der Einführung). Dabei kommt exogenen Faktoren wie bestimmten perzeptuellen Eigenschaften des Wahrnehmungsfeldes als auch endogenen Faktoren wie Intentionen und Strategien der Person eine zentrale Bedeutung zu.

Wie die Ausrichtung der visuellen Aufmerksamkeit die Leistung in Doppelaufgaben beeinflussen kann, wird in der *Executive Control Theory of Visual Attention (ECTVA)* von Logan und Gordon (2001; siehe auch Logan, 2002) dargelegt. In diesem Modell wird der visuellen Aufmerksamkeit eine entscheidende Kontrollfunktion zugeschrieben. Die Rolle der Aufmerksamkeit wird darüber hinaus mit weiteren Prozessen bei der Doppelaufgabenverarbeitung in Beziehung gesetzt, so dass die ECTVA in theoretischer Hinsicht einen stark integrativen Charakter besitzt. In der ECTVA wird Aufmerksamkeit als eine Art Wahlprozess definiert, wonach in *top-down* gesteuerter Weise Reize entsprechend bestimmter Merkmale, z.B. ihrer räumlichen Position, für die Verarbeitung ausgewählt werden (*Stimulus Set*; siehe Kapitel 2.1.2 der Einführung). Für Doppelaufgaben bedeutet dies Folgendes: Während der ersten Aufgabe wird im Rahmen der Inputgewichtung die visuell-räumliche Aufmerksamkeit auf den Ort von S_1 hoch und auf die Position von S_2 niedrig gesetzt (wobei für R_2 die umgekehrte Richtung gilt), um eine serielle Verarbeitung zu erzielen. Die visuell-räumliche Aufmerksamkeit könnte prinzipiell jedoch auch auf S_1 und S_2 gleichermäßig verteilt werden, was folglich zu paralleler Verarbeitung führen sollte. Die resultierende Aufgabenverarbeitung lässt sich – je nach Aufmerksamkeitsverteilung – auf einem Kontinuum *zwischen* seriell und parallel ansiedeln. Da ferner die visuelle Aufmerksamkeit von exekutiven Funktionen kontrolliert wird, gilt der Grad der Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben in der ECTVA als im Wesentlichen strategisch bedingt.

Neben der Filterung von Reizen durch visuell-räumliche Aufmerksamkeit enthält die ECTVA die Möglichkeit, bestimmte Kategorien von Reizeigenschaften im Rahmen eines *Response Set* verstärkt zu gewichten (siehe Kapitel 2.1.2 der Einführung): In den geforderten Aufgaben sind jeweils bestimmte kategoriale Entscheidungsparameter relevant oder irrelevant. Ein Beispiel wäre, dass bei der ersten Aufgabe Zahlen nach gerade/ungerade, und bei der zweiten Aufgabe nach kleiner/größer als 5 beurteilt werden sollen. Um eine effiziente Aufgabebearbeitung zu gewährleisten, sollte daher zunächst die Priorität der Kategorien gerade/ungerade hoch und die der Kategorien kleiner/größer als 5 niedrig gesetzt werden. Für R_2 ist dann ein Wechsel dieser Gewichtung erforderlich. Die Auswahl bestimmter Kategorien nach dem *Response Set* kann also auch als eine Ausrichtung der internen Aufmerksamkeit auf bestimmte Kategorien verstanden werden.

Die strategischen Mechanismen des *Stimulus* und des *Response Set* können prinzipiell unabhängig voneinander angepasst werden, haben aber gemeinsam einen Einfluss darauf, mit welcher Geschwindigkeit und Genauigkeit in Doppelaufgaben reagiert wird. Werden die geforderten Reizmerkmale und die relevanten Kategorien hoch gewichtet, so kann mit höherer Wahrscheinlichkeit schnell und korrekt geantwortet werden. Werden hingegen die aktuell irrelevanten Merkmale und Kategorien aktiviert, so ist mit einem Anstieg von Reaktionszeit und Fehlerrate zu rechnen.

Die in der ECTVA beschriebene Rolle der Aufmerksamkeit weist Gemeinsamkeiten mit der in der FIT von Treisman und Gelade (1980) sowie der im Zwei-Stufen-Modell von Gratton und Mitarbeitern (1992) beschriebenen auf: Es wird im Sinne einer raumbasierten Theorie visueller Aufmerksamkeit angenommen, dass ohne räumlich fokussierte Aufmerksamkeit keine Bindung von Merkmalen stattfindet (siehe auch Kapitel 2.1.1 der Einführung). Eine Parallelverarbeitung auf Basis unverbundener Merkmale sollte sich demnach als sehr fehleranfällig erweisen. Für Doppelaufgaben bedeutet dies, dass hier zwar theoretisch Parallelverarbeitung möglich ist, praktisch jedoch nicht realisiert wird; denn ohne Bindung der Merkmale von S_1 und S_2 kann auch die Bedeutung der Reize nicht entschlüsselt und somit die richtige Abfolge der Reaktionen nicht gewährleistet werden. Der Grund hierfür ist, dass bei vollständiger Parallelverarbeitung auf der Stufe unverbundener Merkmale mit gleicher Wahrscheinlichkeit zuerst auf S_1 oder zuerst auf S_2 reagiert wird. Aufgrund dessen sollte mit zunehmender Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben die Fehlerrate stark ansteigen. Serielle Verarbeitung ist folglich zu bevorzugen, da diese schnelleres und genaueres Antworten

ermöglicht (Logan & Gordon, 2001). Serielle Inputgewichtung ist also nach dieser Vorstellung die Voraussetzung für die richtige Bindung von Merkmalen in Doppelaufgaben.

Antwortgruppierung

Eine spezielle Form des strategischen Einflusses bei Doppelaufgaben stellt die so genannte *Gruppierung* von Antworten dar. Antwortgruppierung bedeutet, dass beide Aufgaben bzw. die Antworten auf beide Aufgaben aneinander gekoppelt werden. Dabei kann zwischen mehreren Arten einer Gruppierung differenziert werden. Zum einen können die Aufgaben insgesamt kombiniert werden, indem S_1 und S_2 bereits als *ein* „zusammengesetzter Reiz“ ausgewählt und die Reaktionen gemeinsam als *eine* Antwort abgegeben werden (Sanders, 1967; Welford, 1952). In diesem Spezialfall von Aufgabenbearbeitung wird somit aus der Doppelaufgabe eine (komplexe) Einfachaufgabe. Werden einzelne Reize jedoch – wie üblicherweise im PRP-Paradigma – zeitlich verzögert dargeboten, kommt eher eine andere Strategie zur Anwendung: Im Sinne von Borger (1963) werden zwar beide Aufgaben distinkt behandelt und bearbeitet, die erste Antwort wird jedoch nicht sofort nach deren Auswahl ausgeführt, sondern so lange gespeichert, bis auch die zweite Antwort gewählt wurde. Erst dann werden beide Antworten zusammen in kurzer Aufeinanderfolge abgegeben.

Es ist offensichtlich, dass solche Strategien der Antwortgruppierung die Leistung beeinflussen. Eine Kopplung der Antworten im PRP-Paradigma führt in der Regel zum zeitweiligen Zurückhalten von R_1 und somit zu einer Erhöhung von RT_1 . Dies hat dann zur Folge, dass die eigentlichen Doppelaufgabenkosten auf RT_1 überschätzt werden. Pashler (1989) untersuchte das Auftreten von Antwortgruppierung in Doppelaufgaben etwas genauer. In einem ersten Experiment bearbeiteten die Versuchsteilnehmer die Aufgaben ohne spezielle Instruktion bezüglich Antwortkopplung. In einem zweiten Experiment wurden dieselben Aufgaben dargeboten, nun jedoch mit der Aufforderung, die Antworten möglichst gruppiert abzugeben. Ein Vergleich der Ergebnisse zeigte, dass Antwortgruppierung offenbar zu erhöhten Kosten auf RT_1 führte. Ansonsten war das Ergebnismuster, insbesondere in Bezug auf RT_2 , in den Experimenten mit bzw. ohne Gruppierung vergleichbar. Darüber hinaus gaben die Versuchsteilnehmer, die zur Antwortgruppierung angehalten wurden, ihre Antworten insgesamt fast so schnell ab wie die Versuchsteilnehmer, die nicht gruppierten. Auch in einer Untersuchung von Ruthruff und Mitarbeitern (Ruthruff et al., 2001a) wurde Aufgabendurchführung mit bzw. ohne verstärkte Antwortgruppierung verglichen. Durch die Gruppierung entstanden

Kosten auf RT_1 , während der PRP-Effekt auf RT_2 konstant blieb. Doch selbst wenn die Versuchsteilnehmer nicht oder nur selten gruppierten, waren noch erhebliche Doppelaufgabenkosten nachweisbar.

Die Strategie, Antworten zu gruppieren, scheint von vielen Personen während der Bearbeitung von Doppelaufgaben spontan angewandt zu werden, auch wenn keine Instruktion diesbezüglich erfolgt (Pashler, 1994a). Allerdings erweist es sich als schwierig, die Häufigkeit von Antwortgruppierung in einem Experiment zu bestimmen. Das vielfach genutzte Maß der Dauer des Zeitintervalls zwischen R_1 und R_2 kann nur einen groben Anhaltspunkt liefern. Antwortgruppierung kann zu einer generellen Erhöhung von RT_1 führen, und Manipulationen der zweiten Aufgabe können sich unter diesen Bedingungen stärker auf die Leistung in der ersten Aufgabe auswirken als ohne Gruppierung. Solche Resultate können jedoch auch durch eine verstärkte Parallelverarbeitung bedingt sein – nicht notwendigerweise durch Gruppierung.

Überhaupt scheint Antwortgruppierung die typischen Ergebnismuster im PRP-Paradigma nicht wesentlich zu verändern. Selbst bei häufiger Gruppierung können die Kosten in Doppelaufgaben, im Vergleich zu Einfachaufgaben, nur teilweise mit einer solchen Strategie erklärt werden. Auch der Anstieg von RT_1 in Doppelaufgaben lässt sich nie vollständig auf Gruppierungstendenzen zurückführen. Antwortgruppierung stellt zudem einen unspezifischen Einfluss bei der Verarbeitung in Doppelaufgaben dar, der mit nahezu allen theoretischen Modellen vereinbar ist.

3.3 Auswahl von Antworten: Serielle Abfolge oder Kapazitätsteilung?

Die Leistung in einer Aufgabe fällt bei Kombination mit einer anderen Aufgabe in der Regel schlechter aus als bei separater Durchführung als Einfachaufgabe (siehe Kapitel 3.1 der Einführung). Eine Reihe unterschiedlicher Faktoren, wie dargestellt im vorhergehenden Kapitel, können diese Kosten kombinierter Durchführung beeinflussen – beispielsweise die Ähnlichkeit der Aufgaben oder die Vorbereitungsstruktur. Werden diese Einflussfaktoren ausgeschlossen bzw. kontrolliert, so lassen sich die Doppelaufgabenkosten zwar verringern, in den meisten Fällen jedoch nicht eliminieren.

Die empirische Datenlage spricht stark dafür, dass bestimmte *zentrale* Prozesse, z.B. die Antwortauswahl⁵, einen Engpass bei der kognitiven Verarbeitung darstellen. Dabei ist jedoch noch nicht geklärt, ob die Antwortauswahl tatsächlich einen strukturellen *Flaschenhals* darstellt, der ausschließlich serielle Verarbeitung mehrerer Aufgaben zulässt (siehe *Central Bottleneck (CB)* Modell). Die theoretische Alternativannahme besagt, dass die Ressourcen auf dieser Stufe zwar beschränkt sind und daher einen Engpass konstituieren, Kapazitätsteilung zwischen verschiedenen Aufgaben aber prinzipiell stattfinden kann. Letztere Position findet sich im *Central Capacity Sharing (CCS)* Modell. Während in dem einen Modell also ausschließlich von serieller Verarbeitung bei Doppelaufgaben ausgegangen wird, wird im anderen Modell die Möglichkeit verschiedener Grade von Parallelverarbeitung zwischen den Aufgaben postuliert. Beide Modelle unterscheiden sich in diesem Zusammenhang maßgeblich darin, welche Rolle Verarbeitungsstrategien eingeräumt wird.

3.3.1 Das Central Bottleneck (CB) Modell

Das CB Modell (Pashler, 1984; Pashler & Johnston, 1989) hat sich, historisch betrachtet, aus dem Globalen Ein-Kanal Modell entwickelt (siehe Kapitel 3.2.1 der Einführung). Im Ein-Kanal Modell wurde hinsichtlich Engpass noch nicht zwischen verschiedenen Stufen der Informationsverarbeitung differenziert. Es wurde stattdessen angenommen, dass sämtliche Verarbeitungsprozesse zwischen Reizeingang und Antwortproduktion *einen* Engpass bilden, der jeweils nur mit einer Aufgabe belegt sein kann. Eine Reihe von Daten belegen jedoch, dass bestimmte Verarbeitungsprozesse bei Doppelaufgaben effektiv überlappen können (siehe z.B. Allport et al., 1972; Gottsdanker, 1980; Kerr, 1973; Moray, 1967).

Diesen Befunden versucht das CB Modell Rechnung zu tragen, indem der Engpass nicht für alle Verarbeitungsstufen angenommen wird: Während der Wahrnehmung, d.h. auf präzentraler Stufe, können Reize ohne größere Kosten parallel verarbeitet werden. Nach ihrer Identifikation werden die Reize dann durch den so genannten zentralen Flaschenhals weitergeleitet, wo Entscheidungs- und Antwortauswahlprozesse ablaufen. Der zentrale Flaschenhals lässt eine Antwortauswahl nur für jeweils *eine* Aufgabe je Zeiteinheit zu (siehe Abbildung I-2). Im Anschluss an den zentralen Flaschenhals ist auf der postzentralen Stufe, d.h. bei der

⁵ Neben der Antwortauswahl können auch andere Vorgänge übergeordneter kognitiver Kontrolle, wie z.B. Konfliktlösung, als „zentral“ bezeichnet werden, da sie vermutlich auch auf die begrenzte Kapazität zurückgreifen (siehe hierzu Kapitel 4 der Einführung).

Planung und Einleitung von Bewegungen, wieder Parallelverarbeitung möglich. Für die Verarbeitung in Doppelaufgaben bedeutet dies also, dass nach einer anfänglichen Stufe paralleler Verarbeitung jeweils nur für eine der beiden Aufgaben eine Antwortauswahl getroffen werden kann, während die Antwortauswahl für die andere Aufgabe in dieser Zeit warten muss. In dieser Hinsicht ähneln die Annahmen des CB Modells der Filtertheorie von Broadbent (1958). Der wesentliche Unterschied zwischen beiden besteht darin, dass der Engpass entsprechend des CB Modells nicht bereits auf der Stufe der Wahrnehmung, sondern erst für die zentralen Prozesse angenommen wird.

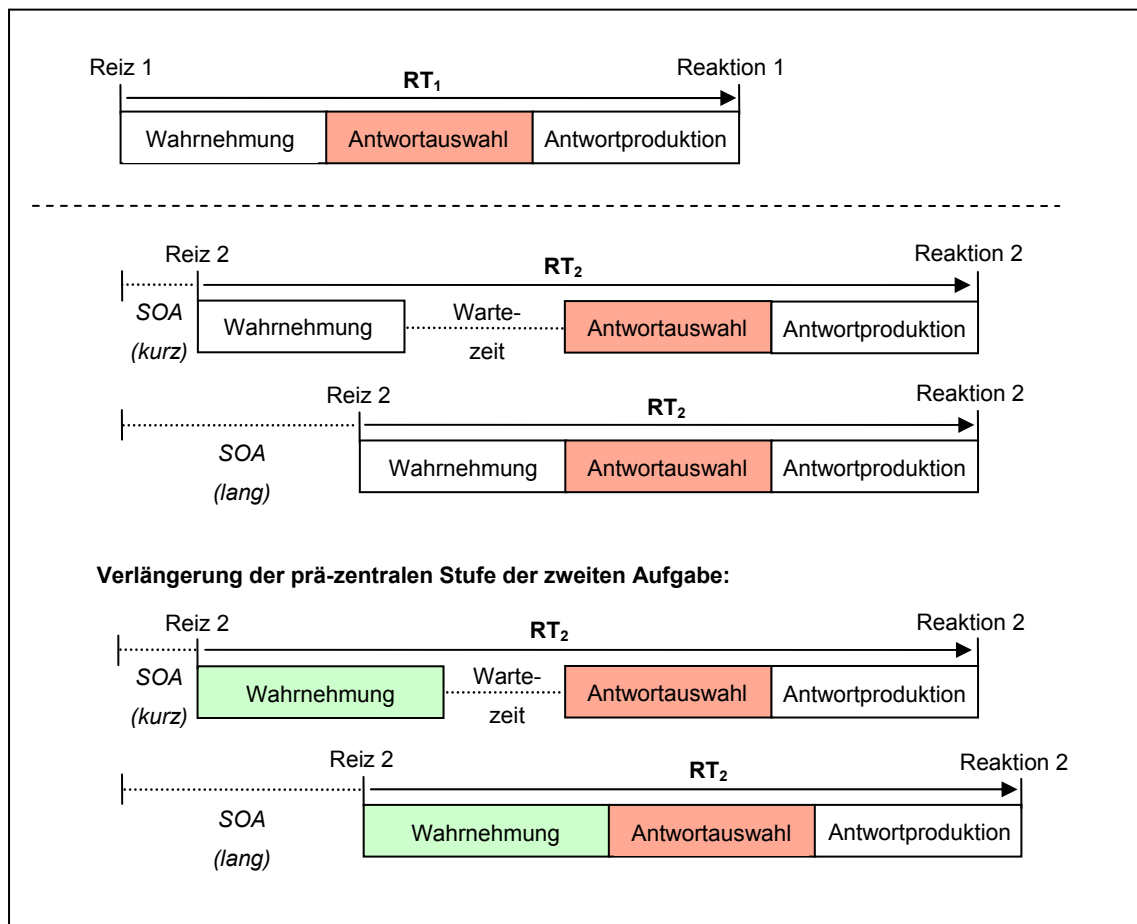


Abbildung I-2: Diese Abbildung zeigt schematisiert die Stufen der kognitiven Verarbeitung zwischen Reizwahrnehmung und Antwortproduktion entsprechend dem CB Modell. In Abhängigkeit vom SOA und der Dauer der einzelnen Stufen ergibt sich aufgrund des zentralen Flaschenhalses eine mehr oder weniger lange Wartezeit bei RT_2 . Wird die Dauer der präzentralen Stufe der zweiten Aufgabe verlängert, führt dies – in Interaktion mit dem SOA – zu unter-additiven Effekten auf RT_2 .

Parallelverarbeitung auf zentraler Stufe ist nach dem CB Modell in keinem Fall möglich. Im PRP-Paradigma hängt demnach die entstehende Wartezeit für die Antwortauswahl der zweiten Aufgabe sowohl von der Dauer der Antwortauswahl der ersten Aufgabe als auch vom SOA ab. Gemäß CB Modell erklärt sich der PRP-Effekt folgendermaßen: Je kürzer das SOA, desto länger muss die Bearbeitung der zweiten Aufgabe warten, bis die erste Aufgabe den Flaschenhals wieder verlassen hat. Bei ausreichend langem SOA kann die Antwortauswahl für die erste Aufgabe aber bereits stattgefunden haben, bevor die zweite Aufgabe für die Antwortauswahl bereit ist. In diesem Falle würde sich keine Wartezeit in RT_2 niederschlagen.

Aus dem CB Modell lassen sich jedoch noch weitere Vorhersagen ableiten. Wird die Dauer der (prä-)zentralen Stufe der ersten Aufgabe erhöht, wird die Antwortauswahl dieser entsprechend später abgeschlossen. Bei kurzem SOA sollte dies nicht nur zu einer Verlängerung von RT_1 , sondern auch von RT_2 führen, da sich analog die Wartezeit der zweiten Aufgabe verlängert. Diese Effekte sollten sich sowohl für RT_1 als auch für RT_2 additiv zum SOA verhalten. Bei langem SOA sollte sich eine (prä-)zentrale Verlängerung der ersten Aufgabe weniger oder gar nicht mehr auf RT_2 auswirken. Aus der Manipulation der Dauer der postzentralen Verarbeitung der ersten Aufgabe, also z.B. der Antwortinitiierung, ergeben sich andere Vorhersagen, da hier der zentrale Flaschenhals bereits durchschritten ist. Eine Verlängerung der Antwortinitiierung der ersten Aufgabe führt demnach zwar zu einem entsprechenden Anstieg von RT_1 , nicht jedoch zu einer Beeinflussung von RT_2 .

Eine Verlängerung des präzentralen Stadiums der zweiten Aufgabe sollte ferner unter-additive Effekte mit dem SOA auf die Dauer von RT_2 haben, hingegen gar keinen Einfluss auf die Dauer von RT_1 (siehe Abbildung I-2). Die Unter-Additivität ergibt sich aus der möglichen Wartezeit von R_2 auf die Antwortauswahl: Verlängert sich die perzeptuelle Stufe der zweiten Aufgabe, die ja parallel zur ersten Aufgabe ablaufen kann, so kann der zusätzliche Verarbeitungsbedarf bei kurzem SOA während bzw. anstelle der entstehenden Wartezeit geleistet werden. Ist das SOA jedoch ausreichend lang, so dass keine bzw. kaum Überlappung der beiden Aufgaben besteht, so kann das Wartezeitintervall die zusätzliche Verarbeitungsdauer nicht mehr kompensieren. In diesem Fall sollte sich die Dauer der verlängerten perzeptuellen Stufe der zweiten Aufgabe vollständig auf RT_2 niederschlagen. Schließlich wird angenommen, dass eine Manipulation der Dauer der (post-)zentralen Stufe der zweiten Aufgabe immer zu additiven Effekten auf RT_2 führt, während nach dem CB Modell auf die erste Aufgabe keinerlei Effekte zu erwarten sind.

Die verschiedenen Vorhersagen des CB Modells werden in der Literatur häufig zusammengefasst als *locus-of-slack* Logik bezeichnet. Unter *slack* ist hier die Wartezeit der zweiten Aufgabe zu verstehen, die entsteht, wenn beide Aufgaben deutlich überlappen und die erste Aufgabe zuerst Zugang zur Stufe der Antwortauswahl erhält. Vorhersagen der *locus-of-slack* Logik ließen sich empirisch wiederholt bestätigen (Fagot & Pashler, 1992; McCann & Johnston, 1992; Pashler, 1984, 1994b, 1994c; Pashler & Johnston, 1989).

Allerdings gibt es auch eine Reihe von Ergebnissen, die die Vorhersagen der *locus-of-slack* Logik verletzen und somit für das CB Modell kritisch sind. Dies trifft zum einen für die Dauer der zentralen Stufe von RT_2 zu (z.B. Karlin & Kestenbaum, 1968; Schvaneveldt, 1969). Zum anderen wird die Annahme des CB Modells, wonach RT_1 in Doppelaufgaben nicht durch R_2 beeinflusst wird, durch zahlreiche Befunde in Frage gestellt. So zeigte sich nicht selten eine deutliche Verlangsamung von RT_1 bei Doppelaufgaben (Logan & Schulkind, 2000; Pashler, 1984; Smith, 1969), die sich nicht allein auf Antwortgruppierung, Unterschiede in der Vorbereitungsstruktur oder auf weitere unspezifische Faktoren zurückführen ließ. Auch wurden Effekte des SOA auf RT_1 berichtet. So stieg in einigen Studien RT_1 mit abnehmendem SOA an (Pashler, 1990, 1991; Tombu & Jolicoeur, 2002, 2005). Ferner wurde mehrfach die Annahme des CB Modells verletzt, wonach sich Veränderungen in der Schwierigkeit der zweiten Aufgabe nicht auf die Leistung in der ersten auswirken sollten (Logan & Gordon, 2001; Logan & Schulkind, 2000; Miller, 2006; Smith, 1969).

Häufig wird auf bestimmte Zusatzannahmen verwiesen, um diese widersprüchlichen Ergebnisse dennoch mit dem CB Modell vereinbaren zu können. So wird z.B. angenommen, dass Effekte der zweiten auf die erste Aufgabe im Rahmen der Antwortgruppierung entstehen. Werden R_1 und R_2 aneinander gekoppelt, so können sich, da R_1 auf R_2 warten muss, Effekte auf RT_2 über Art und Zeitpunkt der Antwortproduktion auch auf RT_1 niederschlagen. Auch der SOA-Effekt auf RT_1 kann mittels Gruppierung erklärt werden, jedoch nur dann, wenn bei kurzem SOA deutlich häufiger gruppiert wird als bei langem.

Besonders problematisch für die Theorie des zentralen Flaschenhalses sind allerdings die *Crosstalk*-Effekte von R_2 auf die erste Aufgabe bei Aufgabenwiederholung (z.B. Hommel, 1998; Logan & Delheimer, 2001; Logan & Gordon, 2001; Logan & Schulkind, 2000), sowie bei Aufgabenwechsel (Miller, 2006; Miller & Alderton, 2006; Watter & Logan, 2006). Bei *Crosstalk*-Effekten im Falle von *Aufgabenwiederholung* wird von den Anhängern des CB Modells häufig argumentiert, dass diese Effekte nicht notwendigerweise auf der Ebene der

Antwortauswahl, sondern bereits während der Wahrnehmung entstehen könnten: Falls für R_1 und R_2 die gleichen Aufgaben gefordert sind, so bedeutet dies, dass auch die relevanten Reizkategorien von S_1 und S_2 identisch sind. Insofern könne S_2 bereits einen Effekt auf die *Antwortauswahl von R_1* erzielen, ohne dass die Antwortauswahlstufe von R_2 bereits zeitgleich erreicht sein müsse.

Anders verhält sich die Situation jedoch bei *Crosstalk*-Effekten unter *Aufgabenwechsel*bedingungen. Bei unterschiedlichen Aufgaben unterscheiden sich auch die relevanten Reizkategorien zwischen erster und zweiter Aufgabe, so dass eine Einflussnahme von S_2 auf die Antwortauswahl von R_1 als praktisch ausgeschlossen gelten kann. Das bedeutet, Kongruenzeffekte auf Basis der Antwortauswahl bei Aufgabenwechsel können vom CB Modell auch unter Zuhilfenahme von Zusatzannahmen nicht erklärt werden.

Darüber hinaus gibt es Hinweise darauf, dass die Höhe der *Crosstalk*-Effekte in Doppelaufgaben *strategisch* beeinflussbar ist. Hommel (1998) konnte z.B. zeigen, dass die Höhe der Effekte in Abhängigkeit vom Zeitdruck variiert. Bestand in einem Experiment kein Zeitdruck in Bezug auf $R_2 - R_2$ sollte sogar erst 1500 ms nach dem Erscheinen von S_2 abgegeben werden – so war der *Crosstalk*-Effekt um etwa ein Drittel geringer als in einem vergleichbaren Experiment mit Zeitdruck. Allem Anschein nach hatte der gelockerte Zeitdruck die strategische Parallelverarbeitung beider Aufgaben verringert.

3.3.2 Das Central Capacity Sharing (CCS) Modell

Die oben genannten Schwierigkeiten des CB Modells – insbesondere in Bezug auf die Erklärung von Effekten der zweiten Aufgabe auf RT_1 – gelten nicht für das CCS Modell. Beim CCS Modell handelt es sich um eine Weiterentwicklung der Globalen Ressourcentheorien (siehe Kapitel 3.2.1 der Einführung), deren Grundgedanke von McLeod (1977) eingeführt und später von Tombu und Jolicoeur näher spezifiziert wurde (siehe auch Navon & Miller, 2002; Tombu & Jolicoeur, 2003). In den älteren Ressourcentheorien wurde davon ausgegangen, dass alle Prozesse während der kognitiven Verarbeitung auf eine gemeinsame, begrenzte Kapazität zurückgreifen. Ihre Schwäche bestand darin, dass empirische Ergebnisse der Vorstellung einer solchen globalen Kapazität widersprachen; zum anderen waren die Theorien vergleichsweise vage und unpräzise formuliert.

Bereits McLeod (1977) stellte fest, dass die Annahme einer Kapazitätsteilung zwischen Aufgaben durch vorhandene Daten besser unterstützt wird, wenn man von einem Engpass im

Wesentlichen auf einer zentralen Verarbeitungsstufe ausgeht. Denn trotz hoher Anreize zur Parallelverarbeitung zweier Aufgaben konnten weiterhin der PRP-Effekt und andere Hinweise auf eine zeitliche Verschiebung der zweiten Aufgabe beobachtet werden (Levy & Pashler, 2001; Pashler, 1994b; Pashler & Johnston, 1989; Ruthruff et al., 2001a). Im CCS Modell wird angenommen, dass lediglich die Kapazität zentraler Verarbeitungsprozesse begrenzt ist (siehe Abbildung I-3). Periphere Prozesse, wie Wahrnehmung und Antwortproduktion, greifen demnach nicht auf die begrenzten Ressourcen zu (Navon & Miller, 2002; Tombu & Jolicoeur, 2003). Darüber werden im CCS Modell detaillierte und präzise Annahmen gemacht, die dazu verwendet werden können, empirische Ergebnisse in einer formalisierten Art und Weise zu evaluieren und an das Modell anzupassen.

Ein wichtiges Konzept im CCS Modell ist das der *Arbeit*. Es wird angenommen, dass jede der drei Verarbeitungsstufen bei der Durchführung einer bestimmten Aufgabe ein bestimmtes Maß an Arbeit benötigt. Solange die Aufgabe als solche nicht verändert wird, bleibt die Arbeit für eine gegebene Aufgabe konstant. Davon zu unterscheiden ist das Konzept der *Verarbeitungskapazität*, welches für die Aufgabenbearbeitung zur Verfügung steht. Von der verfügbaren Kapazität hängt ab, wie viel Arbeit pro Zeiteinheit für eine bzw. für mehrere Aufgaben geleistet werden kann. Da die Kapazität lediglich auf zentraler Stufe als begrenzt gilt, kann man nur hier tatsächlich von *Kapazitätsteilung* sprechen. Wird die zentrale Kapazität nun zwischen zwei Aufgaben geteilt, so steht den einzelnen Aufgaben weniger Kapazität zur Verfügung als in der Einfachaufgabensituation. Die *Verarbeitungsrate* verringert sich also und es wird pro Zeiteinheit weniger Arbeit für die jeweiligen Aufgaben geleistet.

Im CCS Modell wird weiterhin davon ausgegangen, dass die zentrale Kapazität in beliebigem Verhältnis aufgeteilt werden kann. Dabei seien die Verarbeitungsraten von R_1 und R_2 aufeinander bezogen: Je größer die Rate von R_1 , desto kleiner ist gleichzeitig die Verarbeitungsrate von R_2 und umgekehrt. Das Verhältnis der Kapazitätsteilung zwischen den Aufgaben ist, dem CCS Modell zufolge, im Wesentlichen an strategische Erwägungen gebunden. Die Person besitzt demnach Kontrolle darüber, ob die Aufgaben eher seriell oder eher parallel verarbeitet werden sollen. Diese Annahme teilt das CCS Modell mit dem SRD Modell (Meyer & Kieras, 1997a). Im CCS Modell wird dabei jedoch nicht davon ausgegangen, dass sich die Doppelaufgabenkosten durch vollständige Parallelverarbeitung eliminieren lassen.

Aufgrund dieser Annahmen können konkrete empirische Vorhersagen für RT_1 und RT_2 in Abhängigkeit vom Grad der Kapazitätsteilung abgeleitet werden. Wie in Abbildung I-3 ersichtlich, wird RT_2 vom Grad der Kapazitätsteilung nicht beeinflusst. Aus diesem Grund sind die Vorhersagen für RT_2 weitgehend identisch mit den entsprechenden Annahmen des CB Modells. Das heißt, RT_2 hängt in erster Linie vom SOA ab; je länger das SOA, desto kürzer RT_2 . Zeigt sich also im PRP-Paradigma ein PRP-Effekt auf RT_2 , so sagt dies gemäß CCS Modell noch nichts über den Grad der Parallelverarbeitung zwischen den Aufgaben aus. Selbst bei gleichmäßiger Aufteilung zentraler Kapazität zwischen beiden Aufgaben ist ein PRP-Effekt auf RT_2 zu erwarten.

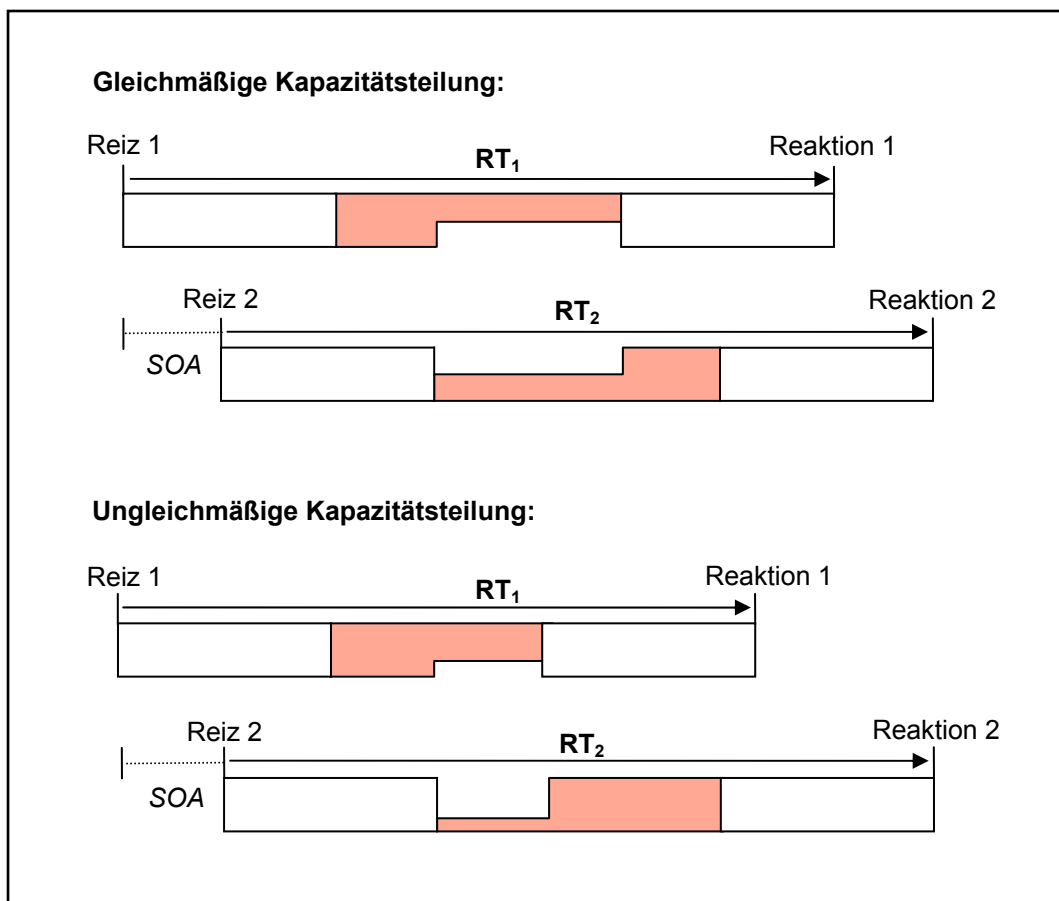


Abbildung I-3: Die Abbildung illustriert schematisch die Annahmen des CCS Modells. Es sind zwei Situationen zentraler Kapazitätsteilung bei Doppelaufgaben dargestellt. Der obere Teil der Abbildung zeigt eine gleichmäßige Aufteilung der Kapazität während der Überlappung bei zentraler Verarbeitung; im unteren Teil wird zunächst der ersten Aufgabe mehr zentrale Kapazität zugeteilt als der zweiten.

Anders verhält sich die Situation bei RT_1 . Das CCS Modell nimmt an, dass RT_1 umso höher ausfällt, je mehr zentrale Kapazität aufgeteilt wird, d.h. je geringer die Verarbeitungsrate für R_1 ist. Außerdem sollte RT_1 im Fall von Kapazitätsteilung mit ansteigendem SOA abnehmen, ähnlich wie RT_2 . Dabei sollte die Stärke des SOA-Effekts auf RT_1 mit dem Grad der Teilung interagieren: Je mehr Kapazität geteilt wird, desto mehr wird RT_1 durch das SOA beeinflusst. Doch RT_1 erweist sich nicht in jeder Situation als diagnostisch für das CCS Modell. Tritt der Spezialfall ein, dass 100% der Kapazität auf die erste Aufgabe verwendet wird, dann ist folglich mit keinerlei Beeinflussung von RT_1 durch R_2 zu rechnen. In diesem Fall kann also auch anhand von RT_1 nicht zwischen CCS und CB Modell differenziert werden.

Wenngleich beide Modelle vielfach ähnliche Annahmen und Vorhersagen machen, so besitzt das CCS Modell gegenüber dem CB Modell doch einige entscheidende Vorteile. Erstens können empirische Daten, die einer strikt seriellen Aufgabenverarbeitung widersprechen – wie z.B. hohe Doppelaufgabenkosten und SOA-Effekte auf RT_1 (Logan & Schulkind, 2000; Pashler, 1984, 1990, 1991; Tombu & Jolicoeur, 2002) – ohne Zusatzannahmen erklärt werden, indem eine Verringerung der Verarbeitungsrate von R_1 angenommen wird. Zweitens macht das CCS Modell zwar keine spezifischen Annahmen zu *Crosstalk*-Effekten in Doppelaufgaben, doch lassen sich diese leichter in das CCS als in das CB Modell integrieren – dies gilt insbesondere für die Ergebnisse von Kongruenzeffekten bei Aufgabenwechsel (z.B. Miller, 2006; Miller & Alderton, 2006; Watter & Logan, 2006). Laufen Prozesse der Antwortauswahl für beide Aufgaben gleichzeitig ab, so erscheint eine Beeinflussung von RT_1 durch die Antwortaktivierung bei R_2 wesentlich plausibler als unter der Maßgabe strikt serieller Verarbeitung.

Darüber hinaus räumt das CCS Modell strategischen Einflüssen generell eine weit größere Bedeutung ein als das CB Modell. Dies macht es kompatibel mit den Ergebnissen aus Studien, die eine Veränderung in der Aufgabenbearbeitung aufgrund bestimmter Instruktionen nachweisen konnten (Hommel, 1998; Levy & Pashler, 2001; Pashler, 1994b; Ruthruff et al., 2001a). Gemäß CCS Modell beruhen jedoch nicht alle Doppelaufgabenkosten auf strategischer Aufschiebung der zweiten Aufgabe, sondern auf der Notwendigkeit der Aufteilung begrenzter Ressourcen. Das heißt, es wird *keine* Eliminierung der Kosten auf RT_2 durch eine Erhöhung der Parallelverarbeitung vorhergesagt – ganz im Gegensatz zur SRD Annahme. Alle Belege, die gegen die älteren Ressourcentheorien ins Feld geführt wurden,

allen voran der PRP-Effekt, widerlegen das CCS Modell also in keiner Weise. Das Auftreten von Kosten bei Doppelaufgaben zeigt lediglich an, dass die gleichzeitige Bearbeitung zweier Aufgaben, im Vergleich zur Einfachaufgabensituation, nicht ohne Leistungseinbußen ablaufen kann.

3.3.3 Schwierigkeiten beim Nachweis von Kapazitätsteilung

Der PRP-Effekt selbst kann als solcher nicht als Beleg pro serielle Verarbeitung und contra strategische Parallelverarbeitung angeführt werden, sondern lediglich als Beleg gegen *interferenzfreie* Parallelverarbeitung (Levy & Pashler, 2001; Ruthruff et al., 2001a). Das Auftreten eines PRP-Effekts bei Doppelaufgaben unterstützt das CB und das CCS Modell gleichermaßen, da beide Modelle einen Engpass auf zentraler Verarbeitungsstufe annehmen. Der Grad der Parallelverarbeitung zwischen den Aufgaben sollte, gemäß CCS Modell, RT_2 und den PRP-Effekt nicht beeinflussen. Um zwischen CB und CCS Modell empirisch differenzieren zu können, sind daher Effekte auf RT_2 weniger geeignet.

RT_1 jedoch hängt laut CCS Modell stark vom Grad der Kapazitätsteilung ab, so dass eine Evaluation der theoretischen Vorhersagen des CCS Modells in erster Linie RT_1 in Betracht ziehen sollte. Mit einem merklichen Anstieg von RT_1 ist aber nur dann zu rechnen, wenn die Wahrscheinlichkeit einer strategischen Kapazitätsteilung hoch ist, d.h. wenn die Versuchsteilnehmer nicht ihre gesamte Kapazität zunächst nur auf R_1 richten. Um zwischen den Vorhersagen des CB und des CCS Modells differenzieren zu können, müssen daher Anreize zur Kapazitätsteilung geschaffen werden. Um die Wahrscheinlichkeit strategischer Parallelverarbeitung zu erhöhen, wurden im PRP-Paradigma bereits unterschiedliche Methoden angewandt. So wird z.B. mittels Instruktion beiden Aufgaben dieselbe Verarbeitungspriorität eingeräumt (z.B. Levy & Pashler, 2001; Pashler, 1994b) oder die Darbietungsreihenfolge der Aufgaben randomisiert, so dass beide gleichermaßen in Vorbereitung gehalten werden müssen (Ruthruff et al., 2001a; Ruthruff et al., 2003b; Tombu & Jolicoeur, 2003). Bislang existieren nur wenig empirische Untersuchungen, in denen das CCS und das CB Modell direkt gegeneinander evaluiert wurden (Ruthruff et al., 2003b; Tombu & Jolicoeur, 2002, 2005).

Ruthruff und Mitarbeiter (2003b) beispielsweise kombinierten in einem ersten Experiment eine Tonaufgabe mit einer Buchstabenidentifikationsaufgabe. S_1 und S_2 wurden mit einem zeitlichen Abstand von entweder 0 ms oder 1000 ms präsentiert, wobei bei langem SOA

die Abfolge randomisiert war. Die Antwortreihenfolge war stets freigestellt. Zusätzlich wurde die Buchstabenaufgabe durch eine Variation der S-R Kompatibilität in ihrer zentralen Schwierigkeit manipuliert. Die beiden SOA-Stufen waren so gewählt, dass bei simultaner Präsentation der Reize die Verarbeitung beider Aufgaben vollständig, bei einem Abstand von 1000 ms hingegen gar nicht überlappen sollte. Um das CB und das CCS Modell gegeneinander zu testen, wurden mehrere Vorhersagen getroffen: Gemäß CB Modell muss R_2 so lange auf die Weiterverarbeitung auf der zentralen Stufe warten, bis die Antwortauswahl von R_1 abgeschlossen ist. Wird daher die Buchstabenaufgabe als R_2 bearbeitet, dann sollte R_1 vollständig unbeeinflusst sein von der jeweiligen Schwierigkeit in R_2 . Handelt es sich bei der Buchstabenaufgabe jedoch um die erste Aufgabe, so ist gemäß CB Modell damit zu rechnen, dass sich die zusätzliche, zentrale Bearbeitungsdauer von R_1 über die Wartezeit vollständig auf RT_2 niederschlägt. Hiervon weichen die Vorhersagen des CCS Modells insofern ab, als im Falle simultaner Reizdarbietung mit verstärkter Parallelverarbeitung zu rechnen ist. Daher sollte die Schwierigkeitsmanipulation beim SOA von 0 ms einen stärkeren Effekt produzieren als beim langen SOA. Darüber hinaus ist damit zu rechnen, dass sich dieser Effekt aufgrund der Parallelverarbeitung auch auf die andere Aufgabe überträgt.

Die Ergebnisse der Studie zeigten jedoch, dass die Schwierigkeitsmanipulation der Buchstabenaufgabe beim SOA von 0 ms keinen stärkeren Effekt nach sich zog als bei langem SOA. Zudem hatte dieser Effekt keine wesentlichen Auswirkungen auf die Tonaufgabe als R_1 . Aus diesen Ergebnissen zogen Ruthruff und Mitarbeiter (2003b) den Schluss, das CB Modell könne die Daten besser erklären.

Diese Interpretation erscheint jedoch aus folgenden Gründen problematisch: Erstens könnte sich der Grad der Kapazitätsteilung zwischen den Aufgaben zusammen mit der Aufgabenschwierigkeit verändert haben. Ruthruff und Mitarbeiter selbst räumen die Möglichkeit ein, dass schwierigeren Aufgaben vergleichsweise mehr Kapazität zugeteilt wird (siehe auch Tombu & Jolicoeur, 2002). Zweitens ist nicht klar, ob die zentralen Verarbeitungsstufen beider Aufgaben bei simultaner Reizpräsentation tatsächlich vollständig überlappen. Wie aus Abbildung I-4 ersichtlich, sagt das CCS Modell *keinen* erhöhten Effekt für die Schwierigkeitsmanipulation bei kurzem SOA vorher, wenn während der *zusätzlichen* Arbeitsleistung keine Kapazität mehr geteilt wird. Nur für den Fall, dass bei zentraler Kapazitätsteilung zwischen beiden Aufgaben die Dauer der zentralen Stufen (inklusive der zusätzlichen Arbeit aufgrund der erhöhten Schwierigkeit) gleich lange ist, wird entsprechend CCS

Modell ein stärkerer Effekt der Schwierigkeitsmanipulation der Buchstabenaufgabe bei kurzem im Vergleich zu langem SOA erwartet. Nur dann würde auch ein Übertragungseffekt auf die Tonaufgabe vorhergesagt werden. Das bedeutet, dass mit einer Manipulation zentraler Aufgabenschwierigkeit nur dann zwischen den Vorhersagen des CB Modells und des CCS Modells differenziert werden kann, wenn während der zusätzlichen Arbeitsleistung überhaupt Kapazitätsteilung stattfinden *kann*. Ob dies in der Untersuchung von Ruthruff und Mitarbeitern (2003b) der Fall war, kann anhand der dortigen Angaben und Ergebnisse nicht entschieden werden.

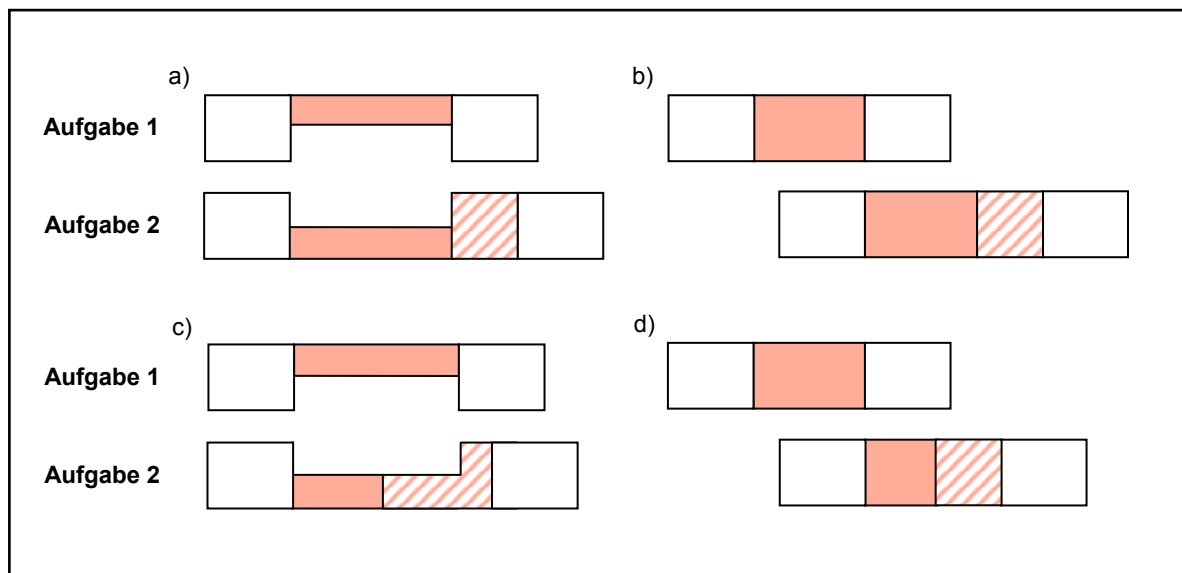


Abbildung I-4: Diese Abbildung zeigt zwei PRP-Situationen, in denen die zentrale Arbeit (rot) von Aufgabe 2 erhöht ist – z.B. aufgrund einer Schwierigkeitsmanipulation (rot schraffiert). Der Effekt dieser Manipulation hängt von der relativen Dauer der zentralen Stufen ab. a) und b) Falls die Dauer der zentralen Stufe von Aufgabe 2 der von Aufgabe 1 entspricht, dann ist die Zeit, die für die zusätzliche Arbeit erforderlich ist, unabhängig vom SOA. c) und d) Falls die Dauer der zentralen Stufe für Aufgabe 2 kürzer ausfällt als für Aufgabe 1, dann nimmt der Reaktionszeitzuwachs aufgrund der zusätzlichen Arbeit mit ansteigendem SOA ab, da sich der Zeitbereich der Kapazitätsteilung verringert.

Die Vorhersagen für die Variation zentraler Aufgabenschwierigkeit im PRP-Paradigma beruhen somit auf mehreren ungesicherten Annahmen. Ruthruff und Mitarbeiter gehen davon aus, dass sich die Kapazitätsteilung nicht wesentlich mit der Schwierigkeitsmanipulation verändert, wenngleich sie diese Möglichkeit nicht ausschließen. Tombu und Jolicoeur (2002) hingegen nehmen das Gegenteil an. In ihrer Untersuchung wurde ebenfalls die zentrale Schwierigkeit der zweiten Aufgabe variiert; dabei gingen sie davon aus, dass der Grad der

Kapazitätsteilung zwischen den Aufgaben mit zunehmender Schwierigkeit der zweiten Aufgabe ansteigt. Da das CB Modell und das CCS Modell sehr ähnliche Annahmen für RT_2 machen, untersuchten sie in erster Linie SOA-Effekte auf RT_1 . Erhöht sich der Grad der Kapazitätsteilung mit der Schwierigkeit von R_2 , sollte es gemäß CCS Modell zu einem Anstieg des SOA-Effekts auf RT_1 kommen. Entsprechend des CB Modells wurden in keinem Fall SOA-Effekte auf RT_1 vorhergesagt. Die Ergebnisse zeigten tatsächlich einen signifikanten SOA Effekt auf RT_1 , der als solcher bereits das CCS Modell unterstützt. Dieser Effekt interagierte nicht signifikant mit dem Grad der Aufgabenschwierigkeit; es gab jedoch einen Trend in die erwartete Richtung, so dass die Kapazitätsteilungs-Proportionen für die unterschiedlichen Bedingungen geschätzt werden konnten. Sie reichten von 0.78 bis 0.91.

In einer neueren Studie verwendeten Tombu und Jolicoeur (2005) eine andere Methode, um das CCS Modell zu überprüfen. Um die Wahrscheinlichkeit von Kapazitätsteilung zu erhöhen, wurden Aufgaben verwendet, die in einer anderen Studie bereits zu hohen SOA Effekten auf RT_1 geführt hatten (siehe Carrier & Pashler, 1995). Es handelte sich dabei um die Kombination einer Tondiskriminationsaufgabe als erste Aufgabe und einer Langzeitgedächtnisaufgabe als zweite Aufgabe. In der Gedächtnisaufgabe erschienen die Wörter entweder mit hohem Kontrast in der einen oder mit niedrigem Kontrast in der anderen Bedingung, d.h. die Dauer der *präzentralen* Verarbeitung von R_2 wurde variiert. Entsprechend des CB Modells wurden für diesen Fall keine Effekte präzentraler Schwierigkeit von R_2 auf R_1 vorhergesagt. Dem CCS Modell zufolge hingegen ist davon auszugehen, dass R_1 sowohl während des SOA als auch während der präzentralen Verarbeitung von R_2 mit voller Rate verarbeitet wird. RT_1 sollte daher umso kürzer ausfallen, je mehr die Dauer dieser beiden Faktoren zunimmt. Die Vorhersagen des CCS Modells konnten hier weitgehend bestätigt werden.

Insgesamt kann anhand der Datenlage bislang nicht eindeutig entschieden werden, ob tatsächlich Kapazitätsteilung auf zentraler Stufe möglich ist. Entsprechend kann weder das CB Modell noch das CCS Modell als widerlegt gelten. Allerdings wird deutlich, dass die dargestellten Ergebnisse durch das CCS Modell mit weniger Zusatzannahmen erklärt werden können als durch das CB Modell.

4 Überlegungen zum Kapazitätsbegriff

Der Begriff der Kapazität fiel bisher in unterschiedlichem Zusammenhang, und zwar sowohl im Kontext der Theorien zu visueller Aufmerksamkeit (siehe Kapitel 2 der Einführung), als auch bei der Erklärung von Phänomenen im PRP-Paradigma (siehe Kapitel 3 der Einführung). Es erhebt sich deshalb die Frage, ob *verschiedene* Arten von Kapazität definiert werden können, die für die kognitive Verarbeitung eine Rolle spielen.

In einem ganz allgemeinen Verständnis bedeutet Kapazität die Gesamtheit der Verarbeitungseinheiten, die während einer Aufgabenbearbeitung benötigt werden. Dazu gehören beispielsweise verschiedene Kommunikationskanäle, Gedächtnisspeicher, Arbeitsgedächtnisinhalte, aber auch energetische Komponenten wie Anstrengungsbereitschaft und Aktivierung (siehe z.B. Kahneman, 1973)

In Zusammenhang mit der visuellen Aufmerksamkeit wurde zwischen *Aufmerksamkeitskapazität* und *Kapazität kognitiver Kontrolle* unterschieden (Lavie et al., 2004). Je nachdem, wie stark die Aufmerksamkeitskapazität durch das perzeptuelle System ausgelastet wird, resultiert eine eher fokussierte oder eine eher parallele Verteilung der Aufmerksamkeit. Darüber hinaus kann die Aufmerksamkeitsverteilung auch aktiv kontrolliert werden, was Kapazität kognitiver Kontrolle beansprucht. Fraglich ist aber, ob sich diese Unterscheidung auch auf Doppelaufgaben übertragen lässt, oder ob hier noch eine weitere Form von Kapazität eine Rolle spielt.

Die in Kapitel 3 der Einführung dargestellten Theorien zur Verarbeitung bei Doppelaufgaben beschäftigen sich in erster Linie mit Prozessen der Antwortauswahl. Im Mittelpunkt der Diskussion steht die Frage, wo sich im kognitiven System ein Engpass befindet und inwieweit zwei oder mehr Aufgaben parallel verarbeitet werden können. Da neuere Theorien den Engpass auf der Stufe der Antwortauswahl ansiedeln, gelten Wahrnehmungsprozesse in diesem Zusammenhang als weniger interessant. Es wird sogar angenommen, dass die Wahrnehmung über eine nahezu unbegrenzte Kapazität verfügt und daher parallele Reizverarbeitung bei mehreren Aufgaben prinzipiell ohne Kosten ablaufen kann (z.B. Pashler, 1984; Tombu & Jolicoeur, 2003). Der Einfluss der Aufmerksamkeit wiederum gilt als ausschlaggebend vor allem für Prozesse der Wahrnehmung, so dass Aufmerksamkeit bzw. Aufmerksamkeitskapazität in den meisten Theorien zur Doppelaufgabenverarbeitung nicht ausführlich thematisiert wird. Darin liegt möglicherweise ein Schwachpunkt, da eine stärkere Integration

von Erkenntnissen aus dem Bereich der Aufmerksamkeitsforschung zur Weiterentwicklung von Doppelaufgabenmodellen beitragen könnte.

Die ECTVA (Logan & Gordon, 2001) versucht eine solche Integration, bleibt dabei jedoch auf einer formal-abstrakten Ebene, wobei die inhaltliche Beschaffenheit verschiedener Formen von Kapazität nicht näher diskutiert wird. Aufmerksamkeit spielt in dieser Theorie eine Rolle bei der Gewichtung von Reizmerkmalen und Kategorien, welche die Geschwindigkeit und Genauigkeit der Reaktionen bestimmt. Je nach Gewichtung der verschiedenen Reize resultiert eine eher serielle oder eine eher parallele Verarbeitung. Auch im CCS Modell von Tombu und Jolicoeur (2003) kann die Verarbeitung von seriell nach parallel über eine bestimmte Kapazitätsteilung angepasst werden. Sie verwenden den Begriff der *zentralen Kapazität*, welche für Prozesse der Antwortauswahl als ausschlaggebend erachtet wird. Resümierend stellt sich deshalb die grundlegende Frage, in welcher Beziehung das Konzept der zentralen Kapazität zur Aufmerksamkeit steht und inwieweit es Gemeinsamkeiten mit der Kapazität kognitiver Kontrolle nach Lavie und Mitarbeiter (2004) aufweist. Dazu soll nun ein möglicher Zusammenhang skizziert werden.

Spricht man von Aufmerksamkeitskapazität, so erhält der Begriff Aufmerksamkeit den Anstrich einer spezifischen Kapazität – neben anderen Formen der Kapazität – wie etwa der Gedächtniskapazität. Der Aufmerksamkeit kommt indes in der kognitiven Verarbeitung eine besondere Rolle zu. Sie beeinflusst nicht nur die Wahrnehmung, sondern auch alle weiterführenden Verarbeitungsprozesse, indem sie Art und Tiefe der Analyse steuert. Bei fehlender oder geringer Aufmerksamkeit beschränkt sich die Reizverarbeitung auf oberflächliche (unverbundene) Reizmerkmale. Erst bei verstärkter Aufmerksamkeit können semantische Merkmale entschlüsselt, Objekte identifiziert und im Sinne des Zugriffsbewusstseins zur Planung von Handlungen herangezogen werden. Aufmerksamkeit stellt also eine Voraussetzung für weiterführende Prozesse dar, wie z.B. für die Antwortauswahl. Sie bestimmt darüber hinaus auch deren Geschwindigkeit und Genauigkeit. Die spezifische Aufmerksamkeitsverteilung steuert während einer Aufgabenbearbeitung, welchen Reizen welcher Anteil an der (begrenzten) Verarbeitungskapazität zukommt und bestimmt somit maßgeblich die jeweilige Leistung. Man könnte Aufmerksamkeit deshalb auch als „Schlüssel“ zur Verarbeitungskapazität betrachten.

Insgesamt erscheint es sinnvoll, verschiedene Arten von Kapazität zu differenzieren, die in jeweils mehr oder weniger enger Beziehung zum Konzept der Aufmerksamkeit stehen: Rudimentäre perzeptuelle Prozesse scheinen – aller Evidenz nach – auch ohne Aufmerksamkeit ablaufen zu können. Die frühen Wahrnehmungsprozesse bzw. die damit einhergehende Auslastung des perzeptuellen Systems bestimmen zunächst die Ausrichtung der visuellen Aufmerksamkeit. Daneben – möglicherweise etwas zeitverzögert – greift ein Mechanismus kognitiver Kontrolle ein, der die Aufmerksamkeit aktiv steuert. Dieses Kontrollsystem beansprucht exekutive Funktionen, wie z.B. Inhibitionsmechanismen. Man kann davon ausgehen, dass die „Arbeit“ des exekutiven Kontrollsystems auf eine bestimmte und begrenzte Kapazität zurückgreift.

Die resultierende, passiv und aktiv beeinflusste Aufmerksamkeitsverteilung bestimmt schließlich, welche Reize über die perzeptuelle Verarbeitung hinaus Zugang zur begrenzten Kapazität, wie z.B. zum Arbeitsgedächtnis und zur Antwortauswahl, erhalten. Diese begrenzte Kapazität entspricht der Kapazität kognitiver Kontrolle bei Lavie und Mitarbeitern (2004) und möglicherweise auch der zentralen Kapazität im CCS Modell. Nach dieser Vorstellung muss die Kontrollkapazität bzw. zentrale Kapazität nicht nur zwischen zwei Aufgaben bei Doppelaufgaben, sondern jeweils auch innerhalb der Aufgaben selbst und den für die Aufgabebearbeitung wesentlichen Kontrollfunktionen aufgeteilt werden.

Für die serielle bzw. parallele Verarbeitung in einer *Doppelaufgabe* bedeutet dies Folgendes: Auf der Stufe der Wahrnehmung wird bereits Einfluss darauf genommen, ob Reize eher seriell oder eher parallel verarbeitet werden, indem die Aufmerksamkeit durch *bottom-up* Mechanismen – unter anderem in Abhängigkeit von der Auslastung der Aufmerksamkeitskapazität – entweder auf einen fokussierten oder einen verteilten Modus eingestellt wird. In einem weiterführenden Schritt kann, unter Inanspruchnahme höherer kognitiver Kapazität, die Aufmerksamkeit hinsichtlich serieller bzw. paralleler Verarbeitung *top-down* gesteuert werden. Wie erfolgreich dies gelingt, hängt wiederum von der Verfügbarkeit der Kapazität kognitiver Kontrolle ab. Ist diese bereits sehr stark ausgelastet, z.B. aufgrund der gleichzeitigen Bearbeitung einer weiteren Aufgabe, so versagt möglicherweise die *top-down* Steuerung der Aufmerksamkeit, und die resultierende Verarbeitung (seriell vs. parallel) hängt vollständig von *bottom-up* Faktoren ab. Falls die Verarbeitung jedoch auch aktiv kontrolliert werden kann, basiert die resultierende Aufmerksamkeitsverteilung auf einer Mischung aus sowohl *bottom-up* als auch *top-down* gesteuerten Einflüssen. Die Aufteilung der (verbleibenden)

Kapazität zwischen den Aufgaben kann dann einen beliebigen Wert auf dem Kontinuum zwischen seriell und parallel einnehmen.

Soweit passiv-physikalische Faktoren und die Verfügbarkeit kognitiver Kontrollkapazität dies zulassen, kann das Teilungsverhältnis begrenzter Verarbeitungskapazität also durch die Person unter Inanspruchnahme kognitiver Kontrolle strategisch festgelegt und gegebenenfalls variiert werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick auf die Studien

Die Erforschung visueller Aufmerksamkeit konnte zeigen, dass diese eine entscheidende Rolle bei der kognitiven Verarbeitung spielt. Um Aufgaben des täglichen Lebens erfüllen zu können, ist es unabdingbar, sich auf Wesentliches zu konzentrieren und möglichst wenig Kapazität mit der Verarbeitung irrelevanter Dinge zu verlieren. Es gilt also, relevante Informationen und Handlungen auszuwählen, Unwichtiges hingegen zu ignorieren. Der Aufmerksamkeitsfokus ist in hoch flexibler Weise und nach individuellen Zielen ausrichtbar. Je nach aktueller Situation bzw. Intention kann es einmal erstrebenswert sein, die Aufmerksamkeit zu fokussieren und seriell zu verarbeiten, ein andermal erweist sich parallel verteilte Aufmerksamkeit als angemessener. Welcher Modus im Einzelfall gewählt wird, ist stets ein Zusammenspiel aus strategischen Einflüssen von Seiten der Person sowie aus exogenen Faktoren von Seiten der Umgebung. Um eine optimale Anpassung an verschiedene Bedingungen zu gewährleisten, kann die Aufmerksamkeitsverteilung rasch und flexibel variiert werden; dies setzt jedoch eine kontinuierliche Kontrolle voraus.

Obwohl in der Literatur die Bedeutung strategischer Einflüsse auf die Art der Aufmerksamkeitsverteilung immer wieder herausgestellt wird, ist noch weitgehend unklar, unter welchen Bedingungen und mit welchen Zielen eine solche strategische Anpassung tatsächlich stattfindet. Diese Frage stellt sich insbesondere bei den Konfliktparadigmen, wie z.B. der Flankeraufgabe. Während die Mitverarbeitung der Flankerreize von einigen Theoretikern als automatisch und weitgehend unabhängig von Strategien eingeschätzt wird (z.B. Miller, 1991), gehen andere davon aus, dass irrelevante Flanker unter bestimmten Umständen absichtlich mitverarbeitet werden (z.B. Gratton et al., 1992). Nur wenige Studien haben sich bislang mit strategischen Einflüssen im Flankerparadigma befasst, während die Effekte und Mechanismen

unwillkürlicher Flankermitverarbeitung über die vergangenen Jahrzehnte hinweg intensiv untersucht wurden (z.B. Eriksen & Schultz, 1979; Kramer & Jacobson, 1991; Paquet, 2001).

Doch unter welchen Bedingungen sollten irrelevante Flanker aus strategischen Gründen mitverarbeitet werden? Es gibt Hinweise darauf, dass irrelevante Reize oder Dimensionen dann mitverarbeitet werden, wenn sich die Personen aus deren Verarbeitung einen Vorteil für die Aufgabenerfüllung versprechen (z.B. Gratton et al., 1992; Logan et al., 1984). Des Weiteren scheinen Reize in einer Doppelaufgabe stärker parallel verarbeitet zu werden als in einer Einfachaufgabe (Logan & Gordon, 2001).

In der vorliegenden Arbeit wird im Rahmen der *Studie 1* zunächst der Frage nachgegangen, ob Flankerreize verstärkt mitverarbeitet werden, wenn sie – nach der Beantwortung des Zielreizes – noch für eine zweite Aufgabe benötigt werden. Wie die Ergebnisse zeigen, ist dies tatsächlich der Fall. In Konsequenz daraus stellt sich eine zweite Frage in Studie 1, nämlich ob der genannte Effekt nun auf einer Strategie beruht oder ob eine verstärkte Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben aufgrund bestimmter Eigenschaften des kognitiven Systems unvermeidbar ist. Den Ergebnissen aus Studie 1 zufolge ist Ersteres der Fall. Obwohl Personen in Doppelaufgaben prinzipiell seriell arbeiten können, zeigen sie eine starke Tendenz zu strategischer Parallelverarbeitung.

Bei der Frage nach Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben ist darüber hinaus zu beachten, dass die menschliche Fähigkeit zur gleichzeitigen Verarbeitung mehrerer Aufgaben begrenzt ist, was bislang in einer Vielzahl empirischer Studien nachgewiesen werden konnte. Nur bei Kombination extrem einfacher Aufgaben und intensiver Übung kann in Einzelfällen „kostenfreie“ Parallelverarbeitung beobachtet werden. Ein Engpass besteht – aller Evidenz nach – in erster Linie für zentrale Prozesse wie Entscheidung und Antwortauswahl, so dass hier Parallelverarbeitung nur mit (hohen) Kosten verbunden bzw. überhaupt nicht möglich ist. Darüber hinaus spielen unspezifische Einflüsse eine Rolle, wie z.B. die Vorbereitungsstruktur und eine Kopplung der Antwortproduktion.

Ungeklärt ist bislang noch, ob zwei Aufgaben während der zentralen Verarbeitung parallel bearbeitet werden können oder nicht. Die unterschiedlichen Positionen hierzu sind im CCS bzw. CB Modell vertreten. Nur wenige empirische Untersuchungen haben bislang eine Differenzierung der Annahmen beider Modelle versucht, und dies meist mit unklaren Ergebnissen. Bezieht man nun die Frage nach serieller vs. paralleler Verarbeitung stärker auf

Erkenntnisse aus dem Bereich visueller Aufmerksamkeit, ergibt sich, dass eine bestimmte Aufmerksamkeitsverteilung für die Verteilung beschränkter Kapazität und somit für den Verarbeitungsmodus ausschlaggebend sein könnte.

Im Kontext der Doppelaufgaben ist – ähnlich wie im Flankerparadigma – ferner noch weitgehend unbeantwortet, welche Rolle Strategien bei der Verarbeitung spielen. Im CCS Modell (Tombu & Jolicoeur, 2003) sowie in einigen anderen theoretischen Ansätzen wird davon ausgegangen, dass strategische Erwägungen den Grad der Kapazitätsteilung von seriell nach parallel beeinflussen. Es erhebt sich also erstens die Frage, ob Personen den Grad der Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben auch auf der Stufe der Antwortauswahl strategisch anpassen können und, zweitens, welcher Nutzen sich im positiven Fall aus einer stärkeren Teilung von Kapazität ergibt. Diese Fragen stehen im Mittelpunkt von *Studie 2*. Die Resultate zeigen, dass der Grad der Parallelverarbeitung in Flanker-Doppelaufgaben tatsächlich strategisch variiert werden kann. Der Nutzen der Teilung scheint dabei nicht in der Optimierung von Reaktionszeit oder Fehlerrate zu bestehen, sondern möglicherweise in einer Minimierung des Aufwandes kognitiver Kontrolle.

II

Studie 1:

Zur Rolle der Aufgabenrelevanz bei der strategischen Mitverarbeitung von Flankern bei Einfach- und Doppelaufgaben

1 Einleitung

Das Eriksen Flankerparadigma wurde bislang in erster Linie dazu verwendet, die Grenzen visuell-räumlicher Aufmerksamkeit zu testen. Im Mittelpunkt stand dabei die Frage, ob, respektive, bis zu welchem Grad die Mitverarbeitung irrelevanter Flankerreize verhindert werden kann. Man fand heraus, dass eine Vielzahl physikalischer Faktoren, wie z.B. der räumliche Abstand, Farbe und Größe der Reize, einen Einfluss auf die Stärke unwillkürlicher Mitverarbeitung der Flanker hat (Eriksen & Schultz, 1979; Kramer & Jacobson, 1991; Paquet, 2001). Nur bei ausreichend hoher perzeptueller Diskriminierbarkeit von Zielreiz und Flankern gelingt eine optimale Fokussierung auf den Zielreiz und damit eine Unterdrückung der Flankerverarbeitung – erkennbar am FKE (z.B. Paquet, 2001). Tritt ein deutlicher FKE in einer Aufgabe auf, so wird dieser – je nach theoretischer Perspektive – gewöhnlich einem Versagen früher Selektionsmechanismen zugeschrieben (z.B. Yantis & Johnston, 1990), oder als Ausdruck automatischer Flankerverarbeitung gewertet (z.B. Miller, 1991). Beide Positionen haben gemeinsam, dass der FKE als das Ergebnis einer unwillkürlichen Verarbeitung der Flanker betrachtet wird. Die Flanker können jedoch auch *absichtlich* parallel mit dem Zielreiz verarbeitet werden, wenn dies einen Vorteil für die Reaktionszeit bei gleichzeitig geringem Fehlerrisiko erbringt (Gratton et al., 1992). Des Weiteren wurde davon berichtet, dass Reize – bei einer Anordnung wie im Flankerparadigma – auch dann verstärkt parallel verarbeitet werden, wenn die Flanker anschließend noch für eine zweite Aufgabe benötigt werden (z.B. Logan & Gordon, 2001). Unklar ist in letzterem Fall jedoch, ob es sich dabei um einen stabilen Effekt handelt und ob dieser tatsächlich strategische Ursachen hat.

Das Ziel der ersten Studie der vorliegenden Arbeit besteht zum einen darin herauszufinden, ob Flanker immer dann stärker parallel mit dem Zielreiz verarbeitet werden, wenn sie anschließend beantwortet werden müssen. Zum anderen soll untersucht werden, ob dieser Effekt auf absichtlicher Mitverarbeitung der Flanker beruht, d.h. eine Verarbeitungsstrategie darstellt. Durch die Kombination von Eriksen Flankerparadigma und PRP-Paradigma wird diesen Fragen in einer Reihe von Experimenten auf den Grund gegangen. Die Ausgangsfrage, nämlich ob die Relevanz der Flanker für eine zweite Aufgabe ihre Mitverarbeitung während R_1 verstärkt, wird durch die Ergebnisse von Experiment 1 bestätigt. In Aufgabenblöcken mit Doppelaufgaben erweist sich die Parallelverarbeitung von Zielreiz und Flankern und damit der FKE – im Vergleich zu Blöcken mit Einfachaufgaben – als stark erhöht.

Es schließt sich die Frage an, ob der erhöhte Grad der Flankermitverarbeitung in Doppelaufgaben tatsächlich das Ergebnis einer bewusst gewählten Strategie darstellt oder aber andere Ursachen hat. Doppelaufgaben unterscheiden sich von Einfachaufgaben ja auch dadurch, dass bei ersteren eine komplexere Vorbereitungs- und Kontrollstruktur erforderlich ist. Der FKE könnte somit bereits aufgrund einer erhöhten Belastung des Arbeitsgedächtnisses ansteigen (siehe z.B. Lavie et al., 2004): Je mehr in einer Aufgabe das Arbeitsgedächtnis gefordert ist, desto stärker wird die Kapazität kognitiver Kontrolle beansprucht. Dementsprechend weniger Kapazität bleibt für die *top-down* Ausrichtung der Aufmerksamkeit und die gezielte Filterung der Flanker übrig.

Um Unterschiede in der Vorbereitung und damit in der Arbeitsgedächtnisbelastung zwischen Einfach- und Doppelaufgaben auszugleichen, werden beide Aufgabentypen in den Experimenten 2-5 gemischt dargeboten. Ob eine Antwort auch auf die Flanker erforderlich ist, signalisiert ein Hinweisreiz, der jedoch nicht vor Präsentation der Flanker erscheint. Dadurch kann sichergestellt werden, dass sich die Versuchsteilnehmer zu Beginn eines jeden Durchgangs im gleichen Vorbereitungszustand befinden. Eine Anpassung an die Flankermitverarbeitung ist dann erst nach Erscheinen des Hinweisreizes möglich. Das bedeutet, unterschiedliche Grade der Parallelverarbeitung bei Einfach- und Doppelaufgaben können nur dadurch zustande kommen, dass die Versuchsteilnehmer ihren Verarbeitungsmodus rasch und flexibel *innerhalb* eines Durchgangs anpassen. Die Experimente 2A und 2B zeigen, dass eine solche Anpassung tatsächlich stattfindet. In diesen beiden Experimenten werden im Übrigen auch unterschiedliche Arten von Hinweisreizen untersucht.

Die Ergebnisse der Experimente 1-2B führen dann zu der Frage, warum die Versuchsteilnehmer die Flanker in Doppelaufgaben stärker mitverarbeiten als in Einfachaufgaben. Schließlich führt die erhöhte Parallelverarbeitung doch zu einer erheblichen Zunahme des FKE sowie zu Einbußen, insbesondere bei RT_1 . Bei Einfachaufgaben – also den klassischen Flankeraufgaben – ist es offensichtlich, dass die Unterdrückung der Flankerverarbeitung in der Regel von Vorteil ist. Auf Doppelaufgaben übertragen, würde dies eine serielle Verarbeitung der Reize implizieren (Logan & Gordon, 2001; Tombu & Jolicoeur, 2003). Es ist jedoch denkbar, dass eine fokussierte Verarbeitung in den hier verwendeten Doppelaufgaben nur schwer zu realisieren ist. Eine serielle Strategie erfordert es, die Verarbeitung von S_2 während der Verarbeitung von S_1 zu unterdrücken, unmittelbar anschließend für R_2 jedoch wieder aufzunehmen. In Studien zu *negativem Priming* (Tipper, 1985; Tipper & Cranston, 1985) und

Inhibition of Return (Posner & Cohen, 1984; Tipper, Weaver, Jerreat, & Burak, 1994) konnte bereits gezeigt werden, dass eine Verarbeitung zuvor gehemmter Reize kostspielig ist. Möglicherweise verarbeiten die Versuchsteilnehmer die Flanker in Doppelaufgaben bereits deshalb verstärkt während R_1 , um eine solche Hemmung der Reize zu umgehen. Es ist denkbar, dass eine Hemmung bzw. eine Überwindung dieser Hemmung bei R_2 zu noch höheren Kosten führen würde als eine verstärkte Parallelverarbeitung der Reize von Anfang an.

Experiment 3 zeigt, dass Zielreiz und Flanker sogar dann stark parallel zueinander verarbeitet werden, wenn die Kosten der Parallelverarbeitung für R_1 durch gleichzeitige Präsentation von Zielreiz und Flankern noch weiter erhöht werden. Dies lässt die Frage aufkommen, ob serielle Verarbeitung in Flanker-Doppelaufgaben überhaupt *möglich* ist. Nur wenn die Möglichkeit zu serieller Verarbeitung prinzipiell gegeben ist, kann ja tatsächlich von einer strategischen Wahl zwischen serieller und paralleler Verarbeitung gesprochen werden. In den Experimenten 4 und 5 wird die Möglichkeit zu serieller Verarbeitung in Doppelaufgaben demonstriert. In Experiment 4, in dem zu Beginn eines Durchgangs immer vollständig irrelevante Flanker präsentiert werden, werden die Reize auch in Doppelaufgaben seriell verarbeitet. In Experiment 5 wenden die Versuchsteilnehmer eine serielle Verarbeitungsstrategie an, wenn in 80% Einfachaufgaben und lediglich in 20% der Durchgänge eines Blocks Doppelaufgaben zu lösen sind.

2 Experiment 1

In diesem Experiment wurden Einfachaufgaben und Doppelaufgaben geblockt dargeboten. Die Einfachaufgaben entsprachen grundsätzlich dem klassischen Flankerparadigma (Eriksen & Eriksen, 1974), jedoch mit der Variation, dass die Flanker nach verschiedenen SOAs erschienen. Zielreiz und Flanker verhielten sich dabei hinsichtlich der geforderten Reaktionen kongruent, inkongruent oder neutral. In den Doppelaufgaben wurden die gleichen Reize präsentiert wie in den Einfachaufgaben; der Unterschied bestand darin, dass bei ersteren nach der Antwort auf den Zielreiz auch auf die Flanker – mit Ausnahme der neutralen Flankerreize – reagiert werden musste.

Die Flanker blieben in den Doppelaufgabendurchgängen nach ihrem Erscheinen so lange auf dem Bildschirm stehen, bis R_2 erfolgte. Die Versuchsteilnehmer hatten daher die Möglichkeit, die Flanker während der Verarbeitung der ersten Aufgabe vollständig zu igno-

rieren. Falls also die Flanker in den Doppelaufgabenblöcken nicht verstärkt mitverarbeitet werden, sollte der FKE hier genauso klein ausfallen wie bei den Einfachaufgaben. Die Erwartung ging jedoch dahin, dass die Flanker in den Doppelaufgaben bereits während der ersten Aufgabe stärker parallel verarbeitet werden als in den Einfachaufgaben. Aufgrund der geblockten Darbietungsweise ist die Vorbereitungsstruktur vermutlich stark auf die Flankerverarbeitung eingestellt (z.B. De Jong, 1995). Eine verstärkte Mitverarbeitung könnte jedoch auch strategische Ursachen haben.

In jedem Fall sollte bei erhöhter Beachtung der Flanker in Doppelaufgaben der FKE im Vergleich zu Einfachaufgaben erhöht sein. Laufen aufgrund der Parallelverarbeitung Antwortauswahlprozesse der ersten und der zweiten Aufgabe gleichzeitig ab, so bedeutet dies, gemäß CCS Modell, eine Teilung zentraler Kapazität. Das heißt, die Mitverarbeitung der Flanker während R_1 würde einige zentrale Kapazität von der Verarbeitung der ersten Aufgabe abziehen. Gemäß CCS Modell sollte daher die Leistung in der ersten Aufgabe bei Doppelaufgaben – im Vergleich zu Einfachaufgaben – generell beeinträchtigt sein. Zudem sollte die Leistung in den Durchgängen mit kongruenten Flankern im Vergleich zu neutralen reduziert sein. Kongruente Flanker führen im klassischen Flankerparadigma üblicherweise zu einer ähnlichen Leistung wie neutrale Flanker (siehe Kapitel 2.2.1 der Einführung). Kosten für die Mitverarbeitung werden hier wohl durch die Aktivierung der richtigen Antwort ausgeglichen. Überschreitet jedoch die Kapazitätsteilung einen gewissen Grad, werden die Kosten gegebenenfalls nicht mehr kompensiert und es kommt zu höheren Einbußen gegenüber neutralen Durchgängen. Ein solcher Effekt entspräche in etwa dem *Task-Set Cueing* Effekt, der in der Forschung zum Aufgabenwechsel beobachtet wird (Rogers & Monsell, 1995; Steinhauser & Hübner, in press). Schließlich wurde für R_2 der übliche PRP-Effekt erwartet.

2.1 Methode

Versuchsteilnehmer

Die Teilnehmer des Experiments waren 8 Studenten (3 männlich, 5 weiblich; mittleres Alter 24 Jahre) der Universität Konstanz.

Sie erhielten für ihre Teilnahme – wie alle Versuchsteilnehmer der nachfolgenden Experimente – entweder 5 € pro Stunde oder eine im Rahmen ihres Studiums notwendige Bescheinigung. Alle Versuchsteilnehmer in diesem Experiment, wie auch in den folgenden

Experimenten, verfügten über eine normale oder korrigierte Sehfähigkeit und hatten nicht zuvor bereits an ähnlichen Experimenten teilgenommen.

Versuchsaufbau und Reizmaterial

Sowohl die Reizpräsentation als auch die Antwortaufzeichnung erfolgte mittels eines IBM-kompatiblen PC. Die Reize wurden auf einem 21-Zoll Farbmonitor (Sony 500 PS) mit einer Auflösung von 1280 x 768 Pixel und einer Bildwiederholungsfrequenz von 85 Hz präsentiert.

Die Zahlen 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 und 9 dienten als Zielreize für die erste Aufgabe (S_1). Die gleichen Zahlen und zusätzlich die neutralen Symbole % und # dienten als Flankerreize (S_2). Die Ziffern und die neutralen Zeichen stammten aus dem Schriftsatz *Arial* und wurden so gedehnt bzw. gestreckt, dass sie bei einem Auge-Bildschirm-Abstand von 110 cm einer Höhe von 2° Sehwinkel und einer Breite von etwa 1.36° Sehwinkel – je nach Zeichen bzw. Symbol – entsprachen. Die Stimuli wurden in weißer Farbe vor einem schwarzen Bildschirmhintergrund präsentiert. S_1 erschien in der Mitte des Bildschirms, während S_2 aus zwei Exemplaren einer Zahl oder eines neutralen Symbols bestand und als Flankierreiz links und rechts neben S_1 präsentiert wurde. S_1 und S_2 waren in einem Durchgang stets verschieden. Der Abstand der Flanker zur Bildschirmmitte betrug dabei jeweils 1.18° Sehwinkel.

Vorgehen

Die Versuchsteilnehmer nahmen zunächst in einem abgedunkelten Raum vor dem Bildschirm Platz und lasen die schriftliche Instruktion. Ihre Aufgabe bestand darin, die Parität (gerade oder ungerade) der Zahlen zu beurteilen. Entsprechend mussten sie eine linke Taste für *gerade* und eine rechte für *ungerade* Zahlen drücken. Jeder Durchgang startete mit Erscheinen eines Fixationskreuzes in der Mitte des Bildschirms, welches für 400 ms dargeboten wurde (siehe Abbildung II-1). Dann folgte ein schwarzer Bildschirm für die Dauer von 600 ms, woraufhin der Zielreiz präsentiert wurde. Die Flanker erschienen anschließend mit einer SOA-Verzögerung von 50, 100, 150, 200 oder 350 ms. Zunächst sollten die Versuchsteilnehmer auf den Zielreiz mit einer ersten Reaktion (R_1) antworten und – bei Doppelaufgaben – anschließend auf die Flanker mit einer zweiten Reaktion (R_2). Die Reize blieben solange auf dem Bildschirm stehen, bis R_2 erfolgt war. Eine Sekunde nach der letzten Antwort erschien wiederum das Fixationskreuz, welches den nächsten Durchgang anzeigte. In

25% der Durchgänge bestanden die Flanker aus neutralen Zeichen; bei der Hälfte der verbleibenden 75% waren die Flanker kongruent, d.h. hatten die gleiche Parität wie der Zielreiz, und in der anderen Hälfte waren sie inkongruent, d.h. wiesen die entgegengesetzte Parität auf. Bei Zielreiz und Flankern handelte es sich immer um unterschiedliche Reize. Fehlerhafte Antworten wurden den Versuchsteilnehmern durch unmittelbar folgende auditive Signale vermittelt.

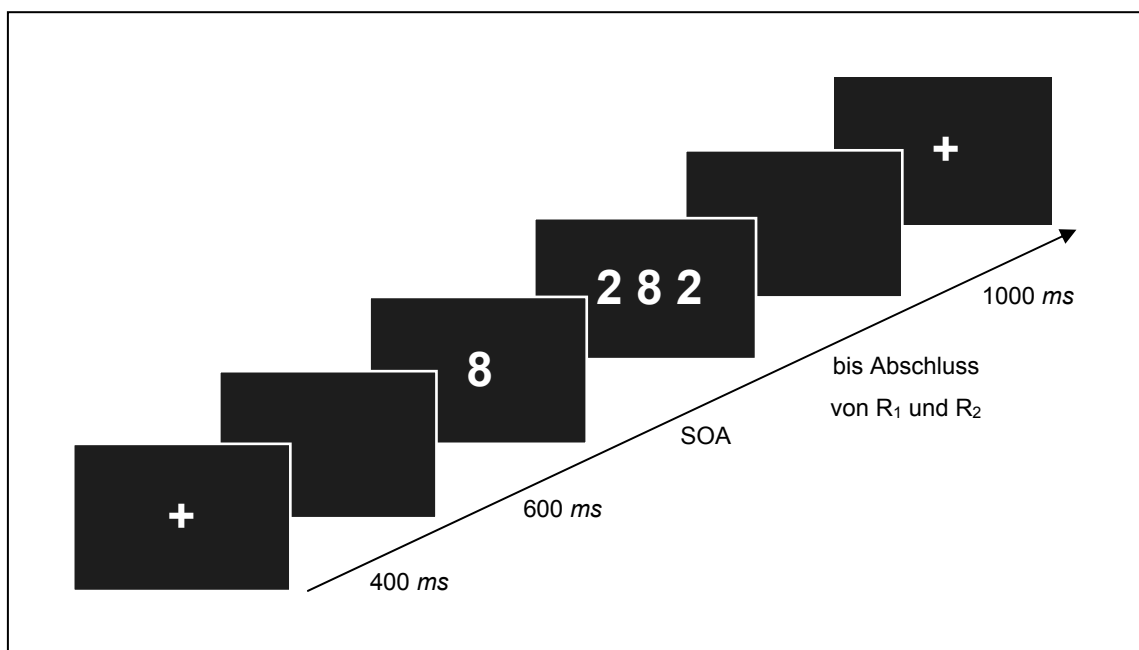


Abbildung II-1: Schematische Darstellung des Zeitverlaufs eines typischen experimentellen Durchgangs.

Im vorliegenden Experiment gab es zwei Arten von Blöcken: Einfachaufgabenblöcke und Doppelaufgabenblöcke. In den Einfachaufgabenblöcken war nur R_1 gefordert. Für R_1 musste eine von zwei Tasten mit der linken Hand gedrückt werden. In den Doppelaufgabenblöcken musste nach R_1 auch R_2 ausgeführt werden, indem eine von zwei weiteren Tasten mit der rechten Hand betätigt wurde. Da im Falle neutraler Flanker kein R_2 erforderlich war, waren 25% der Durchgänge in den Doppelaufgabenblöcken tatsächlich Einfachaufgaben-durchgänge. Nach einer Trainingsphase (in der ein Block von jedem Typ zur Durchführung kam) wurden insgesamt 16 Blöcke mit 96 Durchgängen abwechselnd von jedem Blocktyp (acht Einfachaufgabenblöcke, acht Doppelaufgabenblöcke) bearbeitet. Sowohl die Übungsphase als auch der Hauptteil begannen mit einem Einfachaufgabenblock. Die Versuchsteil-

nehmer bearbeiteten acht Blöcke in der ersten Sitzung und wiederum acht Blöcke in der zweiten Sitzung. Jede Sitzung dauerte etwa eine Stunde.

2.2 Ergebnisse

Reaktionszeiten auf S_1

Für die Reaktionszeiten der richtigen Antworten auf den Zielreiz wurde eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung berechnet. Die drei Faktoren waren *Aufgabentyp* (Einfachaufgabe oder Doppelaufgabe), *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent) und *SOA* (0, 50, 100, 150, 200 oder 350 ms). Der Faktor *Aufgabentyp* ergab einen signifikanten Haupteffekt, $F(1, 7) = 48.3$, $p < 0.001$. Im Durchschnitt dauerten die Antworten auf den Zielreiz in den Blöcken mit Doppelaufgaben 384 ms länger als in den Blöcken mit Einfachaufgaben. Außerdem wurde die Interaktion zwischen *Aufgabentyp* und *Kongruenz* signifikant, $F(1, 7) = 17.9$, $p < 0.01$. Um diese Interaktion näher zu untersuchen, wurden die Daten aus den Einfachaufgaben und den Doppelaufgaben sowie die Daten aus der neutralen Bedingung getrennt voneinander analysiert.

Einfachaufgaben. Die Analyse für die Reaktionszeiten aus den Einfachaufgabenblöcken ergab eine signifikante zweifache Interaktion zwischen *Kongruenz* und *SOA*, $F(5, 35) = 5.42$, $p < 0.001$. Dabei ergab sich ein signifikanter Kongruenzeffekt von 20 ms nur bei einem SOA von 0 ms, $F(1, 7) = 15.5$, $p < 0.01$ (siehe Abbildung II-2). Für die anderen SOA-Stufen wurden die Effekte nicht signifikant.

Doppelaufgaben. In den Doppelaufgabenblöcken produzierte *Kongruenz* einen signifikanten Haupteffekt (144 ms), $F(1, 7) = 23.0$, $p < 0.01$. Darüber hinaus interagierte *Kongruenz* signifikant mit *SOA*, $F(5, 35) = 3.67$, $p < 0.01$. Der Kongruenzeffekt verringerte sich mit zunehmendem SOA.

Neutrale Bedingung. Für die Reaktionszeiten der Durchgänge mit neutralen Flankern in den Einfach- und Doppelaufgabenblöcken wurde eine separate ANOVA mit Messwiederholung auf den Faktoren *Aufgabentyp* und *SOA* berechnet. Es ergaben sich signifikante Haupteffekte von *Aufgabentyp*, $F(1, 7) = 43.2$, $p < 0.001$, und von *SOA*, $F(5, 35) = 9.48$, $p < 0.001$. Die Antworten fielen in den neutralen Durchgängen innerhalb der Doppelaufgabenblöcke 261 ms langsamer aus als in den neutralen Durchgängen innerhalb der Einfachaufgabenblöcke. Ferner gab es eine signifikante Interaktion zwischen *Aufgabentyp* und

SOA , $F(5, 35) = 7.60$, $p < 0.001$. In den Blöcken mit Doppelaufgaben erhöhten sich die Reaktionszeiten mit zunehmendem SOA , während sie in den Einfachaufgabenblöcken in etwa konstant blieben.

Eine weitere Analyse zeigte, dass sich die Reaktionszeiten in den neutralen Durchgängen nicht signifikant unterschieden von den Reaktionszeiten in den kongruenten Durchgängen, und zwar weder in Blöcken mit Einfachaufgaben, noch in solchen, die vornehmlich Doppelaufgaben enthielten. Bei den Doppelaufgabenblöcken fielen jedoch die Reaktionszeiten in der kongruenten Bedingung etwas langsamer aus als in der neutralen Bedingung (siehe Abbildung II-2).

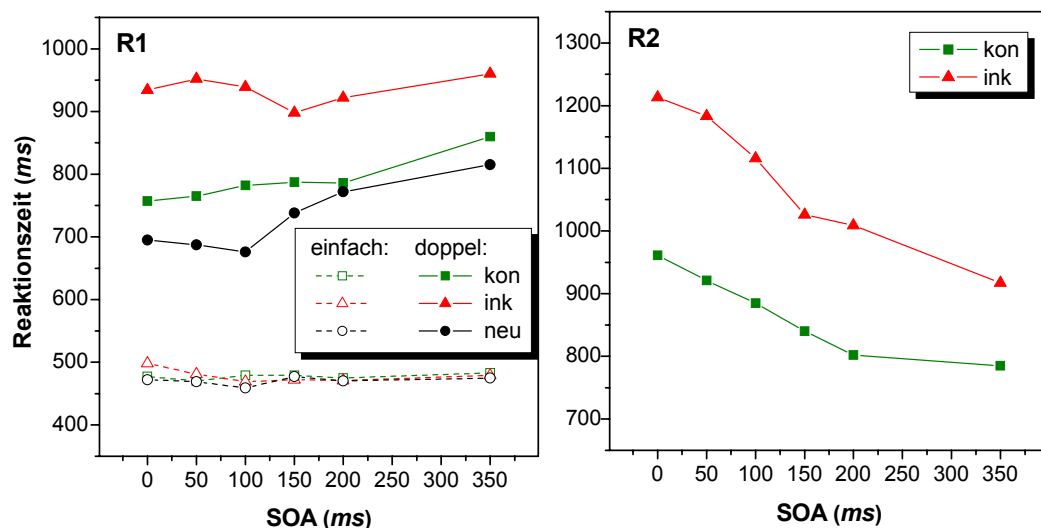


Abbildung II-2: Diese Abbildung zeigt die RT_1 - und RT_2 -Daten für Experiment 1. „Einfach“ und „doppel“ beziehen sich auf die geblockten Aufgabenmodi *Einfachaufgaben* und *Doppelaufgaben*. Die Bezeichnungen „kon“, „ink“ und „neu“ zeigen die verschiedenen Kongruenzbedingungen *kongruent*, *inkongruent* und *neutral* an.

Reaktionszeiten auf S_2

Die Reaktionszeiten der – in R_1 und R_2 – richtigen Antworten wurden in eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung eingegeben. Bei den Faktoren handelte es sich um *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent) und *SOA* (0, 50, 100, 150, 200 oder 350 ms). *Kongruenz* ergab einen signifikanten Haupteffekt von 212 ms, $F(1, 7) = 44.3$, $p < 0.001$. Auch

SOA hatte einen signifikanten Effekt, $F(5, 35) = 36.9$, $p < 0.001$, wobei es sich um einen typischen PRP-Effekt handelte. Darüber hinaus interagierten *SOA* und *Kongruenz* signifikant, $F(5, 35) = 5.12$, $p < 0.01$. Aus Abbildung II-2 lässt sich ersehen, dass der Kongruenzeffekt mit zunehmendem *SOA* leicht abnahm.

Fehlerraten

Die durchschnittliche Fehlerrate betrug 2.96% für R_1 und 4.31% für R_2 (wobei für R_2 die in R_1 fehlerhaften Durchgänge ausgeschlossen wurden). Die Fehlerraten wurden in ANOVAs eingegeben, die analog zu den Berechnungen für die Reaktionszeiten waren.

Für R_1 ergab sich ein signifikanter Haupteffekt von *SOA*, $F(5, 35) = 3.59$, $p < 0.05$. Die Fehlerrate nahm mit zunehmendem *SOA* ab (4.49% bei $SOA = 0\ ms$; 1.89% bei $SOA = 350\ ms$). Darüber hinaus zeigte sich eine signifikante zweifache Interaktion zwischen *Kongruenz* und *SOA*, $F(5, 35) = 2.97$, $p < 0.05$. Der Kongruenzeffekt verringerte sich mit zunehmendem *SOA*.

Für R_2 wurde eine zweifache Interaktion zwischen *Kongruenz* und *SOA* in gleicher Richtung signifikant, $F(5, 35) = 2.64$, $p < 0.05$.

Für die Durchgänge der neutralen Bedingung gab es keine signifikanten Effekte.

2.3 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen klar, dass der Grad der Flankermitverarbeitung stark von den Aufgabenanforderungen abhängt. In den Blöcken mit Einfachaufgaben gab es nur dann einen kleinen FKE, wenn die Flanker gleichzeitig mit dem Zielreiz präsentiert wurden. Dieses Ergebnis ist dem anderer Studien mit Flankeraufgaben vergleichbar, in denen das *SOA* variiert wurde (Eriksen & Schultz, 1979; Flowers, 1990). In den Blöcken mit Doppelaufgaben betrug der FKE dagegen durchschnittlich 144 *ms*. Obwohl sich dieser Effekt mit zunehmendem *SOA* verringerte, war er bei einem *SOA* von 350 *ms* immer noch substantiell (siehe Abbildung II-2). Der hohe FKE und seine Ausprägung über das *SOA* hinweg signalisieren, dass die Mitverarbeitung der Flankerreize bereits begann, bevor die Antwortauswahl für den Zielreiz abgeschlossen war. Unterstützt wird diese Interpretation ferner dadurch, dass die Antworten in der neutralen Bedingung tendenziell schneller erfolgten als in der kongruenten. Ähnlich wie für RT_1 gab es auch für RT_2 einen hohen Kongruenzeffekt, der sich mit zunehmendem *SOA* um ungefähr 80 *ms* verringerte.

Das vorliegende Datenmuster unterstützt die Hypothese, dass der Grad der Flankermitverarbeitung von der Aufgabenrelevanz der Flanker abhängt. In einem gegebenen Durchgang wurden die Flanker dann stärker mitverarbeitet, wenn sie anschließend noch beantwortet werden mussten als wenn dies nicht der Fall war. Ähnliche Ergebnisse haben bereits Logan und Gordon (2001) bei einem Vergleich von Einfach- und Doppelaufgaben erhalten. Sie beobachteten dort keinen Kongruenzeffekt für Einfachaufgaben, jedoch einen signifikanten Effekt (29 ms) für Doppelaufgaben, wobei letzterer allerdings deutlich kleiner war als der FKE im vorliegenden Experiment. In einer anderen Studie mit ähnlichem Ablauf und Reizmaterial wie im vorliegenden Experiment, aber ohne Einfachaufgaben, fanden Logan und Schulkind (2000) einen etwa dreimal so hohen Kongruenzeffekt für Doppelaufgaben mit Aufgabenwiederholung – also dem hier gefundenen Effekt vergleichbar.

Die Ergebnisse des vorliegenden Experiments zeigten ferner eine generelle Leistungsbeeinträchtigung in Doppelaufgaben im Vergleich zu Einfachaufgaben: RT_1 lag in den Doppelaufgabenblöcken um durchschnittlich 384 ms höher als in den Einfachaufgabenblöcken. Möglicherweise wurde der Verarbeitung von S_1 zentrale Kapazität abgezogen, um die Flanker mitzuverarbeiten. Die Höhe des Effekts lässt jedoch vermuten, dass noch *weitere Faktoren* zu diesem Leistungsunterschied beitragen.

Erstens verzögerte vermutlich die komplexere Vorbereitungsstruktur bei den Doppelaufgaben deren Verarbeitung bis zu einem gewissen Grad (siehe z.B. De Jong, 1995; Levy & Pashler, 2001). Die Kosten der Vorbereitung lassen sich anhand der neutralen Bedingung abschätzen. Bei den Durchgängen mit neutralen Flankern handelte es sich stets um Einfachaufgaben, auch innerhalb der Doppelaufgabenblöcke. Es ist jedoch davon auszugehen, dass bei den (wenigen) neutralen Durchgängen innerhalb der Doppelaufgabenblöcke die Vorbereitung der bei Doppelaufgaben entsprach. Tatsächlich lagen die Reaktionszeiten in den neutralen Durchgängen innerhalb der Doppelaufgabenblöcke 261 ms höher als innerhalb der Einfachaufgabenblöcke. Diese Differenz lässt sich nicht mit Kongruenzeffekten erklären, da die neutralen Flanker mit keiner Antwort assoziiert waren. Sicherlich lässt sich dieses Ergebnis teilweise auf die unterschiedlichen Vorbereitungsanforderungen bei Einfach- und Doppelaufgaben zurückführen.

Eine verstärkte Mitverarbeitung der Flanker in den Doppelaufgaben kann darüber hinaus auch bedeuten, dass während des SOA-Intervalls auf die Flanker in gewisser Weise

„gewartet“ wurde. Beim Betrachten der Leistung in den neutralen Durchgängen fällt auf, dass sich in den Doppelaufgabenblöcken die Reaktionszeiten mit zunehmendem SOA um 120 ms erhöhten, während ein solcher Anstieg in den Einfachaufgabenblöcken nicht zu verzeichnen war. Möglicherweise haben die Versuchsteilnehmer während der Doppelaufgabenblöcke S_1 nicht gleich von Anfang an voll verarbeitet, sondern einige Zeit auf das Erscheinen von S_2 gewartet.

Für den Anstieg von RT_1 mit zunehmendem SOA in der neutralen Bedingung gibt es auch eine alternative Erklärung, die auf die Vorbereitungsunterschiede zurückgeht. Die verstärkte Vorbereitung auf eine zweite Antwort in den Doppelaufgabenblöcken nahm möglicherweise im Laufe der Zeit bzw. im Verlauf eines Durchgangs noch zu. Wenn nach dem SOA neutrale Flanker signalisierten, dass kein R_2 erforderlich war, wurde die Vorbereitung auf eine zweite Reaktion aufgegeben bzw. reduziert. Je früher dies geschah, desto mehr Kapazität wurde zur Beschleunigung von RT_1 frei. Vermutlich beeinflussten also sowohl Wartezeit als auch (Variationen in der) Vorbereitungsstruktur die vorliegenden Ergebnisse.

Schließlich kann auch Antwortgruppierung zum Leistungsunterschied zwischen Einfach- und Doppelaufgabenblöcken beigetragen haben. Gruppierung im PRP-Paradigma bedeutet in der Regel, dass die Antwort auf S_1 , also den Zielreiz, zurückgehalten wird, bis auch die Antwort auf S_2 ausgewählt ist. Anschließend werden dann beide Antworten in rascher Abfolge abgegeben. In diesem Fall wäre eine ansteigende RT_1 mit zunehmendem SOA zu erwarten (z.B. Pashler, 1984; Pashler & Johnston, 1989). In Abbildung II-2 ist ein leichter Anstieg von RT_1 – zumindest für die kongruenten Flanker – zu erkennen. Wenngleich dieser Anstieg auch einer Wartezeitstrategie attribuiert werden kann, ist es dennoch nicht ohne weiteres möglich, einen Einfluss von Antwortgruppierung auszuschließen. Um das Ausmaß der Antwortgruppierung zu beurteilen, wurden die Intervalle zwischen R_1 und R_2 (*Inter-Response Intervals* = *IRIs*) untersucht. Es stellte sich heraus, dass die mittleren *IRIs* 252 ms betragen und sich zwischen den verschiedenen SOAs nicht substantiell unterschieden. Im Falle von extensiver Gruppierung sollten die *IRIs* wesentlich kürzer ausfallen, d.h. nahe 0 ms kumulieren (z.B. Pashler, 1984; Pashler & Johnston, 1989). Falls jedoch keinerlei Gruppierung auftritt, wäre von etwas längeren *IRIs* auszugehen. Diese Überlegungen lassen vermuten, dass die Versuchsteilnehmer eine Mischung unterschiedlicher Verarbeitungsstrategien verwendeten, die über die gezielte Mitverarbeitung der Flankerreize hinaus zu einer Verlängerung von RT_1 bei Doppelaufgaben führten.

Die Reaktionszeiten auf die Flanker, RT_2 , zeigten den üblichen PRP-Effekt. Die Reaktionszeiten verringerten sich um 159 ms für kongruente und um 204 ms für inkongruente Durchgänge über die SOA-Intervalle von 0 ms bis 200 ms . Der PRP-Effekt signalisiert einen Engpass auf zentraler Stufe. Für RT_1 hingegen wurde kein SOA-Effekt signifikant, was zunächst mit dem Modell des zentralen Flaschenhalses in Einklang zu stehen scheint. Allerdings gab es jedoch, wie bereits diskutiert, einen Einfluss von Wartezeit und Antwortgruppierung, der einen möglichen SOA-Effekt auf RT_1 in umgekehrter Richtung ausbalancierte.

Von zentraler Bedeutung für die Fragestellung in der vorliegenden Studie ist indes der FKE. Die FKE im vorliegenden Experiment spricht für eine starke Parallelverarbeitung bei den Doppelaufgaben, was zur Vorstellung eines zentralen Flaschenhalses nicht recht passt. Eine Theorie wie das CCS Modell, nach welcher Kapazitätsteilung auf zentraler Stufe erlaubt ist, erscheint mit den vorliegenden Ergebnisse demnach besser vereinbar (Tombu & Jolicoeur, 2003). Das CCS Modell sagt für RT_2 einen PRP-Effekt vorher, kann aber auch Effekte auf RT_1 erklären. Allerdings macht das Modell keine Annahmen zu Kongruenzeffekten. Daher ist es spekulativ, diese Effekte mittels Kapazitätsteilung zu erklären. Möglicherweise wird die zentrale Kapazität eben nicht *nur* zwischen der Zielreiz- und der Flankerverarbeitung aufgeteilt. In den inkongruenten Durchgängen könnte die Bewältigung des entstehenden Antwortkonflikts auch zu einem erhöhten Verbrauch an kognitiver Kapazität führen. Die zentrale Exekutive ist hier mit Prozessen wie Entscheidungsfindung und Inhibition falscher Antworttendenzen höchstwahrscheinlich stärker ausgelastet als im kongruenten oder neutralen Fall. Hinweise auf eine solche variierende Belastung der Kapazität durch unterschiedliche Ablenkreize gibt es in der Literatur bereits (de Fockert, Rees, Frith, & Lavie, 2001; Lavie & Fox, 2000; Lavie et al., 2004; Woodman & Luck, 2004; Yi et al., 2004). Es wird außerdem angenommen, dass Parallelverarbeitung wiederum zu verstärkten Antwortkonflikten führen kann (Hirst & Kalmar, 1987; Logan & Schulkind, 2000; Meyer & Kieras, 1997; Navon & Miller, 1987, 2002).

Möglicherweise wird also in Doppelaufgabendurchgängen mehr Kapazität verbraucht, wenn die Flanker inkongruent sind. Die Leistung sollte daher für inkongruente Flanker generell beeinträchtigt sein, auch im Hinblick auf RT_2 . Dies war im vorliegenden Experiment der Fall. Außerdem verringerte sich der Einfluss der Kongruenz signifikant mit zunehmendem SOA; diese Abnahme betrug im Durchschnitt 80 ms sowohl auf RT_1 , als auch auf RT_2 . Dies

unterstützt die Vorstellung, dass zunehmende Kapazitätsteilung auf einer zentralen Stufe zu höheren Kongruenzeffekten führt. Je länger jedoch das SOA dauert, desto geringer ist die zentrale Überlappung und somit auch der Grad der Kapazitätsteilung.

Insgesamt kommen für die im vorliegenden Experiment beobachteten Unterschiede in der Verarbeitung zwischen Einfach- und Doppelaufgaben also verschiedene Ursachen in Frage. Die verstärkte Parallelverarbeitung bei Doppelaufgaben könnte zumindest teilweise auf einer bestimmten Verarbeitungsstrategie beruhen. Doch was wären die Beweggründe für eine solche Strategie? Denkbar wäre zum einen, dass die Versuchsteilnehmer eine serielle Verarbeitungsstrategie in den Durchgängen mit Doppelaufgaben vermieden, da dies zunächst eine Hemmung der Flankerverarbeitung, und dann, nach Ausführung von R_1 , eine Wiederaufnahme der Verarbeitung der zuvor gehemmten Flanker erfordert hätte. Den Ergebnissen aus Studien zu *negativem Priming* zufolge könnte dies hohe Kosten verursachen (Tipper, 1985; Tipper & Cranston, 1985). Ein weiterer Grund für eine parallele Verarbeitungsstrategie in Doppelaufgaben könnte darin bestehen, dass sich die Personen hiervon einen Leistungsvorteil versprochen. Ob eine parallele Strategie die Leistung unter diesen Bedingungen jedoch tatsächlich verbesserte, wird in der Zwischendiskussion der vorliegenden Studie abgehandelt.

Doch bevor die verschiedenen Möglichkeiten strategischer Verarbeitung detaillierter untersucht werden können, sind mögliche nicht-strategische Ursachen für die gefundenen Verarbeitungsunterschiede zwischen Einfach- und Doppelaufgaben weitgehend auszuschließen. So ist beispielsweise denkbar, dass die Vorbereitungsstruktur in den Doppelaufgabenblöcken den Versuchsteilnehmern keine Wahl darin gelassen hat, die Flanker *nicht* mitzuarbeiten: Während der Doppelaufgabenblöcke befanden sich die Versuchsteilnehmer in hoher Bereitschaft, auf die Flanker zu reagieren – eine Situation, die es vielleicht nicht zulässt, die Verarbeitung der Flanker zu unterdrücken.

Um zu überprüfen, inwieweit Vorbereitung bzw. Anpassung des Aufmerksamkeitsfokus einen Einfluss auf die Ergebnisse haben, wurden Einfach- und Doppelaufgabenblöcke in den nächsten Experimenten gemischt dargeboten. Die gemischte Präsentation der verschiedenen Durchgänge machte allerdings die Verwendung von Hinweisreizen erforderlich, um den jeweiligen Durchgangstyp anzuzeigen. Die beiden folgenden Experimente dienten daher auch der Untersuchung verschiedener Hinweisreiztypen.

3 Experiment 2A

Wie die Ergebnisse des ersten Experiments zeigen, wird das Ausmaß der Flankermitverarbeitung offensichtlich davon beeinflusst, ob die Flanker für eine zweite Aufgabe benötigt werden oder nicht. Da die entsprechenden Einfach- und Doppelaufgabendurchgänge geblockt dargeboten wurden, ist eine eindeutige Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf Verarbeitungsstrategien nicht möglich. So ist noch offen, ob die stärkere Mitverarbeitung während der Doppelaufgabendurchgänge auf einer strategischen Wahl beruht, oder aber, ob die unterschiedliche Vorbereitungsstruktur in den Doppelaufgabenblöcken unweigerlich zu einem verstärkten Grad von Kapazitätsteilung führt. Darüber hinaus gab es allem Anschein nach Einflüsse durch Wartezeit und durch Antwortgruppierung. Im vorliegenden Experiment wurden daher Einfachaufgaben- und Doppelaufgabendurchgänge gemischt. Ein Mischen verschiedener Durchgangsarten wurde bereits in anderen Studien verwendet, um strategische gegenüber nicht-strategischen Verhaltenskomponenten zu differenzieren, z.B. in Untersuchungen zum Simon-Effekt (z.B. Marble & Proctor, 2000; Proctor & Vu, 2002; Proctor, Vu, & Marble, 2003; Vu & Proctor, 2004).

Bei einer gemischten Abfolge verschiedener Aufgabentypen müssen die Versuchsteilnehmer informiert werden, welche Aufgabe in einem bestimmten Durchgang zu bearbeiten ist. Aufgrund der Fragestellung sollten die Versuchsteilnehmer in jedem Durchgang *zu Beginn der Zielreizverarbeitung* in gleicher Weise vorbereitet sein. Im vorliegenden Experiment wurden daher keine Hinweisreize *vorab* präsentiert; erst mit Erscheinen der Flanker wurde signalisiert, ob diese aufgabenrelevant sind oder nicht. Somit begannen die Versuchsteilnehmer jeden Durchgang im gleichen Vorbereitungsstatus. Diese schloss vermutlich auch die Vorbereitung auf eine zweite Antwort ein, da die Wahrscheinlichkeit einer Doppelaufgabe jeweils relativ hoch war. Ferner sollten die Versuchsteilnehmer durch die Vermeidung von Hinweisreizen vorab und der Anforderung von Einfachaufgabenbearbeitung in der Mehrzahl der Durchgänge von Antwortgruppierung sowie „Warten“ auf die Flanker abgehalten werden.

Insgesamt war also zu erwarten, dass die Vorbereitungs- und Kontrollstruktur im vorliegenden Experiment derjenigen aus den Doppelaufgabenblöcken in Experiment 1 gleicht. Sie sollte sogar noch komplexer ausfallen, da im aktuellen Experiment die Instruktion für die Verarbeitung der Hinweisreize berücksichtigt werden musste. Aufgrund der erhöhten Aufga-

benkomplexität – insbesondere bei den Einfachaufgaben – wurde deshalb erwartet, dass die Leistung für R_1 hier insgesamt schlechter ausfallen sollte als in Experiment 1.

Die Hauptfragestellung im vorliegenden Experiment lautete: Was passiert, sobald die durch den Hinweisreiz angezeigte Information verfügbar ist? Falls die Vorbereitung auf eine zweite Aufgabe allein für die verstärkte Flankermitverarbeitung in den Doppelaufgabenblöcken von Experiment 1 verantwortlich war, sollten die Leistungsunterschiede zwischen Einfach- und Doppelaufgaben nun verschwinden. Falls jedoch in erster Linie Strategien ausschlaggebend waren, könnten Unterschiede zwischen den Aufgabentypen auch hier noch auftreten: Eine flexible Kontrollstruktur könnte das Ausmaß der Flankermitverarbeitung in Abhängigkeit vom Hinweisreiz in jedem Durchgang neu einstellen. Eine unterschiedliche Verarbeitung der Flanker bei den Einfach- und Doppelaufgaben sollte sich in jedem Fall in der Höhe des FKE niederschlagen.

Selbst wenn keine signifikanten Unterschiede zwischen den Aufgabentypen gefunden werden, ist aber nicht auszuschließen, dass die zugrunde liegende Verarbeitung strategisch bedingt ist. Möglicherweise wenden die Versuchsteilnehmer eine konstante Strategie an, wie z.B. eine eher serielle Verarbeitung in allen Durchgängen. Eine serielle Strategie könnte gefördert werden, da in der Mehrzahl der Durchgänge – aufgrund der neutralen Flanker der „Doppelaufgabendurchgänge“ – nun Einfachaufgaben erforderlich sind. In diesem Fall sollten die entsprechenden FKEs ähnlich klein ausfallen wie in den Einfachaufgaben aus dem vorherigen Experiment. Alternativ könnte derselbe Grad erhöhter Flankermitverarbeitung, vergleichbar den Doppelaufgabenblöcken von Experiment 1, nun auch in den Einfachaufgaben angewandt werden. Denkbar wäre allerdings auch, dass das Ausmaß der Flankermitverarbeitung nun zwischen diesen „Extremen“ liegt. Findet man also keine Unterschiede mehr zwischen den Aufgabentypen, kommen hierfür mehrere Ursachen in Betracht: Zum einen könnte die veränderte Aufgabenstruktur unweigerlich zu einer nun gleichen Verarbeitung der verschiedenen Aufgabentypen führen, zum anderen könnte eine der genannten Strategien gleichmäßiger Verarbeitung ausschlaggebend sein. Werden jedoch auch im vorliegenden Experiment Unterschiede im Ausmaß der Flankermitverarbeitung während R_1 gefunden, untermauert dies die Idee eines strategischen Einflusses.

Als Hinweisreiz zur Anzeige des Aufgabentyps diene im vorliegenden Experiment das Farbverhältnis zwischen Zielreiz und Flankern. Sowohl Zielreiz als auch Flankerreize

erschieden stets in einer bestimmten Farbe (rot oder grün). Wenn alle Stimuli dieselbe Farbe aufwiesen, war lediglich eine Antwort auf den Zielreiz erforderlich. Doppelaufgaben sollten durchgeführt werden, wenn Zielreiz und Flanker eine unterschiedliche Farbe hatten (z.B. ein roter Zielreiz mit grünen Flankern). Ein Farbabgleich war somit nötig, um zu entscheiden, ob in einem gegebenen Durchgang eine Einfachaufgabe oder eine Doppelaufgabe durchgeführt werden sollte. Die Farbvergleichsprozedur, anstatt z.B. konstanter Farben zur Anzeige eines bestimmten Aufgabentyps, wurde aus folgendem Grund verwendet: Wenn stets eine bestimmte Farbe der Flanker deren Relevanz anzeigt, könnten die Versuchsteilnehmer einen einfachen passiv-perzeptuellen Mechanismus verwenden und Flanker einer bestimmter Farbe bereits auf früherer Verarbeitungsstufe ausfiltern. Dass Farbe analog zum Ort für die Reizauswahl verwendet werden kann, wurde bereits von Hübner und Backer (1999) gezeigt. Eine solche Adjustierung des Systems würde keine strategische Anpassung der Verarbeitung von Durchgang zu Durchgang erfordern. Die Hinweisreizprozedur sollte also eine komplexere Entscheidung voraussetzen, um der Einstellung eines simplen Filtermechanismus vorzubeugen. Im vorliegenden Experiment musste in jedem Durchgang das Farbverhältnis von Zielreiz und Flankern erneut beurteilt werden, da die Farbe der Flanker alleine nicht aussagekräftig war. Wird dennoch eine unterschiedliche Leistung in R_1 zwischen Einfach- und Doppelaufgaben beobachtet, kann diese in den Einfachaufgabendurchgängen kaum auf einfaches Filtern nach Farbe zurückgeführt werden.

3.1 Methode

Versuchsteilnehmer

An diesem Experiment nahmen 8 Studenten (eine Person männlich, 7 weiblich; mittleres Alter 25 Jahre) teil.

Vorgehen

Der Versuchsaufbau und die Reize waren dieselben wie im vorhergehenden Experiment. Auch das Vorgehen war ähnlich – mit der Ausnahme, dass hier Einfach- und Doppelaufgabendurchgänge gemischt dargeboten wurden. Der jeweilige Aufgabentyp wurde durch das Farbverhältnis von Zielreiz und Flankern angezeigt. In der Hälfte der Durchgänge hatten Zielreiz und Flanker dieselbe Farbe, während sie in der anderen Hälfte der Durchgänge in einer anderen Farbe erschienen. Die verwendeten Farben (rot und grün) waren über die

Durchgänge balanciert. Gleiche Farbe von Zielreiz und Flankern signalisierte „Einfachaufgabe“, unterschiedliche Farbe „Doppelaufgabe“. In 25% aller Durchgänge wurden neutrale Flanker (% , #) präsentiert, wobei in 12,5% der Durchgänge Zielreiz und neutrale Flanker dieselbe Farbe und in der anderen Hälfte unterschiedliche Farben hatten.

3.2 Ergebnisse

Reaktionszeiten auf S_1

Die Reaktionszeiten der richtigen Antworten auf den Zielreiz in Einfach- und Doppelaufgaben wurden anhand einer dreifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung ausgewertet. Bei den drei Faktoren handelte es sich um *Aufgabentyp* (Einfachaufgabe oder Doppelaufgabe), *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent) und *SOA* (0, 50, 100, 150, 200 oder 350 ms). Die Daten für die neutralen Durchgänge wurden wiederum getrennt analysiert.

Die Berechnungen ergaben einen signifikanten Effekt von *Aufgabentyp*, $F(1, 7) = 14.8$, $p < 0.01$. Im Durchschnitt waren die Reaktionszeiten in den Durchgängen mit Doppelaufgaben 90 ms länger als in denen mit Einfachaufgaben. Die zweifache Interaktion zwischen *Aufgabentyp* und *Kongruenz* wurde marginal signifikant, $F(1, 7) = 4.10$, $p = 0.082$. Die FKEs betragen 23 ms für Einfachaufgaben und 55 ms für Doppelaufgaben. (Da die Hypothese einem einseitigen statistischen Test entsprach und der *F*-Test zweiseitig ist, kann der Unterschied im FKE nichtsdestotrotz als signifikant betrachtet werden). Außerdem wurde die Interaktion zwischen *Aufgabentyp* und *SOA* signifikant, $F(5, 35) = 8.73$, $p < 0.001$. Wie mittels Abbildung II-3 zu erkennen, signalisierte diese Interaktion, dass der Reaktionszeitunterschied zwischen Einfach- und Doppelaufgaben mit zunehmendem SOA abnahm. Zur genaueren Untersuchung dieser Interaktionen wurden die Daten nach Einfach- und Doppelaufgabendurchgängen getrennt ausgewertet.

Einfachaufgaben. Die Analyse ergab einen signifikanten Haupteffekt von *Kongruenz*, $F(1, 7) = 12.5$, $p < 0.01$, und von *SOA*, $F(5, 35) = 3.08$, $p < 0.05$. Es gab darüber hinaus eine signifikante zweifache Interaktion zwischen diesen beiden Faktoren, $F(5, 35) = 3.85$, $p < 0.01$, was eine Abnahme des FKE mit zunehmendem SOA signalisierte.

Doppelaufgaben. Die Auswertung der Doppelaufgabendurchgänge zeigte einen signifikanten Haupteffekt von *Kongruenz*, $F(1, 7) = 13.6$, $p < 0.01$. *Kongruenz* interagierte auch

signifikant mit SOA , $F(5, 35) = 4.29$, $p < 0.01$, indem sich ein stärkerer Kongruenzeffekt bei kürzeren $SOAs$ einstellte.

Neutrale Bedingung. Für die Durchgänge mit neutralen Flankern wurde eine separate ANOVA mit Messwiederholung auf den Faktoren *Aufgabentyp* und *SOA* berechnet. Es ergab sich ein signifikanter Haupteffekt von *Aufgabentyp*, $F(1, 7) = 14.1$, $p < 0.01$. Die Antworten waren bei Doppelaufgaben langsamer (16 ms) als bei Einfachaufgaben. Zudem nahmen die Reaktionszeiten mit dem SOA um 96 ms signifikant zu, $F(5, 35) = 9.00$, $p < 0.001$.

Der Unterschied zwischen neutralen und kongruenten Durchgängen wurde signifikant für Einfachaufgaben, $F(1, 7) = 83.9$, $p < 0.001$, ebenso wie für Doppelaufgaben, $F(1, 7) = 17.6$, $p < 0.01$. Neutrale Flanker führten zu schnelleren Antworten als kongruente Flanker (19 ms für Einfachaufgaben; 77 ms für Doppelaufgaben).

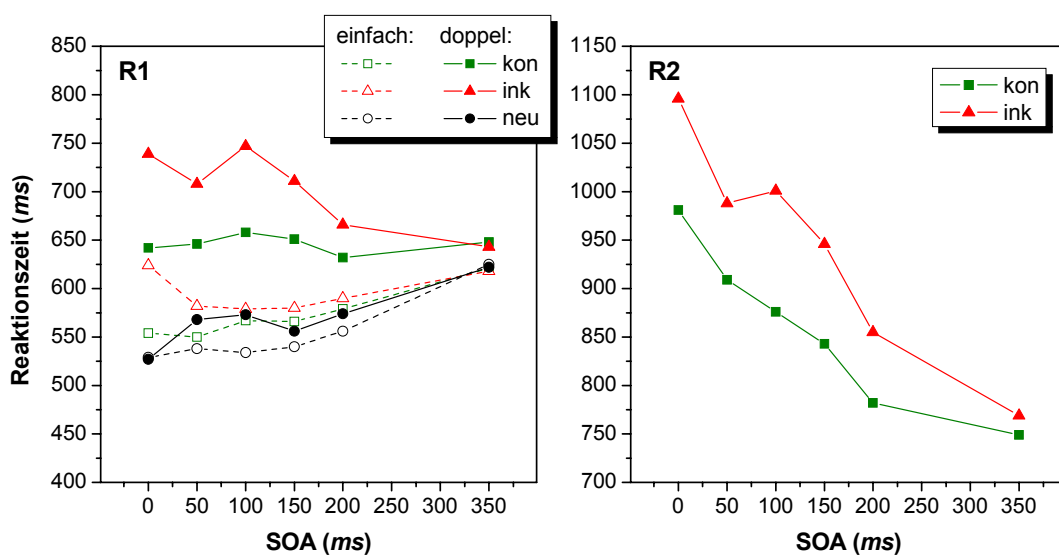


Abbildung II-3: Diese Abbildung zeigt die RT_1 - und RT_2 -Daten für Experiment 2A. „Einfach“ und „doppel“ bezeichnen *Einfachaufgaben* und *Doppelaufgaben*. Die Bezeichnungen „kon“, „ink“ und „neu“ stehen für die verschiedenen Kongruenzbedingungen *kongruent*, *inkongruent* und *neutral*.

Reaktionszeiten auf S_2

Die Reaktionszeiten der (in R_1 und R_2) richtigen Antworten wurden mittels einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung analysiert. Dabei wurden die Faktoren *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent) und *SOA* (0, 50, 100, 150, 200 oder 350 ms) berücksichtigt.

Beide Faktoren ergaben signifikante Haupteffekte, *Kongruenz* (85 ms), $F(1, 7) = 39.5$, $p < 0.001$, und *SOA*, $F(5, 35) = 72.9$, $p < 0.001$. *SOA* und *Kongruenz* interagierten signifikant, $F(5, 35) = 3.68$, $p < 0.01$. Der Kongruenzeffekt verringerte sich mit zunehmendem SOA (siehe Abbildung II-3).

Fehlerraten

Die durchschnittliche Fehlerrate betrug 1.93% für R₁ und 3.74% für R₂ (unter Ausschluss der in R₁ fehlerhaften Durchgänge). Für R₁ ergab sich ein signifikanter Haupteffekt von *Aufgabentyp*, $F(1, 7) = 5.84$, $p < 0.05$. Bei R₁ unterliefen mehr Fehler bei Einfachaufgaben (2.41%) als bei Doppelaufgaben (1.46%).

Bezüglich der Fehlerrate in R₂ ergab sich kein signifikanter Effekt.

In der neutralen Bedingung zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt von *SOA*, $F(5, 35) = 4.35$, $p < 0.01$. Fehler waren bei kürzeren SOAs häufiger.

Vergleich mit Experiment 1

Um die Leistung zwischen Experiment 1 und 2A zu vergleichen, wurden mehrere Analysen gerechnet. Eine dreifaktorielle ANOVA für R₁ mit den Messwiederholungsfaktoren *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent), *SOA* (0, 50, 100, 150, 200 oder 350 ms) und *Aufgabentyp* (Einfachaufgabe oder Doppelaufgabe) sowie dem Gruppenfaktor *Experiment* (1 oder 2A) ergab eine signifikante zweifache Interaktion zwischen *Experiment* und *Aufgabentyp*, $F(1, 14) = 24.010$, $p < 0.001$. Der Reaktionszeitunterschied zwischen Einfachaufgaben- und Doppelaufgabendurchgängen fiel in Experiment 1 wesentlich größer aus als in Experiment 2A (384 ms versus 90 ms). Ferner wurde die dreifache Interaktion zwischen *Experiment*, *Aufgabentyp* und *SOA* signifikant, $F(5, 70) = 7.52$, $p < 0.001$. In den Doppelaufgabendurchgängen nahmen die Gesamtreaktionszeiten bei Experiment 2A mit zunehmendem SOA ab, während sie in Experiment 1 anstiegen.

Um die Interaktion von *Aufgabentyp* und *Kongruenz* zwischen den beiden Experimenten zu untersuchen, wurden die Daten der Einfach- und Doppelaufgaben getrennt analysiert. Es ergab sich ein signifikanter Haupteffekt von *Experiment* für die Einfachaufgaben-durchgänge, $F(1, 14) = 17.6$, $p < 0.001$. Die Reaktionszeiten waren in Experiment 1 106 ms niedriger als in Experiment 2A. Das Gegenteil war der Fall für die Doppelaufgabendurchgänge, $F(1, 14) = 7.67$, $p < 0.05$. Hier lagen die Reaktionszeiten in Experiment 1 188 ms hö-

her als in Experiment 2A. Ferner unterschied sich der Effekt von *Kongruenz* signifikant zwischen Experiment 1 und Experiment 2A, und zwar sowohl bei den Einfachaufgabendurchgängen, $F(1, 14) = 7.66$, $p < 0.05$, als auch bei den Doppelaufgabendurchgängen, $F(1, 14) = 6.95$, $p < 0.05$. Der FKE betrug durchschnittlich 23 ms für die Einfachaufgaben in Experiment 2A; bei Experiment 1 hingegen gab es hier keinen Haupteffekt. Bei den Doppelaufgaben betrug der FKE 55 ms in Experiment 2A und 144 ms in Experiment 1.

Ein Vergleich der neutralen Durchgänge zwischen beiden Experimenten ergab eine signifikante zweifache Interaktion zwischen *Experiment* und *Aufgabentyp*, $F(1, 14) = 37.5$, $p < 0.001$. Der Unterschied zwischen neutralen Flankern, die jeweils aufgrund ihrer Einfärbung „Einfachaufgabe“ bzw. „Doppelaufgabe“ signalisierten, war viel größer in Experiment 1 (261 ms) als in Experiment 2A (16 ms). Zudem gab es hier eine reliable dreifache Interaktion zwischen *Experiment*, *Aufgabentyp* und *SOA*, $F(5, 70) = 7.26$, $p < 0.001$. In Experiment 1 erhöhten sich die Reaktionszeiten mit steigendem SOA, wenn die Flanker „Doppelaufgabe“ anzeigten, während sie konstant blieben, wenn die Einfärbung „Einfachaufgabe“ bedeutete. In Experiment 2A stiegen die Reaktionszeiten um ungefähr denselben Betrag für Doppel- und Einfachaufgaben.

Bei der Analyse für RT_2 wurde die zweifache Interaktion von *Experiment* und *Gruppe* signifikant, $F(1, 14) = 13.2$, $p < 0.01$. Dies reflektiert insgesamt deutlich höhere Reaktionszeiten in der inkongruenten Bedingung bei Experiment 1 als bei Experiment 2A (1077 ms versus 942 ms), wobei sich RT_2 in der kongruenten Bedingung kaum unterschied (865 ms versus 857 ms).

3.3 Diskussion

Im vorliegenden Experiment wurden Einfachaufgaben- und Doppelaufgabendurchgänge innerhalb eines Blocks gemischt dargeboten, wobei die Präsentation der Aufgaben randomisiert erfolgte. Den Versuchsteilnehmern war es nicht möglich, sich im Vorfeld – bzw. vor Erscheinen der Flanker – auf einen spezifischen Durchgangstyp vorzubereiten. Erst das Farbverhältnis von Flankern und Zielreiz zeigte an, ob eine Einfachaufgabe oder eine Doppelaufgabe im jeweiligen Durchgang verlangt war.

Die Schwierigkeit, spezifische Verarbeitungsstrategien für die Flanker während R_1 auszuwählen, war daher im Vergleich zum geblockten Präsentationsmodus von Experiment 1

deutlich erhöht: Erstens war eine strategische Anpassung erst *während* eines Durchgangs möglich, zweitens setzte die Beurteilung des Farbverhältnisses von Zielreiz und Flankern eine kognitive Entscheidung voraus. Diese Aufgabenstruktur sollte in erster Linie einen gleichen Vorbereitungsstatus bei Einfach- und Doppelaufgaben gewährleisten. Im vorhergehenden Experiment haben Vorbereitungsunterschiede möglicherweise zur Leistungsdifferenz in R_1 zwischen Einfach- und Doppelaufgabenblöcken beigetragen.

Ferner sollte durch die Art der Hinweisreize verhindert werden, dass passiv-perzeptuelle Verarbeitungsmechanismen angesprochen werden. Dies wäre nicht auszuschließen gewesen, wenn stets eine bestimmte Farbe die Relevanz bzw. Irrelevanz der Flanker signalisiert hätte. Durch die randomisierte Abfolge der Aufgaben sowie die verzögerte Hinweisreizprozedur sollten zudem Einflüsse wie Wartezeit und Antwortgruppierung gering gehalten werden.

Es wurde vorhergesagt, dass Unterschiede in der Verarbeitung der Flanker gemäß Aufgabentyp während R_1 nun strategische Ursachen haben müssten. Falls die in Experiment 1 beobachteten Ergebnisse jedoch ausschließlich aufgrund von Unterschieden in Vorbereitung, Antwortgruppierung oder Wartezeit zustande kamen, sollten im vorliegenden Experiment keine signifikanten Unterschiede zwischen Einfach- und Doppelaufgaben mehr gefunden werden. Mit anderen Worten: Mit einer inflexiblen Kontrollstruktur, die lediglich kontrolliert, ob R_2 ausgeführt wird oder nicht, ansonsten aber dieselbe Stimulusverarbeitung bei jedem Durchgang in Gang setzt, sollten ähnliche FKEs in beiden Arten von Durchgängen auftreten. Wenn jedoch der Grad der Flankermitverarbeitung in jedem Durchgang entsprechend dem Aufgabentyp angepasst wird, sollten sich die entsprechenden FKEs unterscheiden.

Wie die Ergebnisse zeigen (siehe Abbildung II-3), war Letzteres der Fall. Der FKE war für Doppelaufgaben signifikant größer als für Einfachaufgaben. Im Vergleich zum vorherigen Experiment war der FKE für Doppelaufgaben nun deutlich kleiner (*55 ms* versus *144 ms*). Dies deutet darauf hin, dass die Flanker in den Doppelaufgabendurchgängen weniger intensiv verarbeitet worden sind als bei der geblockten Präsentation. Ferner war der Gesamtunterschied in RT_1 zwischen Einfach- und Doppelaufgaben – im Vergleich zu Experiment 1 – nun reduziert (*90 ms* versus *384 ms*).

Bei den Einfachaufgabendurchgängen waren die Versuchsteilnehmer im vorliegenden Experiment langsamer als in Experiment 1 (*584 ms* versus *478 ms*), was möglicherweise auf die nun komplexere Kontrollstruktur zurückzuführen ist: Da die Aufgabentypen gemischt

dargeboten wurden, mussten die Versuchsteilnehmer in jedem Durchgang auch auf Doppelaufgaben vorbereitet sein. Diese zusätzliche Vorbereitung trug vermutlich zur Beeinträchtigung bei Einfachaufgaben und zur schlechteren Leistung in den Durchgängen mit neutralen Flankern, im Vergleich zu Experiment 1, bei. Dagegen erfolgten die Antworten um durchschnittlich 188 *ms* schneller als dies im ersten Experiment der Fall war.

Interessanterweise fiel die Beschleunigung der Reaktionszeit in den Doppelaufgaben im Vergleich zu Experiment 1 um einiges höher aus als die entsprechende Verlangsamung in den Einfachaufgaben. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass nun in Doppelaufgaben keine Antwortgruppierung mehr vorgenommen wurde (das mittlere IRI betrug 367 *ms*). Aufgrund der randomisierten Darbietung von Einfach- und Doppelaufgaben sowie der Tatsache, dass die Flanker nun in 62.5% der Durchgänge (Einfachaufgaben plus neutrale Durchgänge) aufgabenirrelevant waren, wäre Antwortgruppierung indes auch nicht sinnvoll gewesen. Allerdings stiegen die Reaktionszeiten in der neutralen Bedingung immer noch um 96 *ms* mit dem SOA an, und zwar sowohl für die Einfachaufgaben (gemäß Farbe) als auch für die Doppelaufgaben. Dieser Anstieg war geringer im Vergleich zu den Doppelaufgaben von Experiment 1 und ist vermutlich auf einen Einfluss von Wartezeit zurückzuführen. Der Einfluss von Wartezeit war nun bei beiden Aufgabentypen ausgeglichen.

Für RT_2 wurden wiederum ein typischer PRP-Effekt und signifikante Kongruenzeffekte beobachtet. Ein Vergleich mit Experiment 1 ergab einen signifikanten Unterschied von RT_2 in der inkongruenten Bedingung. Die Reaktionszeiten für R_2 in der kongruenten Bedingung hingegen waren vergleichbar mit Experiment 1. Dieses interessante Ergebnis ließe sich mit dem CCS Modell erklären, das einen Einfluss unterschiedlicher Grade von Kapazitätsteilung auf RT_1 , nicht aber auf RT_2 vorhersagt. Möglicherweise wurde in Experiment 1 aufgrund der geblockten Darbietungsweise der Doppelaufgaben mehr Kapazität geteilt als im vorliegenden Experiment, was das Datenmuster zumindest für die kongruente Bedingung erklären könnte. RT_2 in der inkongruenten Bedingung fiel allerdings in Experiment 1 um durchschnittlich 135 *ms* höher aus als im vorliegenden Experiment. Wie bereits erwähnt, ist in der inkongruenten Situation von einem Konflikt auszugehen, dessen Lösung zusätzlich kognitive Kontrolle erfordert. Dieser könnte sich mit zunehmender Kapazitätsteilung zwischen den Aufgaben erhöhen, und somit zu einem Anstieg in RT_1 und RT_2 führen. Diese Annahme bleibt bislang jedoch spekulativ.

Obwohl die prozeduralen Veränderungen im vorliegenden Experiment die Differenz in RT_1 zwischen Einfachaufgaben und Doppelaufgaben im Vergleich zu Experiment 1 reduzierten, war der Unterschied immer noch signifikant. Dies war auch der Fall bei der neutralen und der kongruenten Bedingung. Da nun für beide Aufgabentypen die gleiche Vorbereitungsstruktur vorausgesetzt werden kann, muss die Anpassung an den Aufgabentyp flexibel und jeweils während des Durchgangs erfolgt sein, d.h. erst nach der Präsentation der Flanker.

Eine „perfekte“ Anpassung gemäß Aufgabenrelevanz fand jedoch nicht in dem Sinne statt, dass die Flanker in den Einfachaufgabendurchgängen *vollständig* ausgeblendet worden wären. Der FKE lag in den Einfachaufgaben im vorliegenden Experiment deutlich höher als im vorherigen. Dies hat wohl im Wesentlichen zwei Gründe: Erstens wurden Zielreiz und Flanker wurden in derselben Farbe dargeboten, was die Selektion des Zielreizes erschwerte (Harms & Bundesen, 1983; Kramer & Jacobson, 1991). Zweitens musste die Farbe der Flanker als Bestandteil des Hinweisreizes für die Aufgabenrelevanz enkodiert werden, was wohl insgesamt mehr Aufmerksamkeit auf die Flanker zur Folge hatte. Im Vergleich zu den Doppelaufgabendurchgängen war der FKE jedoch niedrig. Die Ergebnisse zeigten, dass eine konstant starke Mitverarbeitung der Flanker also nicht unvermeidbar ist, selbst wenn die Versuchsteilnehmer aufgrund der gemischten Präsentation auf die Bearbeitung von Doppelaufgaben vorbereitet sind.

Aber weshalb wählten die Versuchsteilnehmer überhaupt eine Parallelverarbeitungsstrategie in Doppelaufgaben? Eine mögliche Ursache könnte, wie bereits erwähnt, darin bestehen, dass eine serielle Strategie in Doppelaufgaben die Wiederaufnahme der Verarbeitung zuvor gehemmter Flanker erfordern würde; dies könnte mehr Kosten verursachen als eine kontinuierliche Verarbeitung. Die spezifische Hinweisreizprozedur im vorliegenden Experiment machte es außerdem erforderlich, die Farbe der Flanker als Bestandteil des Hinweisreizes zu beachten. Diese komplexe Situation könnte die Versuchsteilnehmer ermutigt haben, die Flankerverarbeitung nach der Enkodierung des Hinweisreizes bei Einfachaufgaben zu hemmen, bei Doppelaufgaben hingegen nicht. Um diese Hypothese zu überprüfen, wurde im folgenden Experiment eine andere Hinweisreizprozedur überprüft.

4 Experiment 2B

Im vorliegenden Experiment wurde eine Hinweisreizprozedur verwendet, die keinerlei Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf die Flanker erforderte. Dies sollte es den Versuchsteilnehmern ermöglichen, eine serielle Verarbeitungsstrategie auch in Doppelaufgaben anzuwenden. Im Unterschied zum vorherigen Experiment blieb die Farbe der Flanker hier durchgehend neutral (weiß), d.h. die Flanker trugen keinerlei Hinweisreizinformation. Der Zielreiz erschien zu Beginn eines Durchgangs auch in weißer Farbe, was sich mit Erscheinen der Flanker jedoch änderte. Die neue Farbe des Zielreizes zeigte schließlich an, ob im aktuellen Durchgang eine Einfachaufgabe oder eine Doppelaufgabe erforderlich war. Da die Hinweisreizinformation jetzt nur noch vom Zielreiz alleine getragen wurde, bestand keine Notwendigkeit mehr, die Flanker während R_1 zu beachten und, im Fall von Doppelaufgaben, in diesem Intervall weiterzuverarbeiten. Falls die verstärkte Mitverarbeitung der relevanten Flanker im vorhergehenden Experiment auf der spezifischen Anforderung beruhte, die Flanker zur Enkodierung des Hinweisreizes zu verarbeiten, wären hier vergleichbar niedrige FKEs sowohl bei Einfach- als auch bei Doppelaufgaben zu erwarten. Falls jedoch die verstärkte Flankermitverarbeitung bei den Doppelaufgaben das Ergebnis einer bewusst gewählten Strategie ist, sollten im vorliegenden Experiment ähnliche FKEs wie im vorhergehenden Experiment auftreten.

4.1 Methode

Versuchsteilnehmer

8 Studenten (2 männlich, 6 weiblich; mittleres Alter 24 Jahre) nahmen an diesem Experiment teil.

Vorgehen

Der Versuchsaufbau und die Reize waren dieselben wie im vorhergehenden Experiment, außer dass die Flanker nun stets in weißer Farbe präsentiert wurden. Lediglich die Farbe des Zielreizes diente als Hinweisreiz für den Aufgabentyp. Der Zielreiz erschien zunächst immer in weiß. Mit Präsentation der Flanker änderte er dann seine Farbe entweder in grün oder rot, was „Einfachaufgabe“ bzw. „Doppelaufgabe“ signalisierte. Auch in den Durchgängen mit neutralen Zeichen als Flanker färbte sich der Zielreiz entsprechend rot oder

grün ein. Für die Hälfte der Versuchsteilnehmer signalisierte die Farbe rot „Einfachaufgabe“ und die Farbe grün „Doppelaufgabe“, während dies für die andere Hälfte umgekehrt war.

4.2 Ergebnisse

Reaktionszeiten auf S_1

Die Reaktionszeiten der richtigen Antworten auf den Zielreiz in Einfach- und Doppelaufgaben wurden anhand einer dreifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung über die Faktoren *Aufgabentyp* (Einfachaufgabe oder Doppelaufgabe), *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent), und *SOA* (0, 50, 100, 150, 200 oder 350 ms) ausgewertet. Die Daten für die neutralen Durchgänge wurden wiederum getrennt analysiert.

Der Faktor *Aufgabentyp* zeigte einen signifikanten Haupteffekt, $F(1, 7) = 6.21, p < 0.05$. Im Durchschnitt waren die Reaktionszeiten in Doppelaufgaben 45 ms länger als in Einfachaufgaben. Die Analyse ergab ferner eine signifikante zweifache Interaktion zwischen *Aufgabentyp* und *Kongruenz*, $F(1, 7) = 5.95, p < 0.05$. Die FKEs betragen 10 ms und 43 ms für die Einfachaufgaben bzw. Doppelaufgaben. *Aufgabentyp* interagiert zudem signifikant mit *SOA*, $F(5, 35) = 9.96, p < 0.001$. Wie aus Abbildung II-4 ersehen werden kann, nahm der Reaktionszeitunterschied zwischen Einfachaufgaben und Doppelaufgaben mit zunehmendem SOA signifikant ab.

Um diese Interaktionen detaillierter zu untersuchen, wurden die Daten für die Einfachaufgaben- und Doppelaufgabendurchgänge zusätzlich getrennt ausgewertet.

Einfachaufgaben. Die ANOVA ergab signifikante Haupteffekte von *Kongruenz*, $F(1, 7) = 6.68, p < 0.05$, und von *SOA*, $F(5, 35) = 7.49, p < 0.001$. Die zweifache Interaktion zwischen diesen beiden Faktoren wurde nicht signifikant ($F(5, 35) = 1.32, p = 0.275$).

Doppelaufgaben. Es gab einen signifikanten Haupteffekt von *Kongruenz*, $F(1, 7) = 8.94, p < 0.05$. Ferner erwies sich auch die zweifache Interaktion zwischen *Kongruenz* und *SOA* als reliabel, $F(5, 35) = 2.85, p < 0.05$. In den Doppelaufgabendurchgängen verringerte sich der FKE mit zunehmendem SOA.

Neutrale Bedingung. Die Analyse der Daten für die neutrale Bedingung ergab keinen reliablen Haupteffekt von *Aufgabentyp* ($F(1, 7) = 2.55, p = 0.15$). Die Reaktionszeiten wurden

jedoch signifikant von *SOA* beeinflusst, $F(5, 35) = 11.5$, $p < 0.001$; sie stiegen um 77 ms mit zunehmendem *SOA*.

Darüber hinaus reagierten die Versuchsteilnehmer durchschnittlich schneller auf den Zielreiz, wenn er zusammen mit neutralen als mit kongruenten Flankern präsentiert wurde. Dieser Unterschied betrug für Einfachaufgaben 13 ms und war marginal signifikant, $F(1, 7) = 4.90$, $p = 0.062$. Für Doppelaufgaben war die Differenz 51 ms und signifikant, $F(1, 7) = 6.13$, $p < 0.05$.

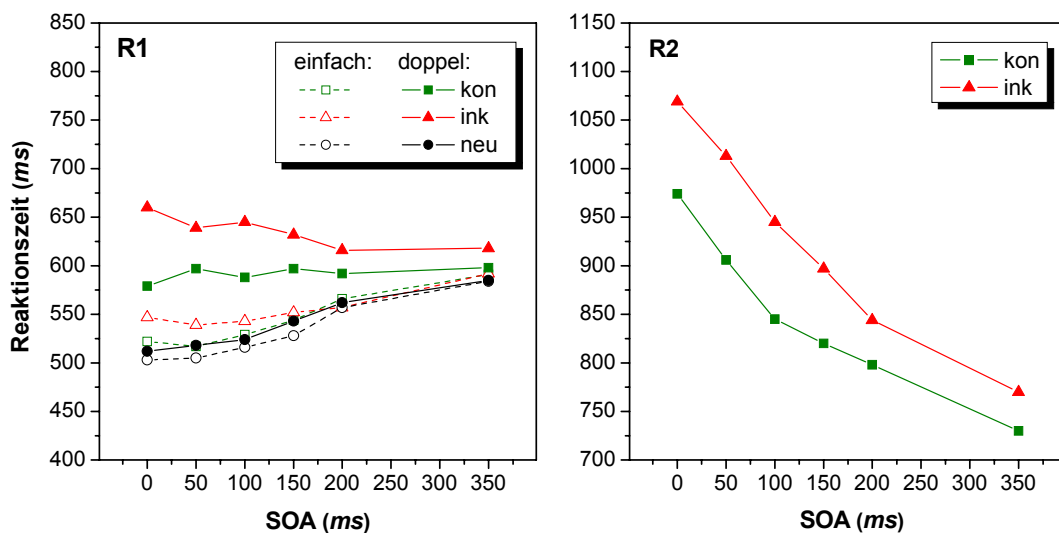


Abbildung II-4: Diese Abbildung stellt die RT_1 - und RT_2 -Daten für Experiment 2B dar. „Einfach“ und „doppel“ stehen für *Einfachaufgaben* und *Doppelaufgaben*. „Kon“, „ink“ und „neu“ bezeichnen die verschiedenen Kongruenzbedingungen *kongruent*, *inkongruent* und *neutral*.

Reaktionszeiten auf S_2

Die Reaktionszeiten der (in R_1 und R_2) richtigen Antworten wurden in eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung eingegeben. Dabei wurden die Faktoren *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent) und *SOA* (0, 50, 100, 150, 200 oder 350 *ms*) berücksichtigt. Die Analyse ergab einen signifikanten Effekt (77 ms) von *Kongruenz*, $F(1, 7) = 5.91$, $p < 0.05$. Auch der *SOA* Effekt erwies sich als reliabel, $F(5, 35) = 143$, $p < 0.001$. Schließlich wurde die zweifache Interaktion zwischen *Kongruenz* und *SOA* signifikant, $F(5, 35) = 3.43$, $p < 0.05$,

was eine Abnahme des Kongruenzeffekts mit zunehmendem SOA anzeigte (siehe Abbildung II-4).

Fehlerraten

Die mittlere Fehlerrate betrug 3.28% für R_1 und 7.01% für R_2 . Für R_1 ergab *Aufgabentyp* einen signifikanten Effekt, $F(1, 7) = 13.5$, $p < 0.01$. Bei Einfachaufgaben unterliefen mehr Fehler als bei Doppelaufgaben (4.12% versus 2.45%). Auch der Effekt von *Kongruenz* erwies sich als reliabel (kongruent 2.58%; inkongruent 3.99%), $F(1, 7) = 13.5$, $p < 0.01$. Ferner gab es einen Haupteffekt von *SOA*, $F(1, 7) = 5.99$, $p < 0.001$, was eine Abnahme der Fehlerrate mit zunehmendem SOA anzeigte.

Bezüglich der Fehlerrate von R_2 ergab kein Faktor einen signifikanten Effekt.

In der neutralen Bedingung gab es einen signifikanten Haupteffekt von *Aufgabentyp*, $F(1, 7) = 6.74$, $p < 0.05$, wobei mehr Fehler auftraten, wenn durch die Farbe des Zielreizes „Doppelaufgabe“ als wenn „Einfachaufgabe“ signalisiert wurde (5.64% versus 3.88%). Schließlich ergab die Analyse einen signifikanten Haupteffekt von *SOA*, $F(5, 35) = 4.49$, $p < 0.01$. Mehr Fehler unterliefen bei kürzerem SOA.

4.3 Diskussion

Das Ziel des vorliegenden Experiments bestand darin zu untersuchen, ob die spezielle Art der Hinweisreizprozedur in Experiment 2A für die verstärkte Mitverarbeitung der Flanker in den Doppelaufgaben verantwortlich war. Die Flanker mussten dort in jedem Durchgang zumindest flüchtig beachtet werden, da deren Farbe als Hinweisreiz zu enkodieren war. Eine serielle Strategie bei Doppelaufgaben hätte es dort erforderlich gemacht, die bereits begonnene Flankerverarbeitung anzuhalten und nach der Selektion von R_1 wieder aufzunehmen. Eine solche Strategie wäre möglicherweise schwieriger und kostspieliger gewesen als die Fortsetzung der Flankerverarbeitung nach der Enkodierung des Hinweisreizes.

Um zu prüfen, ob die Hinweisreizprozedur tatsächlich die Verarbeitung in einer solchen Art und Weise beeinflusste, trug im vorliegenden Experiment nur der *Zielreiz* die Aufgabeninformation. Die Aufgabe erforderte somit keinerlei Vorab-Verarbeitung der Flanker, weder bei Einfachaufgaben noch bei Doppelaufgaben. Nichtsdestotrotz wurden im vorliegenden Experiment, wie anhand der FKEs ersichtlich, die Flanker während R_1 in den Doppelaufgaben stärker mitverarbeitet als in den Einfachaufgaben (siehe Abbildung II-4). Die Art der

Hinweisreizprozedur kann also für die Leistungsunterschiede zwischen Einfach- und Doppelaufgaben kaum verantwortlich sein.

Wie in Experiment 2A scheinen die Versuchsteilnehmer jedoch für eine gewisse Zeit auf die Farbveränderung des Zielreizes bzw. das Erscheinen der Flanker gewartet zu haben, was sich im Anstieg der Reaktionszeiten mit dem SOA für die neutralen Durchgänge äußert. Dieser Einfluss von Wartezeit hat möglicherweise, wie auch im vorhergehenden Experiment, den SOA-Effekt auf die (in)kongruenten Durchgänge in umgekehrter Richtung ausbalanciert: Im Vergleich zur neutralen Bedingung stieg RT_1 in den (in)kongruenten Durchgängen nicht mit zunehmendem SOA; in der inkongruenten Bedingung der Doppelaufgaben sank RT_1 sogar um 42 ms (in Experiment 2A entsprechend um 96 ms). Im Hinblick auf RT_2 gab es den üblichen PRP-Effekt. Abgesehen davon war RT_2 für kongruente Durchgänge den entsprechenden Reaktionszeiten aus Experiment 1 und 2A wiederum sehr ähnlich.

Insgesamt sprechen die Ergebnisse der Experimente 2A und 2B dafür, dass die Versuchsteilnehmer bei Einfach- und Doppelaufgaben die Flanker absichtlich in unterschiedlicher Weise verarbeiteten und dass diese Strategie nicht wesentlich von der Hinweisreizprozedur abhing. Unabhängig davon, ob die Flanker die Aufgabeninformation trugen oder nicht, entschieden sich die Versuchsteilnehmer sozusagen spontan während eines Durchgangs dazu, die Flanker in Doppelaufgabendurchgängen stärker als in Einfachaufgabendurchgängen zu verarbeiten. Somit ist die Beantwortung der Frage, weshalb die Personen die Flanker während R_1 in Doppelaufgaben überhaupt intensiver verarbeiteten, weiterhin offen.

5 Experiment 3

Die Ergebnisse der bisherigen Experimente legen die Interpretation nahe, dass die Flanker während R_1 in den Doppelaufgaben absichtlich stärker mitverarbeitet wurden als in den Einfachaufgaben. Noch offen ist jedoch, was für eine solche Strategie ausschlaggebend ist. Folgende Ursachen kommen in Betracht: Die Versuchsteilnehmer könnten überzeugt gewesen sein, dass parallele Verarbeitung, z.B. hinsichtlich Leistungsoptimierung, günstiger ist als serielle und daher die Mitverarbeitung der Flanker direkt angestrebt haben. Alternativ könnten sie es auch aktiv vermieden haben, in Doppelaufgaben die Verarbeitung der anschließend zu beantwortenden Flanker zuvor zu hemmen. Im Hinblick darauf ist es denkbar, dass die mit Verschiebung des Aufmerksamkeitsfokus und Inhibition einhergehenden Kosten höher ausge-

fallen wären (siehe z.B. Logan et al., 1983) als diejenigen, die durch die Mitverarbeitung der Flanker und die daraus resultierende Interferenz entstanden sind.

Dafür, dass durch die Mitverarbeitung der Flanker andere Kosten vermieden werden sollten, sprechen auch die Ergebnisse in den Experimenten 2A und 2B, wo die Kosten durch die Flankerverarbeitung vergleichsweise gering waren: Die Flanker waren lediglich in der Hälfte der Durchgänge inkongruent, und aufgrund der SOA-Variation erschienen sie erst durchschnittlich 142 *ms* nach der Präsentation des Zielreizes. In den vorhergehenden Experimenten fielen die Kosten durch die Flankermitverarbeitung im Hinblick auf RT_1 sowie den FKE dann am höchsten aus, wenn die Flanker zeitgleich mit dem Zielreiz präsentiert wurden, d.h. bei einem SOA von 0 *ms*. Die Überlegung war nun, ob sich eine eher serielle Verarbeitungsstrategie induzieren lässt, wenn die Kosten von Parallelverarbeitung erhöht werden. Ein solcher Anstieg der Kosten wäre z.B. bei einer stets frühen Präsentation der Flanker zu erwarten.

Zur Überprüfung dieser Hypothese wurde im vorliegenden Experiment eine solche Situation realisiert, indem die Flanker in jedem Durchgang gleichzeitig mit dem Zielreiz präsentiert wurden. Hier wäre die Anwendung einer parallelen Strategie demnach mit mehr Kosten verbunden als in den vorhergehenden Experimenten. Darüber hinaus wurden mögliche Kosten einer Flankermitverarbeitung während R_1 durch eine verzögerte Präsentation der Hinweisreize noch erhöht: Nach einem variablen Zeitintervall, dem *Hinweisreizintervall*, änderten sowohl Zielreiz als auch Flanker ihre Farbe. Wie in Experiment 2A signalisierte das Farbverhältnis der Reize entweder „Einfachaufgabe“ oder „Doppelaufgabe“. Obwohl die Flanker also gleichzeitig mit dem Zielreiz präsentiert wurden, blieb es bis zur Farbänderung unbekannt, ob diese im aktuellen Durchgang auch beantwortet werden mussten oder nicht. In den ersten drei Experimenten der vorliegenden Studie war es demgegenüber stets möglich, die Verarbeitung der Flanker sofort nach deren Erscheinen bzw. nach der Enkodierung der Hinweisreize anzupassen. Jetzt wurde der Präsentationszeitpunkt der Flanker von dem der Hinweisreize entkoppelt. Die sofortige Mitverarbeitung der Flanker würde also ein hohes Risiko bedeuten, nämlich dass diese aktuell aufgabenirrelevant sind.

Die Frage stellte sich also, wie die Flanker unter diesen Bedingungen verarbeitet werden. Falls die Versuchsteilnehmer es vermeiden sollten, die Flankerverarbeitung in Doppelaufgaben zunächst zu hemmen und dann wieder aufzunehmen – also *parallel* verarbeiten –

müssten sie dies bereits zu Beginn der Durchgänge tun und während des Hinweisreizintervalls beibehalten. Erst *mit* Erscheinen des Hinweisreizes könnte die Verarbeitung der Flanker in Einfachaufgaben unterdrückt werden. Falls diese Überlegungen richtig sind, würde man für das vorliegende Experiment folgende Ergebnisse erwarten: Erstens sollte der FKE für Doppelaufgaben weitgehend unabhängig vom Zeitpunkt der Hinweisreizpräsentation sein. Zweitens sollte er vergleichbar hoch wie die FKEs in den vorhergehenden Experimenten bei dem kürzesten SOA ausfallen. Drittens wäre ein umso höherer FKE für Einfachaufgabendurchgänge zu erwarten, je später der Hinweisreiz präsentiert wird.

Falls aber die Versuchsteilnehmer aufgrund der Aufgabenstruktur nun eine eher *serielle* Strategie anwenden, sollte die Verarbeitung der Flanker während R_1 von Beginn an gehemmt werden. In diesem Fall sollte der FKE für Einfachaufgaben eine ähnliche Höhe haben wie die entsprechenden Effekte in den früheren Experimenten. Das Ergebnis für Doppelaufgaben ist hier weniger leicht vorherzusagen, da es wenigstens zwei Alternativen gibt: Zum einen könnte die Flankerverarbeitung nur bis zum Erscheinen des Hinweisreizes unterdrückt werden und unmittelbar danach, wenn „Doppelaufgabe“ signalisiert wird, wieder starten. Dies sollte dann zu ähnlichen Ergebnissen wie in den beiden vorherigen Experimenten führen. Falls jedoch zum anderen die Flankerverarbeitung gehemmt bleibt, bis R_1 ausgewählt wurde, dann sollte der FKE ähnlich klein sein wie in den Einfachaufgabendurchgängen.

5.1 Methode

Versuchsteilnehmer

Die Versuchsteilnehmer dieses Experiments waren 8 Studenten (eine Person männlich, 7 weiblich; mittleres Alter 21 Jahre).

Vorgehen

Der Versuchsaufbau und die Reize waren dieselben wie im vorhergehenden Experiment. Auch das Vorgehen war ähnlich, mit der Ausnahme, dass hier Einfach- und Doppelaufgabendurchgänge gemischt dargeboten wurden. Versuchsaufbau und Reize des vorliegenden Experiments waren wiederum der Methode aus den vorhergehenden Experimenten vergleichbar, jedoch mit folgenden Änderungen: Zielreiz und Flanker erschienen stets gleichzeitig und zunächst in weißer Farbe. Nach einem bestimmten Zeitintervall (Hinweisreizintervall) veränderten sie ihre Farbe. Die Einfärbung der Reize und deren Bedeutung entsprachen der Hin-

weisreizprozedur von Experiment 2A. Bei einem Hinweisreizintervall von 0 ms erschienen Zielreiz und Flanker direkt in Farbe, d.h. die Hinweisreizinformation war sofort verfügbar.

5.2 Ergebnisse

Reaktionszeiten auf S_1

Für die Reaktionszeiten der richtigen Antworten auf den Zielreiz wurde eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung berechnet. Die drei Faktoren sind *Aufgabentyp* (Einfachaufgabe oder Doppelaufgabe), *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent) und *Hinweisreizintervall* (0, 50, 100, 150, 200 oder 350 ms). Die Analyse ergab einen signifikanten Effekt von *Aufgabentyp*, $F(1, 7) = 32.8$, $p < 0.001$; die Versuchsteilnehmer reagierten in den Doppelaufgaben durchschnittlich 83 ms langsamer als in den Einfachaufgaben (siehe Abbildung II-5). Es kam außerdem zu einer signifikanten zweifachen Interaktion zwischen *Aufgabentyp* und *Kongruenz*, $F(1, 7) = 6.40$, $p < 0.05$. Dies signalisierte, dass der FKE in Doppelaufgaben höher ausfiel als in den Einfachaufgaben (88 ms versus 54 ms). Auch der Haupteffekt von *Hinweisreizintervall* wurde signifikant, $F(5, 35) = 22.7$, $p < 0.001$. *Hinweisreizintervall* interagiere darüber hinaus signifikant mit *Aufgabentyp*, $F(5, 35) = 9.34$, $p < 0.001$. Die Reaktionszeiten erhöhten sich mit der Dauer des Hinweisreizintervalls bei Einfachaufgaben um 96 ms, bei Doppelaufgaben lediglich um 39 ms.

Neutrale Bedingung. Eine Analyse der Daten aus den Durchgängen mit neutralen Flankern ergab einen signifikanten Haupteffekt von *Hinweisreizintervall*, $F(5, 35) = 7.03$, $p < 0.001$. Die Reaktionszeiten stiegen mit zunehmender Verzögerung des Hinweisreizes um 76 ms an. Es gab hier keinen signifikanten Unterschied in den Reaktionszeiten zwischen Einfach- und Doppelaufgaben, $F(1, 7) = 1.43$, $p = 0.270$.

Die Reaktionszeiten in neutralen Durchgängen waren sowohl bei Einfachaufgaben (64 ms), $F(1, 7) = 52.5$, $p < 0.001$, als auch bei Doppelaufgaben (125 ms), $F(1, 7) = 82.2$, $p < 0.001$, signifikant niedriger als in den Durchgängen mit kongruenten Flankern.

Reaktionszeiten auf S_2

Die Reaktionszeiten der (in R_1 und R_2) richtigen Antworten wurden anhand einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung berechnet. Berücksichtigt wurden die Faktoren *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent) und *Hinweisreizintervall* (0, 50, 100, 150, 200 oder

350 ms). Beide Faktoren ergaben signifikante Effekte, *Kongruenz* (110 ms), $F(1, 7) = 35.8$, $p < 0.01$, und *Hinweisreizintervall*, $F(5, 35) = 19.4$, $p < 0.001$. Die Reaktionszeiten stiegen mit zunehmender Verzögerung des Hinweisreizes um 114 ms an (siehe Abbildung II-5).

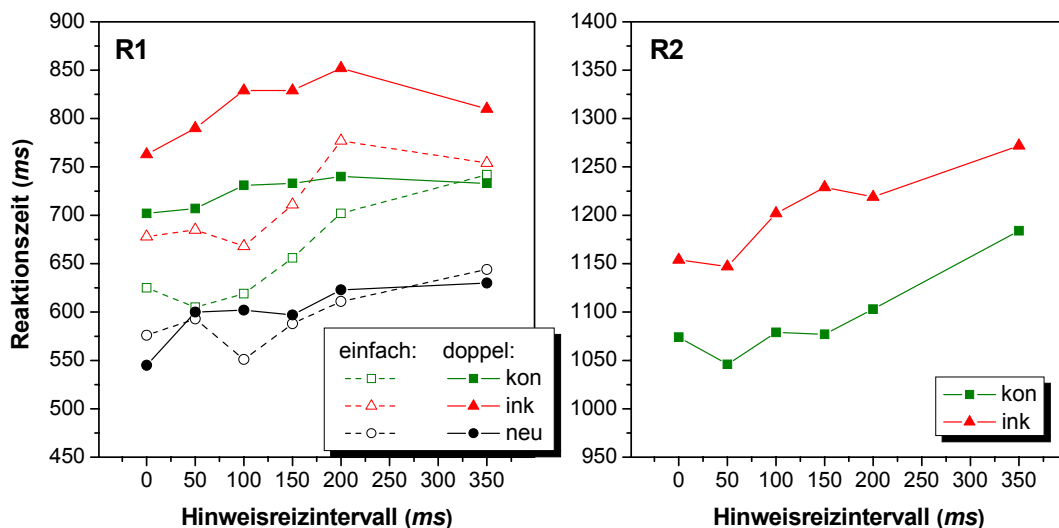


Abbildung II-5: Diese Abbildung zeigt die RT₁- und RT₂-Daten für Experiment 3. „Einfach“ und „doppel“ bezeichnen *Einfachaufgaben* und *Doppelaufgaben*. „Kon“, „ink“ und „neu“ signalisieren die verschiedenen Kongruenzbedingungen *kongruent*, *inkongruent* und *neutral*.

Fehlerraten

Die durchschnittliche Fehlerrate betrug 2.13% für R₁ und 3.74% für R₂. Die Fehlerraten bei Einfach- und Doppelaufgaben (2.35% versus 1.91%) unterschieden sich nicht signifikant voneinander, $F(1, 7) = 3.39$, $p = 0.108$. Mehr Fehler unterliefen den Versuchsteilnehmern in inkongruenten als in kongruenten Durchgängen; der Effekt von *Kongruenz* erreichte Signifikanz, $F(1, 7) = 9.27$, $p < 0.05$ (2.53% versus 1.73%). Außerdem zeigte *Hinweisreizintervall* einen reliablen Effekt, $F(5, 35) = 3.17$, $p < 0.05$. Die meisten Fehler unterliefen bei Intervallen von 50 ms und 350 ms.

In der neutralen Bedingung ergab kein Faktor signifikante Effekte.

Dies war auch der Fall für die Fehlerraten von R₂.

5.3 Diskussion

Im vorliegenden Experiment wurden Zielreiz und Flanker stets gleichzeitig präsentiert. Der Hinweisreiz, der „Einfachaufgabe“ bzw. „Doppelaufgabe“ signalisierte, erschien erst nach Ablauf eines variablen Hinweisreizintervalls. Die zentrale Frage bestand darin, ob die Versuchsteilnehmer unter diesen Bedingungen die Reize bei Doppelaufgaben weiterhin verstärkt parallel verarbeiten würden. Wie die Ergebnisse zeigen, war dies tatsächlich der Fall (siehe Abbildung II-5).

Insgesamt fielen die beobachteten FKEs deutlich höher aus als in den Experimenten 2A und 2B. Da die Flanker stets zeitgleich mit dem Zielreiz erschienen, blieben die FKEs über die Hinweisreizintervalle hinweg relativ konstant, und zwar sowohl bei den Doppelaufgaben als auch bei den Einfachaufgaben. Interessanterweise waren die durchschnittlichen FKEs für beide Aufgabentypen ähnlich hoch wie die FKEs in den entsprechenden Bedingungen (SOA von 0 ms) von Experiment 2A. Vermutlich verarbeiteten die Versuchsteilnehmer die Flanker sofort ab deren Erscheinen, wenigstens für eine bestimmte Zeit und bis zu einem gewissen Grad. Dies könnte erklären, weshalb sich der FKE relativ unbeeinflusst von dem Zeitpunkt der Hinweisreizpräsentation verhielt.

Ein weiterer Mechanismus, der in den Daten erkennbar wird, betrifft den Zeitverlauf der Vorbereitung auf die zweite Reaktion (siehe z.B. De Jong, 1995). Vermutlich haben die Versuchsteilnehmer aufgrund der gleichzeitigen Präsentation von Zielreiz und Flankern R_2 bereits vor Erscheinen des Hinweisreizes bis zu einem gewissen Grad vorbereitet. Signalisierte der Hinweisreiz daraufhin „Einfachaufgabe“, wurde der Vorbereitungsprozess gestoppt. Je früher dies geschah, desto mehr Ressourcen wurden wieder verfügbar für die Verarbeitung von R_1 . Die zunehmende Vorbereitung auf R_2 könnte ein Grund für den Anstieg von RT_1 mit Zunahme des Hinweisreizintervalls in den Einfachaufgaben sein (siehe Abbildung II-5). Falls der Hinweisreiz „Doppelaufgabe“ signalisierte, wurde die Vorbereitung noch verstärkt. Je früher dies wiederum passierte, desto besser vorbereitet waren die Versuchsteilnehmer auf R_2 , was die Zunahme von RT_2 mit zunehmender Verzögerung des Hinweisreizes erklären könnte. Da eine solch intensivierete Vorbereitung bei den Doppelaufgabendurchgängen immer stattfand, gab es hier keinen substantiellen Effekt des Hinweisreizintervalls auf RT_1 . Im Zuge dieser verstärkten Vorbereitung erhöhte sich vermutlich auch der FKE im Vergleich zu den Einfachaufgaben (de Fockert et al., 2001; Lavie et al., 2004).

Definitiv ausgeschlossen werden kann anhand der vorliegenden Daten, dass die Flanker in den Einfachaufgabendurchgängen lediglich bis zur Präsentation der Hinweisreize verarbeitet wurden. In diesem Fall wäre nämlich ein deutlicher Anstieg des FKE mit zunehmender Dauer des Hinweisreizintervalls zu erwarten gewesen, was die Daten jedoch nicht zeigten. Die Flanker wurden offensichtlich bis zu einem gewissen Grad mitverarbeitet, unabhängig davon, wann der Hinweisreiz erschien. Lediglich der Grad der Vorbereitung auf die zweite Reaktion schien mit dem Hinweisreizintervall zu variieren. Dieses Ergebnismuster spricht dafür, dass es schwierig oder sogar unmöglich ist – zumindest innerhalb eines bestimmten Zeitfensters – eine einmal gewählte Strategie der Flankermitverarbeitung wieder zu ändern.

Abgesehen von diesen Betrachtungen bieten die Reaktionszeiten der Durchgänge mit neutralen Flankern die Möglichkeit, die Effekte von Vorbereitung und Wartezeit zu trennen. In Experiment 1 der vorliegenden Studie war es nicht eindeutig, inwieweit der Anstieg in RT_1 mit zunehmendem SOA auf einer Wartezeit auf die Flanker beruhte. Im vorliegenden Experiment erschienen die neutralen Flanker stets gleichzeitig mit dem Zielreiz und signalisierten damit sofort, dass keine zweite Reaktion erforderlich ist. Nichtsdestotrotz stieg RT_1 immer noch um 76 ms mit zunehmender Dauer des Hinweisreizintervalls an. Dies impliziert, dass die Versuchsteilnehmer die Tendenz hatten, einige Zeit bis zum Erscheinen des Hinweisreizes zu warten, obwohl dieser in der neutralen Bedingung uninformativ war.

Die Ergebnisse zeigten insgesamt deutlich, dass auch unter den vorliegenden Bedingungen die Reize in den Doppelaufgaben noch immer verstärkt parallel verarbeitet wurden. Dies erstaunt deshalb, weil diese Strategie ein hohes Maß an Interferenz und folglich Leistungseinbußen erzeugte. Es stellt sich daher die Frage, ob die Versuchsteilnehmer überhaupt in der Lage sind, S_2 -Flanker in Doppelaufgabendurchgängen zu ignorieren bzw. ob sich noch eine Möglichkeit finden lässt, die Versuchsteilnehmer zur Annahme einer seriellen Verarbeitungsstrategie in solchen Situationen zu bewegen.

6 Experiment 4

Die Ergebnisse des vorherigen Experiments zeigten, dass die Versuchsteilnehmer die Reize weitgehend parallel verarbeiteten, obwohl dies dort zu vergleichsweise hohen Kosten auf RT_1 führte. Dies kann jedoch nur dann tatsächlich auf eine *Strategie* der Parallelverarbei-

tung in Doppelaufgaben zurückgeführt werden, wenn eine serielle Verarbeitung in Flanker-Doppelaufgaben überhaupt nachgewiesenermaßen *möglich* ist.

Im vorliegenden Experiment wurde eine spezielle Methode verwendet, um die Möglichkeit serieller Verarbeitung in Doppelaufgaben zu überprüfen. Wie in Experiment 3 erschienen Zielreiz und Flanker gleichzeitig in neutraler Farbe und färbten sich nach einem variablen Zeitintervall zur Anzeige des Aufgabentyps ein; die entscheidende Modifikation bestand darin, dass die Flanker gleichzeitig mit der Buntfärbung auch ihre Identität änderten. Die Identität des Zielreizes blieb dabei stets gleich. Aufgrund der Identitätsänderung gab es so genannte *Teil1-Flanker*, die nach einem variablen Zeitintervall durch neue, so genannte *Teil2-Flanker*, ersetzt wurden. Dieses variable Zeitintervall entspricht hier insofern einer üblichen SOA-Variation, als die für R_2 relevanten Flanker stets zeitverzögert dargeboten wurden. Die Konsequenz dieser Prozedur war, dass die Teil1-Flanker stets für die Aufgaben vollständig irrelevant waren, da diese nie beantwortet werden mussten. Die Teil2-Flanker waren jedoch – wie in den vorhergehenden Experimenten – in den Doppelaufgabendurchgängen relevant.

Die Hauptfragestellung bestand darin, ob die Flanker unter diesen Bedingungen immer noch mitverarbeitet werden. Wenn eine Hemmung der Flankerverarbeitung in den vorhergehenden Experimenten deshalb vermieden wurde, weil die Flanker als Reize für die zweite Aufgabe dienten, so sollte zumindest jetzt die Verarbeitung der Teil1-Flanker – da stets irrelevant für R_2 – unterdrückt werden. Ob in diesem Fall auch der FKE für die Teil-2 Flanker in Doppelaufgaben gering ausfällt oder gar fehlt, sollte wiederum davon abhängen, ob die Versuchsteilnehmer die Flankerverarbeitung bereits mit der Enkodierung des Hinweisreizes oder erst nach der Auswahl von R_1 verstärken. Angenommen, die Unterdrückung der Teil1-Flanker wird über eine Hemmung ihrer räumlichen Position erzielt, dann sollte sich diese Hemmung auch auf die Teil2-Flanker auswirken und die Flankerverarbeitung in Doppelaufgaben nicht vor R_1 gestartet werden. In diesem Fall wären ähnlich (niedrige) FKEs in Einfach- und Doppelaufgaben zu erwarten. Wird die Flankerverarbeitung hingegen zeitgleich mit der Enkodierung des Hinweisreizes, d.h. mit Erscheinen der Teil2-Flanker angepasst, könnte eine verstärkte Parallelverarbeitung von Zielreiz und Teil2-Flankern und somit ein erhöhter FKE in Doppelaufgaben resultieren.

Sind Personen jedoch prinzipiell nicht in der Lage, die Flankerverarbeitung in Doppelaufgaben mit Aufgabenwiederholung (zeitweise) zu unterdrücken, sollten die Reize auch

unter den vorliegenden Bedingungen stark parallel verarbeitet werden (vergleichbar etwa Experiment 3). In diesem Fall würde auch, zumindest bei längerem SOA, ein Kongruenzeffekt der Teil1-Flanker erwartet werden.

6.1 Methode

Versuchsteilnehmer

8 Studenten (3 männlich, 5 weiblich; mittleres Alter 22 Jahre) waren die Teilnehmer dieses Experiments.

Vorgehen

Reize und Vorgehen waren ähnlich wie in Experiment 3. Allerdings veränderten die Flanker gleichzeitig mit der Einfärbung der Reize hier auch ihre Identität. Das heißt, auch die Kongruenz der Flanker konnte sich verändern. Kongruente Teil1-Flanker konnten beispielsweise durch kongruente Teil2-Flanker ersetzt werden, aber auch durch inkongruente oder neutrale. Insgesamt ergaben sich so neun verschiedene Kongruenzkombinationen der Teil1- und der Teil2-Flanker, die gleich häufig auftraten und über die Durchgänge hinweg randomisiert waren. Es kamen nur drei verschiedene SOA-Intervalle zur Anwendung (50, 150 oder 350 ms), was hier als ausreichend erachtet wurde. Ein SOA von 0 ms gab es nicht, da dort die Flankeridentität nicht hätte geändert werden können.

6.2 Ergebnisse

Reaktionszeiten auf S_1

Teil1-Flanker. Um zunächst einmal den Effekt der Teil1-Flanker zu untersuchen, wurde eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt. Berücksichtigt wurden die Faktoren *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent), *Aufgabentyp* (Einfachaufgabe oder Doppelaufgabe) und *SOA* (50, 150 oder 350 ms). Die Analyse ergab keinen signifikanten Haupteffekt von *Kongruenz* ($F(1, 7) = 0.584, p = 0.470$). Die Gesamtreaktionszeiten waren 626 ms für kongruente und 629 ms für inkongruente Teil1-Flanker. Außerdem interagierten *SOA* und *Kongruenz* signifikant, $F(2, 14) = 7.36, p < 0.01$, was auf einem kleinen Kongruenzeffekt beim SOA von 150 ms beruhte (siehe Abbildung II-6). Die FKEs betragen -3, 22 und -8 ms für die drei SOA-Stufen von 50, 150 und 350 ms.

Teil2-Flanker. Für die Auswertung der Daten in Bezug auf die Teil2-Flanker wurde, unter Berücksichtigung der Faktoren *SOA* und *Aufgabentyp* sowie *Kongruenz* (der Teil2-Flanker), erneut eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt. Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt von *Aufgabentyp*, $F(1, 7) = 10.7$, $p < 0.05$. In den Doppelaufgabendurchgängen dauerten die Reaktionszeiten 52 ms länger als in Einfachaufgaben-durchgängen (siehe Abbildung II-6). Auch der Haupteffekt von *Kongruenz* war reliabel, $F(1, 7) = 39.2$, $p < 0.001$. Die durchschnittliche Höhe des FKE betrug 31 ms . Es gab keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen *Kongruenz* und *Aufgabentyp*, d.h. der FKE unterschied sich nicht zwischen Einfach- und Doppelaufgaben (34 ms versus 30 ms). Der Haupteffekt von *SOA* verfehlte knapp die Signifikanz, $F(2, 14) = 3.49$, $p = 0.059$. Im Durchschnitt erhöhten sich die Reaktionszeiten um 41 ms über die SOAs.

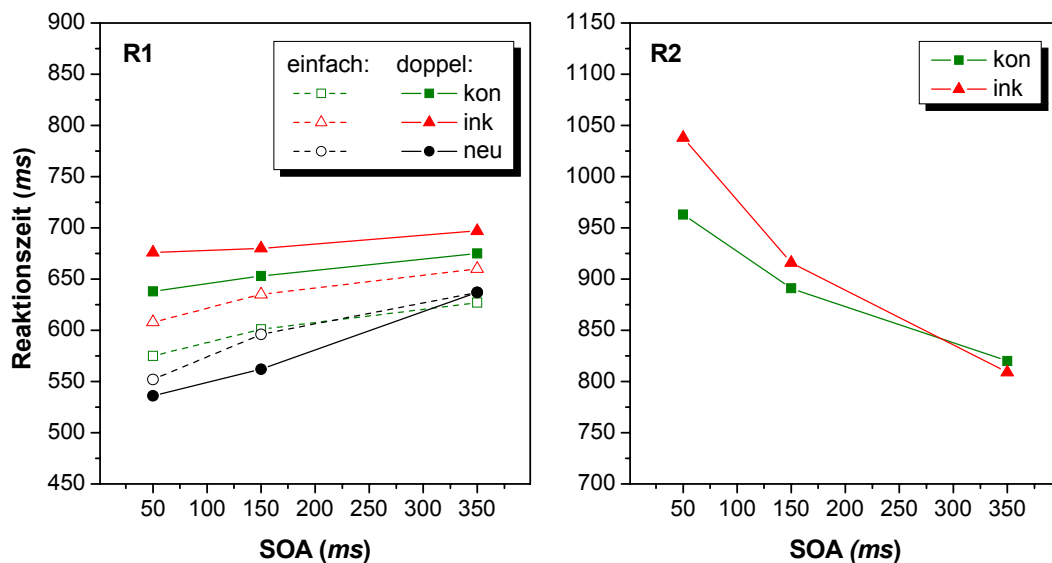


Abbildung II-6: In dieser Abbildung sind die RT_1 - und RT_2 -Daten für Experiment 4 dargestellt. „Einfach“ und „doppel“ bezeichnen *Einfachaufgaben* und *Doppelaufgaben*. „Kon“, „ink“ und „neu“ signalisieren die verschiedenen Kongruenzbedingungen *kongruent*, *inkongruent* und *neutral* der Teil2-Flanker.

Neutrale Bedingung. Eine Analyse der Daten mit neutralen Teil2-Flankern ergab einen signifikanten *SOA* Effekt, $F(2, 14) = 21.2$, $p < 0.001$. Die Reaktionszeiten erhöhten sich um 93 ms über den *SOA* Bereich. Der Unterschied in den neutralen Durchgängen zwischen Einfachaufgaben und Doppelaufgaben verfehlte knapp die Signifikanz, $F(1, 7) = 5.15$, $p = 0.057$.

Die Reaktionszeiten in Durchgängen mit neutralen und kongruenten Flankern unterschieden sich signifikant bei Doppelaufgaben, $F(1, 7) = 30.1, p < 0.001$, wobei die Reaktionen in der neutralen Bedingung um durchschnittlich 77 ms schneller erfolgten als in der kongruenten Bedingung. Einen solchen Unterschied gab es bei den Einfachaufgabendurchgängen nicht ($F(1, 7) = 1.19, p = 0.310$).

Reaktionszeiten auf S_2

Die Reaktionszeiten der (in R_1 und R_2) richtigen Antworten wurden anhand einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung analysiert. Berücksichtigt wurden die Faktoren *Kongruenz* der Teil2-Flanker (kongruent oder inkongruent) und *SOA* (50, 150 oder 350 *ms*). Es zeigte sich, dass sich die Reaktionszeiten mit zunehmendem SOA signifikant verringerten, $F(2, 14) = 81.8, p < 0.001$. Der Kongruenzeffekt von 31 *ms* wurde nur marginal signifikant, $F(1, 7) = 3.84, p = 0.091$. Es gab ferner eine signifikante Interaktion zwischen *Kongruenz* und *SOA*, $F(2, 14) = 8.33, p < 0.01$. Der Kongruenzeffekt nahm mit ansteigendem SOA ab (siehe Abbildung II-6).

Fehlerraten

Die mittlere Fehlerrate betrug 3.83% für R_1 und 6.39% für R_2 . Für R_1 ergab *Aufgabentyp* einen signifikanten Effekt (4.34% versus 3.33%), $F(1, 7) = 9.81, p < 0.05$. Außerdem nahmen die Fehlerraten mit zunehmendem *SOA* signifikant ab, $F(2, 14) = 6.52, p < 0.01$. Die *Kongruenz* der Teil1-Flanker hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Fehlerraten.

Für RT_2 wurde die zweifache Interaktion zwischen *Kongruenz* und *SOA* signifikant, $F(2, 14) = 5.20, p < 0.05$. Der Kongruenzeffekt auf die Fehlerrate verringerte sich mit zunehmendem SOA.

Für die neutrale Bedingung gab es keine signifikanten Effekte.

6.3 Diskussion

Das Ziel dieses Experiments bestand darin zu untersuchen, ob Personen zu serieller Verarbeitung in Doppelaufgaben überhaupt in der Lage sind. Die Ergebnisse der vorhergehenden Experimente legten die Vermutung nahe, dass die Versuchsteilnehmer einen solchen Verarbeitungsmodus entweder nicht realisieren konnten oder ihn absichtlich vermieden. Im vorliegenden Experiment wurden Bedingungen hergestellt, die eine strategische Parallelver-

arbeitung sehr unwahrscheinlich machten: Zielreiz und Flanker wurden – wie in Experiment 3 – wiederum gleichzeitig präsentiert und färbten sich nach einem variablen Zeitintervall zur Anzeige des Aufgabentyps ein. Gleichzeitig mit der Einfärbung veränderten die Flanker nun jedoch ihre Identität, so dass es Teil1- und Teil2-Flanker gab. Erst die Farbe der Teil2-Flanker diente als Hinweisreiz für „Einfachaufgabe“ bzw. „Doppelaufgabe“. Die Teilnehmer mussten nie auf die Teil1-Flanker reagieren. Eine Antwort auf die Teil2-Flanker war nur in Doppelaufgabendurchgängen erforderlich.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Teil1-Flanker keinen substantiellen FKE produzierten, selbst wenn sie für 350 *ms* präsentiert wurden (die einzige Ausnahme ist ein kleiner Effekt bei einem SOA von 150 *ms*, der allerdings schwierig zu interpretieren ist). Das bedeutet, die Versuchsteilnehmer unterdrückten die Verarbeitung der Teil1-Flanker fast vollständig. Die Teil2-Flanker hingegen wurden bis zu einem gewissen Grad verarbeitet, was die entsprechenden FKEs nahe legen (siehe Abbildung II-6). Die FKEs waren hier jedoch vergleichsweise klein, im Gegensatz z.B. zu Experiment 3, und variierten nicht mit dem SOA. In Experiment 3 gab es auch keine Interaktion des FKE mit dem SOA; allerdings kann ein SOA-invarianter FKE hier nicht in derselben Weise interpretiert werden. Die Ergebnisse von Experiment 3 suggerierten, dass die Flanker stets in derselben Weise mitverarbeitet wurden, unabhängig davon, wann der Hinweisreiz erschien. Im vorliegenden Experiment waren die relevanten Flanker vor Erscheinen des Hinweisreizes jedoch noch gar nicht verfügbar. Wie lassen sich also die konstanten FKEs hier erklären? Vermutlich wurden die Flanker, nachdem sie ihre Identität verändert hatten, vorübergehend mitverarbeitet. Da die Hinweisreizinformation in jedem Fall enkodiert werden musste, wurde bei dieser Gelegenheit wohl auch die neue Identität der Flanker flüchtig verarbeitet, was die Interferenz erzeugte. Dies könnte einerseits erklären, weshalb der FKE relativ klein und über die SOAs konstant war, und andererseits, weshalb keine signifikanten Unterschiede im FKE zwischen Einfach- und Doppelaufgaben gefunden wurden.

Darüber hinaus unterschieden sich die SOA-Effekte auf RT_1 für Einfach- und Doppelaufgaben hier ebenfalls nicht. Es gab nur eine kleine Zunahme der Reaktionszeiten mit dem SOA, vermutlich aufgrund von Wartezeit; hierfür sprechen die Daten der neutralen Bedingung. Obwohl sich die FKEs nicht unterschieden, war RT_1 für Doppelaufgaben – im Vergleich zu Einfachaufgaben – allgemein erhöht. Ursache hierfür war wohl ein unterschiedlicher Grad an Vorbereitung auf R_2 : Wenn der Hinweisreiz „Doppelaufgabe“ anzeigte, erhöh-

ten die Versuchsteilnehmer ihre Vorbereitung bis zu einem gewissen Grad. Im Gegensatz zum vorhergehenden Experiment ging jedoch der Anstieg der Reaktionszeit nicht mit einem Anstieg des FKE einher. Je früher aber die Vorbereitung auf die zweite Aufgabe verstärkt wurde, desto mehr Zeit blieb für den Zielreiz, einen Interferenzeffekt auf RT_2 zu erzeugen (siehe Abbildung II-6). Abgesehen davon zeigte RT_2 den üblichen PRP-Effekt. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass die Vorbereitung auf eine zweite Aufgabe, zumindest bis zu einem gewissen Grad, unabhängig vom Grad der Flankermitverarbeitung kontrolliert werden kann.

Insgesamt machten die Ergebnisse des vorliegenden Experiments deutlich, dass die Versuchsteilnehmer in Doppelaufgaben durchaus zu serieller Verarbeitung in der Lage sind. Unter den aktuellen Bedingungen werden die Flanker während R_1 weitgehend ignoriert. Es wurden irrelevante Teil1-Flanker präsentiert, die ihre Identität änderten; diese Aufgabenstruktur mag für die Induktion einer seriellen Verarbeitungsstrategie ausschlaggebend gewesen sein. Da diese Prozedur jedoch stark von der klassischen Flankeraufgabe abweicht und die Ergebnisse somit schwer zu generalisieren sind, ergab sich folgende Frage: Kann eine serielle Verarbeitung in Doppelaufgaben auch auf andere Art erzielt werden, d.h. ohne dass die Flanker ihre Identität verändern? Eine solche Methode wird in Experiment 5 überprüft.

7 Experiment 5

Experiment 5 zielte darauf ab, eine serielle Verarbeitungsstrategie in Doppelaufgaben zu induzieren, indem der Anteil an Einfachaufgaben pro Aufgabenblock erhöht wurde. Die Variation des relativen Anteils unterschiedlicher Durchgangsarten ist eine gut etablierte Methode zur Manipulation von Verarbeitungsstrategien (z.B. Hommel, 1994; Logan & Zbrodoff, 1979; Marble & Proctor, 2000). Offensichtlich reichte es zur Induktion serieller Verarbeitung nicht aus, dass in den Experimenten 2A, 2B sowie 3 bereits in der Mehrzahl (62.5%) der Durchgänge Einfachaufgaben erforderlich waren. Da jedoch bei 100% Einfachaufgaben (Experiment 1) die Flanker fast perfekt ignoriert werden, ist anzunehmen, dass eine Variation des relativen Anteils von Einfachaufgaben tatsächlich Auswirkungen auf die Verarbeitung haben könnte. Im vorliegenden Experiment wurden daher Blöcke mit 80% Einfachaufgaben und 20% Doppelaufgaben verwendet. Als Vergleichsbedingung wurden auch Blöcke mit 80% Doppelaufgaben und 20% Einfachaufgaben präsentiert. Im Folgenden

werden die verschiedenen Blocktypen als *EA-Blöcke* und *DA-Blöcke* bezeichnet. Um die entsprechenden Anteile sicherzustellen, gab es hier keine neutralen Durchgänge.

Da beide Arten von Aufgaben in zufälliger Abfolge auftreten konnten, mussten die Versuchsteilnehmer auch hier über eine Vorbereitungsstruktur verfügen, die sowohl die Bearbeitung von Einfachaufgaben als auch von Doppelaufgaben zuließ. Nichtsdestotrotz sollte die relative Häufigkeit der Aufgabentypen im Block einen Einfluss auf die Strategie der Flankermitverarbeitung als auch auf die Vorbereitungsstruktur haben. Angesichts der Ergebnisse der vorhergehenden Experimente konnte eine Reihe von Vorhersagen abgeleitet werden: In den Blöcken mit mehrheitlich Doppelaufgaben, den DA-Blöcken, war die Anwendung einer eher parallelen Verarbeitungsstrategie von Zielreiz und Flankern zu erwarten, was sich in einem entsprechend hohen FKE äußern sollte; in den 20% Einfachaufgaben sollte der FKE ähnlich hoch ausfallen. Außerdem war anzunehmen, dass in den DA-Blöcken R_2 aufgrund der guten Vorbereitung auf Doppelaufgaben vergleichsweise schnell erfolgt.

In den EA-Blöcken hingegen sind die Flanker zumeist aufgabenirrelevant, so dass hier die Anwendung einer eher seriellen Verarbeitungsstrategie zu erwarten war. Dies sollte lediglich zu einem kleinen FKE führen – sowohl in den Einfachaufgabendurchgängen, als auch in den wenigen Doppelaufgabendurchgängen. Darüber hinaus war hier zu erwarten, dass RT_1 in den Einfachaufgaben innerhalb der EA-Blöcke niedriger ausfallen sollte als in den Einfachaufgaben innerhalb der DA-Blöcke. Da schließlich die Versuchsteilnehmer in den EA-Blöcken auf eine zweite Reaktion vermutlich weniger vorbereitet sind, wurde eine im Vergleich zu DA-Blöcken höhere RT_2 erwartet.

7.1 Methode

Versuchsteilnehmer

12 Studenten (3 männlich, 9 weiblich; mittleres Alter 22 Jahre) nahmen an diesem Experiment teil.

Vorgehen

Reize und Vorgehen waren mit Experiment 3 vergleichbar; der Unterschied bestand darin, dass hier die relative Häufigkeit von Einfach- und Doppelaufgaben zwischen den Blöcken variiert wurde. Es gab zwei Arten von Blöcken: EA-Blöcke mit 80% Einfachaufga-

ben und 20% Doppelaufgaben sowie DA-Blöcke mit 80% Doppelaufgaben und 20% Einfachaufgaben, wobei keine neutralen Durchgänge mehr enthalten waren. Einfachaufgaben und Doppelaufgaben wurden innerhalb eines Blocks gemischt dargeboten und die Farbe der Reize zeigte wiederum den Aufgabentyp an. Zielreiz und Flanker erschienen stets gleichzeitig in weißer Farbe und änderten diese nach einem Hinweisreizintervall von 50, 150 oder 350 ms. Die Art der Einfärbung sowie die Bedeutung des Farbverhältnisses von Zielreiz und Flankern entsprachen der Methode der vorhergehenden Experimente.

Insgesamt wurden von jedem Teilnehmer 16 experimentelle Blöcke mit jeweils 90 Durchgängen in zwei getrennten, einstündigen Sitzungen bearbeitet. Die unterschiedlichen Blocktypen wurden jeweils im Turnus von vier Blöcken durchlaufen. Das heißt, die Versuchsteilnehmer begannen mit vier Blöcken eines Typs (z.B. DA) und bearbeiteten dann vier Blöcke des anderen Typs (z. B. EA). Vor Beginn der Blöcke wurden die Versuchsteilnehmer jeweils über die Art des Blocks informiert. In der zweiten Sitzung wurde dieselbe Reihenfolge eingehalten. Die Hälfte der Versuchsteilnehmer begann mit EA-Blöcken und wechselte dann zu DA-Blöcken, für die andere Hälfte war diese Reihenfolge umgekehrt.

7.2 Ergebnisse

Reaktionszeiten auf S_1

Für die Reaktionszeiten der richtigen Antworten auf den Zielreiz wurde eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung berechnet. Bei den Faktoren handelte es sich um *Aufgabentyp* (Einfachaufgabe oder Doppelaufgabe), *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent) und *Blocktyp* (EA oder DA). Der Faktor *Hinweisreizintervall* wurde von der Gesamtanalyse ausgeschlossen, da es für den Aufgabentyp mit dem jeweils niedrigeren Anteil hier nicht genügend Durchgänge gab. Die Daten lassen sich aus Abbildung II-7 ersehen. Die Effekte von *Hinweisreizintervall* für den Aufgabentyp mit dem höheren Anteil werden in den entsprechenden Abschnitten berichtet.

Die Analyse ergab einen signifikanten Haupteffekt von *Blocktyp*, $F(1, 11) = 19.7$, $p < 0.001$. Die Reaktionszeiten lagen im Durchschnitt wesentlich höher in den DA als in den EA-Blöcken (812 ms versus 662 ms). Außerdem zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt von *Aufgabentyp*, $F(1, 11) = 6.62$, $p < 0.05$. *Blocktyp* und *Aufgabentyp* interagierten darüber hinaus signifikant, $F(1, 11) = 24.6$, $p < 0.001$. Der Unterschied zwischen Einfach- und Doppel-

aufgaben war in den EA-Blöcken viel größer als in den DA-Blöcken (122 *ms* versus 10 *ms*). Es gab auch einen signifikanten Haupteffekt von *Kongruenz*, $F(1, 11) = 62.1$, $p < 0.001$. Eine signifikante zweifache Interaktion wurde zwischen *Kongruenz* und *Blocktyp* beobachtet, $F(1, 11) = 12.9$, $p < 0.01$. Wie erwartet, war der FKE in den DA-Blöcken größer als in den EA-Blöcken (76 *ms* versus 34 *ms*). Zur weiteren Analyse wurden die Daten für die beiden Aufgabentypen getrennt ausgewertet.

Einfachaufgaben. Die Analyse ergab einen signifikanten Haupteffekt von *Blocktyp*, $F(1, 11) = 33.8$, $p < 0.001$. Die Versuchsteilnehmer waren im Durchschnitt 106 *ms* langsamer in Einfachaufgaben, wenn diese innerhalb von DA-Blöcken zu bearbeiten waren, als wenn sie innerhalb der EA-Blöcke präsentiert wurden. Darüber hinaus gab es einen signifikanten Haupteffekt (52 *ms*) von *Kongruenz*, $F(1, 11) = 37.3$, $p < 0.001$. Auch die Interaktion zwischen *Blocktyp* und *Kongruenz* erreichte marginale Signifikanz, $F(1, 11) = 4.64$, $p = 0.05$. Der FKE war in den DA-Blöcken größer als in den EA-Blöcken (72 *ms* versus 33 *ms*). Die Reaktionszeiten erhöhten sich – für die Einfachaufgaben innerhalb der EA-Blöcke – mit der Dauer des Hinweisreizintervalls signifikant um 60 *ms* (siehe Abbildung II-7), $F(2, 22) = 12.9$, $p < 0.001$.

Doppelaufgaben. Bei den Doppelaufgaben stellte sich ein signifikanter Haupteffekt von *Blocktyp* ein, $F(1, 11) = 6.86$, $p < 0.05$. RT_1 für Doppelaufgaben war 94 *ms* schneller in den EA- als in den DA-Blöcken. Zudem hatte *Kongruenz* einen signifikanten Effekt, $F(1, 11) = 19.5$, $p < 0.01$. *Kongruenz* interagierte darüber hinaus signifikant mit *Blocktyp*, $F(1, 11) = 7.95$, $p < 0.05$. Der FKE betrug 34 *ms* in den Doppelaufgaben innerhalb der EA-Blöcke und 80 *ms* innerhalb der DA-Blöcke. Schließlich gab es auch einen signifikanten Haupteffekt von *Hinweisreizintervall* für die Doppelaufgabendurchgänge innerhalb der DA-Blöcke, $F(2, 22) = 3.66$, $p < 0.05$. Die Reaktionszeiten erhöhten sich um 99 *ms* mit zunehmender Verzögerung des Hinweisreizes.

Reaktionszeiten auf S_2

Die Reaktionszeiten der (in R_1 und R_2) richtigen Antworten wurden anhand einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung über die Faktoren *Blocktyp* (EA oder DA) und *Kongruenz* (inkongruent oder kongruent) analysiert. Es ergab sich ein signifikanter Haupteffekt von *Blocktyp*, $F(1, 11) = 11.9$, $p < 0.01$. Die Reaktionszeiten waren in DA-Blöcken 83 *ms* kürzer als in EA-Blöcken. Außerdem gab es einen signifikanten Haupteffekt (90 *ms*) von

Kongruenz, $F(1, 11) = 18.2, p < 0.01$, und eine signifikante zweifache Interaktion zwischen Kongruenz und Blocktyp, $F(1, 11) = 17.8, p < 0.01$. Der Kongruenzeffekt war in DA-Blöcken größer als in EA-Blöcken (122 ms versus 57 ms).

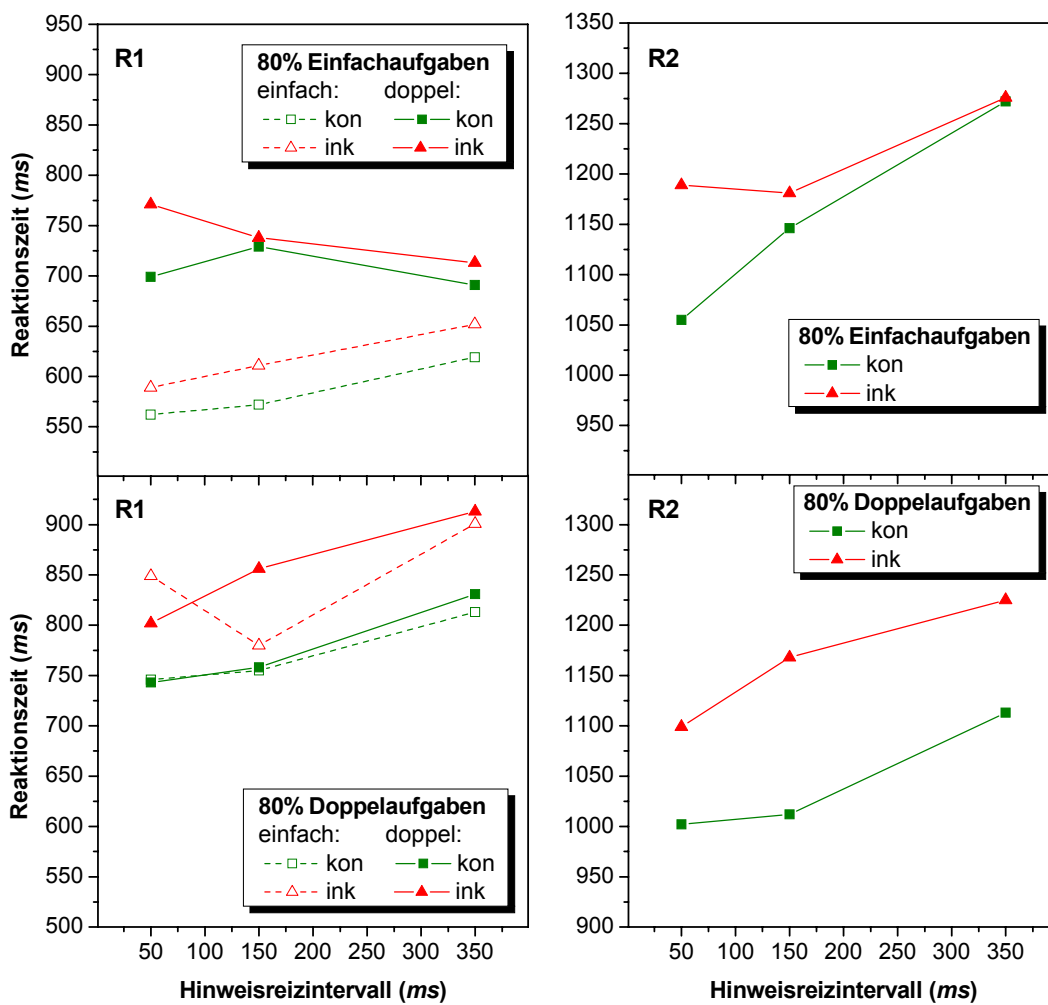


Abbildung II-7: In dieser Abbildung sind die RT₁- und RT₂- Daten für Experiment 5 – getrennt für die Blöcke mit 80% Einfachaufgaben und 20% Doppelaufgaben (oben) bzw. umgekehrt (unten) – abgebildet. „Einfach“ und „doppel“ bezeichnen *Einfachaufgaben* und *Doppelaufgaben*. „Kon“ und „ink“ stehen für die beiden Kongruenzbedingungen *kongruent* und *inkongruent*.

Eine separate ANOVA unter Einschluss von *Hinweisreizintervall* für die Durchgänge innerhalb der DA-Blöcke zeigte einen signifikanten Haupteffekt von *Hinweisreizintervall*, $F(2, 22) = 54.9, p < 0.001$. Die Reaktionszeiten waren 1051, 1090 und 1169 ms für die Intervalle von 50, 150 und 350 ms. Schließlich interagierte *Kongruenz* signifikant mit *Hinweis-*

reizintervall, $F(2, 22) = 3.97$, $p < 0.05$. Der Kongruenzeffekt betrug 97, 156 und 112 ms für die drei Intervalle 50, 150 und 350 ms.

Fehlerraten

Die mittlere Fehlerrate betrug 4.39% für R₁ und 4.47% für R₂. Der Unterschied in der Fehlerrate zwischen Einfachaufgaben und Doppelaufgaben für R₁ (4.93% versus 3.85%) erwies sich als signifikant, $F(1, 11) = 6.52$, $p < 0.05$. Es gab ferner einen signifikanten Haupteffekt von *Kongruenz*, $F(1, 11) = 8.24$, $p < 0.05$, wobei bei inkongruenten Flankern mehr Fehler unterliefen (5.24% versus 3.55%).

Für R₂ zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt von *Blocktyp*, $F(1, 11) = 6.87$, $p < 0.05$, mit einer höheren Fehlerrate in den EA-Blöcken (5.96% versus 2.97%). *Blocktyp* interagierte hier auch signifikant mit *Kongruenz*, $F(1, 11) = 5.95$, $p < 0.05$. Es gab einen kleinen Kongruenzeffekt für DA-Blöcke, während sich der Effekt für die EA-Blöcke umdrehte. Darüber hinaus bestand ein signifikanter Haupteffekt von *Hinweisreizintervall*, $F(2, 22) = 15.4$, $p < 0.001$. Die Fehlerrate stieg an, je später der Hinweisreiz präsentiert wurde.

7.3 Diskussion

Im vorliegenden Experiment wurde untersucht, ob die Versuchsteilnehmer zur Anwendung einer seriellen Verarbeitungsstrategie gebracht werden können, wenn der Anteil der Einfachaufgaben in einem Block von Durchgängen erhöht wird. Ausgangspunkt war eine Aufgabenstruktur ähnlich der in Experiment 3, jedoch mit dem Unterschied, dass der Anteil der Einfachaufgabendurchgänge auf 80% erhöht wurde. Doppelaufgaben waren in den EA-Blöcken in lediglich 20% der Durchgänge erforderlich. Aus Vergleichsgründen gab es auch DA-Blöcke mit 80% Doppelaufgaben. Die entscheidende Frage bestand darin, ob in den EA-Blöcken eine im Vergleich zu den DA-Blöcken eher serielle Strategie angewandt wird. Eine Reihe von Effekten zeigte, dass dies tatsächlich der Fall war: Erstens, der FKE in EA-Blöcken war vergleichsweise klein und nur halb so groß wie derjenige in den DA-Blöcken (34 ms versus 76 ms). RT₁ war durchschnittlich 150 ms niedriger in EA- als in DA-Blöcken. Offensichtlich wurde in den EA-Blöcken die Flankernitverarbeitung weitgehend unterdrückt und auch R₂ wurde weniger vorbereitet. Die reduzierte Vorbereitung auf Doppelaufgaben beeinträchtigte, wie erwartet, die Leistung in R₂. Möglicherweise begannen die Versuchsteilnehmer in EA-Blöcken erst dann mit der Vorbereitung auf eine zweite Aufgabe, wenn der Hinweisreiz

„Doppelaufgabe“ signalisierte. Diese unmittelbare Vorbereitung verbrauchte wohl ein erhebliches Maß an Ressourcen, was somit zu einer Erhöhung von RT_1 führte. Der Grad der Flankermitverarbeitung schien andererseits nicht erhöht zu werden, da sich die FKEs zwischen Einfach- und Doppelaufgaben nicht unterschieden (siehe Abbildung II-7).

In den DA-Blöcken waren die Versuchsteilnehmer wohl stets auf Doppelaufgaben vorbereitet, was positive Auswirkungen auf RT_2 hatte. Dies beeinträchtigte jedoch die Leistung in R_1 , wie an einer erhöhten RT_1 im Vergleich zu den Einfachaufgaben innerhalb von EA-Blöcken ersichtlich. Auch der Grad der Flankermitverarbeitung war in den DA-Blöcken wesentlich verstärkt, was an dem erhöhten FKE deutlich wird. Interessant ist insbesondere das folgende Ergebnis: Wenn ein Hinweisreiz innerhalb von DA-Blöcken „Einfachaufgabe“ signalisierte, hatte dies offenbar keinerlei Auswirkung auf die Auswahl von R_1 . Die Flanker wurden hier genauso mitverarbeitet wie in den Doppelaufgabendurchgängen, was zu ähnlichen FKEs in beiden Aufgabentypen führte. Sogar die Vorbereitung auf R_2 wurde während der Verarbeitung von R_1 aufrechterhalten.

Beim Betrachten der Daten für die vorherrschenden Aufgabentypen, d.h. Einfachaufgaben in EA-Blöcken und Doppelaufgaben in DA-Blöcken, wird ersichtlich, dass sich der FKE nicht mit dem Hinweisreizintervall veränderte. Dies repliziert die Ergebnisse von Experiment 3. Die Ergebnisse zeigen erneut, dass das Ausmaß der Flankermitverarbeitung in einem Durchgang während R_1 relativ konstant bleibt.

Insgesamt ergeben die Daten ein klares Bild von den beteiligten Strategien in den verschiedenen Blocktypen. Sie zeigen, dass einzelne Komponenten von Strategien, wie Flankermitverarbeitung und Aufgabenvorbereitung, in Abhängigkeit vom Kontext in einer spezifischen Weise angepasst werden (siehe auch Lien, Ruthruff, Remington, & Johnston, 2005). Für die jeweilige Minderheit (20%) der Durchgänge wird die Verarbeitung dabei kaum individuell angepasst.

8 Zwischendiskussion von Studie 1

Das Ziel der vorliegenden Studie bestand darin, den Beitrag strategischer Aufmerksamkeitsausrichtung auf die Verarbeitung von Flankern im Eriksenparadigma zu untersuchen. Dabei ging es insbesondere um die Frage, ob Flankerreize verstärkt mitverarbeitet werden, wenn sie – nach der Beantwortung des Zielreizes – für eine zweite Aufgabe benötigt werden.

Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit ein solcher Effekt auf einer Verarbeitungsstrategie beruht.

Obwohl Strategien bei der Reizauswahl und Aufgabenverarbeitung eine zentrale Rolle spielen, sind Ursachen und Bedingungen strategischer Anpassung bislang nicht ausreichend untersucht. Für Konfliktparadigmen, wie der Eriksen Flankeraufgabe, wird häufig angenommen, dass der Einfluss irrelevanter Reize auf die Zielreizverarbeitung weitgehend unabhängig ist von Strategien (z.B. Miller, 1991). Der FKE wird vielmehr als Ausdruck unwillkürlicher Mitverarbeitung der Flanker gewertet, entweder im Sinne des Versagens früher Auswahlmechanismen (z.B. Yantis & Johnston, 1990) oder als Ergebnis automatischer Mitverarbeitung der Flanker (z.B. Miller, 1991). Deshalb wurden im Eriksen Flankerparadigma bislang in erster Linie passive Mechanismen aufmerksamkeitsbezogener Reizauswahl untersucht, wie z.B. der Einfluss von räumlichem Abstand, Farbe und Form der Stimuli auf die Selektionsleistung und somit die Höhe des FKE (Eriksen & Schultz, 1979; Kramer & Jacobson, 1991; Paquet, 2001). Bei der Aufmerksamkeitsverteilung spielen bekanntermaßen aber auch aktive Mechanismen eine Rolle, die eine dynamische und flexible Ausrichtung des Aufmerksamkeitsfokus gewährleisten (z.B. Eriksen & St James, 1986; Gratton et al., 1992; LaBerge & Brown, 1986). Die Intensität der Aufmerksamkeit auf die Flanker ist somit auch willentlich beeinflussbar. Im Gegensatz zu den passiven Mechanismen bei der Flankermitverarbeitung wurden *top-down* Einflüsse bislang jedoch kaum untersucht. Doch unter welchen Bedingungen könnte es von Vorteil sein, Flanker im Eriksen Paradigma willentlich mitzuverarbeiten?

In der vorliegenden Studie wurde die Hypothese überprüft, dass Flanker dann stärker parallel mit dem Zielreiz verarbeitet werden, wenn sie nach der Beantwortung des Zielreizes für eine zweite Aufgabe relevant sind, als wenn dies nicht der Fall ist (siehe z.B. Logan & Gordon, 2001). Es wurde vermutet, dass dieser Effekt strategische Ursachen hat. Als Gradmesser für den Grad der Flankermitverarbeitung während R_1 wurde dabei der FKE verwendet, d.h. die Interferenz, die durch die Flanker auf RT_1 entsteht.

Im ersten Experiment wurden Einfachaufgaben- und Doppelaufgabendurchgänge geblockt dargeboten. Für die Einfachaufgaben ergab sich lediglich ein kleiner FKE, und dies nur für ein SOA von 0 ms. Ein substantieller FKE hingegen entstand in den Doppelaufgabenblöcken. Offensichtlich verarbeiteten die Versuchsteilnehmer die Flanker während R_1 in Einfach- und Doppelaufgaben unterschiedlich. Die Frage war nun, ob die erhöhte Parallelver-

beitung in den Doppelaufgaben tatsächlich auf einer strategischen Wahl beruhte oder ob sie sich aus den spezifischen Aufgabenanforderungen ergab. Eine komplexere Kontrollstruktur in Doppelaufgabenblöcken könnte z.B. die Belastung des Arbeitsgedächtnisses erhöht haben, was dann zu der verstärkten Mitverarbeitung der Flanker führte (vergleiche de Fockert et al., 2001; Lavie et al., 2004; Soto, Heinke, Humphreys, & Blanco, 2005). Der Frage, inwieweit Aufgabenanforderungen oder Strategien für die Verarbeitungsunterschiede verantwortlich gemacht werden können, gingen dann die Experimente 2-5 auf den Grund.

In Experiment 2A wurden Einfachaufgaben und Doppelaufgaben gemischt und in zufälliger Abfolge präsentiert. Ob in einem Durchgang eine Einfachaufgabe oder eine Doppelaufgabe verlangt war, wurde nun durch die Farbe der Reize angezeigt: Der Zielreiz und auch die Flanker erschienen stets entweder in roter oder in grüner Farbe. Dabei signalisierte das *Farbverhältnis* von Zielreiz und Flankern (gleich- oder verschiedenfarbig) den Aufgabentyp im aktuellen Durchgang. Da die Flanker SOA-verzögert präsentiert wurden, wurde der Durchgangstyp also erst mit Erscheinen der Flanker angezeigt. Die Versuchsteilnehmer mussten daher jeden Durchgang im gleichen Vorbereitungszustand beginnen. Erst nach Erscheinen der Flanker bzw. des Hinweisreizes konnte die Verarbeitung in Reaktion auf den angezeigten Durchgangstyp verändert werden. Das Farbverhältnis als Hinweisreiz, anstatt z.B. einer konstanten Farbe der Flanker, wurde aus folgendem Grund verwendet: Es sollte vermieden werden, dass ein passiv-perzeptueller Filtermechanismus verwendet wird, wie z.B. „ignoriere stets die grünen Flanker“. Aufgrund der hier verwendeten Methode musste zunächst in einem kognitiven Zwischenschritt die Farbrelation der Reize beurteilt werden, was eine einfache frühe Filterung verhinderte.

Die Frage war, ob die Versuchsteilnehmer auch unter diesen Bedingungen ihre Verarbeitung gemäß der Aufgabenrelevanz der Flanker anpassen würden. Die Ergebnisse zeigten, dass dies tatsächlich der Fall war: Der FKE unterschied sich wiederum deutlich zwischen Einfach- und Doppelaufgaben. Offensichtlich wurde die Verarbeitung trotz randomisierter Darbietung der Aufgaben mit Erscheinen der Flanker flexibel angepasst. Doch inwiefern wurde die Verarbeitung bei Einfach- und Doppelaufgaben modifiziert? Aus den bisherigen Ergebnissen konnte noch nicht geschlussfolgert werden, dass es sich bei der Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben tatsächlich um eine Strategie handelt. Da die Flanker ja die Hinweisreizinformation trugen, mussten sie stets in gewisser Weise beachtet werden. Möglicherweise wur-

den die Flanker in jedem Durchgang zunächst mitverarbeitet und – im Falle von Einfachaufgaben – anschließend gehemmt.

Ein weiteres Experiment wurde daher so gestaltet, dass nur der Zielreiz die Aufgabeninformation enthielt. Der Zielreiz erschien zunächst in neutraler Farbe und färbte sich mit Erscheinen der Flanker bunt. Dabei waren die Flanker stets neutral gefärbt. Der Hinweisreiz wurde auch jetzt zeitverzögert dargeboten. Während der Zielreizverarbeitung bzw. für die Enkodierung des Hinweisreizes war jedoch keinerlei Aufmerksamkeit auf die Flanker mehr erforderlich. Nichtsdestotrotz zeigten die Ergebnisse ein ähnliches Muster wie im vorherigen Experiment. Das bedeutet, die Parallelverarbeitung von Zielreiz und Flankern entstand wohl weniger aufgrund der spezifischen Hinweisreizinformation in Experiment 2A. Insgesamt demonstrierten die Experimente 2A und 2B, dass der zugrunde liegende Verarbeitungsmechanismus über eine hohe Flexibilität verfügt, so dass die Verarbeitung auch bei gemischter Präsentation von Einfach- und Doppelaufgaben entsprechend angepasst werden kann. Zudem unterstützten die Ergebnisse die Annahme, dass es sich bei der erhöhten Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben tatsächlich um das Resultat einer strategischen Wahl handelt.

Daraus ergab sich die Frage, aus welchem Grund eine parallele Verarbeitungsstrategie in Doppelaufgaben angewandt wurde. Eine solche Strategie führte ja offensichtlich – im Vergleich zur Einfachaufgabensituation – zu höheren Kosten bei R_1 . Möglicherweise sollte durch die Mitverarbeitung der Flanker ein Vorteil für R_2 erzielt werden, der die Kosten auf R_1 im Vergleich zu einer seriellen Strategie (über-) kompensierte. Immerhin waren in den Experimenten mit gemischten Aufgabentypen nur dann merkliche Kosten der Parallelverarbeitung auf R_1 vorhanden, wenn die Flanker inkongruent waren und relativ früh erschienen. Andererseits könnten die Versuchsteilnehmer eine solche Strategie deshalb gewählt haben, weil serielle Verarbeitung „anstrengender“ gewesen wäre. Eine serielle Verarbeitung in den Doppelaufgaben hätte es erfordert, die Verarbeitung der Flanker während R_1 zunächst zu unterbinden und anschließend für R_2 wieder aufzunehmen. Die Überwindung einer unmittelbar zuvor erfolgten Inhibition ist bekanntlich kostspielig (Tipper, 1985; Tipper & Cranston, 1985; Tipper et al., 1994). Es kam jedoch noch eine dritte Erklärung in Betracht, nämlich eine prinzipielle Unfähigkeit, dass in Doppelaufgaben der hier beschriebenen Art überhaupt seriell verarbeitet werden *kann*. Nur in diesem Fall könnte von einer Strategie der Parallelverarbeitung gesprochen werden.

Um zunächst die Hypothese der „Kostenersparnis“ zu überprüfen, wurden die Kosten möglicher Parallelverarbeitung in einem weiteren Experiment erhöht: In Experiment 3 wurden die Flanker stets gleichzeitig mit dem Zielreiz präsentiert und zusätzlich das Erscheinen der Flanker von dem der farblichen Hinweisreize getrennt. Erst nach einem variablen Hinweisreizintervall veränderte sich sowohl die Farbe des Zielreizes als auch der Flanker, was den Durchgangstyp signalisierte. Eine parallele Verarbeitungsstrategie unter diesen Bedingungen würde bedeuten, dass die Flanker auch in den Einfachaufgabendurchgängen erheblich mitverarbeitet werden, zumindest bis zum Erscheinen des Hinweisreizes. Dies sollte eine hohe Interferenz für beide Aufgabentypen mit sich bringen.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Reize unter den Bedingungen von Experiment 3 trotz erheblicher Interferenz weitgehend parallel verarbeitet wurden: Die FKEs waren beträchtlich größer als in Experiment 2A oder 2B, was auf der Tatsache beruhte, dass sie mit der Zunahme des Hinweisreizintervalls nicht signifikant abnahmen. Die Versuchsteilnehmer begannen vermutlich beim Erscheinen der Flanker unmittelbar mit deren Mitverarbeitung und passten diese nach Präsentation des Hinweisreizes – auch bei Einfachaufgabendurchgängen – nicht merklich an. Offensichtlich bevorzugten sie trotz der erheblichen Kosten immer noch eine parallele Verarbeitungsstrategie. Wengleich die FKEs in Experiment 3 relativ groß waren und über die Hinweisreizintervalle hinweg beinahe konstant blieben, unterschieden sie sich wiederum signifikant zwischen Einfachaufgaben und Doppelaufgaben.

Da die Versuchsteilnehmer jedoch den Durchgangstyp vor Erscheinen des Hinweisreizes nicht kannten und der FKE nicht mit dem Darbietungszeitpunkt des Hinweisreizes interagierte, ist es unwahrscheinlich, dass dieser Unterschied die direkte Konsequenz einer bewusst gewählten Strategie darstellte. Es schien eher so zu sein, dass die Versuchsteilnehmer ihre Vorbereitung auf R_2 verbesserten, nachdem der Hinweisreiz „Doppelaufgabe“ signalisierte. Dies erhöhte möglicherweise die Arbeitsgedächtnisbelastung, was wiederum die Interferenz verstärkte (z.B. de Fockert et al., 2001; Lavie et al., 2004). Insgesamt wurde durch die in Experiment 3 angewandte Prozedur also keine serielle Verarbeitung in Doppelaufgaben erzielt. Im Gegenteil, die Flanker wurden sogar bei den Einfachaufgaben vergleichsweise stark mitverarbeitet. Diese Ergebnisse führten wiederum zu der Frage, ob Personen *überhaupt* in der Lage sind, die Mitverarbeitung der Flanker in Doppelaufgaben zu unterdrücken.

In Experiment 4 wurde eine Aufgabenstruktur verwendet, die jede Form strategischer Parallelverarbeitung unwahrscheinlich machen sollte. Die Flanker erschienen stets gleichzeitig mit dem Zielreiz und färbten sich nach einem bestimmten Zeitintervall bunt, wie in Experiment 3. Nun jedoch änderten sie zum Zeitpunkt der Einfärbung auch ihre Identität. Somit ergaben sich vollständig irrelevante Teil1-Flanker (wie vorhanden bis zum Erscheinen der Hinweisreize) und in Doppelaufgabendurchgängen relevante Teil2-Flanker (wie vorhanden nach dem Hinweisreiz). Falls die Aufgabenrelevanz bei der Mitverarbeitung der Flankerreize in Doppelaufgaben tatsächlich eine zentrale Rolle spielt, nun aber die zuerst erscheinenden Flanker stets aufgabenirrelevant sind, sollte von den Versuchsteilnehmern hier eine serielle Verarbeitungsstrategie gewählt werden. Zumindest eine strategische Mitverarbeitung der Teil1-Flanker erschien unter diesen Gesichtspunkten sehr unwahrscheinlich. Falls jedoch auch unter diesen Bedingungen parallel verarbeitet wurde, z.B. da dies in Doppelaufgaben prinzipiell nicht unterdrückt werden kann, war ein Kongruenzeffekt auch der Teil1-Flanker zu erwarten.

Die Ergebnisse von Experiment 4 zeigten, dass die Teil1-Flanker, abgesehen von einem kleinen Effekt auf Stufe eines einzelnen SOA, keinen signifikanten FKE produzierten. Darüber hinaus gab es zwar einen signifikanten FKE für die Teil2-Flanker, dieser war jedoch vergleichsweise klein und unterschied sich nicht zwischen Einfachaufgaben und Doppelaufgaben. Das bedeutet, die Versuchsteilnehmer arbeiteten in den Doppelaufgaben weitgehend seriell. Damit war also eine Bedingung gefunden, die die Möglichkeit serieller Verarbeitung demonstrierte. Doch unterschied sich die in Experiment 4 angewandte Prozedur deutlich von der Methodik der klassischen Flankeraufgabe, insbesondere da die Flanker ihre Identität innerhalb eines Durchgangs wechselten. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse erschien somit schwierig.

In Experiment 5 wurde eine ähnliche Methode wie in Experiment 3 verwendet. Darüber hinaus sollte serielle oder parallele Verarbeitung induziert werden, indem der Anteil der Einfachaufgaben erhöht bzw. reduziert wurde (siehe z.B. Logan & Zbrodoff, 1979). In so genannten EA-Blöcken waren in 80% der Durchgänge Einfachaufgaben gefordert und in 20% Doppelaufgaben. Dieses Verhältnis kehrte sich in DA-Blöcken um. Die Ergebnisse zeigten, dass die Verarbeitungsstrategie stark von der Häufigkeitsvariation abhing. Innerhalb der Blocktypen unterschied sich der FKE nicht zwischen Einfachaufgaben und Doppelaufgaben; er unterschied sich jedoch stark zwischen den Blocktypen. Das heißt, in den EA-Blöcken

wurden die Flanker nicht nur in den Einfachaufgaben, sondern auch in den 20% Doppelaufgaben während R_1 weitgehend ignoriert. Im Gegenzug wurden in den DA-Blöcken die Reize nicht nur in den Doppelaufgaben, sondern auch in den 20% Einfachaufgaben parallel verarbeitet. Die Versuchsteilnehmer schienen unter diesen Bedingungen, im Einklang mit dem vorherrschenden Aufgabentyp, also *eine* Verarbeitungsstrategie pro Blocktyp für die Flanker zu verwenden. Darüber hinaus waren sie in den EA-Blöcken auf R_2 weniger vorbereitet als in den DA-Blöcken, was zu einer höheren RT_2 in den EA- als in den DA-Blöcken führte.

Zusammengefasst zeigten die Ergebnisse der vorliegenden Studie, dass Flankerreize in Doppelaufgaben bereits während R_1 stärker mitverarbeitet werden als in Einfachaufgaben, und dass diese Mitverarbeitung offensichtlich strategische Gründe hat. So konnte nachgewiesen werden, dass unter bestimmten Bedingungen in Doppelaufgaben serielle Verarbeitung gewählt wird, d.h. Parallelverarbeitung nicht unvermeidbar ist. Es bleibt noch die Frage, aus welchen Gründen die Versuchsteilnehmer eine so starke Tendenz aufwiesen, in den Doppelaufgaben parallel zu verarbeiten. Nahe liegend wäre es anzunehmen, dass sie sich durch die Mitverarbeitung der Flanker einen Vorteil für R_2 versprachen, der die Kosten auf R_1 im Vergleich zu einer seriellen Strategie (über-) kompensierte.

Kosten und Vorteile der Flankermitverarbeitung

Um zu überprüfen, ob die Mitverarbeitung der Flanker während R_1 für R_2 vorteilhaft war, wurden Kosten und Vorteile verglichen. Die Mitverarbeitung der Flanker produzierte offensichtlich erhebliche Kosten für R_1 , insbesondere für die inkongruenten Reize. Um eventuelle Vorteile der Parallelverarbeitung zu überprüfen, wurde die Leistung in R_2 verglichen. In allen Experimenten der vorliegenden Studie, in denen das SOA variiert wurde, gab es den üblichen PRP-Effekt. Dieser unterschied sich zwischen den Experimenten jedoch nicht wesentlich. Der PRP-Effekt und auch die absolute Höhe von RT_2 erwiesen sich von den verschiedenen experimentellen Manipulationen als relativ unbeeinträchtigt.

Für die weitergehende Analyse wurde auch der FKE miteinbezogen, der den Grad der Flankermitverarbeitung reflektiert. Falls die Mitverarbeitung der Flanker tatsächlich vorteilhaft für R_2 ist, sollte RT_2 mit ansteigendem FKE abnehmen. Offensichtlich war dies aber nicht der Fall. Stattdessen produzierte die Mitverarbeitung der inkongruenten Flanker sogar Kosten auf RT_2 . Selbst wenn jedoch diese Kosten ignoriert wurden und RT_2 lediglich für die kongruenten Reize betrachtet wurde, gab es keinerlei Anzeichen für einen Vorteil. Evident

wird dies beim Betrachten des unteren Abschnitts von Abbildung II-8, wo RT_2 für die kongruenten Reize gegen den FKE geplottet ist. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden nur die Daten der Experimente dargestellt, bei denen das SOA variiert wurde.

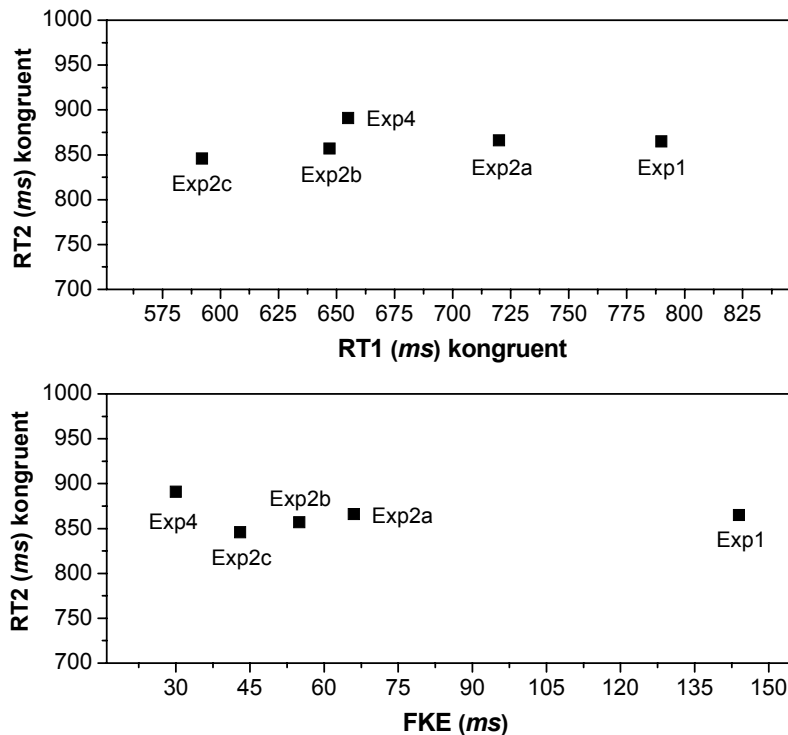


Abbildung II-8: Der obere Abschnitt der Abbildung zeigt RT_2 für kongruente Reize als Funktion von RT_1 über alle Experimente der vorliegenden Studie, in denen das SOA variiert wurde. Im unteren Abschnitt ist RT_2 für die kongruenten Daten in Abhängigkeit vom FKE dargestellt. Für Einzelheiten dazu siehe den Text.

Offensichtlich gab es keine systematische Beziehung zwischen FKE und RT_2 . RT_1 erhöhte sich mit zunehmendem FKE, während RT_2 aber *nicht* abnahm, sondern für die inkongruenten Reize sogar *anstieg*. Leistungsoptimierung kommt also als Grund für die Anwendung einer parallelen Strategie in Doppelaufgaben kaum in Betracht. Es ist jedoch denkbar, dass die Versuchsteilnehmer nicht in erster Linie die Reaktionszeit, sondern die mentalen Kosten für die Anpassung der Kontrollstruktur zu minimieren versuchten (z.B. Logan et al., 1983). Eine serielle Verarbeitungsstrategie erfordert möglicherweise einen höheren Kontrollaufwand in Doppelaufgaben als parallele Verarbeitung. Bezieht man diese vermeintlichen Kosten in die Kosten-Nutzen-Analyse mit ein, könnten die Gesamtkosten einer parallelen

Verarbeitungsstrategie in Doppelaufgaben dennoch kleiner gewesen sein als die einer seriellen.

Kosten und Vorteile der Vorbereitung

Bei der Kosten-Nutzen-Analyse spielt außerdem die allgemeine Vorbereitung auf eine zweite Aufgabe eine Rolle (De Jong, 1995; Gottsdanker, 1980), wenngleich dies nicht den Hauptaspekt der vorliegenden Studie darstellt. In den Experimenten, in denen die Durchgangstypen gemischt wurden, mussten die Teilnehmer stets auf Doppelaufgaben vorbereitet sein. Da diese Vorbereitung die Leistung für R_1 merklich beeinträchtigte, stellte sich die Frage, ob der Grad der Vorbereitung die Leistung von R_2 verbesserte. Betrachtet man RT_1 (für die kongruenten Reize) als Indikator für den Grad der Vorbereitung, kann der Bezug zu RT_2 untersucht werden. Dazu wurde RT_1 gegen RT_2 für die kongruente Bedingung in den Experimenten geplottet, in denen das SOA variiert wurde. Wie anhand des oberen Teils von Abbildung II-8 ersichtlich, erwies sich RT_2 als unabhängig von RT_1 . Dies lässt vermuten, dass auch ein erhöhter Grad an Vorbereitung die Leistung in der zweiten Aufgabe nicht verbesserte. Diese Annahme wird ferner unterstützt durch die Ergebnisse von Experiment 5, wo die Vorbereitung innerhalb eines Experiments variierte. Hier zeigte sich, dass die erhöhte Vorbereitung für R_2 in den DA-Blöcken Kosten von 94 ms auf RT_1 verursachte. Der entsprechende Vorteil auf RT_2 war jedoch nur 83 ms. Bei der gemeinsamen Betrachtung von RT_1 und RT_2 ist also durch erhöhte Vorbereitung in Doppelaufgaben kaum ein Vorteil ersichtlich.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen insgesamt, dass der Grad der Flankermitverarbeitung in Doppelaufgaben in Abhängigkeit von der angewandten Strategie stark variiert. Obwohl Personen prinzipiell in der Lage sind, in Doppelaufgaben eine serielle Strategie anzuwenden, tendieren sie zu einer starken Mitverarbeitung der Flanker während R_1 . Dabei werden Kosten im Sinne einer Leistungsbeeinträchtigung in Kauf genommen. Möglicherweise ist eine serielle Reizverarbeitung anspruchsvoller und erfordert mehr mentale Kontrolle als eine parallele Verarbeitung. Eine parallele Strategie könnte somit bevorzugt werden, um den kognitiven Kontrollaufwand zu minimieren.

Abgesehen von der Frage nach der Motivation für parallele Verarbeitung in Doppelaufgaben stellt sich die Frage, welches theoretische Modell die vorliegenden Daten am besten er-

klären kann. Wie in der Einführung (Kapitel 3.3) dargestellt, gibt es eine Reihe konkurrierender Theorien zur Verarbeitung in Doppelaufgaben, allen voran das CB Modell von Pashler (1984; 1994a) und – als kontrastierende Theorie – das CCS Modell von Tombu und Jolicoeur (2003). Wenngleich in der vorliegenden Studie keine eindeutige Entscheidung für eines der beiden Modelle möglich ist, so sprechen die Daten doch eher für die Annahme zentraler Kapazitätsteilung. Das CB Modell nimmt an, dass aufgrund des zentralen Flaschenhalses keine Überlappung der Aufgabenverarbeitung während der Antwortauswahl möglich ist. Lediglich die perzeptuelle Stufe von R_2 könne demnach mit der Antwortauswahlstufe von R_1 gleichzeitig ablaufen. Diese Art der Parallelverarbeitung sollte keine Kosten auf RT_1 verursachen, was durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie jedoch nicht bestätigt werden konnte: In den Doppelaufgaben entstanden hohe Kosten für RT_1 , auch wenn Einflüsse wie Unterschiede in der Vorbereitungsstruktur oder Antwortgruppierung ausgeschlossen werden konnten.

Zudem ergab die Kosten-Nutzen-Analyse, dass die Parallelverarbeitung zu hohen Kosten in RT_1 führte, nicht jedoch zu Einsparungen in RT_2 . Exakt dieser Zusammenhang wird im CCS Modell angenommen: Eine erhöhte Teilung zentraler Kapazität sollte mit einem Anstieg von RT_1 – bei gleich bleibender RT_2 – einhergehen. Ein weiterer Vorteil des CCS Modells gegenüber dem CB Modell besteht darin, dass dort Verarbeitungsstrategien ein vergleichsweise breiter Raum zugestanden wird. Der Grad zentraler Kapazitätsteilung kann demnach willentlich und in einem nahezu beliebigen Verhältnis zwischen den Aufgaben angepasst werden. Insgesamt scheinen die im CCS Modell vertretenen Annahmen durch die vorliegenden Daten besser unterstützt zu werden als die Vorhersagen des CB Modells.

Um das CCS gegenüber dem CB Modell jedoch eindeutiger evaluieren zu können, wäre ein direkter Vergleich verschiedener Grade von Kapazitätsteilung in Doppelaufgaben wünschenswert. In der vorliegenden Studie konnten verschiedene Grade von Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben lediglich anhand einer groben Abschätzung verglichen werden, da zwischen den Experimenten jeweils auch die Aufgabenstruktur oder der Kontext variierte. In Studie 2 werden daher die Annahmen des CCS Modells und die des CB Modells direkter gegenüber gestellt.

III

Studie 2:

Strategische Kapazitätsteilung in Doppelaufgaben

1 Einleitung

In der ersten Studie dieser Arbeit wurde in einer Reihe von Experimenten gezeigt, dass Personen in Flanker-Doppelaufgaben eine ausgeprägte Tendenz zur Parallelverarbeitung aufweisen. Flankerreize wurden bereits während einer ersten Aufgabe absichtlich stärker mitverarbeitet, wenn sie anschließend für eine zweite Aufgabe benötigt wurden, als wenn dies nicht der Fall war. Eine Kosten-Nutzen-Analyse ergab außerdem, dass durch erhöhte Parallelverarbeitung ein Nachteil in RT_1 , jedoch kein Vorteil in RT_2 entstand. Insgesamt unterstützten die Ergebnisse von Studie 1 eher die Annahme zentraler Kapazitätsteilung bei Doppelaufgaben denn das Postulat eines zentralen Flaschenhalses. Insbesondere die Beobachtung, dass durch erhöhte Parallelverarbeitung bzw. Kapazitätsteilung RT_1 erheblich stärker beeinflusst wurde als RT_2 , sprach für das CCS Modell (Tombu & Jolicoeur, 2003). Eine Evaluation des CCS Modells war jedoch in Studie 1 dadurch erschwert, dass zwischen den Experimenten nicht nur der angenommene Grad der Kapazitätsteilung, sondern stets auch die Aufgabenstruktur variierte. Eindeutige Belege für das CCS und gegen das CB Modell konnten bislang auch von anderen Studien nicht erbracht werden (z.B. Levy & Pashler, 2001; Ruthruff et al., 2003b; Ruthruff et al., 2001a; Tombu & Jolicoeur, 2002, 2005).

Das Ziel der vorliegenden Studie besteht nun darin, die Vorhersagen des CCS Modells direkt gegen die des CB Modells zu testen. Ein solches Vorhaben erweist sich jedoch aus mehreren Gründen als empirische Herausforderung (siehe auch Kapitel 3.3.3 der Einführung): So machen beide Modelle identische Annahmen für den Fall, dass in einer Doppelaufgabe die gesamte Kapazität zunächst auf die erste Aufgabe konzentriert wird. Zur Förderung von Kapazitätsteilung in Doppelaufgaben wurden bislang unterschiedliche Methoden eingesetzt, wie z.B. gleiche Verarbeitungspriorität auf beide Aufgaben (z.B. Levy & Pashler, 2001; Pashler, 1994b; Tombu & Jolicoeur, 2005) oder eine Präsentation der Reize in immer zufälliger Reihenfolge (z.B. Ruthruff et al., 2003b; Ruthruff et al., 2001a; Tombu & Jolicoeur, 2002). Diese Methoden erwiesen sich jedoch zur Überprüfung des CCS Modells nicht als optimal, da sie zu keiner oder nur zu einer geringen *Variation* der Parallelverarbeitung zwischen den Aufgaben führten. Ein Vergleich verschiedener Grade von Parallelverarbeitung bzw. von entsprechender Kapazitätsteilung wäre jedoch zur Validierung bzw. Entkräftung des CCS Modells erforderlich.

Um die Vorhersagen des CCS und des CB Modells zu vergleichen, wurde in den genannten Studien meistens die Schwierigkeit einer Aufgabe auf (zentraler) Verarbeitungsstufe modifiziert (Ruthruff et al., 2003b; Tombu & Jolicoeur, 2002, 2005). Die theoretische Interpretation solcher Schwierigkeitsmanipulationen ist jedoch teilweise kontrovers. So nehmen beispielsweise Tombu und Jolicoeur (Tombu & Jolicoeur, 2002) an, dass sich der Grad der Kapazitätsteilung zwischen den Aufgaben mit zunehmender Schwierigkeit der zweiten Aufgabe erhöht. Im Gegensatz dazu gehen Ruthruff und Mitarbeiter (2003b) davon aus, dass die Aufgabenschwierigkeit keinen Einfluss auf den Grad der Kapazitätsteilung besitzt (siehe Kapitel 3.3.3 der Einführung).

Ein eindeutiger empirischer Vergleich des CCS Modells und des CB Modells setzt also zum einen eine Variation des Grads der Parallelverarbeitung sowie zum anderen dessen zuverlässige Messung voraus. Beide Anforderungen sollen in den Experimenten der vorliegenden Studie erfüllt werden. In Studie 1 konnte demonstriert werden, dass der FKE in Flanker-Doppelaufgaben als Maß für den Grad strategischer Parallelverarbeitung geeignet ist. Aus diesem Grund kamen wiederum Flanker-Doppelaufgaben zur Anwendung. Um nicht nur Parallelverarbeitung, sondern insbesondere auch eine Variation des Grads der Kapazitätsteilung zu erzielen, wurden die Versuchsteilnehmer in Experiment 1 in einer spezifischen Art und Weise instruiert: In der Bedingung mit serieller Verarbeitung wurden die Versuchsteilnehmer aufgefordert, zunächst nur auf den Zielreiz zu achten, bis R_1 erfolgt ist, und erst anschließend die Flanker zu verarbeiten. Um parallele Verarbeitung in der anderen Bedingung zu erzielen, wurden die Versuchsteilnehmer angehalten, die Aufmerksamkeit gleichmäßig sowohl auf S_1 als auch auf S_2 zu verteilen. Durch diese Prozedur sollten verschiedene Grade von Kapazitätsteilung realisiert werden, die *top-down* gesteuert zustande kommen und nicht durch Unterschiede in der Aufgabenstruktur bedingt sind.

Die Ergebnisse in Studie 1 ließen vermuten, dass Personen den Grad der Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben tatsächlich strategisch variieren können. Dies wird in Experiment 1 der vorliegenden Studie bestätigt. Reaktionszeiten und insbesondere der FKE waren unter der parallelen Instruktion im Vergleich zur seriellen deutlich erhöht. Da beide Instruktionen gewissermaßen auf „extreme“ Formen der Kapazitätsteilung zwischen den Aufgaben abzielen, wurde anschließend Experiment 2 als Kontrollbedingung zu Experiment 1 durchgeführt. Hier wurden dieselben Aufgaben bearbeitet, nun jedoch ohne eine spezifische Instruktion bezüglich der Kapazitätsteilung. In diesem Fall wandten die Versuchsteilnehmer spontan eine

Strategie an, die im Mittelwert zwischen der seriellen und der parallelen Bedingung aus Experiment 1 lag.

2 Experiment 1

In diesem Experiment sollte der Grad der Kapazitätsteilung zwischen den Aufgaben mittels einer bestimmten Instruktion der Versuchsteilnehmer variiert werden. Die Versuchsteilnehmer wurden aufgefordert, innerhalb eines Blocks von Durchgängen die Aufgaben entweder in einer eher seriellen oder in einer eher parallelen Weise zu bearbeiten. Bei den Aufgaben handelte es sich jeweils um Flanker-Doppelaufgaben mit Aufgabenwiederholung. Ferner wurde eine zeitliche Variation der Reizpräsentation angewandt, die sich von der üblichen SOA-Prozedur unterscheidet und der Methodik aus Experiment 4 von Studie 1 glich: Zielreiz und Flanker erschienen stets gleichzeitig. Nach einem variablen Zeitintervall änderten die Reize dann ihre Farbe. In der Hälfte der Durchgänge veränderten die Flanker dabei auch ihre Identität, so dass zwischen Teil1-Flankern und Teil2-Flankern unterschieden werden konnte. Die Versuchsteilnehmer mussten zunächst jeweils auf den Zielreiz reagieren und dann auf die Flanker, so wie sie nach der Farbänderung erschienen. Das bedeutet, die Teil1-Flanker waren stets irrelevant für die Aufgabe, während die Teil2-Flanker immer beantwortet werden mussten. In den Durchgängen mit konstanten Flankern, in denen sich nur die Farbe der Reize änderte, wird das Intervall zwischen Beginn der Reizpräsentation und dem Zeitpunkt der Farbänderung als *Farbintervall* bezeichnet. Bei alternierenden Flankern hingegen wird das Intervall zwischen Präsentation der Teil1- und der Teil2-Flanker *Flankerintervall* genannt.

Die Methode gleichzeitiger Stimuluspräsentation bei Änderung der Farbe bzw. der Flanker anstatt einer gewöhnlichen SOA-Variation wurde deshalb verwendet, weil eine SOA-Variation unter den üblichen Bedingungen – insbesondere bei der parallelen Instruktion – zu Schwierigkeiten führen könnte: Falls S_2 nicht gleichzeitig mit S_1 präsentiert wird, könnte schwerlich direkt mit Parallelverarbeitung begonnen werden. Das heißt, die Verteilung der Kapazität könnte erst nach Erscheinen von S_2 verändert werden. Selbst wenn die Versuchsteilnehmer hierzu prinzipiell in der Lage wären, ist es fraglich, ob sie durch Instruktion tatsächlich zur Übernahme einer solchen Strategie motiviert werden können.

Mittels einer Mischung von Durchgängen mit gleichzeitiger Reizpräsentation und solchen mit Veränderung der Flanker sollte jetzt eine Bedingung hergestellt werden, die selbst

weder extrem parallele noch extrem serielle Verarbeitung hervorruft. In Experiment 4 aus Studie 1 änderten die Flanker in *jedem* Durchgang nach einem variablen Zeitintervall ihre Identität. Hier übernahmen die Versuchsteilnehmer eine sehr stark ausgeprägte serielle Verarbeitungsstrategie. In Experiment 3 aus Studie 1 hingegen wurden die Reize stets gleichzeitig und ohne Änderung ihrer Identität präsentiert. Hier zeigte sich eine starke Mitverarbeitung der Flanker bzw. eine parallele Verarbeitungsstrategie. Es wurde daher angenommen, dass bei einer Darbietung von sowohl Durchgängen mit alternierenden und solchen mit konstanten Flankern eine weitgehend neutrale Ausgangsbasis geschaffen wird.

Mit dem vorliegenden Ansatz sollten nun mehrere Vorhersagen des CCS Modells überprüft werden. Erstens sollte, wenn zwischen den beiden Aufgaben zentrale Kapazität geteilt wird, ein substantieller FKE entstehen. Zweitens wurde, wenn der Grad der Parallelverarbeitung unter der parallelen im Vergleich zur seriellen Bedingung erhöht ist, auch ein entsprechender Anstieg des FKE erwartet. In diesem Fall sollte außerdem RT_1 , abgesehen vom FKE, in der parallelen im Vergleich zur seriellen Bedingung insgesamt höher ausfallen. Außerdem sollte sich RT_2 mit den Instruktionsbedingungen bzw. mit dem Grad der Kapazitätsteilung *nicht* verändern.

Schließlich kann die Verarbeitung der Teil1-Flanker interessante Hinweise über das Auftreten und die Dynamik von Kapazitätsteilung liefern. Im Gegensatz zur üblichen SOA-Variation können die Versuchsteilnehmer direkt zu Beginn eines Durchgangs mit serieller oder paralleler Verarbeitung starten und die Teil1-Flanker bereits entsprechend verarbeiten. Alternativ können sie mit der Verarbeitung der Flanker erst nach deren Einfärbung beginnen. Was jeweils der Fall ist, sollte sich an einem entsprechenden Kongruenzeffekt der Teil1-Flanker zeigen, da sich die Teil1-Flanker wie die Teil2-Flanker ebenfalls entweder kongruent oder inkongruent zum Zielreiz verhalten. Wird also bereits während des Flankerintervalls in den Durchgängen mit alternierenden Flankern zentrale Kapazität geteilt, sollten ein Kongruenzeffekt der Teil1-Flanker sowie allgemeine Kosten durch deren Mitverarbeitung auf RT_1 und RT_2 entstehen. In diesem Fall sollte der Teil1-Flanker-Kongruenzeffekt auch mit der Instruktion variieren.

Falls jedoch keinerlei Kapazität mit den Teil1-Flankern geteilt wird – da beispielsweise mit der Kapazitätsteilung erst nach dem Erscheinen der Teil2-Flanker begonnen wird – sollte sich dies darin äußern, dass keine substantiellen Kosten der Prozedur alternierender Flanker

und kein signifikanter Kongruenzeffekt der Teil1-Flanker entstehen. In diesem Fall würde die Verarbeitung weitgehend einer im Rahmen der üblichen SOA-Prozedur entsprechen, d.h. RT_1 sollte mit einer Zunahme der Dauer des Farb- bzw. Flankerintervalls abnehmen. Falls jedoch zwischen S_1 und den (Teil1-)Flankern bereits zentrale Kapazität geteilt wird, ist – auch gemäß CCS Modell – *keine* Abnahme von RT_1 mit einer Erhöhung des Farb- bzw. Flankerintervalls zu erwarten.

Falls also unter den vorliegenden Bedingungen zentrale Kapazität zwischen den Aufgaben geteilt wird und der Grad der Teilung willentlich variiert werden kann, dann sollten sich die Vorhersagen des CCS Modells insgesamt bestätigen. Falls jedoch die Annahmen des CB Modells zutreffen, d.h. dass bis zur Ausführung von R_1 keine weitere Verarbeitung von S_2 außer Wahrnehmung möglich ist, sind andere Ergebnisse zu erwarten. In diesem Fall sollten keine Kosten durch erhöhte Parallelverarbeitung auf RT_1 auftreten und die Instruktionen zu serieller und paralleler Verarbeitung somit keinen maßgeblichen Einfluss auf die Leistung haben. Ferner sollte RT_1 von der Variation des Farb- bzw. Flankerintervalls weitgehend unbeeinflusst bleiben.

2.1 Methode

Versuchsteilnehmer

12 Studenten (6 männlich, 6 weiblich; mittleres Alter 24 Jahre) der Universität Konstanz nahmen an diesem Experiment teil.

Für ihre Teilnahme erhielten sie (wie auch die Versuchsteilnehmer des nachfolgenden Experiments) entweder 5 € pro Stunde oder eine im Rahmen ihres Studiums notwendige Bescheinigung. Ferner verfügten sie nach eigenen Angaben über normale oder korrigierte Sehfähigkeit und hatten nicht zuvor an ähnlichen Experimenten teilgenommen.

Versuchsaufbau und Reizmaterial

Sowohl die Reizpräsentation als auch die Antwortaufzeichnung erfolgte mittels eines IBM-kompatiblen PC. Die Reize wurden auf einem 21-Zoll Farbmonitor (Sony 500 PS) mit einer Auflösung von 1280 x 768 Pixel und einer Bildwiederholungsfrequenz von 85 Hz präsentiert.

Die Zahlen 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 und 9 dienten als Zielreize für die erste Aufgabe (S_1) sowie als Flankerreize (S_2) für die zweite Aufgabe. Die Zahlen stammen aus dem Schriftsatz *Arial* und wurden so gedehnt bzw. gestreckt, dass sie bei einem Auge-Bildschirm-Abstand von 110 cm einer Höhe von 2° Sehwinkel und einer Breite von etwa 1.36° Sehwinkel – je nach Zeichen bzw. Symbol – entsprachen. Die Stimuli wurden in weißer bzw. chromatischer Farbe vor einem schwarzen Bildschirmhintergrund präsentiert. S_1 erschien in der Mitte des Bildschirms, während S_2 aus zwei Exemplaren einer Zahl bestand, die jeweils links und rechts neben S_1 präsentiert wurden. S_1 und S_2 waren in einem Durchgang stets verschieden. Der Abstand der Flanker zur Bildschirmmitte betrug jeweils 1.18° Sehwinkel.

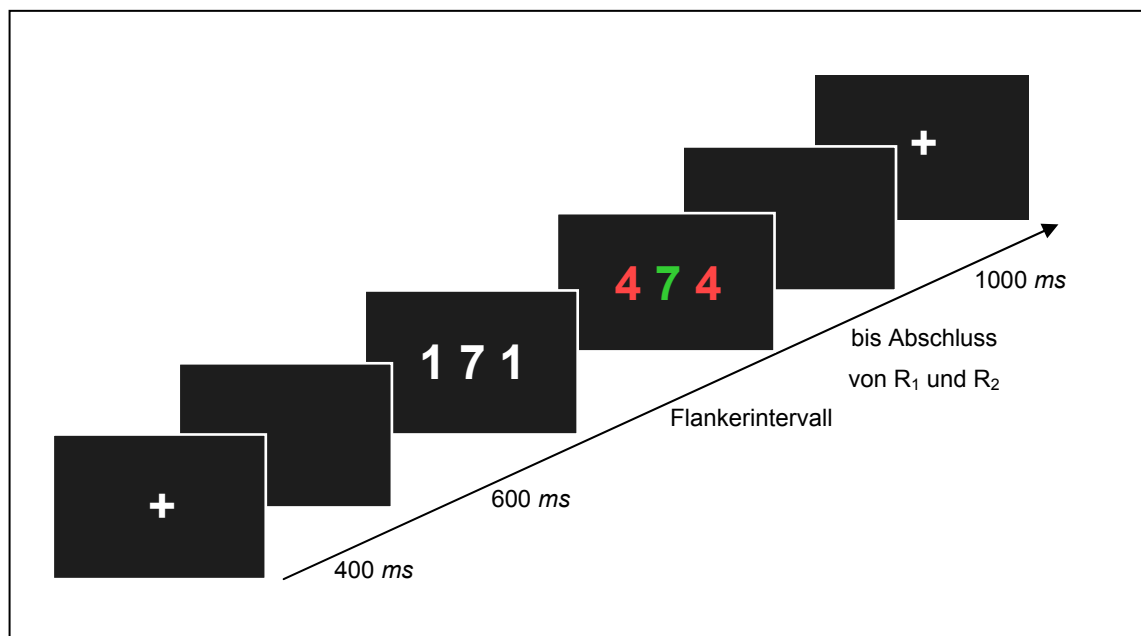


Abbildung III-1: Schematische Darstellung des Zeitverlaufs eines Durchgangs mit alternierenden Flankern.

Vorgehen

Die Versuchsteilnehmer nahmen zunächst in einem abgedunkelten Raum vor dem Bildschirm Platz und lasen die schriftliche Instruktion. Die Aufgabe bestand darin, die Parität (gerade, ungerade) der Zahlen zu beurteilen. Entsprechend mussten sie eine linke Taste für gerade und eine rechte Taste für ungerade Zahlen drücken. Jeder Durchgang startete mit dem Erscheinen eines Fixationskreuzes in der Mitte des Bildschirms für 400 ms. Danach blieb der Bildschirm für die Dauer von 600 ms leer, woraufhin Zielreiz und Flanker gleichzeitig in zunächst weißer Farbe präsentiert wurden. Nach einem variablen Zeitintervall von 50, 150

oder 350 ms änderte sich die Farbe der Reize zu rot oder grün, wobei die Farbe der Flanker stets unterschiedlich von der des Zielreizes war. In 50% der Durchgänge veränderten die Flanker mit der Einfärbung auch ihre Identität, d.h. die ursprünglich erscheinenden Flanker wurden nach dem entsprechenden Zeitintervall (Flankerintervall) durch neue Zahlen ersetzt (siehe Abbildung III-1). Hier gab es also Teil1-Flanker und Teil2-Flanker. Die Teil1-Flanker waren irrelevant, während die Teil2-Flanker beantwortet werden mussten. Ferner ergab der Austausch der Flanker somit eine Art SOA-Variation bezüglich der Teil2-Flanker. In der anderen Hälfte der Durchgänge blieben die Flankerreize auf dem Bildschirm während des gesamten Durchgangs konstant. Hier änderte sich nach dem Zeitintervall nur die Farbe (Farbintervall).

Die Flanker waren in der Hälfte der Durchgänge kongruent und in der anderen Hälfte inkongruent. In den Durchgängen mit alternierenden Flankern konnte sich auch die Kongruenz von den Teil1- zu den Teil2-Flankern verändern. Es gab hier somit vier mögliche Kongruenzkombinationen, die gleich häufig und über alle Durchgänge hinweg randomisiert vorkamen. Die Versuchsteilnehmer mussten immer zuerst den Zielreiz beantworten (R_1), indem sie eine von zwei Tasten auf einer PC-Maus mit der linken Hand drückten. Anschließend war es erforderlich, stets auch die Flanker zu beantworten, und zwar mittels eines Tastendrucks zweier Tasten einer zweiten PC-Maus mit der rechten Hand. Die Reize blieben auf dem Bildschirm stehen, bis beide Antworten erfolgt waren. Eine Sekunde nach der letzten Antwort erschien das Fixationskreuz, das den nächsten Durchgang einleitete. Die Fehler auf R_1 und R_2 wurden durch direkt auf den Fehler folgende auditive Signale angezeigt. Die abhängigen Messungen waren Reaktionszeiten und Fehlerraten beider Antworten.

Über diese Grundaufgabe hinaus erhielten die Versuchsteilnehmer spezifische Instruktionen, wie sie ihre Kapazität innerhalb eines Blocks verteilen sollten. In dem einen Blocktyp wurden sie instruiert, ihre Kapazität auf den Zielreiz zu konzentrieren und die Flanker zu ignorieren. Die Flankerverarbeitung sollte nicht vor der Auswahl von R_1 beginnen. In dem anderen Blocktyp wurden die Versuchsteilnehmer dagegen instruiert, ihre Kapazität bereits von Beginn an auch auf die Flanker zu verteilen.

Vier aufeinander folgende Blöcke mit einer bestimmten Instruktion wechselten sich mit vier Blöcken des anderen Typs ab. Insgesamt bearbeitete ein Versuchsteilnehmer 16 Blöcke mit jeweils 96 Durchgängen, welche sich auf zwei aufeinander folgende einstündige Sitzun-

gen verteilt. In der ersten Sitzung wurde zusätzlich ein entsprechender Trainingsblock vor jedem Durchlauf eines bestimmten Blocktyps bearbeitet. Die Reihenfolge der beiden Instruktionen war über die Versuchsteilnehmer ausbalanciert.

2.2 Ergebnisse

Im Folgenden geht es im Wesentlichen um die Ergebnisse aus der Reaktionszeit, da sich die Fehlerraten als weitaus weniger aussagekräftig für die vorliegenden Fragestellungen erwiesen haben. Die Fehlerraten fielen insgesamt niedrig aus und zeigten keinerlei Anzeichen für einen Geschwindigkeits-Genauigkeits-Abgleich.

Reaktionszeiten auf S_1

In einem ersten Schritt wurden die Reaktionszeiten aller richtigen Antworten anhand einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung ausgewertet. Bei den unabhängigen Variablen handelte es sich um die Faktoren *Instruktion* (seriell oder parallel) und *Flanker* (konstant oder alternierend). Da sich die anderen Faktoren zwischen den beiden Flankerbedingungen unterschieden, wurden sie für diese jeweils getrennt ausgewertet.

Die Gesamtanalyse ergab einen signifikanten Effekt von *Instruktion*, $F(1, 10) = 94.3$, $p < 0.001$. Die Teilnehmer antworteten 234 ms schneller unter der seriellen als unter der parallelen Instruktionsbedingung. Ferner erwies sich der Haupteffekt von *Flanker* als reliabel, $F(1, 10) = 61.5$, $p < 0.001$. Die Reaktionszeiten fielen 73 ms höher aus in den Durchgängen mit alternierenden als in solchen mit konstanten Flankern. Es gab auch eine signifikante Interaktion zwischen *Instruktion* und *Flanker*, $F(1, 10) = 9.20$, $p < 0.05$. Unter der parallelen Instruktion, wie ersichtlich in Abbildung III-2, war der Effekt alternierender Flanker größer als unter der seriellen.

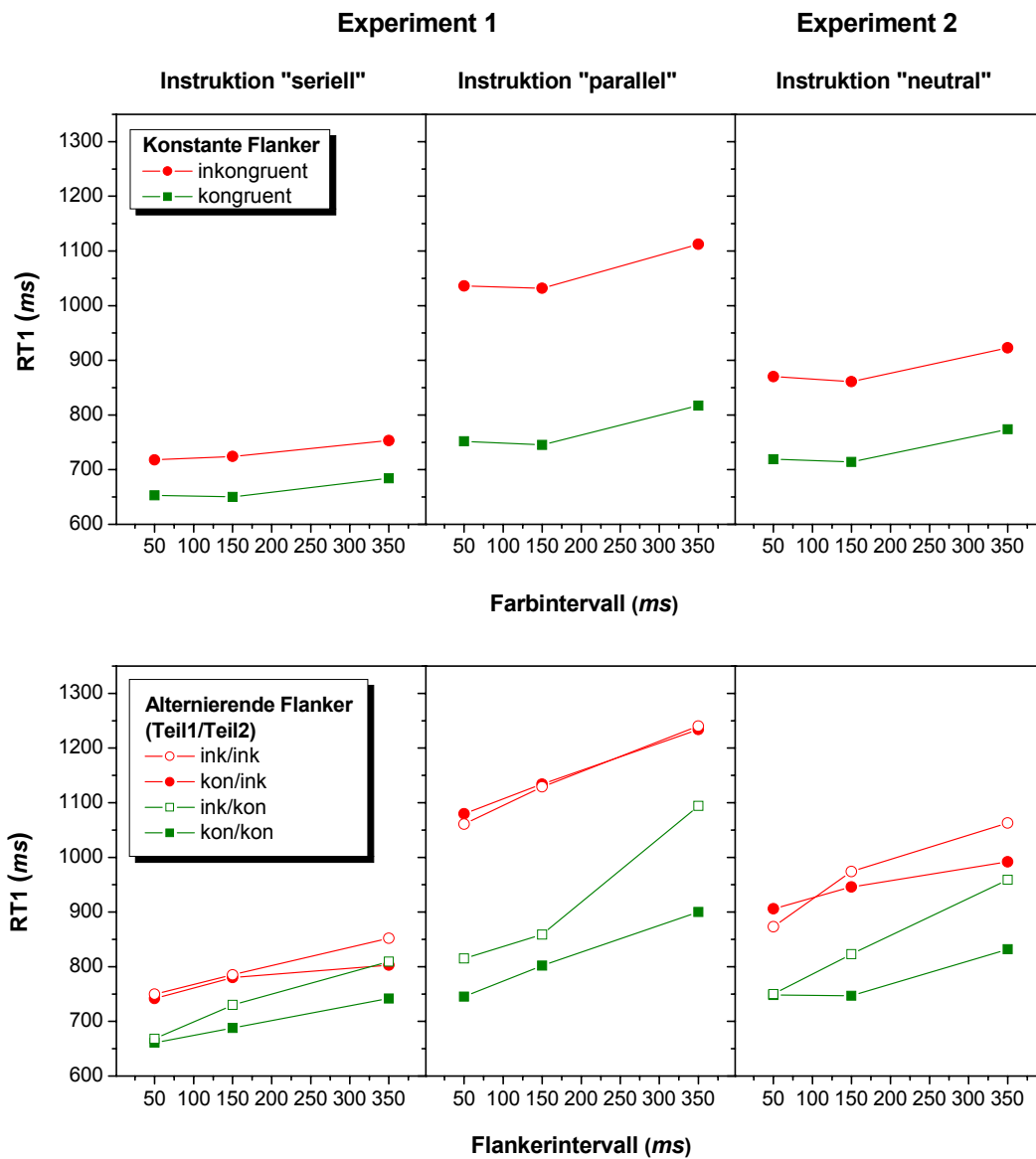


Abbildung III-2: In der Abbildung sind die RT_1 -Daten für Experiment 1 und Experiment 2 dargestellt. Der obere Abschnitt zeigt die Daten aus den Durchgängen mit konstanten Flankern. Im unteren Abschnitt sind die Daten aus den Durchgängen mit alternierenden Flankern in Abhängigkeit von der Kongruenz der Teil1- und der Teil2-Flanker abgebildet. „Kon“ und „ink“ beziehen sich dabei auf *kongruent* und *inkongruent*. Die Effekte der Teil2-Flanker werden ausgedrückt über die Unterschiede zwischen grüner (kongruent) und roter (inkongruent) Farbe, während die Effekte der Teil1-Flanker über einen Vergleich der Datenpunkte mit gefüllten (kongruent) bzw. ungefüllten (inkongruent) Symbolen im unteren Abschnitt identifiziert werden können.

Konstante Flanker. Die Daten aus den Durchgängen mit konstanten Flankern (siehe Abbildung III-2) wurden in eine dreifaktorielle ANOVA über die Faktoren *Instruktion* (seriell oder parallel), *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent) und *Farbintervall* (50, 150 oder 350 ms) eingegeben. Die Analyse ergab einen signifikanten Haupteffekt von *Instruktion*, $F(1, 11) = 107, p < 0.001$. Die Reaktionszeiten waren unter der seriellen Instruktionsbedingung kürzer als unter der parallelen (697 ms versus 916 ms). Auch der Faktor *Kongruenz* produzierte einen signifikanten Effekt von 179 ms, $F(1, 11) = 135, p < 0.001$. Darüber hinaus gab es eine signifikante Interaktion zwischen *Instruktion* und *Kongruenz*, $F(1, 11) = 94.0, p < 0.001$. Der Kongruenzeffekt fiel unter der seriellen Instruktion kleiner aus als unter der parallelen (70 ms versus 289 ms). Weitere Tests ergaben, dass die Instruktion in der inkongruenten Bedingung einen größeren Effekt hatte, wenngleich dieser für die kongruente Bedingung ebenfalls signifikant wurde, $t(11) = 7.97, p < 0.001$. Schließlich erwies sich der Effekt von *Farbintervall* als reliabel, $F(2, 22) = 23.8, p < 0.001$. Die Latenzen waren beim längsten Farbintervall – verglichen mit den beiden anderen Intervallen (790, 788 und 842 ms) – signifikant erhöht.

Alternierende Flanker. Die Daten aus den Durchgängen mit alternierenden Flankern wurden mit einer vierfaktoriellen ANOVA ausgewertet. Berücksichtigt wurden die Faktoren *Instruktion* (seriell oder parallel), *Teil1-Kongruenz* (kongruent oder inkongruent), *Teil2-Kongruenz* (kongruent oder inkongruent) und *Flankerintervall* (50, 150 oder 350 ms). Die Analyse ergab einen signifikanten Haupteffekt von *Instruktion*, $F(1, 11) = 75.8, p < 0.001$. Die Reaktionszeiten unter der seriellen Bedingung waren kürzer als die unter der parallelen (751 ms versus 1008 ms). Ferner gab es einen Haupteffekt der *Teil1-Kongruenz* (40 ms), $F(1, 11) = 16.0, p < 0.01$, sowie der *Teil2-Kongruenz* (173 ms), $F(1, 11) = 64.1, p < 0.001$. Es gab allerdings auch eine signifikante zweifache Interaktion zwischen *Teil1-* und *Teil2-Kongruenz*, $F(1, 11) = 12.8, p < 0.01$. Wie aus Abbildung III-2 ersichtlich, produzierte die *Teil1-Kongruenz* nur dann einen signifikanten Effekt, wenn die Teil2-Flanker kongruent waren. Die *Teil2-Kongruenz* interagierte darüber hinaus auch reliabel mit der *Instruktion*, $F(1, 11) = 39.183, p < 0.001$. Der Kongruenzeffekt war kleiner unter der seriellen als unter der parallelen Instruktion (69 ms versus 277 ms). Ein weiterer Test ergab, dass die Instruktion auch einen signifikanten Effekt in der kongruenten Bedingung aufwies, $t(11) = 6.98, p < 0.001$.

Auch *Flankerintervall* zeigte einen signifikanten Haupteffekt, $F(2, 22) = 37.7$, $p < 0.001$. Die Reaktionszeiten für die drei Intervalle waren 815, 863 und 959 ms. RT_1 erhöhte sich also umso mehr, je später die Flanker ihre Identität änderten. Darüber hinaus interagierte *Flankerintervall* signifikant mit der *Teil1-Kongruenz*, $F(2, 22) = 6.92$, $p < 0.01$, und mit der *Teil2-Kongruenz*, $F(2, 22) = 8.38$, $p < 0.01$. Die Teil1-Kongruenzeffekte fielen umso höher aus, je später die Flanker ausgetauscht wurden (17, 25 und 79 ms für die drei Flankerintervalle). Die Effekte bei den Teil2-Flankern ergaben 186, 187 und 146 ms für die entsprechende Intervalldauer von 50, 150 und 350 ms. *Flankerintervall* interagierte auch mit *Instruktion*, $F(2, 22) = 17.3$, $p < 0.001$. Unter der seriellen Instruktion fiel der Anstieg der Reaktionszeiten bei einem Austausch der Flanker nach 350 ms kleiner aus als unter der parallelen Instruktion (96 ms versus 192 ms).

Schließlich ergab sich eine signifikante vierfache Interaktion zwischen allen Faktoren, $F(2, 22) = 4.25$, $p < 0.05$. Diese Interaktion zeigt (siehe auch Abbildung III-2), dass die zweifache Interaktion zwischen den beiden Kongruenzfaktoren im Falle paralleler Instruktion stärker ausgeprägt war – und dies insbesondere für das längste Flankerintervall.

Reaktionszeiten auf S_2

Die Reaktionszeiten der richtigen Antworten (bei R_1 und R_2) in den Durchgängen mit konstanten und alternierenden Flankern (siehe Abbildung III-3) wurden in zwei getrennte ANOVAs mit Messwiederholung eingegeben.

Üblicherweise wird RT_2 ab der Präsentation von S_2 gemessen. Im vorliegenden Experiment allerdings lag der Fall anders: Die Flanker erschienen zwar immer gleichzeitig mit S_1 , aber nach Ablauf eines bestimmten Intervalls änderte sich die Farbe und/oder Identität der Flanker. Daher wurden in der Bedingung mit konstanten Flankern, in der sich lediglich die Farbe der Reize änderte, die Reaktionszeiten ab dem Zeitpunkt der Reizpräsentation gemessen. In der Bedingung mit alternierenden Flankern hingegen erschienen die aufgabenrelevanten Flanker erst mit einer gewissen Verzögerung. In diesem Fall wurden die Reaktionszeiten erst ab der Präsentation der Teil2-Flanker gemessen. Da die Teil1-Flanker auch RT_1 beeinflussten, konnte ein Effekt auf RT_2 nicht ausgeschlossen werden. Die Analyse enthielt somit auch die Kongruenz der Teil1-Flanker als Faktor. In Abbildung III-3 sind alle Daten so dargestellt, wie sie ab Beginn der Stimuluspräsentation gemessen wurden.

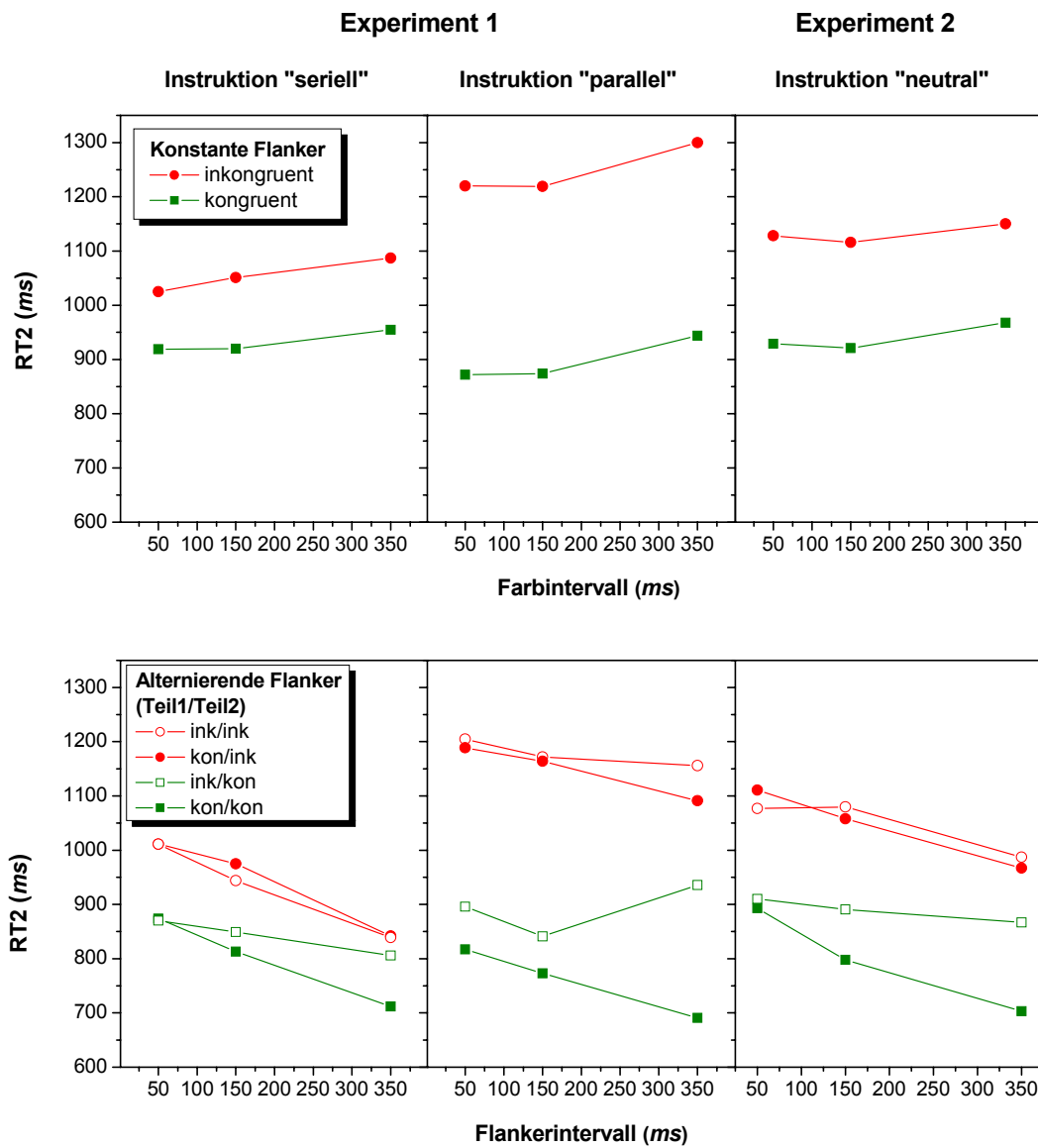


Abbildung III-3: Die Abbildung zeigt die RT₂-Daten für Experiment 1 und Experiment 2. „Kon“ und „ink“ bezeichnen *kongruent* und *inkongruent*. Für die Durchgänge mit alternierenden Flankern ist RT₂ ab Präsentation der Teil2-Flanker gemessen. Im unteren Abschnitt können die Effekte der Teil1-Flanker über einen Vergleich der entsprechenden Datenpunkte mit gefüllten bzw. ungefüllten Symbolen identifiziert werden; die Effekte der Teil2-Flanker sind als Unterschiede zwischen grüner (kongruent) und roter (inkongruent) Farbe dargestellt.

Konstante Flanker. Die Reaktionszeiten der richtigen Antworten (für R_1 und R_2) in den Durchgängen mit konstanten Flankern wurden in eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung eingegeben; die Faktoren waren Instruktion (seriell oder parallel), *Kongruenz* (inkongruent oder kongruent) und *Farbintervall* (50, 150 oder 350 ms). Die Analyse ergab signifikante Haupteffekte von *Instruktion* (79 ms), $F(1, 11) = 15.9$, $p < 0.01$, und von *Kongruenz* (237 ms), $F(1, 11) = 174$, $p < 0.001$. Es zeigte sich jedoch auch eine signifikante Interaktion zwischen diesen beiden Faktoren, $F(1, 11) = 110$, $p < 0.001$. Die Kongruenzeffekte betrugen 123 ms und 350 ms für die serielle bzw. die parallele Instruktionsbedingung. Im Gegensatz zu RT_1 war der Effekt der Instruktion signifikant in der inkongruenten Bedingung, $t(11) = 7.62$, $p < 0.001$, nicht jedoch in der kongruenten, $t(11) = 0.102$, $p = 0.102$. Schließlich produzierte auch *Farbintervall* einen signifikanten Effekt, $F(2, 22) = 22.8$, $p < 0.001$. Die Reaktionszeiten stiegen bei einem *Farbintervall* von 350 ms im Vergleich zu dem von 50 ms um 62 ms an (siehe Abbildung III-3).

Alternierende Flanker. Die Ergebnisse der richtigen Antworten (R_1 und R_2) wurden in eine vierfaktorielle ANOVA mit Messwiederholung über die Faktoren *Instruktion* (seriell oder parallel), *Teil1-Kongruenz* (inkongruent oder kongruent), *Teil2-Kongruenz* (inkongruent oder kongruent) und *Flankerintervall* (50, 150 oder 350 ms) eingegeben. Die Analyse ergab einen signifikanten Haupteffekt von *Instruktion*, $F(1, 11) = 29.0$, $p < 0.001$. RT_2 war in der Bedingung mit paralleler im Vergleich zu serieller Instruktion um 115 ms erhöht. Auch die Haupteffekte von *Teil1-Kongruenz*, $F(1, 11) = 11.7$, $p < 0.01$, und von *Teil2-Kongruenz*, $F(1, 11) = 119$, $p < 0.001$, wurden signifikant. Außerdem erwies sich die Interaktion zwischen den beiden Kongruenzfaktoren als signifikant, $F(1, 11) = 38.8$, $p < 0.001$. Ähnlich wie bei RT_1 zeigt dies, dass die *Teil1-Kongruenz* nur dann einen signifikanten Effekt (86 ms) produzierte, wenn die Teil2-Flanker kongruent waren. Bei inkongruenten Teil2-Flankern zeigte *Teil1-Kongruenz* einen kleinen, umgedrehten Effekt von 20 ms (siehe Abbildung III-3). *Teil1-Kongruenz* interagierte auch mit der Instruktion, $F(1, 11) = 11.7$, $p < 0.01$, ebenso wie *Teil2-Kongruenz*, $F(1, 11) = 35.6$, $p < 0.001$. Dabei war der Kongruenzeffekt in der Bedingung mit serieller Instruktion jeweils kleiner als in der Bedingung mit paralleler (Teil1-Kongruenz: 15 ms und 50 ms; Teil2-Kongruenz: 116 ms und 337 ms). Offensichtlich hatte der Effekt der Instruktion einen größeren Einfluss auf *Teil2-Kongruenz* als auf *Teil1-Kongruenz*. Dies wird bestätigt durch eine signifikante dreifache Interaktion zwischen *Instruktion* und den beiden Kongruenzfaktoren, $F(1, 11) = 9.69$, $p < 0.01$. Beim Betrachten der Interaktion von Teil2-

Kongruenz und Instruktion sollte beachtet werden, dass die Instruktion einen signifikanten Effekt in der inkongruenten Bedingung, $t(11) = 6.94$, $p < 0.001$, nicht aber in der kongruenten Bedingung aufwies, $t(11) = 0.210$, $p = 0.836$.

Darüber hinaus gab es einen signifikanten Haupteffekt von *Flankerintervall*, $F(2, 22) = 28.6$, $p < 0.001$, was einen PRP-Effekt anzeigte. RT_2 war 984, 941 oder 884 ms für die Intervalle von 50, 150 bzw. 350 ms. *Flankerintervall* zeigte zudem signifikante zweifache Interaktionen mit den Faktoren *Instruktion*, $F(2, 22) = 11.2$, $p < 0.001$, *Teil1-Kongruenz*, $F(2, 22) = 6.67$, $p < 0.01$, und *Teil2-Kongruenz*, $F(2, 22) = 5.96$, $p < 0.01$. Bei der Interaktion mit *Instruktion* war der PRP-Effekt in der parallelen Bedingung kleiner als in der seriellen (insgesamt 58 ms versus 141 ms). Bezüglich der Interaktionen mit *Kongruenz* ist zu sagen, dass sich der Einfluss der *Teil1-Kongruenz* erhöhte, je später die Teil2-Flanker erschienen (15, 17 und 68 ms), während der Effekt der *Teil2-Kongruenz* abnahm (240, 245 und 196 ms). Dieser Unterschied führte zu einer signifikanten dreifachen Interaktion zwischen *Flankerintervall* und den beiden Kongruenz-Faktoren, $F(2, 22) = 12.4$, $p < 0.001$.

Schließlich wurde auch hier die vierfache Interaktion zwischen allen Faktoren signifikant, $F(2, 22) = 5.750$, $p < 0.01$. Wie ersichtlich in Abbildung III-3, kam diese Interaktion aus denselben Gründen zustande wie die analoge Interaktion bei RT_1 .

Fehlerraten

Die mittlere Fehlerrate für R_1 betrug 3.37% unter der seriellen und 4.87% unter der parallelen Instruktion. Für R_2 war die Fehlerrate – für die in R_1 richtigen Durchgänge – durchschnittlich 4.91% in der seriellen und 3.70% in der parallelen Instruktionsbedingung.

2.3 Diskussion

Im vorliegenden Experiment sollten der Grad der Parallelverarbeitung zwischen zwei Aufgaben innerhalb eines Experiments variiert und anhand der Ergebnisse mehrere Vorhersagen des CCS sowie des CB Modells überprüft werden. Die Versuchsteilnehmer wurden in jeweils mehreren Blöcken von Durchgängen per Instruktion dazu angehalten, entweder die Kapazität zwischen zwei ähnlichen Aufgaben zu teilen oder aber die Aufgaben seriell zu bearbeiten. Zunächst einmal wurde untersucht, ob die Versuchsteilnehmer prinzipiell in der Lage waren, diese Art der Instruktion zu befolgen. Die Ergebnisse bestätigten dies: Die Kongruenzeffekte fielen in der Bedingung mit serieller Instruktion wesentlich kleiner aus als in

der mit paralleler. Wie bereits in Studie 1 gezeigt, beruhen (hohe) FKEs sowie deren Variation in Doppelaufgaben der hier verwendeten Art im Wesentlichen auf einer strategischen Mitverarbeitung der Flankerreize. Dass Personen in vergleichbaren Aufgaben prinzipiell zu serieller Verarbeitung mit niedrigen FKEs in der Lage sind, konnte bereits in Experiment 4 der Studie 1 demonstriert werden.

Das Auftreten von hohen FKEs zwischen den Aufgaben bzw. deren weitaus stärkere Ausprägung in der parallelen Bedingung kann bereits als Unterstützung der Kapazitätsteilungsannahme gelten. Nach den Vorstellungen des CB Modells wäre mit solchen Effekten nicht zu rechnen, insbesondere nicht mit einer Variation des FKE zwischen den beiden Instruktionsbedingungen. Die Daten sprechen eindeutig dafür, dass die Flanker in der Bedingung mit serieller Instruktion tatsächlich weniger stark parallel mit S_1 verarbeitet wurden als in der Bedingung mit paralleler. Ferner war die Aufgabenstruktur in beiden Instruktionsbedingungen identisch, d.h. jeglicher Unterschied in den Ergebnissen zwischen den beiden Bedingungen kann auf den Einfluss der Instruktion und somit einer top-down gesteuerten Anpassung zurückgeführt werden.

Da von den Versuchsteilnehmern allem Anschein nach der Grad der Kapazitätsteilung zwischen den Bedingungen variiert wurde, konnten weitere Vorhersagen des CCS Modells überprüft werden. Das CCS Modell sagt als eine Kernannahme vorher, verstärkte Kapazitätsteilung zwischen den Aufgaben führe zwar zu einer Erhöhung von RT_1 , nicht aber von RT_2 . Dies wurde auch tatsächlich beobachtet. Bei kongruenter Reizkonstellation war RT_1 in der parallelen Bedingung im Vergleich zur seriellen stark erhöht, wobei sich RT_2 nicht unterschied. Dieser Zusammenhang galt jedoch nur für die *kongruenten* Reize. In den *inkongruenten* Durchgängen stieg auch RT_2 mit zunehmender Kapazitätsteilung an. Im CCS Modell sind allerdings keine Vorhersagen für das Auftreten von Kongruenzeffekten enthalten, da sich das Modell sozusagen auf den Standardfall von Doppelaufgaben, nämlich Aufgabenwechsel, bezieht. In der Zwischendiskussion der vorliegenden Studie wird eine Erweiterung des Modells auf Situationen mit Aufgabenwiederholung bzw. Aufgaben mit inhaltlicher Überlappung vorgeschlagen.

Um die Dynamik der Teilung in Erfahrung bringen zu können, wurde im vorliegenden Experiment, im Unterschied zu üblichen PRP-Experimenten, eine spezielle, abgewandelte Form der SOA-Variation verwendet. Die Flanker (S_2) wurden immer gleichzeitig mit dem

zentralen Zielreiz (S_1) präsentiert. Dies sollte es den Versuchsteilnehmern ermöglichen, im Fall paralleler Instruktion die Kapazität zwischen den Aufgaben gleich von Beginn eines Durchgangs an zu teilen. Nach einem variablen Zeitintervall änderten die Reize dann in jedem Durchgang ihre Farbe. In der einen Hälfte der Durchgänge, d.h. in den Durchgängen mit alternierenden Flankern, änderten die Flanker gleichzeitig mit der Farbänderung auch ihre Identität (Flankerintervall). In diesem Fall mussten die Versuchsteilnehmer die zuerst erscheinenden Flanker, die Teil1-Flanker, ignorieren und auf die Teil2-Flanker antworten. In der anderen Hälfte der Durchgänge, d.h. in den Durchgängen mit konstanten Flankern, änderte sich lediglich die Farbe der Reize (Farbintervall). Diese Prozedur entsprach sozusagen einer Mischung der Methoden aus Experiment 3 und Experiment 4 der Studie 1. Dort, in Experiment 3, waren die Reize stets gleichzeitig präsentiert worden, wobei sich nach einem bestimmten Intervall lediglich die Farbe der Reize änderte. Dabei hatte sich deutlich herausgestellt, dass Personen unter diesen Bedingungen die Reize parallel verarbeiteten. In Experiment 4 der Studie 1, in denen sich die Flanker in allen Durchgängen geändert hatten, wurde hingegen eine serielle Verarbeitungsstrategie bevorzugt. In der vorliegenden Studie sollte nun durch die Darbietung sich ändernder Flanker in 50% der Durchgänge eine Aufgabenstruktur geschaffen werden, die als solche weder stark zu serieller noch stark zu paralleler Verarbeitung anregt. Darüber hinaus wurden aufgrund dieser Prozedur Hinweise über zeitliche Abläufe der Kapazitätsteilung erwartet.

Unter dieser Prämisse waren mehrere Möglichkeiten der Verarbeitung denkbar: Die Versuchsteilnehmer könnten die Flanker bis zu deren Buntfärbung hemmen und erst danach mit Parallelverarbeitung beginnen oder die Teil1-Flanker gleich mitverarbeiten. Beginnt die Parallelverarbeitung frühestens zum Zeitpunkt der Farbänderung, so sollten die Teil1-Flanker keinen wesentlichen Einfluss auf die Verarbeitung haben und insbesondere keinen Kongruenzeffekt erzeugen. Wie entsprechende Kongruenzeffekte und Kosten im vorliegenden Experiment zeigten, wurden die Teil1-Flanker jedoch von Beginn an mitverarbeitet. Das heißt, die Versuchsteilnehmer begannen mit der Flankerverarbeitung bereits zu Beginn eines Durchgangs und nicht erst zum Zeitpunkt der Farb- bzw. Flankeränderung. Der Kongruenzeffekt der Teil1-Flanker auf RT_1 betrug 30 ms unter der seriellen Instruktion und 50 ms unter der parallelen. Diese Effekte waren deutlich kleiner als die durchschnittlichen Effekte der Teil2-Flanker (69 ms , 283 ms), was sicherlich der deutlich kürzeren Präsentations-

dauer zuzuschreiben ist. Die Kongruenzeffekte der Teil1-Flanker erhöhten sich mit zunehmender Dauer des Flankerintervalls.

Darüber hinaus beeinflussten die Teil1-Flanker in ähnlicher Weise auch RT_2 . Der Kongruenzeffekt der Teil1-Flanker auf RT_2 bedeutet, dass die Versuchsteilnehmer die Teil2-Flanker nicht von einem neutralen Zustand ausgehend verarbeiteten. Die Aktivierung, die durch die Teil1-Flanker veranlasst wurde, beeinflusste gleichzeitig auch die Antwortauswahlstufe der zweiten Aufgabe. Darüber hinaus hatte die Kongruenz der Teil1-Flanker unter der Bedingung paralleler Instruktion einen signifikant höheren Effekt auf RT_2 als unter der Bedingung serieller.

Ferner erhöhten sich mit zunehmender Dauer des Zeitintervalls zwischen der Darbietung der Teil1- und der Teil2-Flanker (Flankerintervall) die Kosten der Teil1-Flanker-Mitverarbeitung allgemein – auch in der kongruenten Bedingung. Auch der Zeitpunkt der Farbänderung in den Durchgängen mit konstanten Flankern (Farbintervall) produzierte einen kleinen Effekt. Letzterer lässt vermuten, dass die Versuchsteilnehmer die Reize auf die Farbänderung hin überwachten. Blieben die Flanker unverändert, wurde die Verarbeitung in der üblichen Weise fortgesetzt. Änderte sich hingegen die Identität der Flanker, musste die Verarbeitung der Teil1-Flanker gestoppt und die Teil2-Flanker enkodiert sowie verarbeitet werden. Je später dies geschah, desto größer fielen die Kosten für den Überwachungsprozess und die neue Verarbeitung aus.

Wenn sowohl Teil1- als auch Teil2-Flanker dieselbe Antwort aktivierten, d.h. wenn die Kongruenz nicht wechselte, entsprach die Leistung in den Durchgängen mit alternierenden Flankern in etwa der Bedingung mit konstanten. Es wurde lediglich etwas zusätzliche Zeit benötigt, die sich mit einem Anstieg der Dauer des Flankerintervalls erhöhte. Möglicherweise verbrauchten der Wechsel der Flanker bzw. die damit einhergehenden Prozesse umso mehr Kapazität, je später sie einsetzten. Die Leistung in der Bedingung mit wechselnden Flankern unterschied sich jedoch von der mit konstanten Flankern, wenn die Teil1- und die Teil2-Flanker unterschiedliche Antworten aktivierten. Hier ergab sich ein bestimmtes Interaktionsmuster, d.h. die Kongruenz der Teil1-Flanker wirkte sich lediglich im Fall kongruenter Teil2-Flanker deutlich aus. Obwohl diese Interaktion interessant ist, steht sie nicht im Mittelpunkt der vorliegenden Studie und sollte in weiterführender Forschung näher untersucht werden. Abgesehen von den Kongruenzeffekten erhöhte die Strategie der Teil1-Flankerverarbeitung zudem die Gesamtreaktionszeit ohne erkennbare Vorteile, zumindest in den Durchgängen mit

alternierenden Flankern. Somit kann die Verarbeitung der irrelevanten Teil1-Flanker als eine Verschwendung von Kapazität betrachtet werden.

3 Experiment 2

Die Ergebnisse von Experiment 1 zeigten deutlich, dass Personen in der Lage sind, die Aufgaben – in Abhängigkeit von entsprechenden Instruktionen – in einem entweder eher seriellen oder eher parallelen Modus zu verarbeiten. Dies führte zu der Frage, welche Strategie *ohne* eine spezifische Instruktion angewandt wird. Im vorhergehenden Experiment wurden aufgrund der Instruktionen, zumindest im Fall paralleler Instruktion, wohl vergleichsweise „extreme“ Strategien der Kapazitätsteilung übernommen. Doch welche Verarbeitungsstrategie wenden die Versuchsteilnehmer an, wenn sie keine spezifische Instruktion erhalten? Möglicherweise entspricht die resultierende Verarbeitung dann einem Punkt auf dem gedachten Kontinuum zwischen der „seriellen“ und der „parallelen“ Verarbeitung aus Experiment 1. Es ist aber auch denkbar, dass eine der beiden in Experiment 1 beobachteten Strategien gewählt wird.

3.1 Methode

Versuchsteilnehmer

Die Teilnehmer dieses Experiments waren 12 Studenten (7 männlich, 5 weiblich; mittleres Alter 24 Jahre).

Vorgehen

Das Reizmaterial und der Ablauf waren identisch mit Experiment 1. Der Unterschied im vorliegenden Experiment bestand darin, dass keine spezifische Instruktion bezüglich der Verteilung der Aufmerksamkeit gegeben wurde. Die Teilnehmer wurden lediglich über die Aufgaben und die Antwortreihenfolge informiert. Das Experiment wurde in einer einstündigen Sitzung durchgeführt und bestand aus 8 Blöcken mit jeweils 96 Durchgängen. Die relevanten Faktoren waren *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent), *Flanker* (konstant oder alternierend) und *Farbintervall* bzw. *Flankerintervall* (50, 150 oder 350 ms)

3.2 Ergebnisse

Reaktionszeiten auf S_1

Zunächst wurde, wie in Experiment 1, eine Gesamtanalyse der Daten vorgenommen, indem alle Daten in eine einfaktorielle ANOVA mit Messwiederholung über den Faktor *Flanker* (konstant oder alternierend) eingegeben wurden. *Flanker* ergab einen signifikanten Haupteffekt, $F(1, 11) = 64.5, p < 0.001$. Die Reaktionszeiten betragen 884 ms für die alternierenden und 810 ms für die konstanten Flanker. Daraufhin wurden die Daten für die beiden Flankerbedingungen auch getrennt in ANOVAS mit Messwiederholung ausgewertet.

Konstante Flanker. Die Daten für die Durchgänge mit konstanten Flankern (siehe Abbildung III-2) wurden anhand einer zweifaktoriellen ANOVA über die Faktoren *Kongruenz* (kongruent oder inkongruent) und *Farbintervall* (50, 150 oder 350 ms) analysiert. Es ergab sich ein signifikanter Haupteffekt (149 ms) von *Kongruenz*, $F(1, 11) = 29.5, p < 0.001$. Außerdem erwies sich der Effekt von *Farbintervall* als reliabel, $F(2, 22) = 31.4, p < 0.001$.

Alternierende Flanker. Die Daten aus den Durchgängen mit alternierenden Flankern wurden in eine dreifaktorielle ANOVA über die Faktoren *Teil1-Kongruenz* (kongruent oder inkongruent), *Teil2-Kongruenz* (kongruent oder inkongruent) und *Flankerintervall* (50, 150 oder 350 ms) eingegeben. Signifikant wurden die Haupteffekte von *Teil1-Kongruenz*, $F(1, 11) = 24.2, p < 0.001$ und *Teil2-Kongruenz*, $F(1, 11) = 27.4, p < 0.001$. Die Kongruenz der Teil1-Flanker führte zu einem Effekt von 45 ms , während der Effekt der Teil2-Flanker eine durchschnittliche Höhe von 149 ms erreichte. Die Interaktion zwischen Teil1- und Teil2-Kongruenz wurde marginal signifikant, $F(1, 11) = 4.71, p < 0.053$, und zeigte ein ähnliches Muster wie in Experiment 1 (siehe Abbildung III-2).

Mit zunehmender Dauer des Flankerintervalls erhöhten sich die Reaktionszeiten signifikant, $F(2, 22) = 46.8, p < 0.001$. Dieser Effekt interagierte zudem signifikant mit *Teil1-Kongruenz*, $F(2, 22) = 10.1, p < 0.001$. Wie in Abbildung III-2 ersichtlich, zeigte sich ein kleiner negativer Kongruenzeffekt (15 ms) der Teil1-Flanker bei dem Flankerintervall von 50 ms . Wurden die Teil1-Flanker jedoch länger präsentiert, produzierten sie positive Kongruenzeffekte von 52 ms bzw. 99 ms für die Flankerintervalle von 150 ms bzw. 350 ms .

Reaktionszeiten auf S_2

Die Reaktionszeiten der richtigen Antworten (bei R_1 und R_2) in den Durchgängen mit konstanten und alternierenden Flankern (siehe Abbildung III-3) wurden in zwei getrennten ANOVAs mit Messwiederholung ausgewertet.

Konstante Flanker. Die Analyse über die Durchgänge mit konstanten Flankern ergab einen signifikanten Kongruenzeffekt von 192 ms, $F(1, 11) = 37.8$, $p < 0.001$, und einen reliablen Effekt von *Farbintervall*, $F(2, 22) = 3.65$, $p < 0.05$. Die Reaktionszeiten erhöhten sich zwischen den Farbintervallen von 150 ms und 350 ms.

Alternierende Flanker. Für die Analyse der Durchgänge mit alternierenden Flankern wurde RT_2 ab Präsentation der Teil2-Flanker gemessen. Die Auswertung ergab signifikante Haupteffekte von *Teil1-Kongruenz* (47 ms), $F(1, 11) = 59.9$, $p < 0.001$, und von *Teil2-Kongruenz* (203 ms), $F(1, 11) = 54.3$, $p < 0.001$. Darüber hinaus ergab sich eine signifikante Interaktion zwischen den beiden Kongruenz-Faktoren, $F(1, 11) = 15.2$, $p < 0.01$. Dies zeigt, wie in Experiment 1, dass die Bedingung mit inkongruenten Teil1-Flankern und kongruenten Teil2-Flankern besonders schwierig war (siehe Abbildung III-3). Darüber hinaus produzierte *Flankerintervall* einen reliablen Einfluss, $F(2, 22) = 29.6$, $p < 0.001$. Die Differenz der Reaktionszeiten zwischen dem längsten und dem kürzesten Flankerintervall betrug 117 ms. *Flankerintervall* interagierte darüber hinaus mit *Teil1-Kongruenz*, $F(2, 22) = 9.35$, $p < 0.01$. Es kam außerdem zu einer marginal signifikanten dreifachen Interaktion zwischen den beiden Kongruenz-Faktoren und *Flankerintervall*, $F(2, 22) = 2.72$, $p = 0.088$. Das hier gewonnene Datenmuster war also dem in Experiment 1 ähnlich – wie auch in Abbildung III-3 ersichtlich. Die Interaktion zwischen den beiden Kongruenz-Faktoren war am stärksten ausgeprägt bei dem längsten Flankerintervall.

Fehlerraten

Die mittlere Fehlerrate für R_1 betrug 4.62%. Für R_2 war die Fehlerrate – für die in R_1 richtigen Durchgänge – durchschnittlich 4.94%.

Vergleich mit Experiment 1

Um die Leistung in den zwei Experimenten der vorliegenden Studie zu vergleichen, wurden die Mittelwerte aus beiden in Abbildung III-4 dargestellt, wobei die Art der Instruktion in Experiment 2 als “neutral” bezeichnet wird. Darüber hinaus wurden die Daten auch

gemeinsam analysiert. Die Hauptergebnisse aus den Berechnungen sind in Abbildung III-4 symbolisch enthalten.

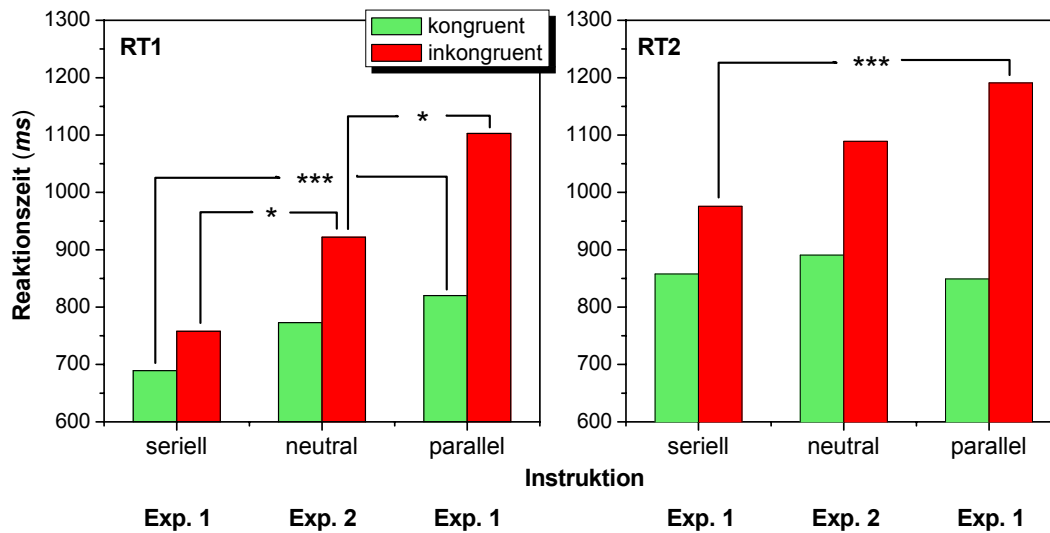


Abbildung III-4: Hier sind die hauptsächlichen Ergebnisse für RT_1 und RT_2 aus Experiment 1 (seriell, parallel) und Experiment 2 (neutral) im Vergleich dargestellt. * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$. Die Datenpunkte enthalten alle Durchgänge (konstante und alternierende Flanker). Die Werte für RT_2 sind hier so abgebildet wie ab der Präsentation von S_1 gemessen.

Die Daten aus Abbildung III-4 zeigen, dass die durchschnittliche Leistung bei der neutralen Instruktion zwischen der jeweiligen Leistung der beiden Instruktionsbedingungen aus Experiment 1 lag. Anhand des Mittelwerts kann jedoch nicht entschieden werden, ob dieses Ergebnis tatsächlich die Konsequenz einer – bezogen auf die Bedingungen aus Experiment 1 – *mittleren* Verarbeitungsstrategie darstellt oder aber auf einer Mischung von mehr oder weniger extremen Strategien beruht, d.h. dass manche Teilnehmer eine serielle Verarbeitungsstrategie übernahmen, während andere eine parallele bevorzugten. Die Berechnung eines Mittelwerts aus deren Daten würde dann eine mittlere Gesamtleistung ergeben. Um zu überprüfen, ob dies der Fall war, wurden auch die individuellen Ergebnisse betrachtet.

Tabelle III-1: Die Tabelle zeigt die individuellen Indizes der Kapazitätsteilung für die einzelnen Versuchsteilnehmer (VT) in Experiment 1 und Experiment 2. Siehe den Text für Einzelheiten hierzu.

Experiment 1			Experiment 2	
VT-Nr.	Instruktion		VT-Nr.	Instruktion
	seriell	parallel		neutral
1	.003	.286	1	.042
2	.049	.251	2	.049
3	.067	.248	3	.086
4	.068	.179	4	.099
5	.070	.272	5	.125
6	.071	.311	6	.132
7	.074	.314	7	.140
8	.106	.292	8	.230
9	.107	.278	9	.231
10	.118	.415	10	.258
11	.129	.292	11	.271
12	.144	.350	12	.319

Um den individuellen Grad der Kapazitätsteilung abschätzen zu können, sollte für jeden Teilnehmer unter den verschiedenen Instruktionsbedingungen ein Vergleichswert berechnet werden. Doch welcher Wert reflektiert den Grad individueller Kapazitätsteilung? Wie in der vorliegenden Arbeit wiederholt dargelegt, ist dies der jeweilige FKE der Flanker auf RT_1 . Allerdings unterschieden sich die einzelnen Versuchsteilnehmer nicht nur im Hinblick auf den FKE, sondern auch in ihren Reaktionszeiten ganz beträchtlich. Aus diesem Grund wurde ein standardisierter Index berechnet, d.h. der FKE eines jeden Versuchsteilnehmers wurde durch die entsprechende RT_1 dividiert, wobei aber lediglich die Bedingungen mit konstanten Flankern einbezogen wurden. Diese Prozedur sollte individuelle Unterschiede in der Verarbeitungsgeschwindigkeit, die nicht auf den Grad der Kapazitätsteilung zurückgeführt werden können, ausgleichen.

Die Kapazitätsteilungs-Indizes einzelner Versuchsteilnehmer für die verschiedenen Bedingungen sind in Tabelle III-1 dargestellt. Ersichtlich wird daraus, dass sich die Indizes zwischen den einzelnen Personen deutlich unterscheiden. Für alle Versuchsteilnehmer war jedoch der Grad der Kapazitätsteilung unter der parallelen Instruktion in Experiment 1 im

Vergleich zur seriellen Instruktion erheblich erhöht. Auch die Indizes der Versuchsteilnehmer von Experiment 2 variierten beträchtlich. Nichtsdestotrotz war der Variationsbereich hier kleiner als der der Werte aus Experiment 1. Während die Varianz der Indizes in Experiment 1 0.0135 betrug ($M = 0.187$), war diese in Experiment 2 0.0086 ($M = 0.165$).

3.3 Diskussion

Im vorliegenden Experiment wurden die gleichen Bedingungen realisiert wie in Experiment 1, jedoch mit dem Unterschied, dass hier keine spezifischen Verarbeitungsstrategien instruiert wurden. Das Ziel dieses Experiments bestand darin zu untersuchen, welche Strategie die Versuchsteilnehmer spontan anwenden.

Das Ergebnismuster des vorliegenden Experiments erwies sich dem von Experiment 1 insgesamt als ähnlich, was einen direkteren Vergleich der Daten erlaubte. Abbildung III-4 zeigt, dass sich die Mittelwerte von RT_1 und RT_2 des Experiments 2 (neutrale Bedingung) fast perfekt in der Mitte zwischen den Daten der seriellen und der parallelen Instruktion von Experiment 1 einfügten, obwohl die Daten beider Experimente von unterschiedlichen Teilnehmergruppen stammten. Darüber hinaus erhöhte sich RT_1 mit dem Grad der Kapazitätsteilung (Instruktion) sowohl bei kongruenten als auch bei inkongruenten Reizen, während RT_2 nur in der inkongruenten Bedingung anstieg (siehe Abbildung III-4). Das Ergebnismuster erwies sich also über beide Experimente hinweg als kompatibel mit den Vorhersagen des CCS Modells – zumindest für die kongruenten Durchgänge.

Da Mittelwerte bezüglich der Strategien einzelner Versuchsteilnehmer nur bedingt aussagekräftig sind, wurden Indizes individueller Grade von Kapazitätsteilung für jeden Versuchsteilnehmer berechnet. Mittels dieser standardisierten Werte sollte Unterschieden in der Verarbeitungsgeschwindigkeit, die nicht auf den Grad der Kapazitätsteilung zurückzuführen sind, Rechnung getragen werden. Es zeigte sich, dass alle Versuchsteilnehmer unter der Bedingung paralleler Instruktion deutlich höhere Indizes aufwiesen als unter serieller. Dies unterstützt die Annahme, dass der Grad der Kapazitätsteilung tatsächlich variiert wurde und die Ergebnisse nicht nur auf unspezifische Faktoren zurückzuführen sind. Die Indizes in Experiment 2 variierten zwar zwischen den Teilnehmern, so wie in Experiment 1 auch, jedoch fiel die Varianz hier geringer aus. Die Annahme, dass die Versuchsteilnehmer – ohne eine spezifische Instruktion – eine insgesamt „mittlere“ Strategie der Kapazitätsteilung anwandten, erscheint daher gerechtfertigt.

Abgesehen von den Ergebnissen zu unterschiedlichen Graden der Kapazitätsteilung fiel bei gleichzeitiger Betrachtung der Ergebnisse von Experiment 1 und 2 auf, dass in beiden Experimenten die Kongruenz der Teil1-Flanker mit der Kongruenz der Teil2-Flanker auf ähnliche Art und Weise interagierte. Da diese Effekte nun in Experiment 2 repliziert wurden, scheint es sich dabei nicht um Zufallsbefunde, sondern um ein stabiles Muster zu handeln: Der Kongruenzeffekt der Teil1-Flanker interagiert deutlich mit der Kongruenz der Teil2-Flanker, die entweder die gleiche oder die entgegen gesetzte Kongruenz aufwiesen. Änderte sich die Kongruenz zwischen Teil1- und Teil2-Flankern nicht, war die Leistung insgesamt ähnlich wie in den analogen Bedingungen mit konstanten Flankern. Lediglich für die längeren Flankerintervalle ergaben sich aufgrund der zusätzlich erforderlichen Verarbeitung mehr Kosten.

Als etwas komplexer erwiesen sich die Ergebnisse in den Durchgängen, in denen die Kongruenz zwischen Teil1- und Teil2-Flankern nicht konstant blieb. Waren die Teil2-Flanker inkongruent, hatte die Kongruenz der Teil1-Flanker praktisch keine Auswirkung. Im Falle kongruenter Teil2-Flanker jedoch beeinflusste die Kongruenz der Teil1-Flanker die Leistung vergleichsweise stark. Die Reaktionszeiten fielen, wenn die Teil1-Flanker inkongruent und die Teil2-Flanker kongruent waren, deutlich höher aus als im umgekehrten Fall (siehe Abbildung III-2 und Abbildung III-3). In Experiment 1 trat dieser Effekt insbesondere unter der parallelen Instruktion verstärkt auf. Wenn die Teil1-Flanker also zu Beginn mit einer R_1 entgegen gesetzten Antwortkategorie assoziiert waren, schien es für die Teil2-Flanker schwieriger zu sein, wiederum die gleiche Antwortkategorie wie für R_1 zu aktivieren. Dieser Wechsel verbrauchte offensichtlich ein höheres Maß an zentraler Kapazität.

4 Zwischendiskussion von Studie 2

Das Ziel der vorliegenden Studie bestand darin zu untersuchen, ob Personen bei Doppelaufgaben mit Aufgabenwiederholung ihre Kapazität zwischen den Aufgaben strategisch und in variablem Verhältnis aufteilen können. Dabei sollten insbesondere die Annahmen des CCS Modells von Tombu und Jolicoeur (2003) untersucht werden. Die Ergebnislage war bislang nicht eindeutig – der Nachweis von Kapazitätsteilung in Doppelaufgaben erwies sich als schwierig und die Manipulationen zur Induktion von Kapazitätsteilung beruhten teilweise auf spekulativen Annahmen (Ruthruff et al., 2003a; Ruthruff et al., 2001a; Tombu & Jolicoeur, 2002, 2005).

Das Ziel von Studie 2 bestand darin, die Vorhersagen des CCS Modells zu evaluieren, indem bei Flanker-Doppelaufgaben anhand einer neuartigen Methode der Grad der Kapazitätsteilung innerhalb eines Experiments variiert wurde. Im Gegensatz zu anderen Studien mit einer solchen Zielsetzung wurde die Variation der Kapazitätsteilung hier vollständig top-down gesteuert erreicht und nicht über eine Veränderung in der Aufgabenstruktur. Als Maß für den Grad der Kapazitätsteilung wurde der FKE verwendet. In Studie 1 hatte sich herausgestellt, dass die Höhe des FKE im Wesentlichen vom Grad strategischer Parallelverarbeitung abhängt und diese daher einen sensiblen Indikator hierfür darstellt.

In der vorliegenden Studie wurden die Versuchsteilnehmer in Experiment 1 instruiert, die Aufgaben innerhalb eines Blocks von Durchgängen entweder mit stark fokussierter Aufmerksamkeit – zunächst auf S_1 und dann auf S_2 – zu verarbeiten, oder die Aufmerksamkeit von Beginn an auf beide Reize zu verteilen. Die Ausgangsfrage war, ob die Personen überhaupt in der Lage waren, den Grad der Parallelverarbeitung gemäß der Instruktion anzupassen. Es stellte sich heraus, dass dies tatsächlich der Fall war. Der FKE und die allgemeinen Reaktionszeiten waren in der Bedingung mit paralleler im Vergleich zu der mit serieller Instruktion deutlich erhöht. Um den Einfluss der spezifischen Instruktion noch besser beurteilen zu können, wurde daraufhin ein zweites Experiment mit den gleichen Aufgaben durchgeführt, aber ohne eine spezifische Instruktion bezüglich des Grads der Kapazitätsteilung. Es stellte sich heraus, dass die mittleren Reaktionszeiten und Kongruenzeffekte hier kleiner waren als in der parallelen Bedingung, aber höher als in der seriellen. Offensichtlich wurde in diesem Fall eine eher „mittlere“ Form der Kapazitätsteilung vorgenommen. Eine Analyse der individuellen Strategien der Kapazitätsteilung unterstützte diese Vermutung. Die Ergebnisse der beiden Experimente zeigten somit, dass der Grad der Kapazitätsteilung zwischen Flanker-Doppelaufgaben flexibel, top-down gesteuert und über einen relativ großen Bereich hinweg angepasst werden kann.

Die vorliegenden Ergebnisse erscheinen insgesamt eher mit dem CCS als mit dem CB Modell kompatibel. Denn wenn keine zentrale Kapazität geteilt würde, wie im CB Modell postuliert, wären andere Ergebnisse zu erwarten. Im CB Modell wird angenommen, dass bis zur Ausführung von R_1 außer Wahrnehmung keine weitere Verarbeitung von S_2 stattfinden kann. Aus diesem Grund sollten durch Parallelverarbeitung keine Kosten auf RT_1 entstehen und die Instruktion zu serieller und paralleler Verarbeitung somit keinen maßgeblichen Einfluss auf die Leistung haben. Ferner sollte RT_1 von der Dauer des Farb- bzw. Flankerinter-

valls weitgehend unbeeinflusst bleiben. Die vorliegenden Ergebnisse erweisen sich demnach mit einem zentralen Flaschenhals unvereinbar. Zur Erklärung von Effekten auf RT_1 in Doppelaufgaben – und damit quasi zur „Rettung“ des CB Modells – wird von dessen Vertretern aber noch auf Zusatzannahmen verwiesen, z.B. dass die Personen die Ausführung von R_1 und R_2 gruppieren und dass sich durch die daraus folgende Verzögerung der Antwortausführung RT_1 erhöht.

Das CCS Modell hingegen wird durch die vorliegenden Daten unterstützt. Eine wesentliche Annahme des CCS Modells besteht darin, dass RT_1 mit dem Grad der Kapazitätsteilung ansteigen sollte. Wie Abbildung III-2 zu entnehmen, war dies sowohl für die kongruente als auch für die inkongruente Bedingung tatsächlich der Fall. Entscheidend in diesem Zusammenhang ist jedoch die Vorhersage, dass RT_2 vom Grad der Kapazitätsteilung *nicht* beeinflusst werden sollte. Dies traf für die kongruente Bedingung zu: Hier unterschied sich, wie ersichtlich in Abbildung III-3, RT_2 über alle drei Instruktionsbedingungen hinweg nicht. Die Situation änderte sich jedoch bei den inkongruenten Durchgängen, in denen auch RT_2 mit dem Grad der Kapazitätsteilung (Instruktion) anstieg. Obwohl dieses Ergebnis als solches vom CCS Modell nicht vorhergesagt wird, bedeutet dies nicht, dass das Modell dadurch widerlegt ist. Das Problem besteht vielmehr darin, dass das CCS Modell in seiner aktuellen Fassung keinen Mechanismus beinhaltet, um Kongruenzeffekte zu erklären. Daher sollte das Modell nun entsprechend erweitert werden.

Ergänzung des CCS Modells

Da die Aufgaben der vorliegenden Studie sowohl auf Basis der Reiz- als auch der Antwortkategorien überlappten, entstand zwischen den Aufgaben je nach Kongruenzbeziehung Interferenz (Navon, 1985; Navon & Gopher, 1979; Navon & Miller, 1987). Die Mitverarbeitung inkongruenter Flankerreize benötigt vermutlich mehr zentrale Kapazität als die Verarbeitung kongruenter oder neutraler Reize. Aufgrund des entstehenden Antwortkonflikts dürften die Kontrollmechanismen des kognitiven Systems hier in besonderem Maße gefordert sein, z.B. von der Notwendigkeit der Abschirmung eines Prozesses vom anderen und von Konfliktlösung. Dementsprechend wird sicherlich mehr zentrale Kapazität verbraucht (de Fockert et al., 2001; Lavie & Fox, 2000; Lavie et al., 2004). Da nun aufgrund zusätzlicher Prozesse weniger Kapazität für die Aufgabenbearbeitung selbst verbleibt als bei einer neutra-

len Reizsituation, kommt es zu einer entsprechenden Erhöhung der Reaktionszeit (siehe auch Kapitel 4 der Einführung).

Erhöhter Kontrollbedarf erscheint für inkongruente im Vergleich zu neutralen Reizkonstellationen plausibel. Doch wie verhält es sich bei kongruenten im Vergleich zu neutralen Flankern? Man könnte annehmen, dass kongruente Reize im Vergleich zu neutralen – aufgrund der Aktivierung derselben Antwort – RT_1 entsprechend beschleunigen. Dies wird in der Regel jedoch nicht beobachtet; vielmehr ist bei Flanker Einfachaufgaben die Leistung in neutralen und kongruenten Situationen häufig vergleichbar (siehe auch Flowers, 1990; Grice & Gwynne, 1985). Möglicherweise führt ein hohes Maß struktureller Überlappung zwischen Reizen bzw. Aufgaben jeweils zum Einsatz zusätzlicher Kontrollmechanismen, die entsprechend Kapazität verbrauchen. Bei kongruenten im Vergleich zu inkongruenten Reizen wird dieser Kapazitätsverlust jedoch durch konsistente Antwortaktivierung ausgeglichen, so dass das Ergebnis ähnlich ist wie unter einer neutralen Bedingung.

Aus diesem Grund wird die kongruente Bedingung hier als funktional äquivalent zur Standardbedingung behandelt (siehe Abbildung I-3). Diese Betrachtungsweise stimmt mit dem Ergebnis überein, dass bei kongruenten Reizen nur RT_1 mit dem Grad der Kapazitätsteilung variierte, nicht jedoch RT_2 . Bei inkongruenten Reizen kann die durch inhaltliche Interferenz entstandene Reduzierung zentraler Kapazität durch Antwortaktivierung jedoch nicht kompensiert werden, sondern – ganz im Gegenteil hierzu – erhöht die entgegen gesetzte Aktivierung die Gesamtkosten sogar noch.

In diesem Zusammenhang erhebt sich eine wichtige Frage, nämlich ob die durch die Interferenz verbrauchte Kapazität konstant ist oder aber mit dem Grad von Kapazitätsteilung variiert. Da sich die Kongruenzeffekte mit dem Grad der Kapazitätsteilung erhöhen, steigt vermutlich auch der Kapazitätsverbrauch an. Diese Annahme wird auch durch eine vorläufige Anpassung des Modells an die vorliegenden Daten unterstützt (siehe Anhang B). Der Anstieg der Interferenz mit entsprechendem Kapazitätsverbrauch kann erklären, warum sich bei inkongruenten Reizen nicht nur RT_1 , sondern auch RT_2 mit dem Grad der Parallelverarbeitung erhöhte.

Bevor das CCS Modell durch diese Annahmen erweitert wurde, wurde deren Passung an die Daten der vorliegenden Studie überprüft. Da in den Experimenten Aufgabenwiederholung verwendet wurde, konnten die Verarbeitungsstufen beider Aufgaben als identisch be-

trachtet werden. Somit waren genügend Daten verfügbar, um diese in formaler Hinsicht an die Vorhersagen des CCS Modells anzupassen. Verwendet wurden hierzu alle Daten aus den Durchgängen mit konstanten Flankern; aus den Durchgängen mit alternierenden Flankern wurden diejenigen verwendet, bei denen die Kongruenz der Teil1- und der Teil2-Flanker übereinstimmte. Die Details des ergänzten Modells und der Modellanpassung sind in Anhang B zu finden. Durch die Anpassung des Modells an die Daten konnten Parameterschätzungen vorgenommen werden. Das Hauptinteresse galt hier dem Parameter, der für den Grad der Kapazitätsteilung in den verschiedenen Bedingungen steht. Die Verarbeitungsraten entsprechen den Anteilen zentraler Kapazität während der Kapazitätsteilung und ergänzen sich jeweils zu 100%. Für die Experimente der vorliegenden Studie ergab die Modellierung, dass bei paralleler Instruktion 87% und bei serieller Instruktion 67% der zentralen Kapazität der Verarbeitung der ersten Aufgabe zugeteilt wurden. Für die neutrale Bedingung aus Experiment 2 ergab die Schätzung 75%.

Die erhaltene Passung ist in Abbildung III-5 dargestellt. Die Datenpunkte in dieser Abbildung sind so angeordnet, dass der Anstieg der Funktionen der Erhöhung der Reaktionszeit mit dem Grad der Kapazitätsteilung entspricht (Instruktion). Es wird ersichtlich, dass RT_1 in der kongruenten Bedingung mit zunehmender Kapazitätsteilung anstieg, während RT_2 hiervon unbeeinflusst blieb. Dies stimmt mit der Vorhersage des ursprünglichen CCS Modells überein. Im Gegensatz dazu erhöhte sich mit zunehmender Parallelverarbeitung in der inkongruenten Bedingung sowohl RT_1 als auch RT_2 , und zwar unabhängig sowohl von der Dauer des Farb- bzw. Flankerintervalls als auch davon, ob sich die Flanker änderten oder nicht. An die Daten aus der inkongruenten Bedingung wurde die erweiterte Version des CCS Modells angepasst. Insgesamt erwies sich die Modellanpassung als erfolgreich.

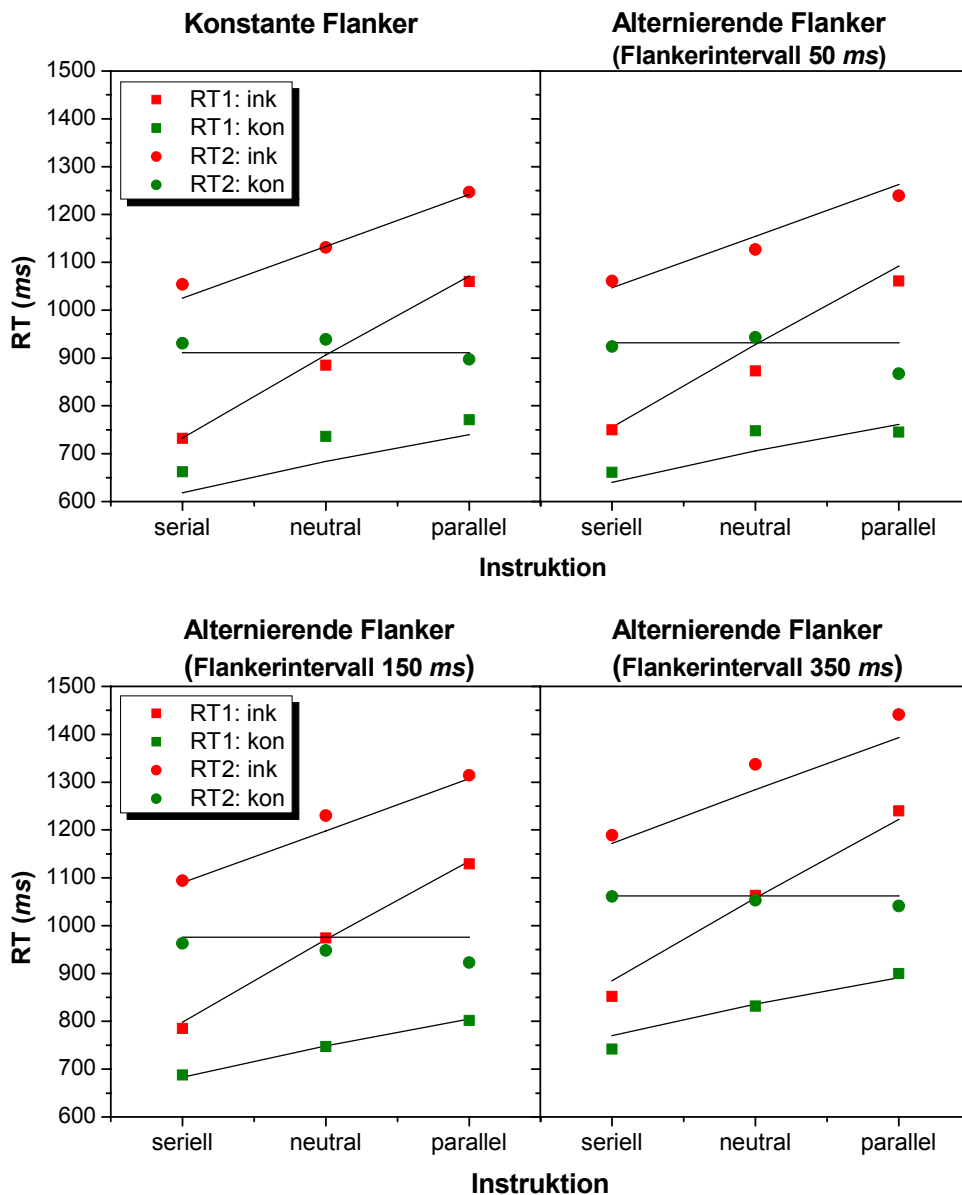


Abbildung III-5: Die Symbole in der Abbildung repräsentieren die RT_1 und die RT_2 Daten für die Durchgänge mit konstanten und mit alternierenden Flankern in Experiment 1 (seriell, parallel) und Experiment 2 (neutral). Die Linien zeigen die erreichte Passung des Modells an die Daten (siehe den Text bzw. Anhang B für Details). „Kon“ und „ink“ stehen für *kongruent* und *inkongruent*.

Das Auftreten von Antwortgruppierung

Wie dargestellt, unterstützen die vorliegenden Daten stark die Annahmen des CCS Modells. Mit der Vorstellung eines seriell arbeitenden Flaschenhalses hingegen scheinen die

Ergebnisse kaum vereinbar zu sein. Doch kann das CB Modell anhand dieser Daten tatsächlich widerlegt werden? Wie bereits in Studie 1 diskutiert, tendieren die Versuchsteilnehmer in Experimenten mit Doppelaufgaben häufig dazu, die Antworten gruppiert abzugeben. Antwortgruppierung ist für die Interpretation gemäß CCS Modell insofern problematisch, als vom CB Modell häufig auf das Vorkommen von Gruppierung verwiesen wird, um widersprüchliche Ergebnisse zu erklären (siehe Kapitel 3.3 der Einführung). Kann Antwortgruppierung auch die Ergebnisse der vorliegenden Studie alternativ erklären?

Theoretisch sind mehrere Formen von Gruppierung möglich. Die stärkste Variante besteht darin, S_1 und S_2 als *einen* zusammengesetzten Reiz auszuwählen und entsprechend R_1 und R_2 gemeinsam als *eine* komplexe Antwort abzugeben (Sanders, 1967; Welford, 1952). Durch eine derartige bereits auf Reizebene erfolgte Gruppierung entsteht aus der Doppelaufgabe eine kombinierte Einfachaufgabe. Eine solche Strategie setzt jedoch voraus, dass alle relevanten Reize von Beginn an kombiniert und gemeinsam verarbeitet werden. In den vorliegenden Experimenten werden die Reize zwar gleichzeitig präsentiert, aber in der Hälfte der Durchgänge werden die Flanker nach einem variablen Zeitintervall gegen neue Reize ausgetauscht. Das heißt, hier müsste eine erfolgte Reizkombination wieder aufgelöst und mit den neuen Flankern erneut vorgenommen werden. Von daher erscheint es eher unwahrscheinlich, dass diese Form der Gruppierung in den vorliegenden Experimenten sehr häufig auftrat. Da sich ja erst mit Einfärbung der Reize herausstellte, ob die Flanker gleich blieben oder nicht, kann eine solche Strategie wohl auch für die Durchgänge mit konstanten Flankern weitgehend ausgeschlossen werden.

Bei verzögerter Darbietung von Reizen, wie im PRP-Paradigma, wird eher eine andere Gruppierungsstrategie beobachtet (z.B. Pashler, 1994b). Bei dieser Strategie werden zwar beide Aufgaben als distinkte Aufgaben behandelt und bearbeitet, die erste Antwort jedoch nicht sofort nach deren Auswahl ausgeführt, sondern gespeichert, bis auch die zweite Antwort gewählt wurde. Danach werden beide Antworten in rascher Aufeinanderfolge abgegeben. Die Gruppierung beruht hier also auf einer Kopplung der Antwortausführung. Auch in den vorliegenden Experimenten wäre eine solche Strategie denkbar. Mehr noch, die Instruktion zur Parallelverarbeitung könnte die Tendenz zur Antwortgruppierung verstärkt haben. Ein häufigeres Auftreten von Gruppierung unter der parallelen Bedingung könnte überhaupt zu einem Anstieg in RT_1 auch ohne verstärkte Kapazitätsteilung führen.

In theoretischer Hinsicht ist diese Form der Antwortgruppierung jedoch weitgehend unspezifisch, da die Kopplung der motorischen Antwortausführung über vorher ablaufende Prozesse nichts aussagt. Das heißt, gruppierten Antworten kann entweder serielle *oder* parallele Verarbeitung vorausgegangen sein. Konsistent mit dem CB Modell könnte die Antwortauswahl seriell erfolgt sein, wobei die Ausführung von R_1 bis zur Auswahl von R_2 verschoben wurde. Andererseits ist möglich, dass die Antwortauswahl für beide Aufgaben parallel ablief, was wiederum zu einer zeitlich nahen Abgabe beider Antworten führte.

Doch wie kann in Doppelaufgabenexperimenten bestimmt werden, ob die Versuchsteilnehmer ihre Antworten tatsächlich gruppierten? In den meisten Studien wird das Zeitintervall zwischen R_1 und R_2 (das *Interresponse-Intervall*; *IRI*) als Hinweis für Antwortgruppierung verwendet (z.B. Miller, 2006; Pashler, 1994b). Ein kurzes durchschnittliches IRI (z.B. kleiner als 100 ms) gilt dabei als Evidenz für das Auftreten von Gruppierung. Das IRI ist jedoch eine ungeeignete Messung, um das CCS gegenüber dem CB Modell zu evaluieren. Denn das CCS Modell sagt kurze IRIs auch für starke Kapazitätsteilung vorher, selbst wenn keinerlei Antwortgruppierung stattfindet. Der Grund hierfür ist, dass sich bei starker Parallelverarbeitung RT_1 maßgeblich erhöhen sollte, während RT_2 gleich bleibt. Somit verringert sich das IRI mit zunehmender Kapazitätsteilung stetig. Treten also kurze IRIs häufiger unter der parallelen als unter der seriellen Instruktionsbedingung auf, dann kann dies entweder bedeuten, dass Antwortgruppierung hier häufiger auftrat, oder aber, dass mehr zentrale Kapazität geteilt wurde.

Tatsächlich fielen die IRIs in der parallelen Bedingung durchschnittlich niedriger aus als in der seriellen. So war der Mittelwert 288 ms für die serielle and 156 ms für die parallele Bedingung. Wie bereits erwähnt bedeutet dies aber nicht notwendigerweise, dass Antwortgruppierung unter der parallelen Instruktion wesentlich häufiger vorkam. Zwischen dem CCS und dem CB Modell wäre indes eine bessere Differenzierung möglich, wenn die Standardabweichungen der IRIs betrachtet werden. Die IRIs sollten bei häufiger Antwortgruppierung aufgrund der Kopplung von R_1 und R_2 wesentlich weniger variabel ausfallen. Tatsächlich verringerten sich die Standardabweichungen von durchschnittlich 123 ms in der seriellen auf 106 ms in der parallelen Bedingung. Obwohl signifikant [$t(11) = 2.21, p < 0.05$] zeigt dieser Unterschied ganz offensichtlich an, dass er zwischen den beiden Bedingungen nicht sehr groß ausfiel. Dies stellt die Idee in Frage, dass das CB Modell kombiniert mit Antwortgruppierung alle vorgefundenen Effekte erklären kann. Allerdings kann aufgrund dieser Ergebnisse eine verstärkte Antwortgruppierung unter der parallelen Instruktion nicht ausgeschlossen werden.

Doch könnte das CB Modell – kombiniert mit der Zusatzannahme häufigerer Antwortgruppierung unter der parallelen Instruktion – überhaupt alle wichtigen Ergebnisse der vorliegenden Studie erklären? Häufigere Antwortgruppierung könnte zwar einen gewissen Anstieg in RT_1 erklären, nicht jedoch die Erhöhung von RT_2 unter paralleler Instruktion. Gemäß der Vorstellung von Antwortgruppierung muss R_1 so lange warten, bis auch R_2 ausgewählt wurde. Dadurch entstehen zwangsläufig Kosten für RT_1 , erhebliche Kosten für RT_2 wären jedoch nicht zu erwarten. Studien, in denen der Einfluss von Antwortgruppierung untersucht wurde, konnten bei starker Gruppierung lediglich vernachlässigbare Kosten auf RT_2 beobachten (z.B. Fagot & Pashler, 1992; Pashler & Johnston, 1989; Ruthruff et al., 2001a). In Experiment 1 stieg RT_2 jedoch – in den inkongruenten Durchgängen – unter der parallelen Instruktion fast ebenso stark an wie RT_1 . Darüber hinaus hätte das CB Modell außerdem noch Schwierigkeiten zu begründen, weshalb RT_2 lediglich im inkongruenten Fall erhöht war, nicht aber im kongruenten.

In weitere Erklärungsnot geraten Anhänger des CB Modells plus Antwortgruppierung angesichts der in der vorliegenden Studie beobachteten Variation der Kongruenzeffekte. Der FKE hängt in seiner Ausprägung bekanntlich davon ab, wie viel Aufmerksamkeit willkürlich oder unwillkürlich zeitgleich zum Zielreiz auf die Flanker verteilt wird. In Studie 1 der vorliegenden Arbeit konnte nachgewiesen werden, dass die künftige Aufgabenrelevanz von S_2 den Grad der Flankermitverarbeitung während R_1 bestimmt und somit die Höhe des FKE. Eine substantielle Variation des FKE wurde dort auch in Doppelaufgaben beobachtet, wenn Antwortgruppierung weitgehend ausgeschlossen werden konnte. Dies lässt es plausibel erscheinen, dass der hohe FKE unter der parallelen Bedingung tatsächlich durch eine Strategie verstärkter Kapazitätsteilung und nicht durch häufigere Antwortgruppierung zustande gekommen ist. Doch wie könnte die Variation des FKE gemäß Gruppierung erklärt werden? Vertreter des CB Modells könnten einwenden, die hohen Flankereffekte in der vorliegenden Studie seien aufgrund anderer – als der angenommenen – Mechanismen entstanden und z.B. Folgendes anführen: Die Stufen der Antwortauswahl wurden seriell durchlaufen, d.h. ohne Kapazitätsteilung und hierdurch hervorgerufene Interferenz zwischen den Aufgaben während R_1 . Nach der Auswahl von R_1 wurde das Ergebnis zum Zweck der Antwortgruppierung bis zur Antwortauswahl für R_2 jedoch gespeichert, um die Antworten anschließend gekoppelt abzugeben. Wurde ein inkongruentes Ergebnis gespeichert, verzögerte dies die Antwortauswahl

von R_2 . Durch die Verzögerung von R_2 wiederum verlangsamte sich im inkongruenten Fall auch R_1 , da diese zeitlich an R_2 gekoppelt ist.

Eine solche Annahme in Bezug auf die Entstehung des FKE ist zum einen weitgehend spekulativ und greift zum anderen zu kurz bei der Erklärung des vollständigen Ergebnismusters. RT_2 war in den inkongruenten Durchgängen unter der parallelen Instruktion im Vergleich zur seriellen wesentlich erhöht, was vom CB Modell mittels der Zusatzannahmen Gruppierung und damit einhergehender Verzögerung der Antwortauswahl erklärt werden könnte; doch geht man davon aus, dass die ausgewählte R_1 RT_2 beeinflusst und aufgrund von Antwortgruppierung auch RT_1 , so wäre in beiden Kongruenzbedingungen ein Effekt zu erwarten. Analog zur Verzögerung in der inkongruenten Situation würde man im kongruenten Fall, d.h. wenn mit R_1 bereits die korrespondierende Antwort ausgewählt wurde, eine entsprechende Beschleunigung von R_2 erwarten. Eine solche Faszilitation wurde jedoch nicht beobachtet. Kongruente RT_2 unterschied sich nicht signifikant zwischen den Bedingungen. Die Kongruenzeffekte bzw. deren Variation also lediglich auf Häufigkeitsunterschiede in der Antwortgruppierung zurückzuführen, kann daher nicht überzeugen.

Es bleibt ferner noch das Ergebnis zu erklären, dass die Teil1-Flanker signifikante Kongruenzeffekte auf RT_1 sowie auf RT_2 erzeugten. Auch diese Effekte waren unter der parallelen Instruktion tendenziell erhöht. Da die Teil1-Flanker nicht beantwortet wurden, kann deren Effekt in keinem Fall auf Antwortkopplung zurückgeführt werden. Der signifikante Kongruenzeffekt der Teil1-Flanker auf RT_2 signalisiert hingegen, dass die Versuchsteilnehmer die Antwortauswahl der Teil2-Flanker nicht von einem neutralen Startpunkt ausgehend begannen. Die Teil1-Flanker wurden also, zumindest teilweise, bis zur Stufe der Antwortauswahl von R_2 verarbeitet.

Schließlich erscheinen die individuellen Indizes für Kapazitätsteilung unvereinbar mit der Vorstellung, dass Antwortgruppierung die Hauptursache für die gefundenen Unterschiede darstellt (siehe Tabelle III-1). Im Falle rein serieller Verarbeitung der Aufgaben mit anschließender Kopplung der Antworten würde man erwarten, dass die Höhe des FKE im Wesentlichen zusammen mit RT_1 variiert. Tatsächlich zeigten die ermittelten Indizes jedoch, dass sich der Anteil des FKE an der Gesamtreaktionszeit RT_1 in der parallelen Bedingung durchgehend stark erhöhte, bei einzelnen Versuchsteilnehmern sogar um ein vier- bis fünffaches des ursprünglichen Wertes. Das heißt also, RT_1 bzw. deren Variation zwischen den Bedin-

gungen aufgrund angenommener Gruppierung kann die Effekte im FKE auch auf einer individuellen Ebene nicht hinreichend erklären.

Wenngleich Antwortgruppierung bei einem Teil der Durchgänge nicht ausgeschlossen werden kann, so muss doch eine Erklärung des komplexen Datenmusters anhand serieller Antwortauswahl und Gruppierung als unzureichend betrachtet werden. Das CB Modell wäre bei der Interpretation der vorliegenden Ergebnisse außerdem gezwungen, auf eine Reihe spekulativer Zusatzannahmen zurückzugreifen. Angesichts dieser kritischen Darlegungen wird deutlich, dass die vorliegenden Ergebnisse mit dem CB Modell kaum kompatibel sind.

Zusammenfassung

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse beider Experimente der vorliegenden Studie die Vorhersagen des CCS Modells. Die Teilnehmer schienen in der Lage, die Kapazität flexibel und in variablem Verhältnis zwischen den Aufgaben aufzuteilen. Je mehr die Reize parallel verarbeitet wurden, desto höher waren die Kosten auf RT_1 , während RT_2 weniger beeinflusst wurde. Um auch Kongruenzeffekte erklären zu können, wurde eine Erweiterung des CCS Modells auf kongruente bzw. inkongruente Aufgabensituationen vorgeschlagen. Zudem erwies sich eine Modellanpassung der vorliegenden Daten an das CCS Modell sowie dessen Erweiterung als erfolgreich. Die hier verwendete Aufgabenstruktur war vergleichsweise komplex, insbesondere aufgrund der zeitlichen Variation der Teil1- und Teil2-Flanker. Diese Prozedur bot jedoch verschiedene Möglichkeiten, das Auftreten und die Dynamik von Kapazitätsteilung zu untersuchen.

IV

Gesamtdiskussion

Im Zentrum des Interesses dieser Arbeit steht die Frage, welche Rolle Strategien bei der Verarbeitung von Einfach- und Doppelaufgaben spielen, insbesondere unter welchen Bedingungen eine strategische Anpassung entlang der Dimension serielle versus parallele Aufgabenbearbeitung zu beobachten ist. Um diese Frage zu klären, wurden zwei Studien durchgeführt.

In *Studie 1* wurde vorrangig die Bedeutung der Aufgabenrelevanz von Reizen für die Anwendung serieller bzw. paralleler Verarbeitungsstrategien untersucht. Dabei zeigten sich folgende Ergebnisse: Die Mitverarbeitung aufgabenirrelevanter Reize in einer aktuellen Aufgabe fällt schwächer aus als die Mitverarbeitung von Reizen, die in einer nachfolgenden Aufgabe noch zu beantworten sind. Dieser Effekt wurde beim Vergleich von Einfach- und Doppelaufgaben im Flankerparadigma evident und erwies sich als strategisch bedingt.

Es schloss sich die Frage an, ob auch *innerhalb* von Doppelaufgaben eine strategische Variation des *Grads* der Parallelverarbeitung vorgenommen werden kann. Der Klärung dieser Frage diente *Studie 2*. Hier erhielten die Versuchsteilnehmer die Aufforderung, Doppelaufgaben das eine Mal in einer seriellen, das andere Mal in einer parallelen Weise zu bearbeiten. Dabei stellte sich heraus, dass der Grad der Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben innerhalb gewisser Grenzen tatsächlich strategisch variiert werden kann.

Strategische Parallelverarbeitung von Flankerreizen in Abhängigkeit von der Aufgabenrelevanz

Im Rahmen der kognitiven Informationsverarbeitung gibt es im Wesentlichen zwei Ansatzpunkte für Strategien. Erstens, durch die gezielte Anpassung von Antwortkriterien können Geschwindigkeit und Genauigkeit in bestimmter Weise gewichtet bzw. gegeneinander abgeglichen werden. Neben dieser Outputgewichtung kann, zweitens, die Aufmerksamkeit gezielt verteilt werden, so dass entweder ein sehr kleiner oder ein größerer Bereich des visuellen Feldes durch den Aufmerksamkeitsscheinwerfer „beleuchtet“ wird, d.h. eine räumliche Selektion bestimmter Reize erfolgt. Bekannt ist dies auch als Inputgewichtung oder Filterung. Über eine visuell-räumliche Filterung hinaus können Reize noch nach abstrakten, nicht-perzeptuellen Merkmalen bevorzugt verarbeitet werden, wie z.B. nach bestimmten semantischen Kategorien.

Eine effektive Reizfilterung im Rahmen der Aufmerksamkeit ermöglicht es demnach, relevante Reize zu verarbeiten und irrelevante vor der Weiterverarbeitung zu blockieren. In der Regel gelingt die Filterung jedoch nicht perfekt, so dass willkürlich oder unwillkürlich dennoch Aufmerksamkeit auf irrelevante Reize ausgerichtet und deren Verarbeitung damit verstärkt wird. Die unwillkürliche Mitverarbeitung von Reizen kann indes wichtige Hinweise auf die Eigenschaften visueller Aufmerksamkeit sowie auf die Funktionsweise bestimmter Filtermechanismen liefern. So hat sich beispielsweise gezeigt, dass bestimmte physikalische Eigenschaften des visuellen Feldes eine effiziente Filterung beeinflussen, d.h. entweder fördern oder beeinträchtigen. Generell gilt dabei, dass der Erfolg einer Auswahl bestimmter Reize bzw. Reizmerkmale vom Grad der perzeptuellen Diskriminierbarkeit relevanter und irrelevanter Reize abhängt. Räumlicher Abstand und bestimmte Gestaltfaktoren erweisen sich dabei als entscheidende Eigenschaften.

Die visuell-räumliche Selektionsleistung wird im Allgemeinen, und so auch in der vorliegenden Arbeit, mit dem Eriksen Flankerparadigma untersucht. In diesem experimentellen Paradigma (Eriksen & Eriksen, 1974) geht es darum, auf einen Zielreiz so rasch und so richtig wie möglich zu reagieren und flankierende, für die Aufgabe irrelevante Reize zu ignorieren. Stammen die Flankerreize aus der Menge der Zielreize, so sind sie mit einer bestimmten Antwort assoziiert, die sich kongruent oder inkongruent zu der mit dem Zielreiz verknüpften Antwort verhalten kann. Werden nun diese Flanker bis zu einem gewissen Grad gleichzeitig mit dem Zielreiz verarbeitet, äußert sich dies in einem Flanker-Kongruenzeffekt (FKE), d.h. die Reaktionszeiten und Fehlerraten sind bei inkongruenten im Vergleich zu kongruenten Zielreiz-Flanker-Konstellationen erhöht. Die Höhe des FKE hängt maßgeblich von der Verteilung der Aufmerksamkeit bzw. von deren effizienter Fokussierung auf den Zielreiz ab. Somit stellt der FKE ein Maß für die willkürliche bzw. unwillkürliche Beachtung der Flanker während der Verarbeitung des Zielreizes dar: Je stärker die Flanker zeitgleich mit dem Zielreiz verarbeitet werden, desto höher fällt der FKE aus.

Während *bottom-up* Effekte auf den FKE als hinreichend untersucht gelten können (z.B. Harms & Bundesen, 1983; Kramer & Jacobson, 1991; Miller, 1991; Paquet, 2001), ist über die top-down Steuerung der Flankerverarbeitung bislang nur wenig bekannt. Der Theorie perzeptueller Auslastung zufolge (Lavie, 1995; Lavie & Tsal, 1994) handelt es sich beim Flankerparadigma um eine Aufgabe, die an sich eine eher parallele Verarbeitung induziert. Das heißt, werden wie üblich nur zwei distinkte Reize und eine einfache Aufgabe verwendet,

so ist das perzeptuelle System nicht hinreichend ausgelastet und es besteht die Tendenz, die Aufmerksamkeitskapazität auf alle verfügbaren Reize zu verteilen. Die physikalischen Eigenschaften bei der Flankeraufgabe sind also in der Regel so beschaffen, dass die Reize, ohne gegenläufige Steuerung, eher parallel verarbeitet werden. Dieser Tendenz kann dann lediglich über den Einsatz kognitiver Kontrolle entgegengewirkt und dadurch die Aufmerksamkeitskapazität auf den Zielreiz konzentriert werden. Um eine starke Fokussierung zu erzielen und damit einen FKE zu minimieren, ist ein vergleichsweise hoher Einsatz kognitiver Kontrolle gefordert. Da top-down Mechanismen der Reizauswahl im Flankerparadigma demnach eine große Rolle spielen, erscheint es zur Untersuchung strategischer Aspekte bei der Reiz- und Informationsauswahl besonders gut geeignet.

Die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf den Zielreiz bei gleichzeitiger Ausblendung der Flanker stellt indes nur *eine* mögliche Strategie bei der Verarbeitung einer Flankeraufgabe dar. Tatsächlich ist auch eine Strategie geteilter Aufmerksamkeit auf Zielreiz und Flanker möglich: Flanker können dann willkürlich mitverarbeitet werden, wenn sich die Personen hiervon einen Vorteil versprechen. Bestimmte physikalische Reizeigenschaften, wie z.B. unterschiedliche Farben von Zielreiz und flankern, wirken nur unter der Maßgabe bewusster Nutzung als Selektionshilfen (siehe z.B. Harms & Bundesen, 1983).

Einige Hinweise auf strategische Einflüsse bei visuellen Selektionsaufgaben konnten u.a. von Gratton und Mitarbeitern (Gratton et al., 1992) sowie von Logan und Mitarbeitern (Logan & Zbrodoff, 1979, 1982; Logan et al., 1983; Logan et al., 1984) erbracht werden. In diesen Studien wurde im Wesentlichen die Erwartung manipuliert, dass in einem Block von Aufgaben bzw. in einem bestimmten Durchgang mit hoher Wahrscheinlichkeit kongruente oder aber inkongruente Reizkonstellationen präsentiert werden. Es ergab sich, dass die Versuchsteilnehmer bei Erwartung inkongruenter Durchgänge eher auf Genauigkeit, bei Erwartung kongruenter eher auf Geschwindigkeit zu achten schienen (Gratton et al., 1992). Interpretiert wurden die gefundenen Effekte von Gratton und Mitarbeitern im Sinne ihres Zwei-Stufen Modells (siehe Kapitel 2.3.2 der Einführung), d.h. bei Erwartung kongruenter Reize wurde auf einer zeitlich frühen, bei Erwartung inkongruenter auf einer späteren Stufe reagiert – und somit die Antwortkriterien Geschwindigkeit und Genauigkeit angepasst. Logan und Mitarbeiter (Logan & Zbrodoff, 1979, 1982; Logan et al., 1983; Logan et al., 1984) beobachteten in ihren Experimenten mit dem Stroop-Paradigma in erster Linie eine strategische

Variation der Aufmerksamkeitsverteilung, nämlich eine umso stärkere Beachtung der irrelevanten Dimension, je informativer diese in Bezug auf die richtige Antwort war.

Unter welchen Bedingungen und mit welchen Konsequenzen eine strategische Variation der Aufmerksamkeitsverteilung auch im Flankerparadigma möglich ist, war bislang nicht bekannt. Dieser Frage widmet sich zunächst Studie 1 der vorliegenden Arbeit. In einer Reihe von Experimenten ließ sich dabei zeigen, dass Personen eine starke Tendenz aufweisen, irrelevante Flanker dann zu einem stärkeren Grad mitzuverarbeiten, wenn diese anschließend auch beantwortet werden müssen (Doppelaufgabe). Ist dies nicht der Fall, so wird stärker auf den Zielreiz fokussiert und die Flanker deutlich weniger mitverarbeitet (Einfachaufgabe). Eine erhöhte Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben erwies sich dabei jedoch nicht als zwingend; vielmehr waren die Versuchsteilnehmer in der Lage, die Mitverarbeitung vorwiegend irrelevanter Flanker während der ersten Aufgabe bei Doppelaufgaben nahezu vollständig zu unterdrücken. Dies war z.B. in Experiment 4 aus Studie 1 der Fall, in dem die Flanker in jedem Durchgang ihre Identität änderten. Gleiches galt auch für Experiment 5 in den Blöcken, die mehrheitlich Einfachaufgaben enthielten. Die *künftige Aufgabenrelevanz* von Reizen kann also die top-down Ausrichtung von Aufmerksamkeit und damit den Grad der Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben maßgeblich bestimmen.

Dies zeigt auch, dass der FKE nicht allein von passiv-perzeptuellen Faktoren in einer Aufgabe abhängt, sondern dass dessen Höhe auch in Zusammenhang mit Strategien der Flankermitverarbeitung stark variiert. Werden die Flanker bei einer seriellen Verarbeitungsstrategie nicht willkürlich mitverarbeitet, so ist deren Effekt – eine ausreichende perzeptuelle Diskriminierbarkeit der Reize vorausgesetzt – vergleichsweise gering ausgeprägt. Es spricht also viel dafür, dass es sich beim FKE *nicht* um einen lediglich automatischen, strategie-invarianten Effekt handelt.

Ferner demonstrierte Studie 1, dass die strategische Anpassung der Flankermitverarbeitung in einer hoch flexiblen Weise erfolgen kann. Der Effekt unterschiedlich starker Mitverarbeitung der Flanker in Einfach- und Doppelaufgaben stellte sich auch dann ein, wenn die beiden Durchgangstypen – Einfachaufgaben und Doppelaufgaben – gemischt dargeboten wurden. Die Versuchsteilnehmer waren in der Lage, den Grad der Flankerverarbeitung während eines Durchgangs in Reaktion auf einen bestimmten Hinweisreiz ad hoc anzupassen und zwar auch dann, wenn der Hinweisreiz zeitverzögert zu den Flankern erschien. Experiment 5

zeigte darüber hinaus, dass eine dynamische Anpassung des Grads der Flankermitverarbeitung von Durchgang zu Durchgang nur dann vorgenommen wird, wenn der Anteil von Einfach- und Doppelaufgaben annähernd ausbalanciert ist. Dominiert hingegen ein Typ, wird eine konstante Strategie angewandt. In einem solchen Fall lassen vermutlich Kosten-Nutzen-Erwägungen eine erneute Überprüfung und Modifikation der Verarbeitungsstrategien in jedem Durchgang als nicht lohnenswert erscheinen.

Unterstützt wird die Interpretation einer strategischen Begründung des Grads der Flankermitverarbeitung des Weiteren durch Beobachtungen in Studie 2. Hier waren die Versuchsteilnehmer auf *explizite Instruktionen* hin in der Lage, die Verarbeitung entsprechend der Dimension seriell-parallel anzupassen und innerhalb einer Experimentalsitzung flexibel zwischen serieller und paralleler Verarbeitung zu wechseln (siehe Experiment 1 aus Studie 2). Dies bedeutet auch, dass die Art der hier angewandten strategischen Modifikation ganz offensichtlich bewusst zugänglich ist.

Weder in Studie 1 noch in Studie 2 konnte bei den Reaktionszeiten und Fehlerraten ein Abgleich von Geschwindigkeit und Genauigkeit beobachtet werden. Die Fehlerraten waren durchwegs niedrig und auch bei stärkerer Parallelverarbeitung bzw. in den Doppelaufgaben nicht signifikant erhöht. Die Reaktionszeiten hingegen stiegen tendenziell umso mehr an, je stärker parallel verarbeitet wurde. Das bedeutet, die intensivere Parallelverarbeitung in den Doppelaufgaben konnte erst *nach* der Integration der Merkmale zu Objekten erfolgt sein (siehe auch Kapitel 3.2.2 der Einführung) und lässt sich somit anhand des Zwei-Stufen Modells von Gratton und Mitarbeitern (Gratton et al., 1992) nicht erklären. Die aktive Steuerung der Flankermitverarbeitung bestand offensichtlich nicht in einer Gewichtung der Antwortkriterien, sondern in einer Modifikation der Aufmerksamkeitsverteilung auf die Flanker.

Die vorliegenden Ergebnisse unterstützen eher die Annahme früher Reizselektion denn einen strikten Standpunkt später Selektion (siehe Kapitel 2.2.2 der Einführung). So erfolgte die Mitverarbeitung der Flankerreize in den hier durchgeführten Experimenten nicht automatisch, sondern schien auf die Zuteilung von Aufmerksamkeitskapazität zur semantischen Verarbeitung der Flanker angewiesen zu sein. Ohne eine geteilte Aufmerksamkeit auf Zielreiz und Flanker wurde der FKE – unter im Wesentlichen konstanten perzeptuellen Bedingungen – nahezu eliminiert. Vereinbar sind die Ergebnisse jedoch mit der Theorie perzeptueller und

kognitiver Auslastung nach Lavie und Mitarbeitern (z.B. Lavie et al., 2004), wonach die Zuteilung von Aufmerksamkeitskapazität und die damit verbundene Parallelverarbeitung abgestuft erfolgen kann.

Strategische Variation der Kapazitätsteilung bei Doppelaufgaben

Bei der Kombination zweier Aufgaben zu einer Doppelaufgabe lässt sich meist eine Einsparung in der Reaktionszeit beobachten, d.h. im Vergleich zur Situation, in der beide Aufgaben getrennt durchgeführt und deren Reaktionszeiten anschließend addiert werden. Wechselt man jedoch die Perspektive und vergleicht die Reaktionszeit bei isolierter Durchführung einer einzelnen Aufgabe mit der Reaktionszeit in der jeweiligen Aufgabe, wenn diese als Doppelaufgabe durchgeführt wird, dann sind bei letzterer üblicherweise Kosten zu verzeichnen. Aus diesen Befunden können im Wesentlichen zwei Schlussfolgerungen gezogen werden: Erstens können bestimmte Verarbeitungsstufen für mehrere Aufgaben offensichtlich ohne größere Kosten parallel ablaufen, woraus sich die Einsparungen in der Reaktionszeit bei kombinierter Aufgabendurchführung ergeben. Zweitens scheinen andere Prozesse für die gleichzeitige Bearbeitung weniger „geeignet“ zu sein, was zu den charakteristischen Kosten im Vergleich zu einer Einfachaufgabensituation führt.

Welche Verarbeitungseinheiten bei Doppelaufgaben nun tatsächlich (effizient) parallel ablaufen können, ist in der Forschung indes umstritten. Bisherige Untersuchungen zu diesem Thema konnten zeigen, dass Prozesse der Wahrnehmung mehr Potential für Parallelverarbeitung besitzen als weiterführende Schritte wie Entscheidung und Antwortauswahl. Dabei ist noch nicht letztgültig geklärt, aufgrund welcher Ursachen eine solch eingeschränkte Parallelverarbeitung bei bestimmten Prozessen abläuft und was dies für das Verhalten im Einzelnen bedeutet. Geht man von der Annahme aus, dass es verschiedene distinkte Einheiten der Informationsverarbeitung gibt und dass die Antwortauswahl einen kapazitätsbeschränkten Prozess darstellt, so schließt sich die Frage an, ob es sich dabei tatsächlich um einen fixen Engpass handelt, oder ob Parallelverarbeitung auch hier – mit Kosten verbunden – durchgängig möglich ist. Im *Central Bottleneck (CB)* Modell (Pashler & Johnston, 1989) ist erstere Ansicht vertreten; im *Central Capacity Sharing (CCS)* Modell (Tombu & Jolicoeur, 2003) hingegen wird davon ausgegangen, dass die Kapazität auf zentraler Stufe zwar beschränkt ist, prinzipiell jedoch zwischen zwei Aufgaben aufgeteilt werden kann.

Weitgehend ungeklärt ist ferner, welche Rolle Strategien serieller bzw. paralleler Verarbeitung bei Doppelaufgaben spielen. Da die Leistung in Doppelaufgaben von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren beeinflusst wird, sind Fragen dieser Art nicht leicht zu beantworten. Neben einem generellen Limit in der kognitiven Verarbeitung und einem möglichen Einfluss von Strategien spielen eine Reihe weiterer Faktoren eine Rolle, wie z.B. Vorbereitungsunterschiede oder strukturelle Ähnlichkeit der jeweiligen Aufgaben. *Top-down* Einflüsse – wie beispielsweise bestimmte Verarbeitungsstrategien in Doppelaufgaben – zu kontrollieren, stellt zudem eine experimentelle Herausforderung dar und gelingt meist nur auf indirektem Wege.

Der Einfluss von Strategien auf die Bearbeitung von Doppelaufgaben wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit – insbesondere in Studie 2 – näher untersucht. Bereits die Ergebnisse aus Studie 1 hatten ja gezeigt, dass der Grad der Parallelverarbeitung in Flanker-Doppelaufgaben strategisch variiert werden kann und widersprachen damit dem Postulat des CB Modells, wonach ein genereller Engpass nur strikt serielle Verarbeitung erlaubt.

Während in Studie 1 Strategien der Flankermitverarbeitung bei Einfach- und Doppelaufgaben untersucht wurden, handelte es sich in Studie 2 um den Vergleich verschiedener Grade von Kapazitätsteilung *innerhalb* von Doppelaufgaben. Hierzu wurden weitere Experimente mit Flanker-Doppelaufgaben durchgeführt, um die Annahmen des CB Modells und die des CCS Modells klarer voneinander abgrenzen zu können. Eine experimentelle Differenzierung zwischen diesen beiden Modellen ist vor allem deshalb nicht einfach, da sie beide für eine Reihe von Situationen ähnliche Annahmen machen, insbesondere hinsichtlich der Reaktionszeit auf den zweiten Reiz (RT_2). So wird sowohl im CB Modell als auch im CCS Modell bei einer SOA-Variation ein PRP-Effekt auf RT_2 vorhergesagt, der vom Grad möglicher Kapazitätsteilung – gemäß CCS Modell – weitgehend unbeeinflusst sein sollte. Der PRP-Effekt kann also zur Differenzierung zwischen beiden Modellen nichts beitragen; er drückt lediglich aus, dass ein Engpass im System besteht und Parallelverarbeitung somit nicht ohne Kosten ablaufen kann. Um Kapazitätsteilung untersuchen zu können, erscheint es daher sinnvoll, sich zunächst mit der Reaktionszeit auf den ersten Reiz (RT_1) intensiver zu beschäftigen.

Nach dem CB Modell können Einwirkungen von S_2 auf RT_1 ohne Zusatzannahmen nicht erklärt werden; es handelt sich dabei, wie bereits in Studie 1 festgestellt, um allgemeine Kosten, wie SOA-Effekte auf RT_1 und einen erhöhten FKE in Doppelaufgaben. Nach dem

CCS Modell erscheint die Entstehung solcher Kosten in Folge der Annahme von Kapazitäts-
teilung hingegen durchaus plausibel. Allerdings enthält das CCS Modell keine Annahmen
über die Auswirkungen der Kongruenz von Reizen und bedarf von daher einer entsprechen-
den Erweiterung. Eine solche Erweiterung wurde in Studie 2 vorgeschlagen. Die zentrale Idee
hierbei war, dass ein Antwortkonflikt zusätzlich zentrale Kapazität verbraucht, was die Leis-
tung bei inkongruenten im Vergleich zu kongruenten Reizen reduziert. Aufgrund dieser
Annahme lassen sich die *Crosstalk*-Effekte auf RT_1 und RT_2 sowie die beobachtete
strategische Variation integrieren. Das CB Modell erweist sich für eine solche Erweiterung
als weitaus weniger geeignet als das CCS Modell. Das CB Modell könnte lediglich anhand
der Zusatzannahme eines ganz bestimmten Musters von Antwortgruppierung einen Teil der
strategischen Effekte erklären. Allerdings konnte in Studie 1 aufgrund der dort verwendeten
Prozedur Antwortgruppierung weitgehend ausgeschlossen werden. In Studie 2 ließ sich die
Gesamtheit der Ergebnisse mit der Gruppierungsannahme ebenfalls nicht erklären (siehe
hierzu die Zwischendiskussion von Studie 2).

Neben den Stufenmodellen CB und CCS existieren noch eine Reihe weiterer Theorien
zur Verarbeitung in Doppelaufgaben. In einigen dieser Modelle wird strategische Parallelver-
arbeitung direkt thematisiert, wie z.B. im SRD Modell von Meyer und Kieras (1997a). Hier
wird angenommen, dass perfekte Kapazitätsteilung möglich ist. „Perfekt“ bedeutet in diesem
Zusammenhang, dass sich durch optimale Parallelverarbeitung Doppelaufgabenkosten wie
der PRP-Effekt oder Kosten auf RT_1 vollständig eliminieren lassen. Wie bereits erwähnt, war
in der vorliegenden Arbeit Parallelverarbeitung jedoch stets mit hohen Kosten verbunden. Es
ließen sich PRP-Effekte in allen Experimenten mit entsprechender SOA-Variation nachwei-
sen, die sich von verschiedenen experimentellen Manipulationen – so auch von einer Erhö-
hung der Parallelverarbeitung – als weitgehend unbeeinflusst zeigten (siehe z.B. auch Levy &
Pashler, 2001). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit widersprachen demnach der Idee per-
fekt effizienter Parallelverarbeitung.

Weitere Modelle zur Doppelaufgabenverarbeitung beinhalten bereits die Möglichkeit,
Crosstalk-Effekte zwischen den Aufgaben zu erklären, z.B. das Zwei-Prozess Modell von
Hommel (1998). Dieses basiert auf der Annahme, dass für die tatsächliche *Auswahl* einer
Antwort ein Flaschenhals besteht, während Prozesse der *Antwortaktivierung* für zwei Aufga-
ben parallel ablaufen können. Das bedeutet, dass bereits ab dem Zeitpunkt der Reizpräsen-
tation sowohl S_1 als auch S_2 die entsprechenden Antworten aktivieren. Durch Prozesse der

Antwortaktivierung können so Interferenzeffekte zwischen den Aufgaben entstehen, wie z.B. der FKE. Ein Flaschenhals der Antwortauswahl gemäß dieser Vorstellung ist jedoch mit der Definition des zentralen Flaschenhalses von Pashler und Mitarbeitern nicht vergleichbar (Pashler, 1994a; Pashler & Johnston, 1998): Nach der Vorstellung des Zwei-Prozess Modells wird die Aktivierung, die durch S_2 bereits während R_1 hervorgerufen wurde, anschließend tatsächlich für die Auswahl von R_2 verwendet. Demzufolge beginnt die Antwortauswahl für die zweite Aufgabe nach R_1 nicht bei einem neutralen Zustand, was die strikte Diskretheitsannahme des CB Modells verletzt. Prinzipiell mag die Unterscheidung zwischen kontinuierlicher Antwortaktivierung und diskreter Antwortauswahl zwar als Erklärung für das Auftreten von Kongruenzeffekten dienen, den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit wird diese Annahme allerdings noch nicht gerecht. Antwortaktivierung gilt als vollständig automatischer Prozess (Hommel, 2000; Hommel & Eglau, 2002), der strategisch nicht modifizierbar sein sollte. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen jedoch ganz deutlich den erheblichen Einfluss verschiedener Verarbeitungsstrategien in Doppelaufgaben – insbesondere auf Kongruenzeffekte. Dies lässt sich mittels einer Konzeption von automatisch ablaufenden Prozessen nicht sinnvoll erklären.

Ein weiteres Modell, das eine hohe Erklärungskraft für verschiedene Ergebnisse in Doppelaufgaben aufweist, ist die ECTVA (Logan & Gordon, 2001; siehe auch Logan, 2002). Im Gegensatz zu den Stufentheorien handelt es sich hierbei um ein *Continuous Flow* Modell (Eriksen & Schultz, 1979), welches davon ausgeht, dass bereits unvollständige Reizinformation während des Wahrnehmungsvorgangs die Antwortauswahl beeinflussen kann (siehe Kapitel 2.2.2 der Einführung). Für die strategische Variation des Grads der Parallelverarbeitung bei Doppelaufgaben ist, gemäß ECTVA, der Mechanismus früher visuell-räumlicher Reizauswahl verantwortlich. Demzufolge kommt serielle Verarbeitung dadurch zustande, dass sich die räumliche Aufmerksamkeit während der ersten Aufgabe nur auf den Ort von S_1 konzentriert. Erst anschließend werde, für die zweite Aufgabe, die gesamte Kapazität auf S_2 ausgerichtet. Logan und Gordon nehmen in ihrem Modell an, dass anhand dieses Mechanismus alle Strategien von seriell nach parallel realisiert werden können. Da der frühe Selektionsmechanismus jedoch nicht nur für den Grad der Parallelverarbeitung, sondern gleichzeitig auch für die korrekte Bindung von Merkmalen verantwortlich ist (siehe Kapitel 2.1.1 der Einführung), sagt die ECTVA vorher, dass ein hohes Maß an Parallelverarbeitung

unweigerlich zu einer sehr hohen Fehlerrate bei inkongruenten Reizen führt (siehe auch Gratton et al., 1992). Aus diesem Grund sollte serielle Verarbeitung bevorzugt werden.

Für die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit trafen diese Vorhersagen jedoch nicht zu. In den hier realisierten Doppelaufgaben zeigten die Versuchsteilnehmer eine starke Präferenz für parallele Verarbeitung. Zudem wurden die Fehlerraten durch intensive Parallelverarbeitung kaum beeinflusst. Unabhängig davon wird in der ECTVA nicht zwischen Antwortkategorien und Reizkategorien differenziert, so dass hiermit keine *Crosstalk*-Effekte in Experimenten mit Aufgabenwechsel erklärt werden können (Hübner & Druey, 2006; Watter & Logan, 2006). Die ECTVA müsste möglicherweise um einige Annahmen ergänzt werden, um die Resultate der vorliegenden Arbeit sowie eine Reihe weiterer Befunde erklären zu können (siehe hierzu auch Kapitel 4 der Einführung).

Insgesamt sprechen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stark für die theoretische Vorstellung einer beschränkten, jedoch teilbaren zentralen Kapazität. Dies stellt die – hinsichtlich ökonomischer Gesichtspunkte und Vollständigkeit – bislang schlüssigste Erklärung für eine Vielzahl von Beobachtungen in unterschiedlichen Doppelaufgabensituationen dar (z.B. Hommel, 1998; Logan & Delheimer, 2001; Logan & Gordon, 2001; Logan & Schulkind, 2000; Miller, 2006; Miller & Alderton, 2006; Watter & Logan, 2006).

Nutzen strategischer Parallelverarbeitung bei Doppelaufgaben

Wie mehrfach erwähnt zeigten die Versuchsteilnehmer in den hier durchgeführten Experimenten eine starke Tendenz, in Doppelaufgaben parallel zu verarbeiten. Als hierfür maßgeblicher Faktor erwies sich die künftige Aufgabenrelevanz der Reize: Waren die Flanker (vorwiegend) irrelevant für die Aufgabendurchführung, fokussierten die Versuchsteilnehmer auf den Zielreiz. Dies war der Fall bei allen Einfachaufgaben, aber auch bei Doppelaufgaben, wenn diese beispielsweise innerhalb eines Blocks mit einer überwiegenden Zahl von Einfachaufgaben durchgeführt wurden. Doch worin besteht die Motivation, in Doppelaufgaben parallel zu arbeiten?

Eine Kosten-Nutzen-Analyse auf der Ebene der Verhaltensdaten war in der vorliegenden Arbeit teilweise nur anhand indirekter Vergleiche möglich, da zwischen den Experimenten, zusätzlich zum Grad der Kapazitätsteilung, auch die Aufgabenstruktur variierte (siehe auch die Zwischendiskussion von Studie 1). Die Experimente 5 aus Studie 1 sowie 1 aus Studie 2 jedoch ließen auch eine direktere Evaluation zu. Dabei zeigte sich, dass verstärkte

Parallelverarbeitung in Doppelaufgaben die Leistung nicht verbesserte. Bei verstärkter Kapazitätsteilung ist – insbesondere in Bezug auf RT_1 – mit Kosten zu rechnen, die nicht gleichzeitig durch andere Maße (Fehlerrate oder RT_2) ausgeglichen werden. Somit bestätigen die vorliegenden Ergebnisse eine Kernannahme des CCS Modells: Serielle Verarbeitung von Zielreiz und Flankern in Doppelaufgaben ist, was die Reaktionszeit betrifft, effizienter als parallele. Tombu und Jolicoeur (2002) stellten die Vermutung an, Kapazitätsteilung könnte dann einen Vorteil für die Leistung erbringen, wenn beide Aufgaben in einer Doppelaufgabensituation inhaltlich überlappen, wie z.B. bei Aufgabenwiederholung. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen jedoch, dass dies nicht der Fall ist.

Über bestimmte Strategien serieller bzw. paralleler Verarbeitung hinaus variierte in den Experimenten der vorliegenden Arbeit auch der Grad der unspezifischen Vorbereitung auf eine zweite Antwort. Wie bereits in der Zwischendiskussion von Studie 1 dargestellt, führte eine erhöhte Bereitschaft zur Durchführung von Doppelaufgaben – z.B. in Experiment 5 aus Studie 1 – nicht zu einem bedeutsamen Vorteil für die Leistung in der zweiten Aufgabe. Dieser Eindruck bestätigte sich in den Experimenten von Studie 2. So ist davon auszugehen, dass in den Blöcken mit Instruktion zu paralleler Verarbeitung die Vorbereitung auf eine zweite Antwort bereits während der ersten Aufgabe stärker ausfiel als in den Blöcken mit Instruktion zu serieller Verarbeitung. Dies führte jedoch nicht zu einem Vorteil für RT_2 .

Die Frage nach der Motivation zur Parallelverarbeitung ist damit aber noch nicht beantwortet. Weshalb wird einer parallelen Verarbeitungsstrategie Vorrang erteilt, wenn sie doch keine Vorteile, sondern allenfalls Kosten in der Leistung mit sich bringt? Ein Grund dafür könnte sein, dass serielle Verarbeitung in Doppelaufgaben hinsichtlich der erforderlichen mentalen Kontrollprozesse anstrengender und kostspieliger ist, sich dies aber nicht notwendigerweise in Reaktionszeit und Fehlerraten niederschlägt. In der Literatur wird z.B. die Annahme vertreten, dass Situationen mit erhöhtem Kontrollbedarf, wie etwa Aufgabenwechsel, serielle Verarbeitung verstärken, während bei geringen Anforderungen bezüglich kognitiver Kontrolle parallele Verarbeitung bevorzugt wird (Luria & Meiran, 2005).

Als Maßgabe für die Strategiebildung der Versuchsteilnehmer könnte also auch die Optimierung der mentalen Anstrengung, die mit kognitiver Kontrolle einhergeht, ausschlaggebend gewesen sein. Die Tatsache, dass in der vorliegenden Arbeit eine Strategie geteilter Aufmerksamkeit bei Doppelaufgaben bevorzugt wurde, könnte demnach wie folgt

erklärt werden: Innerhalb des kognitiven Systems besteht eine Tendenz, die verfügbare Aufmerksamkeitskapazität vollständig auf vorhandenes Reizmaterial zu verteilen. Da der Grad der perzeptuellen Auslastung im Flankerparadigma niedrig ist, ist eine Fokussierung auf den Zielreiz hier mit besonders hohem Kontrollaufwand verbunden (Lavie, 1995; Lavie & Tsal, 1994). Hierbei mag auch eine Rolle spielen, dass die Wiederaufnahme der Verarbeitung kurz zuvor gehemmter Reize als unangenehm oder anstrengend erlebt wird (Tipper, 1985; Tipper & Cranston, 1985; Tipper et al., 1994).

Eine Strategie fokussierter Verarbeitung in Doppelaufgaben könnte somit mehr Kontrollkapazität beanspruchen als eine parallele Strategie und würde aus diesem Grund vermieden. Bei Analysen von Aufgabenleistungen sollten nicht nur das offene Verhalten, sondern auch mögliche Abgleichmechanismen zwischen der Leistung einerseits und individuellen Zielen und Strategien andererseits berücksichtigt werden (siehe z.B. Hockey 1997). Die mit einer Aufgabe verbundene Anstrengung zu minimieren könnte eine solche individuelle Strategie darstellen. Doch wie ließe sich dies experimentell überprüfen? In Betracht kommen hier zum einen Selbstauskünfte; die entsprechenden Anpassungsmechanismen müssen jedoch nicht notwendigerweise bewusst repräsentiert sein. Zum anderen bieten sich (peripher-)physiologische Messungen wie z.B. elektrodermale Aktivierung, Herzrate oder Pupillenweite zur Abschätzung erlebter Anstrengung in einer Aufgabe an (für eine Übersicht siehe z.B. Cacioppo, Tassinary, & Berntson, 2000; Kahneman, 1973)

Da die Frage nach Kosten und Nutzen von Strategien serieller und paralleler Verarbeitung an dieser Stelle nicht abschließend beantwortet werden kann, sollte sie Thema künftiger Forschung sein.

Grenzen serieller und paralleler Verarbeitung

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen deutlich, dass Kapazität zwischen zwei Aufgaben geteilt werden kann. Dabei scheint die Anpassung des Grads der Kapazitätsteilung flexibel erfolgen zu können. Eine hohe Dynamik strategischer Anpassung wurde in erster Linie in den Experimenten von Studie 1 beobachtet. Hier erwiesen sich die Versuchsteilnehmer in der Lage, den Grad der Teilung in Reaktion auf die farblichen Hinweisreize noch während der Bearbeitung einer Aufgabe zu verändern. Die Anpassung der Kapazitätsteilung muss also offensichtlich nicht *im Vorfeld* eines Durchgangs geschehen.

Andererseits zeigte die vorliegende Arbeit auch die Grenzen der Anpassungsfähigkeit auf: Wurde der Grad der Teilung während eines Durchgangs einmal angepasst, erfolgte *keine weitere* Veränderung mehr. Die Versuchsteilnehmer modifizierten den Grad der Flankermitverarbeitung – je nach angezeigter Aufgabenrelevanz – gleichzeitig mit Erscheinen der Flankerreize (Experimente 2A und 2B; Studie 1). Bei Einfachaufgaben wurde eine eher serielle, bei Doppelaufgaben eine eher parallele Verarbeitungsstrategie übernommen. Erschien die Hinweisinformation jedoch zeitverzögert zu den Flankern, so hatte diese keinen signifikanten Einfluss mehr auf den Grad der Kapazitätsteilung. In diesem Fall wurde die bereits in Gang gesetzte Mitverarbeitung der Flanker beibehalten, also parallel verarbeitet, obwohl der Hinweisreiz „Einfachaufgabe“ signalisierte (Experiment 3; Studie 1) oder aber seriell verarbeitet, obwohl „Doppelaufgabe“ angezeigt wurde (Experiment 4; Studie 1). Der mit Erscheinen der Flanker festgesetzte Grad der Parallelverarbeitung blieb somit über einen Durchgang hinweg konstant. Offensichtlich ist es, zumindest innerhalb eines bestimmten Zeitfensters, schwierig oder gar unmöglich, eine einmal gewählte Strategie der Mitverarbeitung wieder zu ändern.

Eine flexibel von Durchgang zu Durchgang erfolgende Anpassung wird auch dann unterlassen, wenn sich dies aufgrund bestimmter Aufgabenbedingungen nicht zu „lohnen“ scheint: In Experiment 5 von Studie 1 wurden Aufgabenblöcke dargeboten, in denen entweder die Einfach- oder aber die Doppelaufgaben im jeweiligen Block deutlich in der Minderheit (20%) waren. Wurden mehrheitlich Doppelaufgaben dargeboten, so verfolgten die Versuchsteilnehmer eine Strategie paralleler Verarbeitung; beim Überwiegen von Einfachaufgaben in einem Block wurde hingegen seriell verarbeitet. Die Strategie paralleler bzw. serieller Verarbeitung wurde jeweils auch für die Minderheit der Durchgänge beibehalten und der Grad der Kapazitätsteilung auf den Hinweisreiz hin nicht modifiziert. Vermutlich produziert die dynamische Anpassung der Flankermitverarbeitung auch Kosten, so dass sie nur dann vorgenommen wird, wenn sie im Hinblick auf die allgemeine Leistungsstrategie einen Vorteil verspricht.

Auch die Prozedur alternierender Flanker ergab Hinweise darauf, dass der Grad der Kapazitätsteilung während eines Durchgangs nicht mehrfach angepasst wird. In Experiment 4 aus Studie 1 wurden irrelevante Teil1-Flanker durch aufgabenrelevante Teil2-Flanker in allen Durchgängen, in den Experimenten von Studie 2 in 50% der Durchgänge ersetzt. Da nachgewiesenermaßen die Aufgabenrelevanz eine entscheidende Rolle für den Grad strategischer Parallelverarbeitung spielt, wäre eine unterschiedlich starke Mitverarbeitung der Teil1- und

Teil2-Flanker denkbar gewesen. Dies war jedoch mit dieser Methode bei keinem Experiment der Fall. In Experiment 4 von Studie 1, bei dem sich die Flanker stets änderten und auch Einfachaufgaben präsentiert wurden, arbeiteten die Versuchsteilnehmer durchgehend seriell. Im Gegensatz dazu wurden in den Experimenten von Studie 2, bei denen sich die Flanker jeweils in der Hälfte der Durchgänge änderten, die Teil1-Flanker offensichtlich genauso stark mitverarbeitet wie die Teil2-Flanker. Die durch Mitverarbeitung der Teil1-Flanker entstehenden Kosten wurden dabei in Kauf genommen. Dies war der Fall in der seriellen und parallelen Instruktionsbedingung (Experiment 1) als auch in der „neutralen“ Bedingung ohne spezifische Instruktion (Experiment 2) von Studie 2.

Die starke Mitverarbeitung der Teil1-Flanker und die hohen FKEs in Studie 2 bestätigten den in Studie 1 gewonnenen Eindruck, dass die Versuchsteilnehmer serielle Verarbeitung in Doppelaufgaben tendenziell zu vermeiden scheinen – selbst unter serieller Instruktion. In Studie 1 konnte demonstriert werden, dass eine stärker serielle Verarbeitung in Doppelaufgaben prinzipiell möglich ist. Eine maßgebliche strategische Anpassung auf Instruktionen hin ließ sich in Studie 2 tatsächlich auch beobachten; allerdings schien die „Ausgangssituation“ (neutrale Bedingung; Experiment 2) eher von einer Mitverarbeitung der Flanker bestimmt. Die insgesamt stärkere Parallelverarbeitung in Studie 2 ergab sich vermutlich aufgrund der Tatsache, dass hier ausschließlich Doppelaufgaben verlangt waren. In Studie 1 wurde ja deutlich, dass die künftige Aufgabenrelevanz der Flanker eine wesentliche Rolle für den Grad der Parallelverarbeitung spielt. Dabei erwies sich vor allem auch der *Anteil* an Einfach- bzw. Doppelaufgaben in einem Block als ausschlaggebend (siehe z.B. Experiment 5; Studie 1). Diese Beobachtungen aus Studie 1 wurden somit in Studie 2 in indirekter Weise bestätigt. Darüber hinaus bedeutet dies, dass der Grad der Kapazitätsteilung mittels einer Instruktion nur bis zu einem gewissen Grad manipuliert werden kann. Die jeweilige Verarbeitungsstrategie hängt ganz offensichtlich auch von den spezifischen Bedingungen eines Aufgabenblocks ab, wie z.B. vom Anteil der Einfachaufgaben.

Aller Evidenz nach gibt es bei der Aufgabenbearbeitung verschiedene Formen strategischer Anpassung. Neben der Möglichkeit, über eine entsprechende Aufmerksamkeitsverteilung serielle bzw. parallele Verarbeitung von Reizen zu erzielen – wie dies in der vorliegenden Arbeit der Fall war – können auch Antwortkriterien wie Geschwindigkeit und Genauigkeit strategisch angepasst werden. Die Flexibilität einer solchen Kriteriums Anpassung wurde z.B. von Strayer und Kramer (1994) untersucht. Die Modifikation der Antwortschwellen er-

wies sich dort als ein langsamer, kontinuierlicher Prozess, der nicht von Durchgang zu Durchgang verändert werden konnte. Explizite Instruktionen der Versuchsteilnehmer hatten hierauf keinen wesentlichen Einfluss. Die Autoren zogen daraus den Schluss, dass ein strategischer Abgleich von Geschwindigkeit und Genauigkeit nicht dynamisch geschehen könne und nicht bewusst zugänglich sei (siehe auch Kapitel 1 der Einführung). Im Gegensatz dazu sind Strategien serieller versus paralleler Verarbeitung, die auf eine bestimmte Aufmerksamkeitsverteilung zurückgehen, offensichtlich flexibel modifizierbar (siehe z.B. auch Dark, 1990; LaBerge & Samuels, 1974; Logan & Zbrodoff, 1979, 1982; Logan et al., 1983; Logan et al., 1984).

Schließlich erscheint es im Rahmen der vorliegenden Arbeit sinnvoll, *kurzfristige* und *längerfristige* Arten strategischer Anpassung zu unterscheiden – etwa in Analogie zum Zwei-Stufen-Modell der Kriteriums Anpassung von Treisman und Williams (1984). Die vorliegenden Ergebnisse sprechen dafür, dass über eine längerfristige Anpassung im Sinne einer bestimmten Vorbereitungsstruktur festgelegt wird, ob z.B. eine Strategie in einem Aufgabenblock durchgehend angewandt (siehe Experiment 5; Studie 1) oder die Verarbeitung von Durchgang zu Durchgang modifiziert werden soll (siehe Experiment 2A und 2B; Studie 1). Im letzteren Fall ließ sich während der Aufgabendurchführung eine kurzfristige, strategische Feinabstimmung bestimmter Parameter, nämlich des aktuellen Grads der Parallelverarbeitung bzw. des Ausmaßes der Vorbereitung auf eine zweite Reaktion, beobachten.

Diskrete oder kontinuierliche Reizverarbeitung

Verschiedene Modelle der Informationsverarbeitung machen teilweise grundlegend unterschiedliche Annahmen. Während man beispielsweise im CB Modell und im CCS Modell von einem diskreten Ablauf einzelner Verarbeitungsstufen ausgeht, wird in der ECTVA kontinuierliche Verarbeitung postuliert (siehe auch Kapitel 2.2.2 der Einführung). Diese Tatsache erschwert eine theoretische Integration sowie einen empirischen Vergleich der verschiedenen Modelle. Um jedoch eine Theorie entwickeln zu können, die besser als die bisher verfügbaren Ansätze die Leistung in Doppelaufgaben erklären kann, müsste erst einmal die Debatte über diskrete und kontinuierliche Reizverarbeitung in entsprechend evidenter Form beigelegt sein.

Bei näherer Betrachtung stellt sich zuerst einmal die Frage, ob eine Unterscheidung zwischen diskreter und kontinuierlicher Verarbeitung überhaupt *sinnvoll* ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass die distinkten Verarbeitungseinheiten im kognitiven System –

seien es nun diskrete Stufen oder nicht – selbst verschiedene Prozesse umfassen: Zunächst muss jede Einheit einen bestimmten Input an Informationen erhalten; dieser Input muss dann in bestimmter Hinsicht verarbeitet bzw. berechnet werden, um einen Output zu erzeugen, welcher dann zur nächsten Einheit der Verarbeitungssequenz weitergeleitet wird. Jede dieser drei Funktionen einer bestimmten Einheit könnte prinzipiell kontinuierlich oder diskret ablaufen (Miller, 1988). Dies im Detail differenzieren zu können, erscheint empirisch unmöglich. Darüber hinaus ist weitgehend unklar, in welcher Hinsicht eine Grenze zwischen „kontinuierlich“ bzw. „diskret“ zu ziehen wäre. Analog zu serieller und paralleler Verarbeitung mag es daher angemessener sein, „diskret“ und „kontinuierlich“ eher als Pole eines Kontinuums möglicher Verarbeitungsmodi denn als Ausschlusskategorien zu betrachten, so dass eine Verarbeitungseinheit *relativ* diskret oder *relativ* kontinuierlich aktiv sein kann.

Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang ein weiterer Aspekt, nämlich der Vorbereitungsstatus, aus dem heraus eine bestimmte Aufgabe durchgeführt werden soll. Dieser könnte die weiteren Verarbeitungsprozesse ebenfalls diskret oder kontinuierlich beeinflussen. Als Beispiel für diskrete Vorbereitung kann das Zwei-Stufen-Modell von Gratton und Mitarbeitern (Gratton et al., 1992) gelten. Diesem Modell zufolge kann bereits im Vorfeld einer Aufgabe entschieden werden, auf welcher von zwei möglichen Stufen eine Reaktion erfolgen soll – auf einer zeitlich frühen Stufe noch vor der Merkmalsintegration, oder auf einer späteren nach bereits erfolgter Integration. Als Konsequenz ergäben sich sehr schnelle Reaktionen mit hohem Fehlerrisiko in ersterem und langsamere, aber zuverlässigere Antworten in letzterem Fall. Problematisch am Modell von Gratton und Mitarbeitern ist jedoch, dass keine kontinuierlichen Übergänge zwischen beiden Verarbeitungs- bzw. Vorbereitungsmodi vorgesehen sind.

Demgegenüber lassen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit eine auf einem Kontinuum basierende Form der Vorbereitung vermuten. Es konnte nämlich gezeigt werden, dass zwischen den beiden Polen serieller und paralleler Verarbeitung in Doppelaufgaben ein weiterer Spielraum besteht und dass der Grad der Parallelverarbeitung strategisch angepasst werden kann. Die hier beobachteten Grade der Parallelverarbeitung – sowohl im Mittelwert als auch bei den einzelnen Versuchsteilnehmern – signalisieren, dass es sich dabei eher um eine kontinuierliche denn um eine diskrete Variable handelt. Zudem wurde der Grad der Flankermittelverarbeitung, wie bereits diskutiert, offensichtlich zu Beginn eines Durchgangs festgelegt und dann beibehalten. Dass im Rahmen einer solchen Strategie die Vorbereitung eine wesentliche

Rolle spielt, wird insbesondere in Experiment 5 der Studie 1 und in den Experimenten von Studie 2 evident.

Aber auch andere Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stellen die strikte Diskretheitsannahme einzelner Stufen in Frage, z.B. der Befund, dass die Teil1-Flanker, die bereits vor der Ausführung von R_1 durch die Teil2-Flanker ersetzt wurden, dennoch einen signifikanten Kongruenzeffekt auf RT_2 produzierten. Insgesamt spricht Vieles dafür, eine mittlere Position zwischen den zwei divergierenden Standpunkten diskreter und kontinuierlicher Verarbeitung einzunehmen (z.B. Miller, 1982). Die Daten der vorliegenden Arbeit weisen zum einen darauf hin, dass sich bestimmte Aspekte der Verarbeitung am besten als kontinuierlich charakterisieren lassen; zum anderen erscheint eine Differenzierung zwischen diskreten Stufen wie Wahrnehmung und Antwortauswahl weiterhin sinnvoll.

Auch neurophysiologisch lässt sich eine integrierte Sichtweise rechtfertigen: Das Gehirn besteht aus stark vernetzten Systemen von Neuronen, die ein hohes Potential für Parallelverarbeitung zeigen (z.B. Hubel, 1979) und Informationen teilweise kontinuierlich kodieren (z.B. Anderson, 1977). Andererseits existieren gewichtige Belege für die Annahme, dass unterschiedliche anatomische Bereiche bzw. neuronale Module für verschiedene mentale Verarbeitungseinheiten verantwortlich sind (für eine Übersicht siehe z.B. Kolb & Whishaw, 2003).

Abschließende Bemerkungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit unterstützen in ihrer Gesamtheit die Annahme, dass zentrale Kapazität zwischen zwei Aufgaben aufgeteilt werden kann und dass der Grad der Teilung unter bewusster Kontrolle der Person steht. Nimmt man demgegenüber einen Alles-oder-nichts-Flaschenhals in der Informationsverarbeitung an, so führt eine Erklärung der vorliegenden Daten sowie einer Reihe weiterer aktueller Forschungsergebnisse zu erheblichen Schwierigkeiten. Die Hypothese der Teilbarkeit zentraler Kapazität stellt dagegen die bislang „sparsamste“ Erklärung für die vielfältigen Ergebnisse in Doppelaufgaben dar: So können mit dieser theoretischen Vorstellung nicht nur alle Daten der vorliegenden Arbeit, sondern auch eine Reihe weiterer Forschungsergebnisse zu diesem Thema problemlos integriert werden. Ferner illustriert die vorliegende Arbeit die entscheidende Rolle von Strategien bei der Verarbeitung von Einfach- und Doppelaufgaben, wobei es sich angesichts der dünnen Datenlage zu diesem Thema um einen wichtigen Erkenntnisgewinn handelt.

Allerdings beschränkt sich die vorliegende Arbeit auf Aufgaben mit großer struktureller Überlappung. Dies berechtigt zu der Frage, inwieweit Kapazitätsteilung bei Doppelaufgaben ein generelles Phänomen darstellt. Dieser Frage sollte sich künftige Forschung widmen.

V

Literaturverzeichnis

- Allport, D., Antonis, B., & Reynolds, P. (1972). On the division of attention: A disproof of the single channel hypothesis. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *24*, 225-235.
- Andersen, G. (1990). Focused attention in three-dimensional space. *Perception & Psychophysics*, *47*, 112-120.
- Anderson, J. (1977). Neural models with cognitive implications. In D. LaBerge & S. Samuels (Eds.), *Basic processes in reading: Perception and comprehension* (pp. 27-90). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Arnell, K., & Duncan, J. (2002). Separate and shared sources of dual-task cost in stimulus identification and response selection. *Cognitive Psychology*, *44*, 105-147.
- Awh, E., & Pashler, H. (2000). Evidence for split attentional foci. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*, 834-846.
- Banks, W., & White, H. (1984). Lateral interference and perceptual grouping in visual detection. *Perception & Psychophysics*, *36*, 285-295.
- Baylis, G., & Driver, J. (1992). Visual parsing and response competition: The effect of grouping factors. *Perception & Psychophysics*, *51*, 145-162.
- Borger, R. (1963). The refractory period and serial choice reactions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *15*, 1-12.
- Broadbent, D. (1952). Speaking and listening simultaneously. *Journal of Experimental Psychology*, *43*, 267-273.
- Broadbent, D. (1954). The role of auditory localization in attention and memory span. *Journal of Experimental Psychology*, *47*, 191-196.
- Broadbent, D. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press.
- Broadbent, D. (1982). Task combination and selective intake of information. *Acta Psychologica*, *50*, 253-290.
- Broadbent, D., & Gregory, M. (1967). Psychological refractory period and the length of time required to make a decision. *Proceedings of the Royal Society, Series B*, *158*, 222-231.
- Bundesen, C. (1990). A theory of visual attention. *Psychological Review*, *97*, 523-547.

- Burgess, P., & Shallice, T. (1996). Response Suppression, initiation and strategy use following frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, *34*, 263-273.
- Byrne, M., & Anderson, J. (2001). Serial modules in parallel: The psychological refractory period and perfect time-sharing. *Psychological Review*, *108*, 847-869.
- Cacioppo, J., Tassinary, L., & Berntson, G. (2000). *Handbook of psychophysiology*. Cambridge: University Press.
- Carlson, K., & Flowers, J. (1996). Intentional versus unintentional use of contingencies between perceptual events. *Perception & Psychophysics*, *58*, 460-470.
- Carrier, L., & Pashler, H. (1995). Attentional limits in memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *21*, 1339-1348.
- Castiello, U., & Umiltà, V. (1992). Splitting focal attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 837-848.
- Chastain, G., Cheal, M., & Lyon, D. (1996). Attention and nontarget effects in the location-cuing paradigm. *Perception & Psychophysics*, *58*, 300-309.
- Cherry, E. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *Journal of the Acoustical Society of America*, *25*, 975-979.
- Cohen, A., & Shoup, R. (1997). Perceptual dimensional constraints in response selection processes. *Cognitive Psychology*, *32*, 128-181.
- Corteen, R., & Dunn, D. (1974). Shock-associated words in a nonattended message: A test for momentary awareness. *Journal of Experimental Psychology*, *102*, 1143-1144.
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, *104*, 163-191.
- Craik, K. (1948). Theory of the human operator in control systems. II. Man as an element in a control system. *British Journal of Psychology*, *7*, 142-148.
- Dark, V. (1990). Switching between memory and perception: Moving attention or memory retrieval? *Memory & Cognition*, *18*, 119-127.
- Davis, R. (1956). The limits of the psychological refractory period. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *8*, 24-38.

- Davis, R. (1957). The human operator as a single channel information system. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *9*, 119-129.
- Davis, R. (1962). Choice RTs and the theory of intermittency in human performance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *14*, 157-166.
- de Fockert, J., Rees, G., Frith, C., & Lavie, N. (2001). The role of working memory in visual selective attention. *Science*, *291*, 1803-1806.
- De Jong, R. (1993). Multiple bottlenecks in overlapping task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *19*, 965-980.
- De Jong, R. (1995). The role of preparation in overlapping-task performance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *48*, 2-25.
- D'Esposito, M., Detre, J., Alsop, D., Shin, R., Atlas, S., & Grossmann, M. (1995). The neural basis of the central executive system of working memory. *Nature*, *378*, 279-218.
- Deutsch, J., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, *70*, 80-90.
- Diedrichsen, J., Ivry, R., Cohen, A., & Danziger, S. (2000). Asymmetries in a unilateral flanker task depend on the direction of the response: The role of attentional shift and perceptual grouping. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*, 113-126.
- Donders, F. (1969). On the speed of mental processes. *Acta Psychologica*, *30*, 412-431.
- Downing, C. (1988). Expectancy and visual-spatial attention: Effects on perceptual quality. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *14*, 188-202.
- Driver, J. (2001). A selective review of selective attention research from the past century. *British Journal of Psychology*, *92*, 53-78.
- Driver, J., & Baylis, G. (1989). Movement and visual attention: The spotlight metaphor breaks down. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*, 448-456.
- Duncan, J. (1980). The locus of interference in the perception of simultaneous stimuli. *Psychological Review*, *87*, 272-300.

- Duncan, J. (1984). Selective attention and the organization of visual information. *Journal of Experimental Psychology*, *113*, 501-517.
- Duncan, J., Bundesen, C., Olson, A., Humphreys, G., Chavda, S., & Shibuya, H. (1999). Systematic analysis of deficits in visual attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, *128*, 450-478.
- Eriksen, B., & Eriksen, C. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, *16*, 143-149.
- Eriksen, C., & Hoffman, J. (1973). The extent of processing of noise elements during selective encoding from visual displays. *Perception & Psychophysics*, *14*, 155-160.
- Eriksen, C., & Schultz, D. (1979). Information processing in visual search: A continuous flow conception and experimental results. *Perception & Psychophysics*, *25*, 249-263.
- Eriksen, C., & St James, J. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & Psychophysics*, *40*, 225-240.
- Eriksen, C., & Yeh, Y. (1985). Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *11*, 583-597.
- Evans, P., & Craig, J. (1992). Response competition: A major source of interference in a tactile identification task. *Perception & Psychophysics*, *51*, 199-206.
- Fagot, C., & Pashler, H. (1992). Making two responses to a single object: Implications for the central attentional bottleneck. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 1058-1079.
- Fitts, P., & Seeger, C. (1953). S-R compatibility: Spatial characteristics of stimulus and response codes. *Journal of Experimental Psychology*, *46*, 199-210.
- Flowers, D., & Wilcox, N. (1982). The effect of flanking context on visual classification: The joint contribution of interactions at different processing levels. *Perception & Psychophysics*, *32*, 581-591.
- Flowers, J. (1990). Priming effects in perceptual classification. *Perception & Psychophysics*, *47*, 135-148.

- Frith, C., Friston, K., Liddle, P., & Frackowiak, R. (1991). Willed action and the prefrontal cortex in man: A study with PET. *Proceedings of the Royal Society in London, Series B, 244*, 241-246.
- Gatti, S., & Egeth, H. (1978). Failure of spatial selectivity in vision. *Bulletin of the Psychonomic Society, 11*, 181-184.
- Gopher, D. (1986). In defense of resources: On structures, energies, pools and the allocation of attention. In G. Hockey & A. Gaillard & M. Coles (Eds.), *Energetics and human information processing* (pp. 353-371). Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers.
- Gopher, D., Brickner, M., & Navon, D. (1982). Different difficulty manipulations interact differently with task emphasis: Evidence for multiple resources. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 8*, 146-157.
- Gottsdanker, R. (1980). The ubiquitous role of preparation. In G. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in Motor Behavior* (pp. 355-371). Amsterdam: North-Holland Press.
- Gratton, G., Coles, M., & Donchin, E. (1992). Optimizing the use of information: Strategic control of activation of responses. *Journal of Experimental Psychology: General, 121*, 480-506.
- Greenwald, A., & Shulman, H. (1973). On doing two things at once: II. Elimination of the psychological refractory period effect. *Journal of Experimental Psychology, 101*, 70-76.
- Grice, G., Boroughs, J., & Canham, L. (1984). Temporal dynamics of associative interference and facilitation produced by visual context. *Perception & Psychophysics, 36*, 499-507.
- Grice, G., & Gwynne, J. (1985). Temporal characteristics of noise conditions producing facilitation and interference. *Perception & Psychophysics, 37*, 495-501.
- Handy, T., & Mangun, G. (2000). Attention and spatial selection: Electrophysiological evidence for modulation by perceptual load. *Perception & Psychophysics, 62*, 175-186.
- Harms, L., & Bundesen, C. (1983). Color segregation and selective attention in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics, 33*, 11-19.
- Hasher, L., & Zacks, R. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 22, pp. 193-225). New York: Academic Press.

- Hazeltine, E., Teague, D., & Ivry, R. (2002). Simultaneous dual-task performance reveals parallel response selection after practice. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28, 527-545.
- Hirst, W., & Kalmar, D. (1987). Characterizing attentional resources. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116, 68-81.
- Hockey, G. (1997). Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. *Biological Psychology*, 45, 73-93.
- Hoffman, J. (1998). Visual attention and eye movements. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 119-153). Hove: Psychology Press.
- Holender, D. (1986). Semantic activation without conscious identification in dichotic listening, parafoveal vision, and visual masking: A survey and appraisal. *The Behavioral and Brain Sciences*, 9, 1-66.
- Hommel, B. (1994). Spontaneous decay of response-code activation. *Psychological Research*, 56, 261-268.
- Hommel, B. (1998). Automatic stimulus-response translation in dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 1368-1384.
- Hommel, B. (2000). The prepared reflex: Automaticity and control in stimulus-response translation. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and performance XVIII* (pp. 247-273). Cambridge, MA: MIT Press.
- Hommel, B. (2003). Spatial asymmetries in the flanker-congruency effect: Attentional scanning is biased by flanker orientation. *Psychological Science*, 45, 63-77.
- Hommel, B., & Eglau, B. (2002). Control of stimulus-response translation in dual-task performance. *Psychological Research*, 66, 260-273.
- Houghton, G., & Tipper, S. (1994). A model of inhibitory mechanisms in selective attention. In D. Dagenbach & T. Carr (Eds.), *Inhibitory processes in attention, memory and language* (pp. 53-112). San Diego: Academic Press.
- Hubel, D. (1979). The brain. *Scientific American*, 209, 54-62.

- Hübner, R., & Backer, G. (1999). Perceiving spatially inseparable objects: Evidence for feature-based object selection not mediated by location. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*, 1556-1567.
- Hübner, R., & Druery, M. (2006). Response execution, selection, or activation: What is sufficient for response-related repetition effects under task shifting? *Psychological Research*, *70*, 245-261.
- Johnston, W., & Dark, V. (1986). Selective attention. *Annual Review of Psychology*, *37*, 43-75.
- Johnston, W., & Heinz, S. (1978). Flexibility and capacity demands of attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, *107*, 420-435.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. In J. Long & A. Baddeley (Eds.), *Attention and Performance IX* (pp. 187-203). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Jonides, J. (1983). Further toward a model of the mind's eye's movement. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *21*, 247-250.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Kahneman, D., & Henik, A. (1981). Perceptual organization and attention. In M. Kubovy & J. Pomerantz (Eds.), *Perceptual organization* (pp. 181-211). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Kahneman, D., & Treisman, A. (1984). Changing views of attention and automaticity. In R. Parasuraman & R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 29-62). New York: Academic Press.
- Kahneman, D., Treisman, A., & Burkell, J. (1983). The cost of visual filtering. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *9*, 510-522.
- Kanwisher, N., & Driver, J. (1992). Objects, attributes, and visual attention: Which, what, where. *Current Directions in Psychological Science*, *1*, 26-31.
- Karlin, L., & Kestenbaum, R. (1968). Effects of number of alternatives on the psychological refractory period. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 167-178.
- Keele, S. (1973). *Attention and human performance*. Pacific Palisades, CA: Goodyear.

- Keele, S., & Neill, W. (1978). Mechanisms of attention. In E. Carterette & M. Friedman (Eds.), *Handbook of perception* (pp. 3-47). San Diego, CA: Academic Press.
- Kerr, B. (1973). Processing demands during mental operations. *Memory & Cognition*, *1*, 401-412.
- Kolb, B., & Wishaw, I. (2003). *Fundamentals of human neuropsychology* (5. ed.). New York: Worth.
- Kornblum, S., Hasbroucq, T., & Osman, A. (1990). Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulus-response compatibility - a model and taxonomy. *Psychological Review*, *97*, 253-270.
- Kramer, A., & Jacobson, A. (1991). Perceptual organization and focused attention: The role of objects and proximity in visual processing. *Perception & Psychophysics*, *50*, 267-284.
- Kramer, A., Wickens, C., & Donchin, E. (1985). Processing of stimulus properties: Evidence for dual-task integrality. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *11*, 393-408.
- LaBerge, D. (1973). Identification of two components of the time to switch attention: A test of a serial and a parallel model of attention. In S. Kornblum (Ed.), *Attention and Performance IV*. San Diego, CA: Academic Press.
- LaBerge, D., & Brown, V. (1986). Variations in size of the visual field in which targets are presented: An attentional range effect. *Perception & Psychophysics*, *40*, 188-200.
- LaBerge, D., Brown, V., Carter, M., & Bash, D. (1991). Reducing the effects of adjacent distractors by narrowing attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *17*, 65-76.
- LaBerge, D., & Samuels, S. (1974). Toward a theory of automatic information processing in reading. *Cognitive Psychology*, *6*, 293-323.
- Lachter, J., Forster, K., & Ruthruff, E. (2004). Forty-five years after Broadbent (1958): Still no identification without attention. *Psychological Review*, *111*, 880-913.
- Lambert, A. (1985). Selectivity and stages of processing - an enduring controversy in attentional theory: A review. *Current Psychological Research & Reviews*, 239-256.

- Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 451-468.
- Lavie, N., & Cox, S. (1997). On the efficiency of visual selective attention: Efficient visual search leads to inefficient distractor rejection. *Psychological Science*, 8, 395-398.
- Lavie, N., & de Fockert, J. (2003). Contrasting effects of sensory limits and capacity limits in visual selective attention. *Perception & Psychophysics*, 65, 202-212.
- Lavie, N., & Fox, E. (2000). The role of perceptual load in negative priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 1038-1052.
- Lavie, N., Hirst, A., De Fockert, J., & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 339-354.
- Lavie, N., & Robertson, I. (2001). The role of perceptual load in neglect: Rejection of ipsilateral distractors is facilitated with higher central load. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 867-876.
- Lavie, N., & Tsal, Y. (1994). Perceptual load as a major determinant of the locus of selection in visual attention. *Perception & Psychophysics*, 56, 183-197.
- Levy, J., & Pashler, H. (2001). Is dual-task slowing instruction dependent? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 862-869.
- Lhermitte, F. (1983). Utilisation behaviour and its relation to the frontal lobes. *Brain*, 106, 237-255.
- Lien, M., & Proctor, R. (2000). Multiple spatial correspondence effects on dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 1260-1280.
- Lien, M., Ruthruff, E., Remington, R., & Johnston, J. (2005). On the limits of advance preparation for a task switch: Do people prepare all the tasks some of the time or some of the tasks all the time? *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*, 31, 299-315.
- Lien, M., Schweickert, R., & Proctor, R. (2003). Task switching and response correspondence in the psychological refractory period paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 692-712.

- Logan, G. (1985). Executive control of thought and action. *Acta Psychologica*, *60*, 193-210.
- Logan, G. (1995). Linguistic and conceptual control of visual spatial attention. *Cognitive Psychology*, *28*, 103-174.
- Logan, G. (2002). An instance theory of attention and memory. *Psychological Review*, *109*, 376-400.
- Logan, G., & Cowan, W. (1984). On the ability to inhibit thought and action: A theory of an act of control. *Psychological Review*, *91*, 295-327.
- Logan, G., & Delheimer, J. (2001). Parallel memory retrieval in dual-task situations: II. Episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *27*, 668-685.
- Logan, G., & Gordon, R. (2001). Executive control of visual attention in dual-task situations. *Psychological Review*, *108*, 393-434.
- Logan, G., & Schulkind, M. (2000). Parallel memory retrieval in dual-task situations: I. Semantic memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*, 1072-1090.
- Logan, G., & Zbrodoff, N. (1979). When it helps to be misled: Facilitative effects of increasing the frequency of conflicting stimuli in a stroop-like task. *Memory & Cognition*, *3*, 166-174.
- Logan, G., & Zbrodoff, N. (1982). Constraints on strategy construction in a speeded discrimination task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *8*, 502-520.
- Logan, G., Zbrodoff, N., & Fostey, A. (1983). Costs and benefits of strategy construction in a speeded discrimination task. *Memory & Cognition*, *11*, 485-493.
- Logan, G., Zbrodoff, N., & Williamson, J. (1984). Strategies in the color-word stroop task. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *22*, 135-138.
- Luce, R. (1986). *Response times: Their role in inferring elementary mental organization*. New York: Oxford University Press.
- Luria, R., & Meiran, N. (2005). Increased control demand results in serial processing: Evidence from dual-task performance. *Psychological Science*, *16*, 833-840.

- Marble, J., & Proctor, R. (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.
- Maylor, E., & Lavie, N. (1998). The influence of perceptual load on age differences in selective attention. *Psychology and Aging*, *13*, 563-573.
- Mayr, U., Awh, E., & Laurey, P. (2003). Conflict adaptation effects in the absence of executive control. *Nature Neuroscience*, *6*, 450-452.
- McCann, R., & Johnston, J. (1992). Locus of the single-channel bottleneck in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 471-484.
- McClelland, J. (1979). On the time relations of mental processes: An examination of systems of processes in cascade. *Psychological Review*, *86*, 287-330.
- McLeod, P. (1977). Parallel processing and the psychological refractory period. *Acta Psychologica*, *41*, 381-396.
- McLeod, P. (1978). Does probe RT measure central processing demand. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *30*, 83-89.
- Meyer, D., & Kieras, D. (1997a). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 1. Basic mechanisms. *Psychological Review*, *104*, 3-65.
- Meyer, D., & Kieras, D. (1997b). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 2. Accounts of psychological refractory period phenomena. *Psychological Review*, *104*, 749-791.
- Miller, E., & Cohen, J. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, *24*, 167-202.
- Miller, J. (1982). Discrete versus continuous stage models of human information processing: In search of partial output. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *8*, 273-296.
- Miller, J. (1987). Priming is not necessary for selective-attention failures: Semantic effects of unattended, unprimed letters. *Perception & Psychophysics*, *41*, 419-434.

- Miller, J. (1988). Discrete and continuous models of information processing: Theoretical distinctions and empirical results. *Acta Psychologica*, 67, 191-257.
- Miller, J. (1991). The flanker compatibility effect as a function of visual angle, attentional focus, visual transients, and perceptual load: A search for boundary conditions. *Perception & Psychophysics*, 49, 270-288.
- Miller, J. (2006). Backward crosstalk effects in psychological refractory period paradigms: Effects of second-task response types on first-task response latencies. *Psychological Research*, 70, 484-493.
- Miller, J. & Alderton, M. (2006). Backward response-level crosstalk in the psychological refractory period paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 149-165.
- Miller, J., & Reynolds, A. (2003). The locus of redundant-targets and nontargets effects: Evidence from the psychological refractory period paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 1126-1142.
- Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11, 56-60.
- Moray, N. (1967). Where is capacity limited? A survey and a model. *Acta Psychologica*, 27, 84-92.
- Müller, H., & Rabbitt, P. (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.
- Müller, M., & Hübner, R. (2002). Can the spotlight of attention be shaped like a doughnut? *Psychological Science*, 13, 119-124.
- Navon, D. (1984). Resources - a theoretical soup stone? *Psychological Review*, 2, 216-234.
- Navon, D. (1985). Attention division or attention sharing? In M. Posner & M. Marin (Eds.), *Attention and Performance XI* (pp. 133-146). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Navon, D. (1989). Attentional Selection: Early, late, or neither? *European Journal of cognitive psychology*, 1, 47-68.

- Navon, D. (1990). Do people allocate limited processing resources among concurrent activities? In L. Green & J. Kugel (Eds.), *Advances in behavioral economics* (Vol. 2, pp. 209-225). Westport, CT: Ablex Publishing.
- Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychological Review*, *86*, 214-255.
- Navon, D., & Miller, J. (1987). Role of outcome conflict in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *13*, 435-448.
- Navon, D., & Miller, J. (2002). Queuing or sharing? A critical evaluation of the single-bottle-neck notion. *Cognitive Psychology*, *44*, 193-251.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Nickerson, R. (1965). Response time to the second of two successive signals as a function of absolute and relative duration of intersignal interval. *Perceptual and Motor Skills*, *21*, 3-10.
- Norman, D., & Bobrow, D. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, *7*, 44-64.
- Paquet, L. (2001). Eliminating flanker effects and negative priming in the flankers task: Evidence for early selection. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*, 301-306.
- Paquet, L., & Craig, G. (1997). Evidence for selective target processing with a low perceptual load flankers task. *Memory & Cognition*, *25*, 182-189.
- Paquet, L., & Lortie, C. (1990). Evidence for early selection: Precuing target location reduces interference from same-category distractors. *Perception & Psychophysics*, *48*, 382-388.
- Pashler, H. (1984). Processing stages in overlapping tasks: Evidence for a central bottleneck. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *10*, 358-377.
- Pashler, H. (1990). Do response modality effects support multiprocessor models of divided attention? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*, 826-842.

- Pashler, H. (1991). Shifting visual attention and selecting motor responses: Distinct attentional mechanisms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 1023-1040.
- Pashler, H. (1994a). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116, 220-244.
- Pashler, H. (1994b). Graded capacity-sharing in dual-task interference? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 330-342.
- Pashler, H. (1994c). Overlapping mental operations in serial performance with preview. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 47A, 161-191.
- Pashler, H. (1998). *The psychology of attention*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Pashler, H., & Johnston, J. (1989). Chronometric evidence for central postponement in temporally overlapping tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 41, 19-45.
- Pashler, H., & Johnston, J. (1998). Attentional limitations in dual-task performance. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 155-189). Hove, U.K.: Psychology Press.
- Pashler, H., Johnston, J., & Ruthruff, E. (2000). Attention and performance. *Annual Review of Psychology*, 52, 629-651.
- Pashler, H., & Johnston, J. (1989). Chronometric evidence for central postponement in temporally overlapping tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 41, 19-45.
- Posner, M. (1978). *Chronometric explorations of mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence & Erlbaum Associates.
- Posner, M., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In H. Bouma & D. Bouwhuis (Eds.), *Attention and performance X* (Vol. 32, pp. 531-556). London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Posner, M., & Petersen, S. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
- Posner, M., Snyder, C., & Davidson, B. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 160-174.

- Prinzmetal, W. (1981). Principles of feature integration in visual perception. *Perception & Psychophysics*, *30*, 330-340.
- Prinzmetal, W., & Banks, W. (1977). Good continuation affects visual detection. *Perception & Psychophysics*, *21*, 389-395.
- Proctor, R., & Vu, K. (2002). Mixing location-irrelevant and location-relevant trials: Influence of stimulus mode on spatial compatibility effects. *Memory & Cognition*, *30*, 281-293.
- Proctor, R., Vu, K., & Marble, G. (2003). Mixing location-relevant and irrelevant tasks: Spatial compatibility effects eliminated by stimuli that share the same spatial codes. *Visual Cognition*, *10*, 15-50.
- Rees, G., & Frith, C. (1999). How do we select perceptions and actions? Human brain imaging studies. In G. W. Humphreys & J. Duncan & A. Treisman (Eds.), *Attention, space, and action: Studies in cognitive neuroscience* (pp. 72-88). New York, NY: Oxford University press.
- Ro, T., Machado, L., Kanwisher, N., & Rafal, R. (2002). Covert orienting to the locations of targets and distractors: Effects on response channel activation in a flanker task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology [A]*, *55*, 917-936.
- Rogers, R., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, *124*, 207-231.
- Ruthruff, E., Johnston, J., van Selst, M., Whitsell, S., & Remington, R. (2003a). Vanishing dual-task interference after practice: Has the bottleneck been eliminated or is it merely latent? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *2003*, 280-289.
- Ruthruff, E., & Miller, J. (1995). Negative priming depends on ease of selection. *Perception & Psychophysics*, *57*, 715-723.
- Ruthruff, E., Pashler, H., & Hazeltine, E. (2003b). Dual-task interference with equal task emphasis: Graded capacity sharing or central postponement? *Perception & Psychophysics*, *65*, 801-816.

- Ruthruff, E., Pashler, H., & Klaassen, A. (2001a). Processing bottlenecks in dual-task performance: Structural limitation or strategic postponement? *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*, 73-80.
- Ruthruff, E., Remington, R., & Johnston, J. (2001b). 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.
- Sanders, A. (1967). The effect of compatibility on grouping successively presented trials. *Acta Psychologica*, *26*, 373-382.
- Sanders, A. (1998). *Elements of human performance: Reaction processes and attention in human skill*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Scharf, B. (1998). Auditory attention: The psychoacoustical approach. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 75-118). Hove: Psychology Press.
- Schmidt, P., & Dark, V. (1998). Attentional processing of 'unattended' flankers: Evidence for a failure of selective attention. *Perception & Psychophysics*, *60*, 227-238.
- Schumacher, E., & Lauber, E. (1999). Concurrent response-selection processes in dual-task performance: Evidence for adaptive executive control of task scheduling. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*, 791-814.
- Schumacher, E., Seymour, T., Glass, J., Fencsik, D., Lauber, E., Kieras, D., & Meyer, D. (2001). Virtually perfect time sharing in dual-task performance: Uncorking the central cognitive bottleneck. *Psychological Science*, *12*, 101-108.
- Schvaneveldt, R. (1969). Effects of complexity in simultaneous reaction time tasks. *Journal of Experimental Psychology*, *81*, 289-296.
- Shiffrin, R., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review*, *84*, 127-190.
- Skelton, J., & Eriksen, C. (1976). Spatial characteristics of selective attention in letter matching. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *7*, 136-138.
- Smith, M. (1967). Theories of the psychological refractory period. *Psychological Bulletin*, *67*, 202-213.

- Smith, M. (1969). The effect of varying information on the psychological refractory period. *Acta Psychologica*, *30*, 220-231.
- Soto, D., Heinke, D., Humphreys, G., & Blanco, M. (2005). Early, involuntary top-down guidance of attention from working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*, *31*, 248-261.
- Sperling, G., & Doshier, B. (1986). Strategy and optimization in human information processing. In K. Boff & L. Kaufman & J. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance: I. Sensory processes and perception*. New York, NY: Wiley.
- Sperling, G., & Melchner, M. (1978). The attention operating characteristic: Examples from visual search. *Science*, *202*, 315-318.
- Steinhauser, M., & Hübner, R. (in press). Automatic activation of task-relevant representations in task-shifting. *Memory & Cognition*.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. *Acta Psychologica*, *30*, 276-315.
- Strayer, D., & Kramer, A. (1994a). Strategies and automaticity: I. Basic findings and conceptual framework. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*, 318-341.
- Strayer, D., & Kramer, A. (1994b). Strategies and automaticity: II. Dynamic aspects of strategy adjustment. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*, 342-365.
- Stroop, J. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*, 643-662.
- Telford, C. (1931). The refractory phase of voluntary and associative responses. *Journal of Experimental Psychology*, *14*, 1-36.
- Tipper, S. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *37A*, 571-590.

- Tipper, S., & Cranston, M. (1985). Selective attention and priming: Inhibitory and facilitory effects of ignored primes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *37A*, 591-611.
- Tipper, S., Weaver, B., Jerreat, L., & Burak, A. (1994). Object-based and environment-based inhibition of return of visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*, 478-499.
- Tombu, M., & Jolicoeur, P. (2002). All-or-none bottleneck versus capacity sharing accounts of the psychological refractory period phenomenon. *Psychological Research*, *66*, 274-286.
- Tombu, M., & Jolicoeur, P. (2003). A central capacity sharing model of dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 3-18.
- Tombu, M., & Jolicoeur, P. (2004). Virtually no evidence for virtually perfect time-sharing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *30*, 795-810.
- Tombu, M., & Jolicoeur, P. (2005). Testing the predictions of the central capacity sharing model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *31*, 790-802.
- Treisman, A. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *12*, 242-248.
- Treisman, A. (1969). Strategies and models of selective attention. *Psychological Review*, *76*, 282-299.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, *12*, 97-136.
- Treisman, A., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, *95*, 15-48.
- Treisman, A., Kahneman, D., & Burkell, J. (1983). Perceptual objects and the cost of filtering. *Perception & Psychophysics*, *33*, 527-532.

- Treisman, A., & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*, 459-478.
- Treisman, A., & Williams, T. (1984). A theory of criteria setting with an application to sequential dependencies. *Psychological Review*, *91*, 68-111.
- Vince, M. (1948). The intermittency of central movements and the psychological refractory period. *British Journal of Psychology*, *38*, 149-157.
- Vu, K., & Proctor, R. (2004). Mixing compatible and incompatible mappings: Elimination, reduction, and enhancement of spatial compatibility effects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *57A*, 539-556.
- Watter, S., & Logan, G. (2006). Parallel response selection in dual-task situations. *Perception & Psychophysics*, *68*, 254-277.
- Welford, A. (1952). The 'psychological refractory period' and the timing of high-speed performance - a review and a theory. *British Journal of Psychology*, *43*, 2-19.
- Welford, A. (1967). Single channel operation in the brain. *Acta Psychologica*, *27*, 5-22.
- Wickens, C. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 63-102). Orlando: Academic Press.
- Wickens, C., Sandry, D., & Vidulich, M. (1983). Compatibility and resource competition between modalities of input, central processing and output. *Human factors*, *25*, 227-248.
- Wood, N., & Cowan, N. (1995). The cocktail party phenomenon revisited: Attention and memory in the classic selective listening procedure of Cherry (1953). *Journal of Experimental Psychology: General*, *124*, 243-262.
- Woodman, G., & Luck, S. (2004). Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11*, 269-274.
- Yantis, S. (2000). Goal-directed and stimulus-driven determinants of attentional control. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII* (pp. 73-103). Cambridge, MA: MIT Press.
- Yantis, S., & Johnston, J. (1990). On the locus of visual selection: Evidence from focused attention tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*, 135-149.

Yi, D., Woodman, G., & Widders, D. (2004). Neural fate of ignored stimuli: Dissociable effects of perceptual and working memory load. *Nature Neuroscience*, 7, 992-996.

Anhang

A) Formalisierte Beschreibung des CCS Modells

Das CCS Modell gründet sich auf die Annahme diskreter Stufen im Informationsverarbeitungsprozess. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich nach einer perzeptuellen Stufe A die zentrale Antwortauswahl B anschließt, gefolgt von der Stufe motorischer Antwortproduktion C. Das heißt, die Reaktionszeiten RT_1 und RT_2 entsprechen der Summe der Verarbeitungszeiten der einzelnen Stufen (z.B. Tombu & Jolicoeur, 2003):

$$RT_1 = T_{A1} + T_{B1} + T_{C1},$$

$$RT_2 = T_{A2} + T_{B2} + T_{C2}.$$

Wie die Dauer der einzelnen Stadien jeweils bestimmt werden kann, lässt sich anhand graphischer Abbildungen einfach illustrieren.

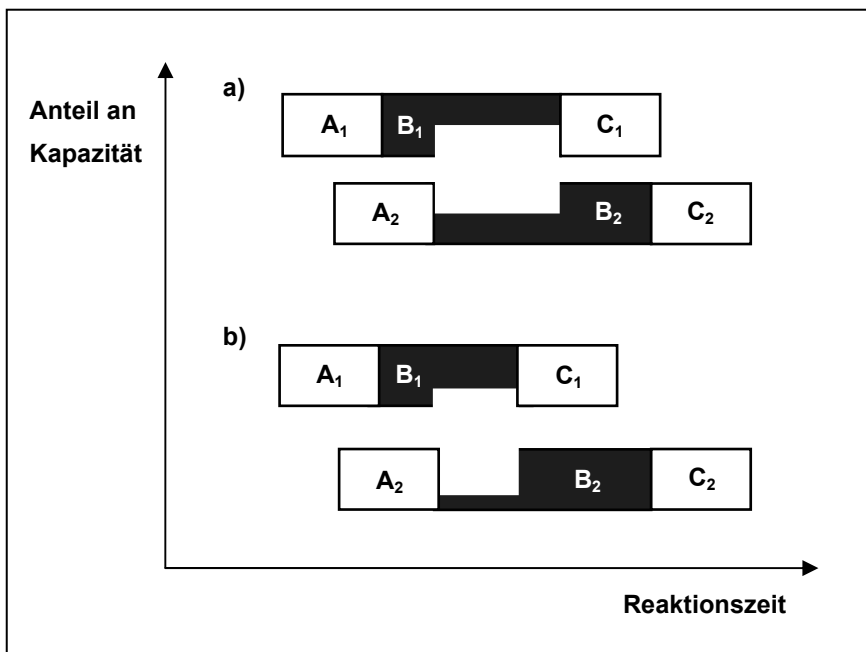


Abbildung A-1: Die Abbildung illustriert die formalen Annahmen des CCS Modells. Die Flächen A_1 und A_2 beziehen sich auf die präzentralen Stufen (Wahrnehmung), die Flächen C_1 und C_2 stehen für die postzentralen Stufen (Antwortproduktion) für Aufgabe 1 und Aufgabe 2. B_1 und B_2 bezeichnen die entsprechenden zentralen Stufen mit beschränkter Kapazität. Der obere Teil der Abbildung (a) stellt eine PRP-Situation mit gleichmäßiger Kapazitätsaufteilung dar. Im unteren Fall (b) ist Aufgabe 1 zunächst mehr Kapazität zugeteilt.

In Abbildung A-1 ist eine für das PRP-Paradigma typische Doppelaufgabensituation dargestellt (sie entspricht Typ B in Tombu & Jolicoeur, 2003). Die individuellen Stadien werden durch Flächen repräsentiert, deren Größe der Arbeit (W) entspricht, die notwendig ist, um die Verarbeitung auf der jeweiligen Stufe zu erledigen. W wird nach Einheiten der Kapazität (c) gemessen. Solange die Aufgabe als solche nicht modifiziert wird, bleibt die Arbeit, die für eine gegebenen Aufgabe bzw. eine gegebene Stufe notwendig ist, konstant. Die vertikale Ausdehnung der Flächen korrespondiert mit der momentanen Verarbeitungsrate r , die zwischen 0 und der maximalen Rate r_{\max} variieren kann. Die Einheiten von r sind Kapazität pro Sekunde (c/s).

Es wird angenommen, dass die Stadien A und C über unbegrenzte Kapazität verfügen, so dass die Verarbeitungsrate auf diesen Stufen konstant 1 ist. Ihre Dauer kann einfach berechnet werden, indem die erforderliche Arbeit durch die Maximalrate dividiert wird (d.h. $T = W/r$). Für zwei Aufgaben betragen die Verarbeitungszeiten für die Stadien A und C also: $T_{A1} = W_{A1}/r_{\max}$, $T_{C1} = W_{C1}/r_{\max}$, $T_{A2} = W_{A2}/r_{\max}$, and $T_{C2} = W_{C2}/r_{\max}$. In der graphischen Darstellung bedeutet dies, dass die horizontale Ausdehnung der Flächen in Abbildung A-1 direkt der Verarbeitungsdauer entspricht. Entscheidend dabei ist jedoch, die Dauer der Stufen B_1 und B_2 zu bestimmen. Gemäß CCS Modell ist die Kapazität auf zentraler Stufe begrenzt, kann jedoch beliebig zwischen den Aufgaben geteilt werden.

Die Kapazitätsbeschränkung impliziert, dass sich während der Überlappung der zentralen Stufen die Verarbeitungsraten von B_1 and B_2 zu jedem Zeitpunkt zur Maximalrate aufsummieren. Die Rate für das Stadium B_1 zum Zeitpunkt t wird als $r_{B1}(t)$ bezeichnet. Die Rate für B_2 zu diesem Zeitpunkt ist dann analog $1 - r_{B1}(t)$. Demzufolge hängt die Dauer von T_{B1} and T_{B2} sowohl vom Grad zentraler Überlappung beider Aufgaben als auch vom Ausmaß der Kapazitätsteilung ab. Betrachtet man den Spezialfall, bei dem die Rate für B_1 konstant r_{\max} (d.h. gleich 1) ist, entspricht die Situation einem strikt seriellen Flaschenhals.

T_{B1} and T_{B2} können durch abschnittsweise Berechnungen bestimmt werden. Wie ersichtlich in Abbildung 1 hängt die zeitliche Überlappung zwischen B_1 und B_2 vom Unterschied $T_{A2} - T_{A1}$ zwischen der Dauer der Stadien A_1 and A_2 und dem SOA ab. Offensichtlich ist die Verarbeitungsrate im Intervall $\text{SOA} + T_{A2} - T_{A1}$ für B_1 gleich der Maximalrate r_{\max} . Die Arbeit in dem Intervall entspricht somit $(\text{SOA} + T_{A2} - T_{A1}) \cdot r_{\max}$. Die verbleibende Arbeit

wird anschließend mit einer Rate von r_{B1} erledigt. Insgesamt wird also T_{B1} berechnet wie folgt:

$$T_{B1} = \text{SOA} + T_{A2} - T_{A1} + [W_{B1} - (\text{SOA} + T_{A2} - T_{A1}) \cdot r_{\max}] / r_{B1}. \quad (1)$$

Aus Gleichung 1 können einige Vorhersagen abgeleitet werden. Da die Arbeit für B_1 konstant ist, hängt die Dauer dieser Stufe von der Verarbeitungsrate ab. Es lässt sich somit vorhersagen, dass sich RT_1 mit einer Erhöhung der Rate ebenfalls erhöht. Das heißt, je mehr Kapazität mit B_2 geteilt wird, desto mehr Kosten entstehen für RT_1 . Ferner sollte RT_1 mit zunehmendem SOA abnehmen. Dieser Effekt sollte außerdem umso stärker werden, je kleiner r_{B1} wird. Für den Fall, dass r_{B1} gleich 1 ist, wird kein Einfluss des SOA auf die Leistung für Aufgabe 1 vorhergesagt.

Die Dauer von B_2 kann analog zu der von B_1 berechnet werden:

$$\begin{aligned} T_{B2} &= [W_{B1} - (\text{SOA} + T_{A2} - T_{A1}) \cdot r_{\max}] / r_{B1} \\ &+ \{W_{B2} - [W_{B1} - (\text{SOA} + T_{A2} - T_{A1}) \cdot r_{\max}] / r_{B1} \cdot r_{B2}\} / r_{\max} \\ &= T_{A1} - T_{A2} - \text{SOA} + W_{B1} / r_{\max} + W_{B2} / r_{\max}. \end{aligned} \quad (2)$$

Gleichung 2 erklärt den Zusammenhang von T_{B2} mit dem SOA und damit den PRP-Effekt. Außerdem hängt T_{B2} von der Arbeit ab, die für Aufgabe 1 und Aufgabe 2 benötigt wird. T_{B2} wird jedoch nicht von den relativen Raten beeinflusst (siehe Abbildung I-3). Dies bedeutet, dass T_{B2} und somit auch RT_2 vom Grad der Kapazitätsteilung nicht beeinflusst werden. Daher produziert die Kapazitätsteilung mit Aufgabe 2 keinerlei Vorteile für RT_2 , führt aber zu Kosten auf RT_1 .

B) Anpassung des CCS Modells an die Daten aus Studie 2

Das Modell wurde an insgesamt 48 Datenpunkte angepasst. 12 dieser Punkte stammten aus der Bedingung mit konstanten Flankern: 6 Punkte für RT_1 und 6 Punkte für RT_2 . Die 6 Punkte für jeden Antworttyp repräsentierten die drei Instruktionen und die zwei Kongruenzbedingungen (der kleine Effekt des Farbintervalls wurde hier ignoriert). Die anderen 36 Datenpunkte entstammen der Bedingung mit alternierenden Flankern. Das Datenmuster war hier dasselbe wie für die Bedingung mit konstanten Flankern. Es gab jedoch ein Muster für die drei verschiedenen Farbintervalle. Darüber hinaus wurden nur die Durchgänge einbezogen, in denen die Kongruenz der Teil1-Flanker dieselbe war wie die der Teil2-Flanker.

Für die Anpassung des Modells an die Daten stellte sich als großer Vorteil heraus, dass für R_1 und R_2 die gleichen Aufgaben verwendet wurden. Da die Annahme getroffen werden konnte, dass die Verarbeitung von R_1 dieselbe Menge an Arbeit benötigt wie die Verarbeitung von R_2 , war es möglich, die Anzahl der Parameter insgesamt zu reduzieren. Hieraus folgt $T_{A1} = T_{A2}$ und $T_{C1} = T_{C2}$. Ferner gab es keine Variation der Dauer der perzeptuellen Verarbeitung oder der Ausführung der Antworten, so dass W_A und W_C für alle Bedingungen als konstant erachtet werden konnten. Abgesehen davon wurde angenommen, dass die Kapazität auf eine Weise geteilt wurde, dass T_{B1} stets kleiner oder gleich T_{B2} war. Mit anderen Worten: S_2 wurde weniger Kapazität als S_1 während der Verarbeitung von R_1 zugeteilt.

Das entscheidende Defizit des ursprünglichen CCS Modells im Hinblick auf die vorliegenden Experimente besteht darin, dass es keine *Crosstalk*-Effekte erklären kann. Daher wurden dem Modell einige Annahmen hinzugefügt. Die erste Annahme besteht darin, dass die inhaltliche Überlappung zwischen den Aufgaben Einiges an zentraler Kapazität verbraucht. Bei kongruenten Reizen könnten die Kosten durch positives *Priming* der Antworten kompensiert werden. Somit wurde die kongruente Situation als funktional äquivalent zu der Standardsituation betrachtet (siehe Abbildung I-3). Die Situation ändert sich jedoch im Fall inkongruenter Reize. Da diese zu negativem *Priming* der Antworten führen, ergibt sich hier keine Kompensation für die Reduktion der Kapazität. Für die inkongruenten Reize musste somit eine Reduzierung der Gesamtmenge zentraler Kapazität implementiert werden. Dies wurde modelliert, indem die Verarbeitungsraten r_{B1} und r_{B2} mit einem gemeinsamen Reduktionsparameter z multipliziert wurden, der zwischen 0.5 und 1 variieren konnte.

Zuerst soll nun die Bedingung mit konstanten Flankern betrachtet werden. Hier wurden die Reize stets gleichzeitig präsentiert, so dass die Gleichungen vergleichsweise einfach sind. Zusammengefasst verändert sich also Gleichung 1 folgendermaßen:

$$T_{B1} = [1 / (r_{B1} \cdot z)] \cdot W_{B1}.$$

Eine vorläufige Anpassung des Modells an die Daten bestätigte die Vermutung, dass sich die Reduzierung der Kapazität nicht konstant verhielt, sondern vom Grad der Kapazitätsteilung abhing. Mit einem konstanten z wurden keine befriedigenden Resultate für RT_2 erzielt. Dies liegt vermutlich an dem Mechanismus, dass verstärkte Kapazitätsteilung zu erhöhter Interferenz zwischen den Aufgaben führt, welche wiederum mehr zentrale Kapazität verbraucht. Um dies zu berücksichtigen und um die Anzahl von zusätzlichen Parametern zu reduzieren, wurde z als lineare Funktion von r_{B1} definiert, d.h.:

$$z = d \cdot r_{B1} / r_{\max} + e,$$

wobei es sich bei d und e um freie Parameter handelte.

Die Dauer von Stufe B_2 ist abhängig von der Länge des Intervalls zentraler Überlapung zwischen den Aufgaben, $[1 / (r_{B1} \cdot z)] \cdot W_{B1}$, und von der Zeit, die für die verbleibende Arbeit benötigt wird $(W_{B2} - [1 / (r_{B1} \cdot z)] \cdot W_{B1} \cdot r_{B2} \cdot z) / r_{\max}$. Zusammengenommen berechnet sich die Dauer von B_2 folgendermaßen:

$$T_{B2} = [1 / (r_{B1} \cdot z)] \cdot W_{B1} + (W_{B2} - [1 / (r_{B1} \cdot z)] \cdot W_{B1} \cdot r_{B2} \cdot z) / r_{\max}.$$

Eine Vereinfachung führt zu:

$$T_{B2} = W_{B1} \cdot (1 / r_{B1})(1 / z - 1) + W_{B1} / r_{\max} + W_{B2} / r_{\max}.$$

Falls $z = 1$, wie für die kongruenten Reize angenommen, entsprechen die Ergebnisse in T_{B1} and T_{B2} den Gleichungen 1 und 2. Ist die Kapazität jedoch reduziert, sind die Reaktionszeiten erhöht. Da z in der Gleichung für T_{B2} enthalten ist, erhöht sich RT_2 mit dem Grad der Kapazitätsteilung – im Gegensatz zu Gleichung 2.

Diese Gleichungen treffen grundlegend auch für die Bedingung mit alternierenden Flankern zu. Bei diesen Durchgängen müssen jedoch zusätzlich die zeitliche Variation und die Effekte der Teil1-Flanker berücksichtigt werden. Die Ergebnisse von Studie 2 lassen ver-

muten, dass die Verarbeitung der Teil1-Flanker einige Ressourcen verbraucht, was zu vergleichbaren Kosten auf RT_1 und RT_2 führt. Darüber hinaus entsprachen die Ergebnisse aus den Durchgängen mit alternierenden Flankern, falls sich die Kongruenz zwischen Teil1- und Teil2-Flanker nicht änderte, weitgehend den Durchgängen mit konstanten Flankern. Der Flankerwechsel ohne Änderung der Kongruenz verursachte nur geringfügige Kosten, welche vermutlich auf die Enkodierung der neuen Flanker zurückzuführen sind. Diese Kosten nahmen mit der Dauer des Flankerintervalls zu. Daher wurden die Daten aus den Durchgängen mit alternierenden Flankern in derselben Weise wie die Daten aus Durchgängen mit fixen Flankern modelliert, mit der Ausnahme, dass der Term 'g · INT' zu den Gleichungen hinzugefügt wurde. Dieser Term erhöht die für die Bearbeitung der zentralen Stufen erforderliche Zeit um eine gewisse, zum Flankerintervall proportionale Dauer:

$$T_{B1} = [1 / (r_{B1} \cdot z)] \cdot W_{B1} + g \cdot \text{INT}.$$

$$T_{B2} = W_{B1} \cdot (1 / r_{B1}) (1 / z - 1) + W_{B1} \cdot (s / c) + W_{B2} \cdot (s / c) + g \cdot \text{INT}.$$

Die Arbeit für die zentralen Stufen, W_{B1} und W_{B2} , wurde willkürlich auf $500 c$ festgesetzt. Da angenommen wurde, dass die prä- und postzentralen Stufen für beide Aufgaben und alle Bedingungen konstant sind, wurden sie anhand einer einzelnen additiven Konstante modelliert. Darüber hinaus mussten auch die geschätzten RTs skaliert werden, um sie in denselben Bereich wie die experimentellen Daten zu bringen. Aus diesem Grund wurde eine einzelne lineare Transformation auf die geschätzten RTs angewandt, d.h.:

$$RT_1 = a \cdot T_{B1} + b$$

und

$$RT_2 = a \cdot T_{B2} + b$$

Insgesamt waren so 48 Datenpunkte für die Anpassung der 6 relevanten Parameter vorhanden: Drei Werte für r_{B1} , die den drei Instruktionsbedingungen entsprachen, zwei lineare Parameter d und e , um die Kapazitätsreduktion z zu berechnen, und ein Parameter g für den Effekt des Flankerintervalls. Das Modell wurde mittels einer Routine (SIMPLEX) angepasst, die die Parameterwerte schätzte, indem die Summe der quadrierten Abweichungsfehler minimiert wurde.

Die Prozedur ergab als Schätzung für r_{B1} die Werte 0.872, 0.747 und 0.666 für die serielle, neutrale bzw. parallele Bedingung. Für den Parameter g wurde so der Wert 0.633 erhalten. Die Skalierungsparameter a und b wurden auf 0.684 und 226 festgesetzt. Wie in Abbildung III-5 ersichtlich, entsprachen die Daten mit diesen Parametern dem Modell gut. Dies wird auch ausgedrückt durch das korrespondierende R^2 von 0.999.