

Miriam Gade: Aufgabeninhibition als Mechanismus der Konfliktreduktion zwischen Aufgabenrepräsentationen. Leipzig: Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences, 2006 (MPI Series in Human Cognitive and Brain Sciences; 75)

Aufgabeninhibition als Mechanismus der
Konfliktreduktion zwischen
Aufgabenrepräsentationen

Aufgabeninhibition als Mechanismus der Konfliktreduktion zwischen Aufgabenrepräsentationen

Der Fakultät für Biowissenschaften, Pharmazie und Psychologie

der Universität Leipzig

eingereichte

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum naturalium

Dr. rer. nat.,

vorgelegt

von

Diplom-Psychologin Miriam Elisabeth Gade

geboren am 19.09.1978 in Würzburg

Leipzig, den 29. August 2006

DANKSAGUNG

Zu Beginn dieser Arbeit möchte ich all jenen Menschen danken, die das Entstehen derselben auf die eine oder andere Weise möglich gemacht haben.

Mein besonderer Dank gilt Iring Koch, der meine Begeisterung für Fragen nach den Mechanismen, die uns unsere Flexibilität ermöglichen geweckt und kontinuierlich am Leben erhalten hat. Seiner Geduld, Diskussionsbereitschaft und seinem Engagement verdankt diese Arbeit ihre Existenz.

Außerdem möchte ich auch Wolfgang Prinz danken, der sowohl im Münchner wie dann auch im Leipziger Institut immer für eine Atmosphäre des wissenschaftlichen Dialogs und nicht der wissenschaftlichen Konkurrenz gesorgt hat. Diese Atmosphäre hat die ersten Schritte ins Wissenschaftlerdasein sehr leicht und angenehm gemacht und dafür möchte ich mich herzlich bedanken.

Vielen Dank auch allen Kollegen und Kolleginnen in München und insbesondere dann auch in Leipzig und ganz besonders natürlich allen Mit-Doktoranden und -Doktorandinnen für die Diskussionen, die Hilfsbereitschaft und Spass, den wir in den letzten zwei Jahren hatten.

Gerne möchte ich mich auch noch bei Andrea Philipp bedanken, die mit mir nicht nur Büro und Wohnung geteilt hat, sondern auch das gleiche Arbeitsgebiet und somit auch viele Stunden Diskussion über das Wesen der kognitiven Kontrolle.

Letztlich und endlich möchte ich noch dem Menschen danken, der mich immer wieder auf den Boden der Tatsachen zurückgeholt haben und mir den Blick für das Wesentliche im Leben bewahrt haben: mein Freund Benedikt Kießling. Ohne dich, lieber Benedikt, wäre das alles nicht möglich gewesen. Vielen, vielen Dank.

Inhaltsverzeichnis

1	Auswahl von Handlungen und ihre Kontrolle	1
1.1	Das Problem mit der Evolution	1
1.1.1	Evolution als Zugewinn an Wahlfreiheit	1
1.1.2	Das Entscheidungsproblem und die Evolution	3
1.1.3	Ziele als neuer Weg der Verhaltensorganisation	4
1.2	Die Willenshandlung	4
1.2.1	Handlungsrepräsentationen - Entstehung und Aktivierung	4
1.2.2	Die Psychologie des Willens - William James und Narziß Ach	6
1.3	Konflikte durch unvereinbare Reaktionstendenzen	10
1.3.1	Reaktionskonflikt durch präpotente Reaktionen	10
1.3.2	Reaktionskonflikt durch S-R Kompatibilität	11
1.3.3	Modelle zur Erklärung der Effekte im Stroop- und Simon-Paradigma	12
1.3.4	Reaktionskonflikt durch simultane Präsentation von Stimuli	13
1.3.5	Reaktionskonflikt durch Wechsel der Handlungskontexte .	14
1.3.6	Zusammenfassung der Ursachen für Konflikt zwischen Re- aktionen	15
1.3.7	Konflikt - eine Definition	16
1.4	Kontrolle im kognitiven System	18
1.4.1	Grundlegende Probleme im Bereich kognitiver Kontrolle .	18
1.4.2	Definition von Kontrolle	19
1.4.3	Globale und lokale Kontrolle	20
1.4.4	Bedingungen für die Anpassung kognitiver Kontrollme- chanismen	21

1.5	Kontrolle in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen	24
1.5.1	Aufgaben-Sets als handlungsleitende Repäsentationen . . .	25
1.5.2	Paradigmen	26
1.5.3	Aktivierung von Aufgaben-Sets und Vorbereitungseffekte .	28
1.5.4	Persistierende Aktivierung von Aufgaben-Sets und Bahnungs- prozesse	30
1.5.5	Inhibition in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen . .	33
1.6	Aufgabeninhibition und Konflikt - Überblick über die Experimente	38
2	Konflikt und Aufgabeninhibition - Studien	43
2.1	Residuale Aktivierung und Aufgabeninhibition	43
2.1.1	Methode Experiment 1	45
2.1.2	Ergebnisse Experiment 1	46
2.1.3	Diskussion Experiment 1	47
2.2	Dominanz und Aufgabeninhibition	49
2.2.1	Methode Experiment 2	51
2.2.2	Ergebnisse Experiment 2	53
2.2.3	Diskussion Experiment 2	55
2.3	Überlappung im Antwort-Set und Aufgabeninhibition	59
2.3.1	Methode und Ergebnisse Experiment 3	62
2.3.2	Methode und Ergebnisse Experiment 4	66
2.3.3	Methode und Ergebnisse Experiment 5	67
2.3.4	Vergleich zwischen den Experimenten	68
2.3.5	Analyse der UTU Tripel für Experiment 3-5	71
2.3.6	Zusammenfassende Diskussion und Motivation für Experiment 6	72
2.3.7	Methode Experiment 6	74
2.3.8	Ergebnisse Experiment 6	76
2.3.9	Diskussion Experiment 6	78
2.4	Aufgaben-Sets als Ziele von Aufgabeninhibition	81
2.4.1	Methode Experiment 7	83
2.4.2	Ergebnisse Experiment 7	85
2.4.3	Diskussion Experiment 7	86

3 Aufgabeninhibition - Abschlussdiskussion	87
3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	87
3.2 Antwortkonflikt und Inhibition	92
3.3 Inhibitionsmechanismen	100
3.4 Aufgaben-Sets als Ziele von Inhibition	104
3.5 Arbeitsgedächtnis und Aufgabensequenzen	110
3.6 Grenzen der vorliegenden Arbeit	113
3.7 Fazit	114
Literaturverzeichnis	117
Liste der Abbildungen	130
Liste der Tabellen	133
Curriculum Vitae	134
Bibliographische Daten	135

Kapitel 1

Auswahl von Handlungen und ihre Kontrolle

1.1 Das Problem mit der Evolution

1.1.1 Evolution als Zugewinn an Wahlfreiheit

Betrachtet man die Evolutionsgeschichte vom Einzeller bis zum Menschen, so fällt auf, dass höhere Evolutionsstufen immer mit einem Mehr an Wahlfreiheiten bezogen auf Reaktionen gegenüber einzelnen Stimuli einhergehen. Experimente zum klassischen Konditionieren verdeutlichen diese Entwicklung. Während die Aplysia, eine in solchen Paradigmen gerne verwendete Schnecke, lediglich ihren Siphon einziehen und sich so gegen aversive Reize schützen kann, können Hunde, lässt man ihnen die Möglichkeit dazu, aversiven Reizen durch Weglaufen entkommen. Werden sie hingegen am Weglaufen gehindert, zeigen auch sie noch das für weniger hoch entwickelte Tiere klassische „freezing“, also ein komplettes Einfrieren als (reflexhafte) Angstreaktion¹.

Die Evolution befähigte die Lebewesen und insbesondere die Säugetiere, ihre Verhaltensweisen adaptiv an die gegebenen Umweltbedingungen anzupassen. Indem es den Säugern möglich wurde, angeborene, reflexhafte Verhaltensweisen gegenüber bestimmten Stimuli zu überwinden und sich somit besser an ihre Um-

¹Natürlich ist dieser Vergleich nicht ganz fair, da Hunde erheblich mehr Freiheitsgrade durch mehr motorische Möglichkeiten in ihren Reaktionen haben. Dennoch zeigt eine Aplysia zumindest keine, bisher in der Literatur berichteten, Fluchtendenzen, während diese bei Hunden, die nicht fixiert sind, immer zu beobachten sind.

welt anzupassen, wuchs ihre Fähigkeit neue Lebensräume zu erschließen und sich auf der Erde auszubreiten. Die Ausbildung von (assoziativen) Lernmechanismen und die dazu gehörende Fähigkeit, Erinnerungen in Form von Assoziationen zu bilden, abzuspeichern und wieder zu aktivieren, sind dabei vielleicht der größte Evolutionsschritt in der ganzen langen Geschichte der Säugetiere.

Für die meisten Säugetiere ist es kein Problem, arbiträre Reaktionen (wie z.B. das Heben der linken Vorderpfote) auf bestimmte Stimuli auszuführen. Klarerweise braucht es bei weniger entwickelten Säugetieren wie Hunden oder Katzen einige Zeit und etliches an Belohnung, bis das Tier das gewünschte Verhalten zeigt. Hingegen zeigen Kinder bereits nach wenigen belohnten Ausführungen das erwünschte Verhalten und halten jedem Erwachsenen bei seinem Erscheinen brav die Hand hin. Damit verbinden sie die Erwartung diese geschüttelt zu bekommen, so lange bis sie gelernt haben, dass mancher Erwachsene sich vielleicht eher über eine Umarmung freut und ihr Verhalten dementsprechend an die unterschiedlichen Erwachsenen anpassen.

So bleibt also festzustellen, dass sich im Laufe der Evolution unser Verhaltensrepertoire von einzelnen, reflexhaften Stimulus-Reaktions- (S-R) Verbindungen in ein erheblich größeres S-R Repertoire entwickelte, das sich im Wesentlichen dadurch auszeichnet, dass fast jeder Stimulus mit fast jeder Antwort verbunden werden kann (vgl. Abb. 1.1, Miller & Cohen, 2001).

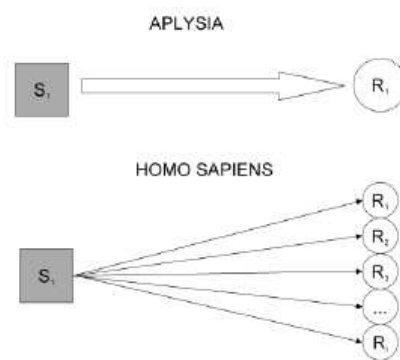


Abbildung 1.1: Vereinfachte Darstellung des Zugewinns an Wahlmöglichkeiten im Laufe der Evolution

1.1.2 Das Entscheidungsproblem und die Evolution

Die großen Vorteile dieser oben skizzierten Entwicklung sehen wir am Siegeszug der höheren Säugetiere in der Evolutionsgeschichte: Menschen können nun an nahezu allen Orten der Erde (und auch außerhalb derselben) überleben. Technischer und wissenschaftlicher Fortschritt ermöglichen uns ein komfortables Leben in steinernen Häusern mit Zentralheizung. Wir sind in der Lage, unser Verhalten enorm schnell an sich ändernde Bedingungen, wie zum Beispiel an den technischen Fortschritt anzupassen und brauchen keine mehrere Generationen dauernden Lernprozesse mehr. Wir sind in dem, wie wir auf einzelne Stimuli reagieren, kaum noch festgelegt, bestenfalls durch körperlich-motorische Grenzen oder Mängel in unserem Wahrnehmungsapparat (z.B. durch Fehlen des Infrarotspektrums beim Sehen). Die Bandbreite an möglichen Reaktionen auf einzelne Stimuli ist groß und wir sind (zumindest nach allgemeinem Verständnis und psychologischer Realität, siehe Prinz, 2004) frei, eine entsprechende Reaktion zu wählen.

Und genau hier beginnt das Problem, mit dem sich diese Arbeit beschäftigt. Die Entwicklungsgeschichte der Welt und des Menschen hat uns mit vielen Möglichkeiten ausgestattet und uns zugleich in die Situation gebracht, dass wir uns an jedem ganz normalen Tag mehrfach entscheiden müssen, Dinge zu tun oder Dinge zu lassen. Die Freiheit, die wir in unserem Handeln genießen, ist verbunden mit der Pflicht, sich zu entscheiden - und sei es, sich zu entscheiden, jetzt gerade nichts zu entscheiden. Natürlich verfügen wir auch wie andere nicht so weit entwickelte Tiere über ein überlebensnotwendiges Reflexpaket, das unweigerlich durch das Auftauchen bestimmter Stimuli aktiviert wird. So zeigen auch Menschen beim Anblick eines Königstigers in freier Wildbahn - zumindest im ersten Moment - eine „freezing“-Reaktion und erstarren. Dennoch ist das Zurückgreifen auf diese sehr rudimentären Verhaltensweisen nur an wenige, dem modernen Menschen in einer Industriegesellschaft eher nicht mehr vertraute Situationen gebunden. Wir müssen unser tagtägliches Entscheidungsproblem meist anders als durch Rückgriff auf alte Reflexe lösen und die meisten von uns machen das durch die Wahl von Zielen, die sie erreichen möchten und orientieren im Folgenden ihre Entscheidungen und Handlungen an diesen Zielen.

1.1.3 Ziele als neuer Weg der Verhaltensorganisation

Die Wahl von Zielen ersetzte die bisherige Art der Verhaltenssteuerung durch Reflexe und Instinkte im Laufe der Evolution, insbesondere im Bereich der menschlichen Phylogenese. Dabei kann ein Ziel sowohl ein Objekt sein, das man besitzen möchte (z.B. ein Haus am Strand), ein Ort, an den man gelangen möchte (z.B. die Karibik) oder aber ein Zustand, den man erreichen will (z.B. erfolgreich sein und von allen anerkannt werden). Ziele sind dabei so flexibel in ihrer konkreten Ausgestaltung wie menschliche Handlungen. Generell sollen unter dem Konzept „Ziele“ in der vorliegenden Arbeit Veränderungen verstanden werden. Die Veränderungen können entweder in der handelnden Person selber (z.B. zufrieden sein, wenn man vorher unglücklich ist) oder aber in der, die handelnde Person umgebenden Umwelt (z.B. Licht anmachen, wenn es langsam dämmt) liegen. Handlungen, die in der Absicht geschehen, eine solche Veränderung herbeizuführen, also ein Ziel zu erreichen, werden im Weiteren als intentional bezeichnet.

Wie schaffen wir es aber, unsere Ziele umzusetzen oder uns Instruktionen entsprechend zu verhalten, wenn diese die Überwindung habitueller, also lange geübt und fest in unserem Verhaltensrepertoire verankerter Reaktionen erfordern oder gegenüber konkurrierenden Reaktionen durchgesetzt werden müssen? Eine ganze Reihe von verschiedenen kognitiven Prozessen sind notwendig, eine einmal gewählte Handlung auch auszuführen. Mit einem dieser Prozesse, der Inhibition konkurrierender Aufgaben, wird sich die vorliegende Arbeit genauer beschäftigen und die Bedingungen, unter denen dieser Prozess bei der Auswahl und insbesondere Implementierung der zu einer Entscheidung gehörenden Handlung eine Rolle spielt, näher spezifizieren.

1.2 Die Willenshandlung

1.2.1 Handlungsrepräsentationen - Entstehung und Aktivierung

Jeder von uns hat in seinem Leben bestimmte Ziele, die er oder sie erreichen will. Neben Zielen, die sich direkt beim Betrachten der näheren Umwelt anbieten (z.B. einem Stück Kuchen, das auf dem Tisch vor mir steht), verfolgen wir auch hoch-effizient Ziele, die weder konkret sind (z.B. Erfolg) noch unmittelbar in unserer Umwelt liegen (z.B. Strandurlaub in der Karibik, wenn man an einem Schreib-

tisch in Mitteldeutschland sitzt). Dennoch können wir auch von solchen Zielen Vorstellungen entwickeln und diese somit mental repräsentieren. Mehr noch, wir können nicht nur das Ziel, sondern auch die dahinführenden Handlungen repräsentieren. Diese Repräsentationen umfassen entweder die Handlung als Ganzes (z.B. Greifen nach dem Kuchen) oder eben ein hierarchisches Schema, nämlich das Ziel und all die kleinen Teilhandlungen, die zum Ziel führen (vgl. Abb.1.2; siehe auch Cooper & Shallice, 2000 für ähnliche Annahmen).

Dabei wäre es zu kurz gegriffen, eine Repräsentation einfach nur als Vorstellung von etwas abzuhandeln. Mentale Repräsentation, beziehungsweise mentale Sets spielen in der Handlungskontrolle eine wichtige Rolle. Sie spezifizieren die Prozesse, wie ein ankommender Reiz verarbeitet werden soll und verhindern, dass störende Reize den Handlungsablauf unterbrechen (vgl. u.a. Mayr, 2003).

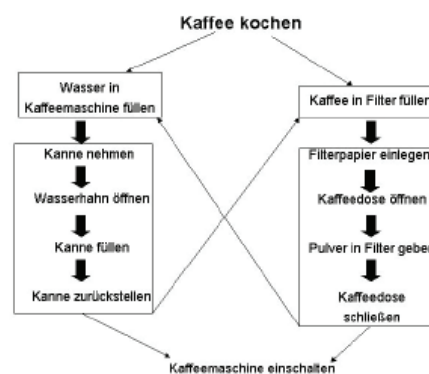


Abbildung 1.2: Hierarchisches Handlungsschema der Kaffeezubereitung

Mentale Repräsentation einer Handlung entstehen entweder durch die erfolgreiche Durchführung der Handlung selber, werden also gelernt, oder aber durch präzise Instruktion der handelnden Person. Dementsprechend können mentale Repräsentation durch verschiedene Bedingungen hervorgerufen und aktiviert werden, um im Weiteren die Handlung zu leiten. Während das ideomotorische Prinzip davon ausgeht, dass Handlungsrepräsentationen über die Vorwegnahme des Handlungsziels beziehungsweise die, der Handlungen folgenden, Effekte aktiviert werden (James, 1890; Prinz, 1997), sind auch andere, mehr an die aktuelle Umwelt gebundene Aktivierungen von Handlungsrepräsentationen denkbar. So kön-

nen Handlungen auch einfach durch die Präsentation eines mit dieser Handlung assoziierten Stimulus (z.B. einer Kaffeetasse) ausgelöst werden.

Somit können Handlungen also von unten, „bottom-up“ aktiviert werden oder aber durch die Auswahl eines Zieles, also von oben oder „top-down“². Während im Alltag die „top-down“ Aktivierung von Handlungen eine große Rolle spielt (wir handeln, um etwas zu erreichen, wir handeln also intentional), sieht man die „bottom-up“ Aktivierung von Handlungen eher bei Patienten mit einem Frontalhirnsyndrom (Norman & Shallice, 1986) oder aber bei nachlassender Konzentration und Müdigkeit³.

1.2.2 Die Psychologie des Willens - William James und Narziß Ach

Lange Zeit beschäftigte man sich ausschließlich mit der Auswahl von Handlungen, die durch Ziele beziehungsweise Intentionen geleitet wurden (Hommel, 2000). Man sah den „Willen“ eines Menschen als die treibende Kraft, die es Menschen ermöglichte, Ziele zu verfolgen und Intentionen umzusetzen (James, 1890; Ach, 1905). Hat der Mensch sich einmal entschieden, erlaubt es ihm sein Wille, diese Entscheidungen in die Tat umzusetzen. Dennoch erkannte man bereits in diesen frühen Arbeiten über den Willen, dass eine Entscheidung für eine Handlung, also das Formulieren eines Zieles, alleine nicht ausreicht, um sicher zu stellen, dass dieses Ziel in Handlungen umgesetzt wird, die den Handelnden diesem Ziel näher bringen. Bereits James (1890) und Ach (1905) stellten fest, dass das Haupthindernis für ein problemloses Verfolgen eines gesetzten Zieles oftmals die ungemeine Vielfalt an Handlungen, die ein Mensch in einer bestimmten Situation ausführen

²Der Begriff „top down“ soll hier im Sinne von Miller (2000) als Rückgriff auf früher gelernte, also im Gedächtnis gespeicherte Erfahrungen, verstanden werden und nicht irgendeinen „homunculus“, der weiß, welche Handlungen jetzt zur Zielerreichung richtig und wichtig sind, implizieren. Top-down als Konzept bei Miller (2000) wird gegenüber Einflüssen abgegrenzt, die rein aufgrund der Wahrnehmung eines Stimulus auftreten („bottom-up“).

³Generell verbindet sich in der kognitiven Psychologie der Handlungsbegriff eher mit einer intentionalen,

zielorientierten Aktion (z.B. dem Kaffeekochen um dem Kollegen eine Freude zu machen), während Handlungen, die durch bloße Anwesenheit eines handlungsbezogenen Stimulus ausgelöst werden, als einfache Reaktionen bezeichnet werden. In der vorliegenden Arbeit wird diese Unterscheidung ebenso beibehalten (siehe auch Haggard & Clark, 2003; Prinz, 2004 für weitere Charakteristika intentionaler Handlungen).

kann, ist, sowie seine Existenz als lernender Organismus, die es ihm ermöglicht immer wieder neue Reaktionen auf einen bestimmten Stimulus zu erlernen.

Der eigentliche Willensakt, der „energische Entschluss“ (Ach, 1910), ist notwendig, um die Handlung, für die man sich entschieden hat, in die Tat umzusetzen und sie von inhibierenden und konkurrierenden Alternativhandlungen zu befreien (James, 1890; Ach, 1905, 1910, 1935).

Nach William James (1890) ist für das Gelingen einer Willenshandlung die Aufmerksamkeit entscheidend: „*The essential achievement of the will, in short, when it is most 'voluntary', is to attend to a difficult object and hold it fast before the mind. ... the effort of attention is thus the essential phenomenon of the will. ...*“ (James, 1890, p. 561/562). Aufmerksamkeit ist nötig, um das Bewusstsein des handelnden Subjektes mit der handlungsleitenden Idee zu füllen. Das Ziel (beziehungsweise dessen mentale Repräsentation), für das die Person sich entscheidet, muss die Aufmerksamkeit auf sich ziehen und die Willenshandlung kann nur in dem Maß erfolgreich vollendet werden, wie es dem Ziel gelingt, Aufmerksamkeit für sich zu beanspruchen (James, 1890). Der Wille ist von James relational gedacht, als Beziehung des eigenen Selbst zu seinen eigenen Bewußtseinsinhalten („states of mind“, James, 1890). Nur wenn die Idee einer Handlung beziehungsweise deren Ziel das Bewusstsein ganz ausfüllt (und das kann sie nur mit Hilfe der Aufmerksamkeit), kommt es auch wirklich zur Handlung.

Neben der Aufmerksamkeit und ihrer fundamentalen Rolle im Entstehen der Willenshandlung kommt dem eigentlichen „ich will“ eine weitere wichtige Bedeutung in der Umsetzung einer handlungsleitenden Idee in die eigentliche Handlung zu. Dieses „ich will“ ist nach James eine subjektive Erfahrung in sich selbst, das heißt sie hat keine erkennbare Ursache und keinen (introspektiv oder experimentell) zu beobachtenden Verlauf. Sie ist einfach da und wird als Bestandteil der Willenshandlung erlebt (James, 1890).

In der Betrachtung der Willenshandlung bei James liegt der Fokus vor allen Dingen auf der direkten Umsetzung von Handlungszielen in motorische Aktivität (also dem ideomotorischen Prinzip) und der Entscheidung für die eine oder die andere Handlung. Der Prozess, wie solche handlungsleitenden Ideen unter Zuhilfenahme der Aufmerksamkeit und dem eigentlichen „ich will“ das Bewußtsein des Handelnden ausfüllen und letztlich zur Handlung gelangen, erschien James (1890) einfach gegeben und war für ihn nur wenig nähere Betrachtung wert.

Der prominenteste Vertreter deutscher Willenspsychologie war Narziß Ach. Wie auch James unterscheidet Ach die Auswahl von Absichten und deren Umsetzung in der eigentlichen Willenshandlung. Anders als James war Ach der Auffassung, dass nur letztere eigentlich Gegenstand der Willenspsychologie ist und die Auswahl einer Absicht eher eine Sache der Vernunft als des Willens ist (Ach, 1910; Goschke, 2002). Im Rahmen seiner Willenspsychologie prägte Ach den Begriff der „determinierenden Tendenz“, unter der er eine Nachwirkung von Zielvorstellungen versteht und die „... *eine Realisierung des Geschehens im Sinne oder gemäß der Bedeutung dieser Zielvorstellungen nach sich zieht ...*“ (Ach, 1935, S.143). Die Determination, also das Verbinden der unbewussten determinierenden Tendenzen mit einer bewussten Zielvorstellung, ermöglicht nach Ach die eigentliche oder „primäre Willenshandlung“ (Ach, 1910, 1935), die sich auch über den Einfluss von vorher gelernten Assoziationen, die sonst handlungsleitend sind, hinwegsetzen kann (Goschke, 2002). Von einem „primären Willensakt“ beziehungsweise einem „energischen Entschluss“ kann nach Ach (1910) nur dann gesprochen werden, wenn ein „ich will“ der handelnden Person vorliegt (von Ach (1910) auch als aktuelles Moment bezeichnet).

Neben der phänomologischen Beschreibung des eigentlichen Willensaktes war Ach auch an der dynamischen Seite, dem eigentlichen Wirkungsgrad des Willens, interessiert. Wie erfolgreich, also zielführend eine Willenshandlung ist, ist nach Ach abhängig von zwei Faktoren: zum einen ist der Wirkungsgrad des Willens abhängig von der Stärke der Determination. Diese ist allerdings wiederum abhängig von der Eindringlichkeit, also der Stärke, des aktuellen Moments. Je mehr man etwas will, desto stärker die determinierende Tendenz, die „... *beim Erleben der konkreten Bezugsvorstellung, des Mittels zur Erreichung des Zwecks, den Ablauf des psychischen Geschehens bestimmt. ...*“ (Ach, 1910, S. 250). Als zweiten Faktor identifiziert Ach (1910) die Widerstände, die einer Handlung entgegen stehen. Unter ihnen versteht Ach (1910, S. 250) all jene Einflüsse, „... *welche für den Ablauf des geistigen Geschehens von Bedeutung sind, also die assoziativen Reproduktionstendenzen, die Perseverationstendenzen und die determinierenden Tendenzen.*“. Diese Widerstände bereiten einem Handelnden Schwierigkeiten, die gewollte Handlung auch auszuführen.

Überwiegt die Determination, gestützt von weiteren fördernden Faktoren wie der Homogenität der Handlung oder frühere, erfolgreiche Durchführungen dersel-

ben Handlung, wird die Handlung ohne große Schwierigkeiten ausgeführt. Überwiegen allerdings hemmende Faktoren wie in den Widerständen beschrieben, so kann es zu Verzögerungen der Handlung kommen beziehungsweise zum Ausbleiben derselben. Wie auch bei James ist bei Ach die Zielvorstellung, also die Vorstellung dessen, was mit einer Handlung erreicht werden soll, entscheidend für die eigentliche Handlungsausführung.

Sowohl James als auch Ach erkannten, dass neben dem Willen eine ganze Reihe weiterer Faktoren unser Handeln beeinflussen. Intentionale Handlungen haben allerdings einen besonderen Fürsprecher, eben dieses „ich will“, das sicherstellt, dass sie erfolgreich durchgeführt werden und sie dadurch vom reflexhaften und automatisierten beziehungsweise habituellen Reaktionen abgrenzt. Wichtig ist, dass in diesem „ich will“ auch die Absage an alle anderen alternativen Ziele und damit verbundenen Handlungen steckt (Ach, 1910). Nur diese Handlung und nichts anderes steht nun zur Debatte. Bei beiden, James und Ach, spielt neben dem eigentlichen „ich will“ das Subjekt, also derjenige der eine Handlung ausführen will, eine zentrale Rolle. Willenshandlungen ohne Beteiligung des Handelnden sind keine echten Willenshandlungen (vgl. Ach, 1910, „Über das schwache Wollen“; Ach, 1935). Bis heute stützt sich die Unterscheidung zwischen intentionaler Handlung und Reaktion auf die Beteiligung des eigenen Selbst beziehungsweise die Zuschreibung, dass das „ich“ der Verursacher der Handlung ist (vgl. auch Haggard & Clark, 2003; Prinz, 2004).

In diesen alten Arbeiten zur Willenspsychologie wurden habituelle, durch langes Lernen und Üben gekennzeichnete Handlungen als größtes Hindernis in der Umsetzung einer intentionalen Handlungen gesehen. Dasselbe assoziative Lernen, das uns die Vielfalt an Reaktionen auf Stimuli erlaubt, ist zugleich das größte Hindernis in der freien Wahl einer Handlung. Der Zugewinn von Assoziationsstärke einer Handlung auf einen bestimmten Stimulus oder in einer bestimmten Situation gegenüber anderen wird als Automatisierung von Handlungen beziehungsweise Reaktionen bezeichnet (Logan, 1988; Shiffrin & Schneider, 1977). Diese starken Assoziationen führen zu einer automatischen Aktivierung der Reaktion, sobald der mit ihr verbundene Stimulus auftaucht. Neben der Aktivierung automatischer Reaktionstendenzen gibt allerdings noch ein Reihe weiterer Faktoren, die zu Konflikt, verursacht durch parallele, also gleichzeitige Aktivierung nicht miteinander vereinbarer Reaktionstendenzen führen. Diese sollen im nächs-

ten Abschnitt, gemeinsam mit den Paradigmen, in denen sie studiert werden, vorgestellt werden.

1.3 Konflikte durch unvereinbare Reaktionstendenzen

1.3.1 Reaktionskonflikt durch präpotente Reaktionen

Im Allgemeinen geht man davon aus, dass durch wiederholtes Ausführen einer Reaktion diese sich mehr und mehr ins Gedächtnis „eingräbt“, so dass bei einer erneuten Konfrontation mit derselben Stimulussituation diese Reaktion beziehungsweise Handlung „automatisch“, das heißt ohne bewusstes Zutun des Handelnden, aktiviert wird und zur Ausführung gelangt.

Ein klassisches Paradigma, das das Studium des Einflusses automatisierter Reaktionstendenzen und die Prozesse, die nötig sind, eben diese zu überwinden ermöglicht, ist das sogenannte Stroop-Paradigma (siehe MacLeod, 1991 für einen Übersichtsartikel; Stroop, 1935). In diesem Paradigma bekommen Versuchspersonen Farbwörter, die in verschiedenen Farben geschrieben sein können, präsentiert (z.B. das Wort „rot“ in grüner Farbe). Die Aufgabe der Versuchsperson besteht im Benennen der Farbe, in der das Wort geschrieben ist. Generell unterscheidet man zum einen Durchgänge, in denen das Farbwort nicht der Farbe des Wortes entspricht, wenn also wie im oben genannten Beispiel Farbwort und Farbe inkongruent zueinander sind. Zum anderen gibt es in einem Stroop-Experiment auch Durchgänge, in denen Farbwort und die Farbe des Wortes übereinstimmen, zum Beispiel das Wort „rot“ in roter Farbe, so genannte kongruente Durchgänge. Beim Vergleich der Reaktionszeiten in diesen beiden Bedingungen findet man eine Verschlechterung der Benennensleistung und mehr Fehler für inkongruente Durchgänge. Das für die Bearbeitung der Aufgabe eigentlich irrelevante Farbwort hat also einen Einfluss auf die Leistung der Versuchspersonen beim Benennen der Farbe. Erklärt wird dieser sogenannte Stroop-Effekt dadurch, dass Versuchspersonen aufgrund der hohen Automatisierung des Lesens von Wörtern, die sich im Alltag als nützlich erwiesen hat, in diesem Paradigma das Wort nicht ignorieren können und die Bedeutung des Farbwortes zu Konflikt mit der eigentlich abzugebenden Reaktion, nämlich dem Namen der Farbe des Wortes, führt. Die-

ser Konflikt muss erst aufgelöst werden, bevor die richtige Reaktion abgegeben werden kann (MacLeod, 1991).

1.3.2 Reaktionskonflikt durch S-R Kompatibilität

Aber nicht nur über häufiges Wiederholen automatisierte Reaktionstendenzen behindern uns in der Durchführung der eigentlich gewollten Handlung. Daneben liefert die experimentelle Psychologie einige weitere Ursachen für parallele Aktivierung unterschiedlicher Handlungs- und Reaktionsrepräsentationen bzw. -tendenzen, so zum Beispiel Kompatibilität von Stimulus und Reaktion, angenommen dass diese Kompatibilität bei der Auswahl der richtigen Reaktion keine Rolle spielen sollte. So fand Simon (1968), dass Versuchspersonen schneller auf das Wort „links“ mit einer entsprechenden, linken Hebelbewegung reagierten, wenn das Wort auf dem linken Ohr präsentiert wurde (und das gleiche gilt natürlich auch für das Zielwort „rechts“ und die Bewegung nach rechts). Er folgerte daraus, dass Menschen dazu neigen, sich der Quelle einer Stimulation anzunähern.

Dieser Befund von Simon, der so genannte Simon-Effekt wurde vielfach mit unterschiedlichen Paradigmen repliziert, so zum Beispiel in einem Paradigma, in dem Versuchspersonen auf eine relevante Dimension, zum Beispiel Farbe mit dem Drücken einer linken und rechten Reaktionstaste, reagieren. Die Kreise, auf die die Versuchspersonen reagieren sollen, werden ihr allerdings mal links von der Mitte des Bildschirm und mal rechts davon präsentiert. Der wiederum klassische Befund in dieser Art von Versuchsanordnung ist, dass die eigentlich irrelevante Position des Reizes einen Einfluss auf die Schnelligkeit der Reaktion hat. Verlangt die Farbe des Kreises eine links-Reaktion und wird der Kreis darüber hinaus links von der Mitte präsentiert, sind die Versuchspersonen schneller als wenn die Reaktion auf die Farbe nicht mit der Position des Kreises übereinstimmt (vgl. u.a. Simon, 1968, 1969; Simon & Rudell, 1967). Das dem Simon-Effekt zugrundeliegende Phänomen wird als Reiz-Reaktions-Kompatibilität bezeichnet und besagt, dass Stimulus- und Reaktionsanordnungen zueinander „kompatibel“ sein können (meist in einem räumlichen Sinn⁴, siehe auch Kornblum, Hasbroucq & Osman,

⁴Allerdings sind auch andere Arten von Kompatibilität möglich, z.B. ideomotorische Kompatibilität, wenn wie im Stroop-Paradigma in kongruenten Durchgängen der Stimulus bereits die Antwort vorwegnimmt.

1990) und die Kompatibilität im günstigsten Fall die Reaktion auf die relevante Stimulusdimension erleichtert, sie aber auch behindern kann.

In Paradigmen, die über die Stimulusanordnung (entweder auf der relevanten bzw. irrelevanten Stimulusdimension) eine Reaktion nahelegen, spricht man dann auch von einer automatisch aktivierten, weil räumlich kompatiblen Reaktionstendenz. Somit können auch Anordnungen, in denen kompatible und weniger kompatible Reaktionen auf unterschiedlich relevante Stimuluseigenschaften beziehungsweise einzelne Stimuli erforderlich sind, einen Konflikt zwischen der automatisch aktivierten und der eigentlich geforderten Reaktionstendenz führen.

1.3.3 Modelle zur Erklärung der Effekte im Stroop- und Simon-Paradigma

Die Leistung von Versuchspersonen in den oben skizzierten Paradigmen wird meist mit einem „race“ Modell erklärt (vgl. Logan, 1988; Kornblum, Hasbroucq & Osman, 1990). Beide Reaktionstendenzen, die automatisch aktivierte und die kontrollierte beziehungsweise von der Instruktion verlangte, liefern sich ein Rennen in der Verarbeitung. Gewonnen hat der Prozess, der zuerst abgeschlossen ist. Um nun sicherzustellen, dass nicht immer die automatisch aktivierte Antwort ausgewählt wird, sind Prozesse nötig, die die zuerst gefundene und zur Durchführung bereiten Reaktion mit der in der Situation geforderten Reaktion vergleichen. Fällt der Vergleich positiv aus, kann die Reaktion abgegeben werden. Während diese „race“ Modelle meist von einer parallelen Aktivierung von automatischen und intentionalen Reaktionstendenzen ausgehen (vgl. Kornblum, Hasbroucq & Osman, 1990) gibt es auch Ansätze, die versuchen, die Leistung in diesen Paradigmen, in denen parallele Aktivierung von unterschiedlichen Reaktionstendenzen eine Rolle spielt, im Sinne eines „vorbereiteten Reflexes“ zu erklären (Hommel, 2000). Die Idee dahinter ist, intentionale Reaktionsaktivierung der automatischen vorausgeht. Der intentionale, instruktionsgemäße Prozess der Reaktionsauswahl bereitet den Boden für die dann intentional vorbereiteten, aber automatischen Reaktionen (d.h. er gewichtet Verarbeitungsbahnen und versucht Konflikt zwischen Reaktionstendenzen zu verhindern). Diese so vorbereiteten automatisch ablaufenden Prozesse können allerdings wieder mit anderen, nicht durch die intentionale Vorbereitung spezifizierten Reaktionen in Konflikt geraten und bedürfen dann weiterer Mecha-

nismen, die diesen Konflikt auflösen (siehe unten sowie den nächsten Abschnitt der Einleitung).

1.3.4 Reaktionskonflikt durch simultane Präsentation von Stimuli

Neben dem Konflikt, der entsteht, wenn automatische und intentionale Reaktionen bezogen auf einen Stimulus miteinander konkurrieren, gibt es noch weitere konflikthafte Situationen für das kognitive System. So führt die simultane Präsentation mehrerer Stimuli, die mit unterschiedlichen Reaktionen verbunden sind, ebenfalls zu Konflikt bei der Auswahl der richtigen Reaktion. Ein, wenn auch nicht perfekt passendes Beispiel aus dem Alltag ist das Stück Pflaumenkuchen mit der Wespe. Während der Pflaumenkuchen an sich uns eigentlich auffordert, uns zu nähern und ihn zu essen, hindert uns die Wespe an eben dieser Bewegung und legt eigentlich eine Rückzugsreaktion nahe, um nicht gestochen zu werden.

Eine weniger dramatische, weil experimentelle Anordnung um den hier entstandenen Konflikt und seine Auflösung zu studieren, ist das sogenannte Eriksen-Flanker Paradigma (Eriksen & Eriksen, 1974). In diesem Paradigma ist es die Aufgabe der Versuchspersonen auf den zentral dargebotenen Stimulus mit der jeweils instruierten Reaktion zu reagieren. Der zentrale Stimulus wird allerdings von anderen Stimuli flankiert (z.B. sehen Versuchspersonen auf dem Bildschirm die Buchstaben AAABAAA und sollen nun auf B reagieren, z.B. mit einem rechten Tastendruck und die flankierenden Stimuli A ignorieren, die wiederum einen linken Tastendruck als Antwort erfordern würden). Auch hier leidet die Leistung der Versuchspersonen, wenn die flankierenden Stimuli mit anderen als der auf den zentralen Stimulus abzugebenden, Reaktionen verbunden sind. Die Auswahl der richtigen Reaktion wird also durch die Anwesenheit von anderen, mit anderen Reaktionen verbundenen Stimuli behindert. Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass im Eriksen-Flanker Paradigma die Verzögerung der Reaktion durch inkongruente, also mit anderen Reaktionen assoziierte Stimuli, durch Konflikt während der Reaktionsauswahl bedingt ist (Eriksen & Eriksen, 1974, Hommel, 2000; Lien & Proctor, 2002, vgl. aber auch Magen & Cohen, 2002).

1.3.5 Reaktionskonflikt durch Wechsel der Handlungskontexte

Doch nicht nur simultane Präsentation mit unterschiedlichen Reaktionen assoziierter Stimuli bringt das kognitive System in eine missliche, weil konfliktrichtige Lage, sondern auch die Veränderung der Bedeutung einzelner Reaktionen in verschiedenen Kontexten. Ein klassisches Beispiel für diesen Bereich sind Gesten, die in unterschiedlichen Kulturen unterschiedliche Bedeutungen haben können (z.B. bedeutet das deutsche Zeichen für „ok“ (Daumen und Zeigefinger bilden einen Kreis) in Italien „Idiot“) und dementsprechend in der jeweils anderen Kultur zu schweren Mißverständnissen führen können.

Eine Möglichkeit, die Fähigkeit des Menschen zu testen, flexibel zwischen unterschiedlichen Bedeutungen ein und derselben Reaktion zu wechseln, ist das Aufgabenwechselfparadigma (vgl. auch Abschnitt 1.5 der Einleitung). In diesem Paradigma wechseln die Versuchspersonen in entweder vorhersagbarer oder unvorhersagbarer Reihenfolge zwischen zwei oder mehr Aufgaben (vgl. Fagot, 1994; Jersild, 1927; Meiran, 1996; Rogers & Monsell, 1995). Verglichen wird dann die Leistung der Versuchspersonen in Durchgängen, in denen die Aufgabe dieselbe war wie im Durchgang vorher (Aufgabenwiederholung) mit der Leistung in Durchgängen, in denen sich die aktuelle und die vorherige Aufgabe unterscheiden (Aufgabenwechsel).

Die Bedeutung der jeweils geforderten Reaktion auf den aktuellen Stimulus unterscheidet sich dabei zwischen den einzelnen Aufgaben, die hier als Operationalisierung verschiedener Kontexte genommen werden. Während das Drücken der linken Reaktionstaste in der einen Aufgabe zum Beispiel bedeutet, dass der aktuelle Stimulus kleiner als fünf ist, innerhalb der gerade aktuellen größer/kleiner Aufgabe, kann dieselbe Reaktion in der anderen Aufgabe signalisieren, dass der aktuelle Stimulus ungerade ist, wenn Versuchspersonen nun die gerade/ungerade-Aufgabe bearbeiten müssen. Anders als bei den vorher beschriebenen Situationen und Paradigmen verlangt das Aufgabenwechselfparadigma von den Versuchspersonen somit das gleichzeitige Bereithalten von zwei unterschiedlichen Aufgaben und das schnelle Wechseln zwischen ihnen. Sowohl bei dem oben beschriebenen Stroop- und Simon-Paradigma als auch bei der Eriksen-Flanker Aufgabe gibt es immer nur eine Aufgabe (z.B. reagiere auf die Farbe des Kreises beziehungsweise reagiere auf den mittleren Stimulus) und man untersucht, wie irrelevante

Stimuluseigenschaften oder Distraktoren die Leistung der Versuchspersonen beeinflussen.

Ein konstanter Befund im Aufgabenwechselparadigma ist das Auftreten so genannter Wechselkosten, das heißt die Leistung einer Person ist beim Aufgabenwechsel schlechter als bei einer Aufgabenwiederholung. Eine mögliche Ursache solcher Wechselkosten könnten die Schwierigkeiten der Versuchsperson sein, sich die jeweils aktuelle Bedeutung der geforderten Reaktionen zu vergegenwärtigen und gegen die alternative Bedeutung durchzusetzen (vgl. auch Koch & Philipp, 2005; Schuch & Koch, 2003, 2004). Auch in diesem Paradigma scheint Konflikt während der Auswahl der richtigen Reaktion zu entstehen und zu längeren Reaktionszeiten zu führen. Allerdings scheinen auch andere Prozesse (wie z.B. Negative Priming, vgl. Allport & Wylie, 1999) für das Entstehen von Aufgabenwechselkosten mit verantwortlich zu sein (siehe auch Monsell, 2003 für einen Übersichtsartikel und andere theoretische Erklärungsansätze für die Entstehung von Wechselkosten).

1.3.6 Zusammenfassung der Ursachen für Konflikt zwischen Reaktionen

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich dem eigentlichen „ich will“ von James (1890) und Ach (1905, 1910) eine ganze Reihe von Widerständen sowohl durch die Lerngeschichte eines Menschen wie auch durch Kompatibilitätsbeziehung zwischen Stimuli und Reaktionen entgegenstellen. Doch nicht nur gegen diese in langen Lerngeschichten ausgebildeten oder einfach gegeben konfligierenden automatischen Reaktionstendenzen muss sich die eigentliche Handlungsintention durchsetzen, sondern auch gegen einfach in der Instruktion vorgegebene Reaktionen, die miteinander in Konflikt stehen können (Berlyne, 1957; 1960). Die Offenheit des kognitiven Systems, Stimuli mit mehreren, oftmals nicht miteinander kompatiblen Reaktionstendenzen zu beantworten, ermöglicht uns zwar zum einen ein großes Maß an Flexibilität, zum anderen brauchen wir aber auch Mechanismen, die sicher stellen, dass wir in unterschiedlichen Situationen die jeweils passende Reaktion auswählen und ausführen können. Dieses Problem der Auswahl der passenden unter all den möglichen Reaktionen und ihre Durchsetzung auch gegen stärker überlernte und deshalb automatisierte Reaktionen ist von

James und Ach mit dem „energischen Entschluss“ (Ach, 1910), also dem eigentlichen Willensakt, beantwortet worden. Die determinierende Tendenz verbunden mit der Zielvorstellung bestimmt, welche Handlung zur Ausführung kommt und ermöglicht es ihr, sich auch gegenüber automatisierten Reaktionen durchzusetzen (Ach, 1935).

1.3.7 Konflikt - eine Definition

Eine interessante Frage, die sich bei all diesen Paradigmen stellt, ist die Frage nach einer Definition von Konflikt. Obwohl die meisten Theoretiker aus dem Vorliegen verlängerter Reaktionszeiten in der einen, im Vergleich zu der anderen Bedingung auf das Vorliegen von Konflikt schließen, bleiben Definitionen, die versuchen, dieses schwierige Konzept zu fassen, selten. Eine Konfliktdefinition, die heute auch noch gerne verwendet wird, ist die von Berlyne (1957, 1960). Diese Definition wurde im Wesentlichen formuliert, um Konflikt, der durch konkurrierende Antworttendenzen im kognitiven System entsteht, zu beschreiben. Nach Berlyne (1957, S.332) gibt es „... *no reason why several independent sets of competing responses should not be aroused at the organism at once. ...*“.

Wie auch bei Ach (1910) und James (1890) sowie allen Theoretikern, die sich mit den Problemen, die durch automatische Aktivierung von Reaktionstendenzen resultieren, beschäftigt haben (vgl. z.B. Hommel, 2000; Lien & Proctor, 2002), geht auch Berlyne (1957; 1960) davon aus, dass Konflikt im Wesentlichen durch die Unvereinbarkeit der aktivierten Reaktionstendenzen entsteht (z.B. weil die stärker aktivierte Reaktionstendenzen in der gerade aktuellen Situation zu einem Fehler führen würde). In seiner Beschreibung des Ausmaßes von Konflikt ist er allerdings wesentlich detaillierter als andere Theoretiker. So steigt das Ausmaß des Konfliktes mit der absoluten Stärke der gleichzeitig aktivierten Reaktionstendenzen und wird maximal, wenn die Stärke der Reaktionstendenzen sich sehr ähnlich ist. Ferner spielt auch die Anzahl gleichzeitig aktivierter Reaktionstendenzen eine wichtige Rolle in der Bestimmung des Ausmaßes von Konflikt. Und letztlich geht auch Berlyne davon aus, dass die Inkompatibilität der Reaktionstendenzen (z.B. Annäherung vs. Vermeidung gegenüber einem bestimmten Stimulus) den aktuellen Konflikt im System weiter erhöht (Berlyne, 1957; 1960). Das Vorliegen von Konflikt wird bei Berlyne in der Regel, wie auch heute noch, aus einer Erhöhung

der Reaktionszeit in einer konflikthaften Bedingungen (z.B. einer inkongruenten Stroop-Aufgabe) im Vergleich zu einer weniger konflikthaften Bedingungen (z.B. bei kongruenten Stroop-Aufgaben) geschlossen⁵. Ein unabhängiges, reines Maß für das Vorliegen von Konflikt im kognitiven System gibt es nicht.

Obwohl diese Definition von Berlyne (1957) ein Anfang ist, das Konzept „Konflikt“ besser zu fassen, bleibt unklar, inwieweit zum Beispiel Konflikte in der Objektwahrnehmung (z.B. durch instabile Objekte wie dem Necker Würfel, vgl. Goldstein, 1997, siehe aber auch Slotnick & Yantis, 2005) oder Konflikte im Bereich von Lernen und Gedächtnisabruf (proaktive und retroaktive Interferenz, vgl. z.B. McGeoch, 1932; Postle, Brush & Nick, 2004) in dieser Beschreibung von Konflikt miteingefasst werden und vergleichbare Ursachen und Dynamiken haben.

Auch in der vorliegenden Arbeit, die sich mit der Rolle von Konflikt während der Antwortauswahl innerhalb der Bearbeitung von Aufgabensequenzen und dem Auftreten von Aufgabeninhibition beschäftigt, wird davon ausgegangen, dass Konflikt zwischen Aufgaben in erster Linie durch konkurrierende Reaktionstendenzen gegenüber dem gleichen Stimulus auftritt. Von daher steht auch in dem folgenden empirischen Teil Reaktionskonflikt im Sinne Berlynes und seine Folgen für die Bearbeitung von Aufgabensequenzen im Mittelpunkt der Fragestellung.

In der modernen Kognitionspsychologie werden Fragen, wie Menschen es schaffen, habituelle Reaktionstendenzen zu überwinden, Instruktionen zu folgen und Konflikt zwischen konkurrierenden Reaktionstendenzen aufzulösen, unter der Überschrift „kognitive Kontrolle“ behandelt (vgl. Goschke, 2003, Monsell, 1996). Die nächsten Abschnitte sind deshalb Ideen und Mechanismen gewidmet, die für sich beanspruchen erklären zu können, was hinter dem eigentlich „ich will“ steht und wie es uns gelingt, Aufgaben wie die Stroop-Aufgabe, die Eriksen-Flanker Aufgabe und das Wechseln zwischen Aufgaben erfolgreich zu meistern.

⁵Generell sind natürlich neutrale Bedingungen in allen Paradigmen, die sich mit Konflikt innerhalb der Reaktionsauswahl beschäftigen, kongruenten Bedingungen vorzuziehen. So werden zum Beispiel bei Stroop- oder Eriksen-Flanker Aufgaben gerne eine Reihe farbiger X oder Flanker präsentiert, die nicht mit Antworten assoziiert sind, die die geforderte Antwort hemmen oder befördern können. So kann besser zwischen den Kosten, die durch Konflikt in der Antwortauswahl entstehen und den Vorteilen, die kongruente Stimuli über die Tatsache, dass sie keinen Konflikt erzeugen, hinaus haben, unterschieden werden.

1.4 Kontrolle im kognitiven System

1.4.1 Grundlegende Probleme im Bereich kognitiver Kontrolle

Nach Goschke (2000, 2003, vgl. aber auch Monsell, 1996) muß kognitive Kontrolle ein Stabilitäts-Flexibilitäts-Dilemma lösen. Auf der einen Seite müssen Kontrollprozesse störende Reize aus dem eigentlichen Handlungsablauf fernhalten und sicher stellen, dass gesetzte Ziele auch erreicht werden. Auf der anderen Seite muss es allerdings auch möglich sein, seine Handlungen abubrechen und sich flexibel auf neue Situationen einzustellen, wenn die Umwelt es erfordert, zum Beispiel weil es nach Feuer riecht. Die meisten Theoretiker, die sich damit beschäftigen, wie unser Verhalten kontrolliert wird und wie wir es schaffen, automatisierte und habituelle Antworttendenzen und Reaktionen durch neue, der Situation angemessenere Handlungen zu ersetzen, gehen von einem ähnlichen „multiple constraints satisfaction“ Problem aus, also einem Problem, das durch mehrere Seiten begrenzt ist, und das durch das Finden der richtigen Balance zwischen opponierenden Lösungen gekennzeichnet ist (vgl. z.B. Logan, 1985; Mayr, 2003; Miller & Cohen, 2001; Norman & Shallice, 1986).

Kognitive Kontrolle muss also den Spagat zwischen der Verfolgung eines Ziels auf der einen Seite und der Flexibilität der Reaktion auf sich ändernde Umweltbedingungen auf der anderen Seite schaffen. Neben der Repräsentation des eigentlichen Handlungsziels sind also Überwachungsprozesse nötig, die dem kognitiven System Signale geben, inwieweit es in der aktuellen Situation von der eigentlichen Zielverfolgung absehen muss und sich neuen Aufgaben stellen muss.

Interessanterweise beschäftigen sich allerdings die meisten Theorien zur kognitiven Kontrolle mit der Frage, wie die Stabilität einer Handlung sichergestellt werden kann und nicht so sehr mit der Frage, wie die Überwachungsprozesse beschaffen sein sollten, um dem kognitiven System zu signalisieren, dass es die Verfolgung des Zieles unterbrechen und sich neu orientieren muss. Möglicherweise spielen hier motivationale oder emotionale Prozesse eine besondere Rolle. Außerdem scheint es sinnvoll, soziale Kognition hier miteinzubeziehen, denn zielgerichtete Handlungen passieren selten im sozialen Vakuum und manchmal müssen wir unsere Handlungen unterbrechen, um sicher zu stellen, dass unsere Handlungspartner uns noch folgen.

1.4.2 Definition von Kontrolle

Präzise Definitionen der Prozesse, die man unter kognitiver Kontrolle versteht, findet man selten. Meist werden Begriffe, wie „exekutive Funktionen“ oder „frontale Funktionen“ als Sammelbegriffe herangezogen, wenn es darum geht, die Prozesse und Mechanismen, die uns das Bearbeiten von Stroop-Aufgaben, das Umsetzen von Plänen und Beibehalten zielorientierten Verhaltens angesichts ablenkender Einflüsse ermöglichen, zu beschreiben. Mittlerweile gibt es eine Reihe von Ansätzen, die Kontrolle als das konzertierte Zusammenspiel von vielen einzelnen Subprozessen versteht (vgl. u.a. Logan, 1985; Miller & Cohen, 2001; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter & Wager, 2003). Generell geht man davon aus, dass Aufmerksamkeitsfunktionen und Arbeitsgedächtnis (vergleiche z.B. Systeme wie die zentrale Exekutive, Baddeley & Hitch, 1974) im Bereich der kognitiven Kontrolle eine große Rolle spielen (vgl. u.a. Logan & Gordon, 2001; Shallice, 1994). Insgesamt sehen diese modernen Ansätze zur kognitiven Kontrolle Kontrolle nicht mehr als etwas, was eine zentrale, intelligente Struktur („homunculus“) ausübt (Norman & Shallice, 1986), sondern als Ergebnis einer Reihe von Lern-, Aufmerksamkeits- und motivationalen Prozessen (vgl. u.a. Duncan & Miller, 2002; Goschke, 2003; Mayr, 2003; Miller & Cohen, 2001).

Als allgemeine Funktion kognitiver Kontrolle wird die Organisation des Verhaltens gemäß den für die handelnde Person relevanten Zielen gesehen (vgl. u.a. Monsell, 1996). Neben der Aktivierung relevanter Repräsentationen dieser Ziele spielt auch die Inhibition störender beziehungsweise nicht zielführender Handlungen und Reaktionen wichtige Rolle (vgl. u.a. Goschke, 2003; Monsell, 1996). Dem Handlungsziel kommt in den meisten Theorien zur kognitiven Kontrolle insofern eine besondere Rolle zu, da die Zielrepräsentation subordinierte Prozesse wie die der Wahrnehmung, der Stimulusklassifikation und der Handlungsauswahl beeinflusst (siehe u.a. Goschke, 2003; Hommel, 2000; Mayr, 2003; Miller & Cohen, 2001). Die Kernidee all dieser Ansätze ist, dass der präfrontale Kortex als Sitz der kognitiven Kontrolle eine Zielrepräsentation ausbildet und aufrecht erhält (Braver & Cohen, 2000; Miller & Cohen, 2001). Eingehende Stimuli werden dann gemäß dieser Zielrepräsentation verarbeitet und führen zu passenden Reaktionen. Wie wir allerdings in dem vorhergehenden Abschnitt gesehen haben, gibt es innerhalb des kognitiven Systems eine Vielzahl störender Einflüsse auf die

Auswahl und Durchführung der richtigen Reaktion. Um die entstehenden Konflikte zwischen unterschiedlichen Reaktionstendenzen aufzulösen, bedarf es zum einen zusätzlicher, lokaler Aktivierung solcher Verarbeitungsbahnen, die zielführend sind und zum anderen müssen andere, durch den Stimulus aktivierte aber gerade nicht zielführende Verarbeitungsbahnen inhibiert werden (vgl. u.a. Miller & Cohen, 2001).

1.4.3 Globale und lokale Kontrolle

Man kann also eigentlich zwischen zwei Arten von Kontrolle, gemäß der Idee eines vorbereiteten Reflexes unterscheiden. Während die Zielrepräsentation eine erste (mehr oder weniger grobe) Justierung des kognitiven Systems gemäß des gewählten Ziels vornimmt, müssen spätere feinere Kontrollprozesse lokal an Stellen der Stimulusverarbeitung eingreifen, an denen Konflikt aufgetreten ist. Sowohl globale wie auch lokale Kontrolle geschieht unter Zuhilfenahme von Aktivierung und Inhibition einzelner Verarbeitungsbahnen um sicher zustellen, dass Ziele erreicht werden. Dies geschieht zum einen auf einer globaleren Ebene (im Sinne eines Eisenbahnwärters, vgl. Braver & Cohen, 2000; Miller & Cohen, 2001), die man im Wesentlichen mit der Zielrepräsentation gleich setzen kann, und zum anderen durch selektive Aktivations- und Inhibitionsprozesse innerhalb der eigentlichen Stimulusverarbeitung und Reaktionsauswahl auf einer lokaleren Ebene (vgl. auch Braver, Reynolds & Donaldson, 2003; Knight, Staines, Swick & Chao, 1999; Ridderinkhof, 2002). Eine besondere Rolle im Konzept dieser adaptiven Kontrollfunktionen kommt dem mesokortikalen-limbischen Dopamin-System zu. Signale aus diesem Neurotransmitter-System, dass die erwartete Belohnung ausgeblieben ist beziehungsweise geringer ausgefallen ist, als erwartet, triggern adaptive Kontrollmechanismen und führen so zu einer Verstärkung kognitiver Kontrolle (Braver & Cohen, 2000; Holroyd & Coles, 2002; Holroyd, Nieuwenhuis, Yeung & Cohen, 2003; Yeung, Botvinick & Cohen, 2004).

Dieses grundlegende Modell zur kognitiven Kontrolle ist Ansätzen zur selektiven Aufmerksamkeit sehr ähnlich und ist dort als „biased competition“ Modell bekannt (Desimone & Duncan, 1995). Grundlegende Merkmale dieser modernen Modelle zur kognitiven Kontrolle, nämlich die Tatsache, dass Ziele über die Aktivierung zielführender und über die Inhibition nicht-zielführender Reaktionen und

Verarbeitungsbahnen erreicht werden, sind allerdings auch schon in früheren Modellen zur Handlungskontrolle vorhanden (vgl. das SAS-Modell von Norman & Shallice, 1986). Diese älteren Modelle stützen sich allerdings im Wesentlichen auf Patientenstudien und mussten nicht selten intelligente Kontrollstrukturen annehmen, die wussten, welche Bahnen gerade gehemmt oder aktiviert werden müssen, um effiziente Handlungskontrolle erklären zu können. Heutige Modelle verweisen bei der Frage, woher der präfrontale Kortex denn weiß, welche Reaktion die gewünschte ist, nicht selten auf Studien an Affen, die zeigen konnten, dass es aufgaben- und regelspezifische Neurone im präfrontalen Kortex und Teilen des parietalen Kortex gibt, die also die für eine Situation geltenden Regeln kodieren und somit regelbasiertes und damit zu Belohnung führendes Verhalten sicherstellen (vgl. Asaad, Rainer & Miller 2000; Duncan & Miller, 2002, Stoet & Snyder, 2004). Kontrolle entsteht in diesen Modellen im wesentlichen durch Lernen und die Möglichkeit auf gelerntes zurück zu greifen (Miller & Cohen, 2001). Dabei ist der Kern all dieser Modelle wiederum die Repräsentation des Ziels beziehungsweise der aktuell geltenden Verstärkungskontingenzen (da Zielrepräsentation bei Tieren bislang nicht gezeigt werden konnten), welche, wie bereits von James (1890) und Ach (1905, 1910) angenommen, die dazu passenden Handlungen aktivieren und Verarbeitungsbahnen für Stimuli gemäß dieses Ziels determinieren.

1.4.4 Bedingungen für die Anpassung kognitiver Kontrollmechanismen

Eine Frage, die sich bei Modellen kognitiver Kontrolle stellt, ist, woher das kognitive System weiß, dass es gerade lokale Kontrolle benötigt, um erfolgreich zu sein beziehungsweise dass die momentan ablaufenden Kontrollprozesse nicht ausreichen? Zum einen scheint es sinnvoll, so etwas wie eindeutige Auslösesituationen anzunehmen, die nach kognitiver Kontrolle verlangen, zum Beispiel, wenn eine Aufgabe das erste Mal durchgeführt wird und keine etablierten Handlungsrepräsentationen oder Aufgabenrepräsentationen vorliegen. Eine andere Idee, wie Kontrolle auch während der Durchführung einer Handlung oder Aufgabe weiß, wann sie benötigt wird, ist von Botvinick und Kollegen (Botvinick, Braver, Barch, Carter & Cohen, 2001) postuliert worden. In ihrem „conflict monitoring“ Ansatz gehen sie davon aus, dass es einen Überwachungsprozess gibt, der Konflikt

im kognitiven System detektiert und wenn der Konflikt eine kritische Schwelle überschreitet, lokale Kontrollprozesse zur Hilfe ruft, um weiterhin sicherzustellen, dass das eigentliche Handlungsziel (das z.B. in den Instruktionen eines Experiments festgelegt wird) auch erreicht wird (Cohen, Botvinick & Carter, 2000; Botvinick et al., 2001; Botvinick, Cohen & Carter, 2004). Konflikt im kognitiven System führt also zum Einsetzen von Kontrollprozessen, so dass Verarbeitungsbahnen, die zielführend, sind stärker aktiviert und Verarbeitungsschritte oder Reaktionstendenzen, die nicht zum Ziel führen, inhibiert werden.

In ihrem Ansatz beziehen sich Botvinick und Kollegen (2001) auf experimentelle Arbeiten von Gratton und Kollegen (Gratton, Coles & Donchin, 1992), die zeigten, dass Kontrollprozesse während der Aufgabenbearbeitung fluktuieren und sich an gegebene Umweltbedingungen anpassen. Dazu verwendeten sie eine Manipulation der Erwartung von Konflikt, das heißt sie manipulierten die Häufigkeit inkongruenter Stimuli in einer Eriksen-Flanker Aufgabe (vgl. auch MacLeod, 1991 für ähnliche Effekte in Stroop-Aufgaben). Gratton und Kollegen (1992) erklären die Veränderung der beobachteten Effekte inkongruenter Stimuli, also einen geringeren Anstieg der Reaktionszeiten bei inkongruenten Flankern gegenüber kongruenten Flankern, über die Anpassung der Kontrollmechanismen in diesem Paradigma an die jeweilige Erwartung der Häufigkeit konfligierender Durchgänge. Wie diese Anpassung stattfindet, bleibt allerdings ungeklärt, gerade auch weil Versuchsperson vorher nicht über die Anzahl konfligierender Durchgänge informiert worden sind. Hier bietet der Ansatz von Botvinick und Kollegen eine interessante Weiterentwicklung dieser Arbeit an.

Ausgehend von Forschung mit bildgebenden Verfahren, postulieren Botvinick und Kollegen (2001, 2004), dass der anteriore cinguläre Kortex (ACC), eine subkortikale Struktur oberhalb des Balkens im frontalen Kortex, eine Überwachungsfunktion hat und das Vorliegen von Konflikt an andere Strukturen meldet, die dann eine Anpassung der Kontrollprozesse vornehmen (vgl. auch Dehaene, Kerszberg & Changeux, 1998; Gehring & Knight, 2002; Ridderinkhof, Ullsperger, Crone & Nieuwenhuis, 2004; McDonald III, Cohen, Stenger & Carter, 2000). Eine Literaturübersicht von Botvinick und Kollegen (2001, vgl. auch Ridderinkhof et al., 2004) liefert erste Evidenz für diese Idee. So zeigt sich, dass diese Struktur in ihrer Aktivierung graduelle Abstufung unter Bedingungen mit mehr oder weniger Konflikt in verschiedenen experimentellen Designs zeigt und dies möglicherweise ein

erster Hinweis auf die postulierte Überwachungsfunktion ist (z.B. beim Überwinden präpotenter Reaktionen, bei der Reaktionsauswahl zwischen verschiedenen, gleich starken Reaktionen oder wenn Versuchspersonen einen Fehler machen, vgl. Botvinick et al., 2001 siehe aber auch Hazeltine, Poldrack & Gabrieli, 2000 sowie Rushworth, Walton, Kennerley & Bannermann, 2004 für negative Ergebnisse bezüglich einer ACC-Aktivierung in Konfliktaufgaben). Außerdem wird davon ausgegangen, dass EEG-Komponenten, die mit einem Fehler verbunden sind (die sogenannte „error related negativity“, siehe Falkenstein, Hoormann, Christ & Honsbein, 2000) ebenfalls ihre Aktivierungsquelle im ACC haben. Da Fehler als Mangel oder ein „zu wenig“ an kognitiver Kontrolle verstanden werden können, paßt ein Quelle, die den Ursprung eines, den gerade begangenen Fehler anzeigenden, Signals im ACC verortet gut zu der postulierten Überwachungsfunktion (Botvinick et al., 2001; Ridderinkhof et al., 2004). Insgesamt scheint also einige empirische Evidenz für die postulierte Überwachungsfunktion und Konfliktsensitivität des ACC vorzuliegen.

Die „conflict monitoring“ Theorie von Botvinick und Kollegen (2001) bietet eine interessante Antwort auf die Frage, woher das kognitive System weiß, wann es mehr Kontrolle ausüben muss. Die Theorie und die durch sie stimulierte Forschung reduziert sich allerdings im Wesentlichen auf das Zusammenspiel von Strukturen im medialen und lateralen präfrontalen Kortex mittels bildgebender Verfahren in Paradigmen, die den Umgang mit und die Auflösung von antwortbezogenem Konflikt untersuchen (Eriksen-Flanker Aufgabe, Simon-Aufgabe und Stroop-Aufgabe). Hauptfrage bei diesen Untersuchungen ist, inwieweit der ACC wirklich die zentrale Überwachungsstruktur ist und wie mediale und laterale präfrontale Areale miteinander kommunizieren (z.B. wer wem wann welches Signal sendet). Andererseits wird zum Beispiel wenig gefragt, wie die involvierten Prozesse der Konfliktdetektion aussehen und wie Schwellen für die Aussendung von Signalen an andere Kontrollstrukturen gesetzt werden. Auch wird meistens sehr global davon gesprochen, dass ein Signal aus dem ACC zur einer Anpassung von kognitiven Kontrollprozessen führt, wenn gerade ein bedrohliches Maß an Konflikt vorliegt. Wie eine solche Anpassung allerdings aussieht, bleibt vage (vgl. allerdings Cohen et al., 2000 für erste, neuromodulatorische Ideen).

Gegeben die Frage nach möglichen Anpassungsmechanismen, scheinen mehrere Lösungen denkbar: Zum einen können Anpassungen der Aufmerksamkeit

vorgenommen werden, um ein besseres Verhältnis von Signal-zu-Rauschen herzustellen und so sicher zu gehen, dass die relevante Information auch wirklich effizient verarbeitet wird (Cohen et al., 2000). Zum anderen können aktivierende und inhibitorische Prozesse stärker oder aber überhaupt erst aufgerufen werden. Die Möglichkeit, dass erst das Auftreten von Konflikt zur Aktivierung bestimmter Kontrollprozesse führt, ist experimentell insofern interessant, weil es hier klar vorhersagbare Hypothesen gibt. Liegt kein Konflikt vor, so sollten auch bestimmte Prozesse, beziehungsweise deren Auswirkungen nicht beobachtbar sein. In der vorliegenden Arbeit wurde diese Hypothese für die Bearbeitung von Aufgabensequenzen getestet.

Die Idee, ausgehend von dem Ansatz von Botvinick und Kollegen, sowie von Hypothesen über Inhibitionsprozesse in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen (Goschke, 2000) war, dass Inhibitionsprozesse in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen nur dann auftreten, wenn Aufgaben miteinander in Konflikt stehen. Gibt es keinen oder weniger Konflikt zwischen den Aufgaben, so sollte auch kein Inhibitionsprozess nötig sein, um eine erfolgreiche Bearbeitung von Aufgabensequenzen sicher zu stellen. Diese Flexibilität lokaler Kontrollprozesse, die eingreifen, wenn die globalen Prozesse nicht ausreichen, ist zwar in den meisten Arbeiten, die zwischen lokalen und globalen Kontrollprozessen unterscheiden explizit so beschrieben (vgl. zum Beispiel Braver et al., 2003), allerdings fehlen bisher empirische Studien, die zeigen, dass es nicht nur ein mehr oder weniger an Inhibition oder Aktivierung ist, sondern, dass Prozesse überhaupt erst eingesetzt werden, wenn Konflikt im kognitiven System vorliegt. Diese, für die Konzeption solcher, in globale und lokale Mechanismen unterscheidende, Kontrollmodelle wichtige empirische Lücke möchte die vorliegende Arbeit schließen.

1.5 Kontrolle in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen

Die Bearbeitung von Aufgabensequenzen, also das wechselweise und sequentielle Bearbeiten von Aufgaben, erfordert von der handelnden Person ein permanentes Wechseln zwischen den einzelnen Repräsentationen der verschiedenen Aufgaben beziehungsweise den Aufgaben-Sets (Monsell, 1996; Rogers & Monsell, 1995)

und wird gerne als Paradigma genommen, um kognitive Flexibilität und die dahinterstehenden Kontrollprozesse zu untersuchen (vgl. auch den vorhergehenden Abschnitt). Anders als beim Simon-Paradigma und der Eriksen-Flanker Aufgabe müssen Versuchspersonen hier nicht nur eine Stimulus-Reaktions Zuordnung aktiv halten, sondern mindestens zwei solcher Zuordnungen, die in jeweils anderen Aufgabenkontexten valide und richtig sind. Kontrollprozesse, die beim Aufgabenwechsel eine Rolle spielen, müssen somit neben einer Unterstützung der Auswahl der richtigen Reaktion sicherstellen, dass der richtige Kontext aktiviert ist (Braver & Cohen, 2000; Duncan & Miller, 2002). Deshalb findet man in den theoretischen Modellen zum Aufgabenwechsel in der Regel ebenfalls zwei Arten von Kontrollprozessen, zum einen solche die sicherstellen, dass der richtige Kontext aktiviert und das System im Sinne der nun gültigen Aufgabenregeln konfiguriert ist und zum anderen flexiblere Prozesse, die während der eigentlichen Aufgabebearbeitung, also nach Präsentation des imperativen Stimulus, regulierend eingreifen können (vgl. u.a. Hübner, Futterer & Steinhauser, 2001; Hübner & Druey, 2005; Mayr & Kliegl, 2003, Rubinstein, Meyer & Evans, 2001).

1.5.1 Aufgaben-Sets als handlungsleitende Repräsentationen

Eine zentrale Rolle in den theoretischen Ansätze zur Bearbeitung von Aufgabensequenzen kommt dabei der kognitiven Repräsentation der Aufgabe, dem Aufgaben-Set, zu. Dieses umfasst, vergleichbar mit einem vorbereiteten Reflex (Hommel, 2000, Mayr, 2003) oder einer Zielrepräsentation (Miller & Cohen, 2001) alle Prozesse, von der Stimulusverarbeitung bis zu der Auswahl einer Antwort gegeben einen bestimmten Stimulus, und kann in verschiedene stimulus- und antwortbezogene Komponenten unterteilt gedacht werden (Kleinsorge & Heuer, 1999; Meiran, 1996; 2000; Philipp, 2005; Rogers & Monsell, 1995). In der Regel wird dabei zwischen einem Stimulus-Set und einem Antwort-Set unterschieden (vgl. Meiran, 1996; Rogers & Monsell, 1995). Das Stimulus-Set umfasst dabei die, für die Aufgabe relevanten, Stimuli und Prozesse, wie zum Beispiel Identifikation und Kategorisierung von Stimuli gemäß der jeweils aktuellen Aufgabe. In den Antwort-Sets befinden sich die, den Aufgaben zugeordneten Antworten (z.B. linker vs. rechter Tastendruck). Auch eine Spezifizierung der Antwortmodalität (angenommen, es stehen mehrere Modalitäten zur Wahl) könnte hier vorgenom-

men werden (siehe auch Philipp, 2005). Allerdings ist zu bemerken, dass es keine Festlegung von den jeweiligen Bestandteilen des Stimulus- oder Antwort-Sets gibt.

Neben den beiden Sub-Sets, die mit stimulus- und antwortbezogenen Prozessen befasst sind, kommt der eigentlichen Stimulus-Reaktions Regel eine besondere Bedeutung innerhalb der Konzeption von Aufgaben-Sets zu. Diese Regel, die Versuchspersonen sagt, wie auf bestimmte Stimuli zu reagieren ist, bildet so etwas wie den Kern des Aufgaben-Sets und kann als Brücke zwischen den beiden Sub-Sets gedacht werden. Die erfolgreiche Bearbeitung einer Aufgabe hängt von der richtigen Auswahl und Anwendung der relevanten Stimulus-Reaktions Regel ab. Nicht selten werden Aufgaben-Sets auch auf eben diese Regel reduziert.

Eine interessante und bislang ungeklärte Frage, die mit dem Konzept von Aufgaben-Set zusammenhängt, ist, inwieweit diese wirklich als geschlossene, das heißt sich nicht gegenseitig beeinflussende, mentale Repräsentationen von Aufgaben gedacht werden können (vgl. auch Botvinick & Plaut, 2002). In den folgenden Abschnitten sollen eine Reihe von Effekten berichtet werden, die nahelegen, dass die gleichzeitige Verwendung von zwei oder mehr Aufgaben-Sets wie in einem Aufgabenwechselexperiment nötig, nicht ohne wechselseitige Beeinflussung der Aufgaben untereinander geschehen kann. Diese so genannten „cross-talk“ Effekte zwischen Aufgaben können dabei sowohl die Bearbeitung der aktuellen Aufgabe erleichtern wie auch zu Konflikt zwischen Aufgaben führen.

1.5.2 Paradigmen

Kontrollprozesse in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen werden in der Regel mit drei unterschiedlichen Paradigmen untersucht. All diesen Paradigmen ist dabei die Verwendung von zwei oder mehr Aufgaben gemein und sie unterscheiden sich zum einen in der Vorhersehbarkeit einer Aufgaben-Sequenz sowie in Freiheit des Experimentators, zeitliche Parameter zu manipulieren. In den ersten Studie, die sich mit den Prozessen, die es Menschen erlauben, flexibel zwischen Aufgaben zu wechseln, beschäftigten, wurde das so genannte Listenparadigma eingesetzt (vgl. Jersild, 1927; Spector & Biederman, 1976). In diesem Paradigma arbeiten die Versuchspersonen verschiedene Listen durch, die entweder nur eine Aufgabe (so genannte reine Listen) oder beide Aufgaben (gemischte Lis-

ten) beinhalten. Verglichen wird dann die Leistung in reinen Listen mit der in gemischten Listen. Ein Problem dieses Paradigmas ist, dass es nicht möglich ist, die Leistungseinbußen, die Versuchspersonen erleiden, weil sie auf einmal zwei Aufgaben gleichzeitig aktiv halten müssen um zwischen ihnen zu wechseln, von denen zu unterscheiden, die wirklich auf das schnelle Wechseln zwischen Aufgaben zurückführbar sind. Dementsprechend können auch keine Aussagen darüber gemacht werden, ob neben den Prozessen, die eine Rolle spielen, wenn mehr als eine Aufgabe wichtig für ein angemessenes Verhalten ist, noch weitere, wechselspezifische Prozesse, auftreten. Von daher wird dieses Paradigma heute kaum noch verwendet.

In einem weiteren, von Rogers und Monsell (1995) eingeführten Paradigma wechseln Versuchspersonen jeden zweiten Durchgang von einer Aufgabe zur anderen. Das bedeutet, dass Versuchspersonen Sequenzen vom Typ AABBAABB bearbeiten, wobei A und B für die beiden relevanten Aufgaben stehen. Dieses, als „alternating runs“ bezeichnete, Paradigma gibt der Versuchsperson die Möglichkeit, Aufgabenwechsel vorherzusehen und sich darauf vorzubereiten. Die Anzahl der Durchgänge, in denen die Aufgabe dieselbe ist wie die vorangegangene, die also Aufgabenwiederholungen sind, kann dabei variieren (meist zwischen zwei und acht Durchgängen). Dieses Paradigma trennt somit die Kosten, die beim Aktivhalten von zwei oder mehr Aufgaben-Sets entstehen (so genannte „mixing cost“, vgl. Los, 1996; Rubin & Meiran, 2005) von den zusätzlichen Kosten, die beim Wechseln von einer zu der anderen Aufgabe zu beobachten sind. Ein großer Nachteil dieses Paradigmas ist allerdings, dass es dem Versuchsleiter bedingt durch die starke Strukturierung der Aufgabensequenz nicht möglich ist, Effekte der aktiven, intentionalen Vorbereitung auf eine Aufgabe beziehungsweise auf einen Aufgabenwechsel von Effekten zu trennen, die mit dem Zerfall der Aktivierung der zuletzt durchgeführten Aufgabe zusammenhängen. Da man allerdings davon ausgehen muss, dass beide Arten von Prozessen zu dem beobachteten Datenmuster in Aufgabenwechselexperimenten beitragen, sind weitere methodische Verfeinerungen des Paradigmas von Nöten, um Aussagen über die, in das flexible Wechseln zwischen Aufgaben involvierten Mechanismen zu machen.

Um diese beiden Prozesse, also Vorbereitung und Zerfall von Aufgaben-Sets, von einander trennen zu können, verwendete Meiran (1996) ein Paradigma, in dem er den Versuchspersonen vor jeder Aufgabe einen (validen) Hinweisreiz prä-

sentierte, ihnen aber keinerlei Informationen über die Sequenz der zu bearbeitenden Aufgaben gab. Dieses „cuing“ Paradigma ermöglicht somit die Manipulation von zwei zeitlichen Intervallen: zum einen dem Hinweisreiz-Stimulus Intervall (CSI), in dem sich die Versuchsperson auf die nächste Aufgabe vorbereiten kann. Zum anderen kann auch die Zeit zwischen Aufgaben, die nicht zur Vorbereitung auf die neue Aufgabe genutzt werden kann, unterschiedlich variiert werden. Dieses Antwort-Hinweisreiz Intervall (RCI) ermöglicht somit die Untersuchung von Effekten, die der Zerfall eines gerade verwendeten Aufgaben-Sets für die Bearbeitung von Aufgaben-Sequenzen hat (vgl. auch Abb. 1.3). Dieses Paradigma wird auch in hier berichteten Experimenten verwendet.

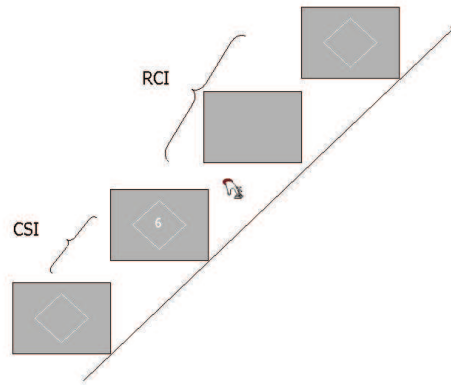


Abbildung 1.3: Schematische Darstellung des cuing-Paradigmas

Generell ist festzustellen, dass die Ergebnisse, die man mit den verschiedenen Paradigmen erhält, sich nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Meistens wird jedoch das cuing-Paradigma verwendet, da sich hier Vorbereitungsprozesse und Zerfallsprozesse am besten voneinander trennen lassen.

1.5.3 Aktivierung von Aufgaben-Sets und Vorbereitungseffekte

Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass die Aktivierung des jeweils relevanten Aufgaben-Sets nötig ist, um erfolgreich zwischen Aufgaben zu wechseln. Die meisten Modelle, die versuchen, Leistungen von Versuchspersonen in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen zu erklären, gehen davon aus, dass Versuchspersonen in der Lage sind, intentional Aufgabenrepräsentationen zu aktivieren - sich also auf die Aufgabe vorzubereiten -, wenn sie wissen, welche Aufgabe als

nächstes an die Reihe kommt (Rogers & Monsell, 1995, Rubinstein et al., 2001; Mayr & Kliegl, 2000, 2003). Diese Vorbereitung kann entweder auf der Grundlage einer vorher instruierten Aufgaben-Sequenz wie im „alternating runs“ Paradigma erfolgen (Koch, 2005; Roger & Monsell, 1995) oder auf Basis des Hinweisreizes, der vor dem eigentlichen Stimulus präsentiert wird (Mayr & Kliegl, 2000; Meiran, 1996; Sudevan & Taylor, 1987). Die Fähigkeit der Versuchspersonen, sich auf einen Aufgabenwechsel vorzubereiten, führt in manchen Studien auch zu einer signifikanten Verringerung der zu beobachtenden Wechselkosten, also dem Vergleich zwischen Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholung. Diese Reduktion der Wechselkosten ist von Rogers und Monsell (1995) als Hinweis auf das Wirken eines Aufgabenrekonfigurationsprozesses gedeutet worden. Dieser Aufgabenrekonfigurationsprozess ist nur in Wechseldurchgängen nötig, da nur hier das aktuell relevante Aufgaben-Set verändert werden muss. Die Kosten einer nicht-abgeschlossenen Aufgabenrekonfiguration tragen bei kurzer Vorbereitungszeit zu den beobachteten Wechselkosten bei (Rogers & Monsell, 1995) .

Eine stark diskutierte Frage innerhalb der Forschung, die sich mit der Bearbeitung von Aufgabensequenzen und den dazu notwendigen Mechanismen beschäftigt, ist, inwieweit die Vorbereitung einer Versuchsperson wirklich wechselfpezifisch ist, also nur in Aufgabenwechseldurchgängen auftritt. Zum einen scheint die Reduktion von Wechselkosten mit langer Vorbereitungszeit kein stabiler Befund zu sein (vgl. unter anderem Koch & Philipp, 2005; Monsell, 2003; Philipp, Gade & Koch, eingereicht; Sohn & Carlson, 2000). Zum anderen haben andere Manipulationen von Vorhersehbarkeit eines Aufgabenwechsels durch univalente Stimuli oder gelernte Sequenzen meist dieselben positiven Effekte für Wechsel- und Wiederholungsdurchgänge (Dreisbach, Haider & Kluwe, 2001; Gotler, Meiran & Tzelgov, 2004; Koch, 2001; 2005; Ruthruff, Remington & Johnston, 2001; Sohn & Anderson, 2001, 2003). Von daher ist umstritten, ob intentionale Vorbereitung auf einen Aufgabenwechsel möglich ist, oder ob Versuchspersonen sich nicht immer auf die jeweils relevante Aufgabe vorbereiten, unabhängig davon, ob es eine Aufgabenwiederholung oder ein -wechsel ist (vgl. Dreisbach et al., 2002 sowie Koch, 2005 für eine ausführlichere Diskussion dieses Punktes).

Die Vorbereitung einer Aufgabe scheint allerdings niemals komplett möglich zu sein, so lange kein Stimulus präsentiert worden ist (vgl. Lien, Ruthruff, Remington & Johnston, 2005; Meiran, 1996; Meiran, Zorev & Sapir, 2000; Rogers

& Monsell, 1995). So werden auch nach langer Vorbereitungszeit immer noch Kosten in Reaktionszeit und Fehlern gefunden, die mit dem Wechsel von einer Aufgabe zur anderen verbunden sind. Diese so genannten residualen Kosten stellen für Ansätze, die von einem wechelspezifischen Aufgabenrekonfigurationsprozess ausgehen, ein Problem dar, da mit erfolgreicher Aufgabenrekonfiguration keine Kosten beim Wechseln von Aufgaben mehr beobachtet werden sollten (vgl. Hübner, Kluwe, Luna-Rodriguez & Peters, 2005; Monsell, 2003; Rogers & Monsell, 1995). Deshalb werden neben der intentionalen Aktivierung von Aufgaben-Sets (so genannte endogene Kontrolle) auch immer stimulus-bezogene beziehungsweise exogene Kontrollprozesse angenommen, die nötig sind, damit Versuchspersonen erfolgreich von einer Aufgabe zur anderen wechseln können (Meiran, 1996; Meiran, Zorev & Sapir, 2000; Rogers & Monsell, 1995; Rubinstein et al., 2001; Ruthruff et al., 2001). Neben exogenen Prozessen, die die unvollständige Aufgabenrekonfiguration ergänzen, sind eine Reihe weiterer Ansätze zur Entstehung von residualen Wechselkosten postuliert worden, die im Folgenden kurz diskutiert werden sollen.

1.5.4 Persistierende Aktivierung von Aufgaben-Sets und Bahnungsprozesse

Generell ist zu bemerken, dass Wechselkosten wie oben beschrieben nur dann auftreten, wenn Stimuli und Antworten multivalent sind, also mit mehr als einer Aufgabe assoziiert werden können, zum Beispiel wenn dieselben beiden Reaktions Tasten für alle Aufgaben verwendet werden. Werden hingegen univalente Stimuli und Reaktionen verwendet, so treten kaum Kosten beim Wechseln zwischen Aufgaben auf (Jersild, 1927; Meiran, 2000; Ruthruff et al., 2001; Spector & Biederman, 1976). Dieser interessante Befund kann bereits als erste Hinweis darauf gedeutet werden, dass die verschiedenen Aufgaben-Sets, die beim Wechseln zwischen Aufgaben nötig sind, nicht als in sich abgeschlossene Einheiten gedacht werden sollten, sondern sich gegenseitig beeinflussen.

Ein alternativer Ansatz zur Entstehung von Wechselkosten (insbesondere von residualen Wechselkosten) geht davon aus, dass Wechselkosten im Wesentlichen proaktive Interferenz widerspiegeln. Diese wird durch die immer noch aktive, aber nicht mehr relevante Aufgabe, von der gewechselt wurde, verursacht (Allport,

Styles & Hsieh, 1994; Allport & Wylie, 1999, 2000). Dieses, immer noch aktive, Aufgaben-Set behindert die Implementierung einer neuen Aufgabe und führt zu Wechselkosten. Persistierende Aktivierung der zuletzt verwendeten Aufgabe wird auch für die generell höheren Wechselkosten verantwortlich gemacht, wenn das RCI, also das Intervall zwischen Antwort und dem nächsten Hinweisreiz, kurz ist, und somit nicht viel Zeit zwischen den Aufgaben verstreicht.

Allerdings scheint persistierende Aktivierung des zuletzt verwendeten Aufgaben-Sets nicht die einzige Ursache für Wechselkosten zu sein. Studien konnten außerdem zeigen, dass assoziatives Lernen und episodische Gedächtnisprozesse ebenfalls eine Rolle beim Entstehen von Wechselkosten spielen. Koch und Allport (im Druck) konnten zeigen, dass Versuchspersonen Assoziationen zwischen Stimuli und Aufgaben ausbilden, so dass die Präsentation eines Stimulus die mit ihm assoziierte Aufgabe bahnt. Muss derselbe Stimulus nun im Rahmen der anderen Aufgabe bearbeitet werden, entsteht Konflikt zwischen der ursprünglich mit diesem Stimulus assoziierten und nun automatisch aktivierten Aufgabe und der zu bearbeitenden Aufgabe (vgl. auch Sohn & Anderson, 2003). Waszak und Kollegen (Waszak, Hommel & Allport, 2003; Waszak, Hommel & Allport, 2004, 2005) konnten weiter zeigen, dass nicht nur die Ausbildung von Assoziationen, die eine feste Stimulus-Aufgaben Zuordnung erfordern, die Leistung von Versuchspersonen beeinträchtigen, sondern bereits die einmalige Verbindung von einem Stimulus mit einer Aufgabe zu einer Einbuße in der Leistung von Versuchspersonen führen kann, wenn derselbe Stimulus das nächste Mal in der anderen Aufgabe bearbeitet werden muss. Aufgabebearbeitung führt nach Ansicht von Waszak und Kollegen (2003) zu einer episodischen Gedächtnisspur, die beim nächsten Auftreten des Stimulus aktiviert wird und nicht nur den Stimulus, sondern den kompletten Aufgabenkontext beinhaltet. Muss der Stimulus dann im Rahmen der anderen Aufgabe bearbeitet werden, konfiguriert die alte Episode mit der neuen Bearbeitung und führt zu Wechselkosten. Nach Waszak und Kollegen (2003) verursacht dieser Konflikt die beobachteten residualen Wechselkosten.

Neben der Fähigkeit von Stimuli, Aufgaben zu aktivieren und somit Konflikt zwischen Aufgaben-Sets zu verursachen, gibt es Evidenz, dass auch Prozesse, die mehr mit der geforderten Antwort zusammenhängen beim Entstehen von residualen Wechselkosten eine Rolle spielen. So gehen Schuch und Koch (2003) sowie Koch und Philipp (2005) davon aus, dass Konflikt während der Bearbei-

tung von Aufgaben vor allem während der Antwortselektion auftritt, und dieser Konflikt ebenfalls das Entstehen von residualen Wechselkosten erklären kann. In Studien, die eine go/no go Manipulation verwendeten, konnten Koch und Philipp (2005) zeigen, dass nach Durchgängen, in denen keine Antwort für die jeweils relevante Aufgabe selektiert werden musste (no-go Durchgänge) keine beziehungsweise nur sehr kleine Wechselkosten zu beobachten waren. Das Vorhandensein mehrerer Antworttendenzen und Stimulus-Reaktions Zuordnungen beim Wechseln zwischen Aufgaben führt also zu Konflikt zwischen den Aufgaben. Wie also bereits beim Stroop-Paradigma, dem Simon-Paradigma und auch in der Eriksen-Flanker Aufgabe scheint Konflikt zwischen verschiedenen aktivierten Antworten auch beim Aufgabenwechsel eine kritische Rolle zu spielen.

Alle bisher diskutierten Ursachen für residuale Wechselkosten, sei es persistierende Aktivierung der letzten Aufgabe, Bahnungsprozesse durch Stimuli oder das Vorhandensein mehrerer Antworttendenzen für ein und denselben Stimulus legen nahe, dass sich Aufgaben-Sets im Rahmen der Bearbeitung von Aufgabensequenzen gegenseitig beeinflussen können und deshalb miteinander in Konflikt stehen. Auch erscheinen diese Ursachen nicht mit in sich geschlossenen Aufgaben-Sets, die die Bearbeitung der jeweils relevanten Aufgabe leiten, vereinbar zu sein. Ansätze, die Aufgaben-Sets als sich partiell überlappende Repräsentationen innerhalb eines gemeinsamen repräsentationalen Raums, zum Beispiel ein Aufgabenwechselexperiment, konzipieren, scheinen hier eine interessante Alternative zu bieten (Botvinick & Plaut, 2002).

Generell scheint die Fähigkeit von Versuchspersonen, sich auf Aufgaben vorzubereiten, einige, aber nicht alle der in diesem Abschnitt beschriebenen Ursachen für Wechselkosten entgegen wirken zu können (vgl. Koch, 2001; Rubin & Koch, im Druck). Dennoch sind die meisten dieser Effekte an die Bearbeitung des imperativen Stimulus gebunden beziehungsweise an die Reaktionsauswahl und somit der eigentlichen Aufgabenvorbereitung kaum zugänglich. Diese „bottom up“-Effekte haben deshalb zu der Entwicklung von Modellen des Aufgabenwechsels geführt, die neben einer top-down Aktivierung von Aufgaben-Sets auch weitere Mechanismen annehmen, die die bottom-up Einflüssen der zuletzt bearbeiteten Aufgabe vermindern können.

1.5.5 Inhibition in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen

In der Forschung zur Bearbeitung von Aufgabensequenzen gibt es eine Reihe von Befunden, die das Wirken inhibitorischer Mechanismen nahelegen. So beobachteten Allport und Kollegen (1994) in ihren Experimenten, in denen Versuchspersonen Stroop-Stimuli bearbeiteten, dass das Wechseln zu vermeintlich leichteren, weil besser automatisierten und somit dominanten Wort-Lesen Aufgabe zu größeren Wechselkosten führte als das Wechseln zu weniger dominanten Farbe-Benennen Aufgabe. Diese asymmetrischen Wechselkosten replizierten Allport und Wylie (1999; 2000) und führten sie auf die Inhibition der dominanteren Wort-Lese Aufgabe zurück. Diese Inhibition ist nötig, um erfolgreich die schwächere der beiden Aufgaben implementieren zu können. Wenn Versuchspersonen dann wieder zu der stärkeren Aufgabe zurück wechseln, müssen sie diese Inhibition überwinden. Die schwächere der beiden Aufgaben hingegen muss nicht gehemmt werden, da sie aufgrund einer weitaus geringeren Automatisierung nicht mit der dominanteren Aufgabe konkurriert beziehungsweise konkurrieren kann (Allport & Wylie, 2000).

Weitere Evidenz für Inhibition von dominanteren Aufgaben kommt aus einer Studie von Masson und Kollegen (Masson, Bub, Woodward & Chan, 2003). In dieser Studie verwendeten die Autoren ebenfalls Stroop-Stimuli und ließen ihre Versuchspersonen zwischen der Wort-Lesen und der Farbe-Benennen Aufgabe wechseln. Die Autoren verglichen dann die Reaktionszeiten für die Wort-Lesen Aufgabe in Blöcken mit Stroop Stimuli mit solchen Blöcken, in denen die Wörter einheitlich schwarz gedruckt waren. Sie fanden längere Reaktionszeiten für das Wort-Lesen in den Blöcken mit Stroop-Stimuli und führten dies auf eine Inhibition der dominanteren Wort-Lesen Aufgabe in der Bedingung mit den Stroop-Stimuli zurück. Allerdings schien dieser Inhibitionsprozess keine Rolle mehr zu spielen, wenn neutrale, also schwarz gedruckte, Wörter und Stroop-Stimuli alternierend dargeboten wurden. Nach Masson und Kollegen (2003) entsteht Inhibition vor allem, um Konflikt zwischen den konkurrierenden Aufgaben zu lösen. Da die Farbe-Benennen Aufgabe deutlich weniger automatisiert ist und sich nicht ohne Inhibition gegen die dominante Wort-Lesen Aufgabe durchsetzen kann, muss die Wort-Lesen Aufgabe gehemmt werden.

Inhibitionsprozesse wurden allerdings nicht nur für Aufgabenwechselexperimente postuliert, in denen Versuchspersonen Stroop-Stimuli bearbeiten mussten. Goschke (2000) konnte zeigen, dass das Wechseln zu einer perzeptuellen Dimension langsamer war, wenn diese im Durchgang vorher eine andere Antwort als der eigentliche Stimulus erfordert hatte. Dazu verwendete Goschke (2000) farbige Buchstaben als Stimuli, von denen jede Dimensionen (also Farbe und Buchstabe) vier Ausprägungen hatte. Zwei Merkmale jeder Dimension erforderten das Drücken einer Antworttaste, während die anderen beiden Merkmale als neutrale Bedingung dienten. Wenn nun in Durchgang n-1 die beiden Dimensionen des Stimulus, also Buchstabe und Farbe, das Drücken der gleichen Antworttaste erforderten (so genannte kongruente Stimuli) hatten die Versuchspersonen kleinere Wechselkosten beim Wechseln auf die andere Dimension, als wenn die im Moment irrelevante Dimension mit keiner Antwort verbunden war (neutrale Stimuli). Wichtig aus der Sicht inhibitorischer Mechanismen in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen ist der Befund, dass inkongruente Stimuli, wenn also beide Dimensionen des Stimulus unterschiedliche Antworten erforderten, bei einem folgenden Wechsel auf die andere, im Durchgang vorher irrelevante, Dimension zu größeren Wechselkosten führten. Goschke folgerte aus diesem Ergebnismuster (größere Wechselkosten nach inkongruenten als nach kongruenten Stimuli), dass Versuchspersonen in Durchgängen mit inkongruenten Stimuli die jeweils irrelevante Dimension des Stimulus hemmen, während eine solche Hemmung bei kongruenten Durchgängen nicht nötig ist. Auch er ging davon aus, dass dieser Inhibitionsmechanismus sich flexibel an das Ausmaß des vorliegenden Konflikts während der Bearbeitung eines Stimulus anpasst (Goschke, 2000). Weiter konnte Goschke (2000) zeigen, dass dieser Inhibitionsprozess die komplette irrelevante Dimension betrifft und nicht auf der Ebene einzelner Stimuli arbeitet.

Weitere Evidenz für die Rolle inhibitorischer Prozesse in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen kommt von Studien von Dreisbach und Kollegen (2002) sowie von Hübner und Kollegen (Hübner, Dreisbach, Haider & Kluwe, 2003). Die Studie von Dreisbach und Kollegen manipulierte die Validität des Hinweisreizes und fand geringere Vorbereitungseffekte, wenn Versuchspersonen zu einer „unwahrscheinlichen“ Aufgabe wechseln mussten, verglichen mit einer Bedingung, in der das Wechseln zu allen Aufgaben gleich wahrscheinlich war. Dreisbach und Kollegen (2002) erklären diesen Befund damit, dass Versuchspersonen auf der

Basis des Hinweisreizes beginnen, unwahrscheinliche Aufgaben zu hemmen um eine erfolgreiche Implementierung der dann relevanten Aufgabe sicherzustellen. Muss dann aber doch zu der unwahrscheinlichen Aufgabe gewechselt werden, so muss zusätzlich noch eben diese Inhibition überwunden werden, um die Aufgabe erfolgreich durchzuführen. Inhibition ist bei Dreisbach und Kollegen (2002) ein Prozess, der im Wesentlichen während der Vorbereitung auf eine neue Aufgabe einsetzt und konkurrierende Aufgaben hemmt. Gleiches gilt auch für die Arbeit von Hübner und Kollegen (2003). In dieser Arbeit verwenden die Autoren Stimuli, die von Stimuli aus den konkurrierenden Aufgaben flankiert werden können. Hübner und Kollegen berichten reduzierte Flankerinterferenz, das heißt weniger Kosten in der Bearbeitung der relevanten Aufgabe, wenn die Flanker-Stimuli aus der zuvor bearbeiteten Aufgabe stammen. Dies gilt allerdings nur unter der Voraussetzung, dass die Versuchspersonen sicher wissen, welche Aufgabe als nächstes bearbeitet werden muss. Wird lediglich angezeigt, dass die Aufgabe gewechselt werden muss, wird keine reduzierte Flankerinterferenz beobachtet. Auch Hübner und Kollegen (2003) argumentieren, dass Versuchspersonen beim Vorbereiten auf eine spezifische Aufgabe die konkurrierenden Aufgaben hemmen, um eine erfolgreiche Aufgabenbearbeitung sicherzustellen.

Obwohl all die oben zitierten Studien Evidenz für die Rolle inhibitorischer Mechanismen in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen erbringen, gelingt es ihnen nicht überzeugend mit alternativen, rein aktivationsbasierten Alternativerklärungen umzugehen. So ist denkbar, dass asymmetrische Wechselkosten allein durch Aktivationsunterschiede zwischen der weniger dominanten und der dominanten Aufgabe entstehen. In diesem Ansatz führt die residuale Aktivierung der nicht-dominanten Aufgabe dazu, dass auch die dominante Aufgabe mehr als gewöhnlich aktiviert werden muss, um erfolgreich ausgeführt zu werden. Dieser zusätzliche Aktivierungsprozess führt dann zu beobachteten Verlängerung der Reaktionszeit beim Wechseln zu der dominanteren Aufgabe. Auch in der Studie von Goschke (2000) sind andere Erklärungen, wie zum Beispiel episodische Gedächtnisprozesse denkbar. So sind die größeren Wechselkosten nach inkongruenten Stimuli möglicherweise durch persistierende Aktivierung der zuletzt verwendeten Stimulus-Reaktions Regel bedingt (vgl. auch Hübner & Druey, 2005; Schuch & Koch, 2004), die bei inkongruenten Stimuli stärker sein muss als bei kongruenten. Ebenso legen die anderen berichteten Studien Inhibition nicht als zwingende Er-

klärung nahe (in erster Linie deshalb, weil sie keine inhibitorischen Nacheffekte in der eigentlich gehemzten Aufgabe zeigen). So ist bei der Studie von Dreisbach und Kollegen (2002) sowie auch bei Hübner und Kollegen (2003) denkbar, dass der Unterschied in der Vorbereitung ihrer Aufgaben allein durch mehr Aktivierung der Aufgabe, zu der wahrscheinlicher gewechselt wird, entsteht. Wissen die Versuchspersonen nicht, welche Aufgabe von beiden wahrscheinlicher ist, aktivieren sie beide gleichermaßen und es werden keine Unterschiede sichtbar (was von den Autoren dann als Fehlen von Inhibition gedeutet wird).

Mit einem neuen Paradigma, das drei statt wie bisher nur zwei Aufgaben verwendete, zeigten Mayr und Keele (2000), dass Inhibition von konkurrierenden Aufgaben tatsächlich messbar ist, nämlich als sogenannte n-2 Wiederholungskosten (vgl. Abb. 1.4).

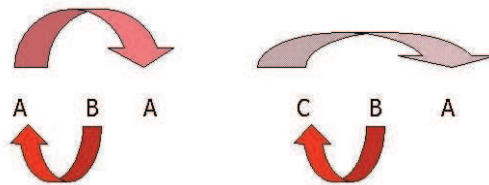


Abbildung 1.4: Entstehung von n-2 Wiederholungskosten durch persistierende Inhibition

Die Logik hinter diesem Paradigma ist dabei folgende: Wenn Versuchspersonen von Aufgabe A zu Aufgabe B wechseln, wird Aufgabe A inhibiert, um die erfolgreiche Implementation von Aufgabe B nicht zu behindern. Müssen sie dann wieder zurück zu Aufgabe A wechseln, muss zusätzlich noch die persistierende Inhibition überwunden werden und diese zusätzliche Schwierigkeit führt so zu längeren Reaktionszeiten und mehr Fehlern in Aufgabe A in einer n-2 Wiederholung (ABA) verglichen mit einem n-2 Wechsel (CBA). Mayr und Keele (2000) konnten in weiteren Experimenten zeigen, dass dieser Inhibitionseffekt nicht durch verlängerte Vorbereitungszeit beeinflussbar ist und von anderen, mit Selektionsaufgaben in Verbindung gebrachten inhibitorischen Mechanismen wie Negative Priming (vgl. Tipper, 2001) verschieden ist, also nicht durch sie erklärt werden kann.

Inhibition trägt zu den residualen Wechselkosten bei⁶ und war bei Mayr und Keele (2000) nicht durch vorhergehende Instruktion von Aufgabensequenzen zu beeinflussen (siehe aber auch Koch, Gade & Philipp, 2006 für gegenteilige Resultate). Ferner scheint Aufgabeninhibition an die intentionale Vorbereitung für eine Aufgabe gebunden zu sein beziehungsweise an das Vorliegen von unterschiedlichen Aufgaben-Sets (vgl. Mayr & Keele, 2000, Experiment 3). Andere Studien (Arbuthnott & Frank, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002; Mayr, 2001; 2002; Schuch & Koch, 2003; Philipp & Koch, im Druck) konnten zeigen, dass die beobachteten n-2 Wiederholungskosten reliabel sind und auch in anderen als der von Mayr und Keele (2000) verwendeten „odd-item-out“ Aufgabe (z.B. in verschiedenen Klassifikationsaufgaben) auftritt.

Als Ziel des Inhibitionsprozesses postulieren Mayr und Keele (2000) das Aufgaben-Set als solches und zeigten, dass die n-2 Wiederholungskosten unabhängig von den jeweils präsentierten Stimuli beziehungsweise den geforderten Antworten sind, also nicht durch Inhibition einzelner Stimuli oder Reaktionen erklärt werden können (vgl. auch Experiment 7 der vorliegenden Arbeit). Auf der Suche nach den Ursachen, die zur Inhibition von Aufgaben führen, konnten Schuch und Koch (2003) zeigen, dass Aufgabeninhibition nur dann auftrat, wenn Versuchspersonen eine Antwort auswählen mussten. Sie verwendeten wiederum eine go/no go Manipulation und fanden stark reduzierte beziehungsweise keine n-2 Wiederholungskosten wenn der n-1te Durchgang ein no-go Durchgang war (Schuch & Koch, 2003). Daraus folgerten die Autoren, dass Konflikt während der Antwortselektion durch Inhibition aufgelöst wird. Da das Antwort-Set einer Aufgabenrepräsentation nicht vorbereitet werden kann (Meiran, 1996; 2000), würde dies auch erklären, warum n-2 Wiederholungskosten nicht durch verlängerte Vorbereitungszeit beeinflusst werden. Die Inhibition konkurrierender Aufgaben ermöglicht also eine effiziente und fehlerfreie Leistung in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen. Inhibition ist nötig, weil Aufgaben miteinander konfliktieren (Mayr & Kee-

⁶Wobei diese Annahme an sich schwer zu beweisen ist, da es kein Verfahren gibt, dass Inhibitions- und Aktivationsprozesse beim Aufgabenwechsel voneinander trennen kann, wenn man n-1 Wiederholungen und Wechsel betrachtet. Mayr und Keele (2000) zeigten in Experiment 4 ihrer Studie, dass wenn sowohl Aufgabenwechselkosten und n-2 Wiederholungskosten gemessen werden konnten, die Aufgabenwechselkosten größer waren, wenn der Durchgang gleichzeitig eine n-2 Wiederholung war. Die Frage nach dem Zusammenspiel von Aktivierung und Inhibition beim Aufgabenwechsel wird in der Abschlussdiskussion noch einmal aufgenommen und diskutiert.

le, 2000; Schuch & Koch, 2003). Die Bearbeitung von Aufgabensequenzen wird somit durch die Aktivierung des jeweils relevanten Aufgaben-Sets wie auch die Inhibition konkurrierender Aufgaben-Sets möglich.

1.6 Aufgabeninhibition und Konflikt - Überblick über die Experimente

Nachdem Inhibition in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen als weiterer Mechanismus neben der Aktivierung von Aufgaben-Sets etabliert wurde, stellt sich die Frage, wozu diese Inhibition von Aufgaben dient und unter welchen Bedingungen sie zu beobachten ist.

Mayr und Kliegl (2000; 2003; siehe auch Mayr & Keele, 2000) gehen in ihrem Modell zur Bearbeitung von Aufgabensequenzen von einem 1-Item Arbeitsgedächtnis aus, das heißt es kann immer nur ein Aufgaben-Set aktuell im Arbeitsgedächtnis bereitgehalten werden (siehe auch Dehaene et al., 1998). Ist es nicht mehr aktuell, wird es aus dem Arbeitsgedächtnis entfernt (mittels Inhibition) und verschwindet wieder im Langzeitgedächtnis bis es zum nächsten Mal gebraucht wird. Obwohl Mayr und Kollegen „quasi“-parallele Aktivierung von Aufgaben nicht verneinen (Mayr & Kliegl, 2000; 2003; Mayr, 2003), zum Beispiel durch starke Bahnungsprozesse, die zur Aktivierung von im Langzeitgedächtnis gespeicherten Inhalten führen, ist diese Parallelität der Aktivierung mehrerer Aufgaben-Sets wesentlich eingeschränkter als die anderer Theoretiker, die durchaus parallele Aktivierung und wechselseitige Beeinflussung von Aufgaben-Sets untereinander postulieren (vgl. z.B. Goschke, 2002; Meiran, 2000; Rogers & Monsell, 1995).

In dem Modell von Mayr und Kliegl (2000; 2003; vgl. auch Mayr & Keele, 2000) kommt Aufgabeninhibition somit eine „Aufräumfunktion“ zu. Dass heißt, alles, was nicht mehr benötigt wird beziehungsweise die Implementierung einer neuen Aufgabe behindert, wird mittels Aufgabeninhibition aus dem Arbeitsgedächtnis entfernt. Die Frage ist allerdings, was dazu führt, dass Aufgabeninhibition als solcher Aufräummechanismus eingesetzt wird. Welche Bedingungen im Rahmen des kognitiven Systems verlangen nach einem solch mächtigen und auch mit Performanz-Kosten verbundenen Mechanismus? Mayr und Keele (2000) gehen davon aus, dass Aufgabeninhibition ein sehr grundlegender Mechanismus in

der Bearbeitung von Aufgabensequenzen ist und von daher nicht an bestimmte Vorbedingungen geknüpft, sondern als „default“-Lösung immer eingesetzt wird, um Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Aufgabensequenzen zu vermeiden. Die andere, theoretisch interessantere und flexiblere Erklärung für das Auftreten von Aufgabeninhibition wäre, dass Aufgaben-Sets miteinander in Konflikt stehen können und das Aufgabeninhibition diesen Konflikt lösen muss, um das kognitive System arbeitsfähig zu halten (und auch nur dann auftritt, wenn der Konflikt zwischen Aufgaben zu groß wird, Sinne des „conflict monitoring“ Ansatzes von Botvinick, et al., 2001).

Aufgabeninhibition könnte dann als „Mechanismus zur Konfliktreduktion“ definiert werden, ohne dass weitere Annahmen über die Kapazität des Arbeitsgedächtnis oder parallele Aktivierung von Aufgaben nötig werden. Diese Annahme entspricht im Wesentlichen den Ideen anderer Theoretiker, die Inhibitionsprozesse als notwendiges Werkzeug für eine erfolgreiche Aufgabenbearbeitung postuliert haben (z.B. Allport & Wylie, 1999; 2000; Goschke, 2000; Masson et al., 2003) und lässt sich gut mit den in der Einleitung vorgestellten Ideen zur adaptiven Kontrolle verbinden (Botvinick et al., 2001; 2004; Braver et al., 2003). Dieser, hier kurz skizzierten, Annahme soll in der vorliegenden Arbeit nachgegangen werden: Was verursacht Konflikt zwischen Aufgaben? Und ist Aufgabeninhibition der Mechanismus der Wahl, um Konflikt zwischen Aufgaben zu reduzieren?

In dem folgenden empirischen Teil sollen nun sieben Experimente berichtet werden, die Evidenz für die Hypothese dieser Arbeit, nämlich dass Aufgabeninhibition nur auftritt, wenn Konflikt zwischen Aufgaben vorliegt, liefern. In einem ersten Experiment prüften wir die allgemeine Hypothese, dass persistierende Aktivierung von Aufgaben-Sets zu Konflikt zwischen Aufgaben führt und dieser Konflikt über Aufgabeninhibition gelöst werden muss. Wir erwarteten größere n-2 Wiederholungskosten, wenn mehr Konflikt, also mehr residuale Aktivierung der zuletzt bearbeiteten Aufgabe beim Wechsel zu einer neuen Aufgabe vorlag. Das zweite Experimente adressiert die Vermutung, dass asymmetrische Wechselkosten, wie sie beim Wechseln zwischen der Farbe-Bennen und Wort-Lesen Aufgaben mit Stroop-Stimuli beobachtet werden, ebenfalls mit Aufgabeninhibition zusammenhängen. In diesem Experiment manipulierten wir die Dominanz der unterschiedlichen Aufgaben zueinander und untersuchten, ob die Größe der n-2 Wiederholungskosten mit der Dominanz einer Aufgabe variiert. Die Versuchssper-

sonen mussten zwischen drei Sprachen (Muttersprache, erste und zweite Fremdsprache) wechseln. Wir nahmen an, dass wenn Aufgabeninhibition ein Prozess ist, der durch Konflikt zwischen Aufgaben ausgelöst wird und diesen auflöst, dann sollten wir die größten $n-2$ Wiederholungskosten für die dominanteste der drei Sprachen (in diesem Fall also die Muttersprache) beobachten.

In beiden ersten Experimenten manipulierten wir Konflikt zwischen Aufgaben lediglich indirekt, einmal über die Zeit zwischen Aufgaben (durch Variation des RCIs) und zum anderen über die Dominanzbeziehungen der Aufgaben untereinander. In den nächsten Experimenten entschieden wir uns für eine direkte Manipulation von Konflikt zwischen Aufgaben-Sets, angelehnt an die Arbeiten von Schuch und Koch (2003). In einer Studie, die vier Experimente umfasste, manipulierten wir die Überlappung der Aufgaben in ihren Antwort-Sets, also dem Teil des Aufgaben-Sets in dem die für eine Aufgabe erforderlichen Antworten vorliegen. Wie auch Schuch und Koch (2003) nahmen wir an, dass Konflikt zwischen Aufgaben im Wesentlichen während der Antwortselektion auftritt und dort mittels Inhibition aufgelöst werden muss. Wenn Antwort-Sets nicht überlappen, sollte auch kein Konflikt vorliegen und keine Inhibition, gemessen als $n-2$ Wiederholungskosten, auftreten. Wir kontrastierten deshalb Bedingungen, in denen die Aufgabe in Durchgang $n-1$ ein mit der Aufgabe in Durchgang $n-2$ überlappendes Antwort-Set hatte mit solchen, in denen die Aufgabe $n-1$ ein nicht-überlappendes Antwort-Set mit der Aufgabe in Durchgang $n-2$ hatte. Spielt die Überlappung innerhalb des Antwort-Sets eine Rolle bei der Entstehung von $n-2$ Wiederholungskosten, so sollten wir diese nur in der ersten der oben beschriebenen Bedingungen, also die Aufgaben in Durchgang $n-2$ und Durchgang $n-1$ überlappen im Antwort-Set, erwarten.

Neben der Überlappung im Antwort-Set manipulierten wir auch die Überlappung innerhalb der, für die einzelnen Aufgaben relevanten, Stimuli um somit Konflikt, der durch überlappende Antworten verursacht wird von Konflikt, der durch Überlappung auf Stimulus-Seite ausgelöst wird, zu trennen.

Das letzte Experiment soll dann zeigen, dass Aufgabeninhibition innerhalb des Aufgaben-Sets wirksam wird. Hierzu verwendeten wir eine 2:1 Hinweisreiz-Aufgaben Zuordnung und kontrastierten $n-2$ Wiederholungskosten in Bedingungen, in denen der Hinweisreiz in Durchgang $n-2$ derselbe war wie in Durchgang mit Bedingungen, in denen der Hinweisreiz in Durchgang $n-2$ nicht identisch war

mit Durchgang n. Sollte Aufgabeninhibition unabhängig von hinweisreizbezogenen Prozessen sein und erst bei der eigentlichen Aufgabenbearbeitung (also der Klassifikation des Stimulus und der folgenden Antwortauswahl) eine Rolle spielen, so ist kein Unterschied in den n-2 Wiederholungskosten für die beiden Bedingungen zu erwarten. Die Befunde aus diesen Experiment bilden eine wichtige Prüfung der impliziten Annahme in den anderen Experimenten, dass Aufgabeninhibition das Aufgaben-Set als Ziel hat.

Kapitel 2

Konflikt und Aufgabeninhibition - Studien

2.1 Residuale Aktivierung und Aufgabeninhibition

Eine Quelle von Konflikt kann, wie in der Einleitung diskutiert, persistierende Aktivierung der letzten Aufgabe sein. Wenn Aufgabeninhibition wirklich Konflikt zwischen Aufgaben auflöst, dann sollte Aufgabeninhibition, wie auch Aufgabenaktivierung mit einem verlängertem Intervall, also mehr Zeit zwischen den Aufgaben abnehmen. Die Idee dahinter ist, dass weniger residuale Aktivierung auch zu weniger Konflikt zwischen Aufgaben führt und dementsprechend weniger Inhibition nötig ist, um diesen Konflikt zu lösen. Tatsächlich gibt es Evidenz, dass n-2 Wiederholungskosten kleiner werden, wenn man das Intervall zwischen den Aufgaben verlängert, ohne dass die Versuchspersonen sich auf eine neue Aufgabe vorbereiten können (siehe z.B. Mayr & Keele, 2000, Experiment 1; Mayr, 2002, Koch, Philipp & Gade, 2004). Allerdings gibt es theoretisch auch die Möglichkeit, dass der Zerfall von Aufgabeninhibition selber zu kleineren n-2 Wiederholungskosten führt (Mayr & Keele, 2000). Und letztlich können auch beide Prozesse, also dass n-2 Wiederholungskosten zum einen selber zerfallen, zum anderen aber auch von der residualen Aktivierung der vorhergehenden Aufgabe abhängig sind, zu der beobachteten Verringerung der n-2 Wiederholungskosten beitragen.

Diese drei theoretischen Möglichkeiten, zum einen, dass der Zerfall von Aufgabenaktivierung zu weniger Konflikt und deshalb geringeren n-2 Wiederholungskosten führt oder zum anderen, dass Aufgabeninhibition selbst zerfällt und des-

halb kleinere n-2 Wiederholungskosten nach längeren Intervallen zwischen Aufgaben (RCI) beobachtet werden oder aber, dass beide Prozesse für die Reduktion der n-2 Wiederholungskosten verantwortlich sind, konnten in den bisherigen Studien nicht dissoziiert werden, da alle Studien die Zeit zwischen den Aufgaben blockweise manipulierten. Eine Möglichkeit, zwischen den skizzierten Ansätzen zu unterscheiden, wäre die Verwendung eines Designs, in dem das Intervall zwischen den Aufgaben innerhalb der Blöcke randomisiert ist, da die theoretischen Ansätze unterschiedliche Vorhersagen machen, welches der beiden Intervalle zwischen den Aufgaben, also das zwischen Durchgang n-2 und Durchgang n-1 oder das zwischen den Aufgaben in Durchgang n-1 zu Durchgang n, kritisch für die Reduktion der n-2 Wiederholungskosten ist

Ist die Reduktion der n-2 Wiederholungskosten im Wesentlichen auf den Zerfall der Aufgabeninhibition zurückzuführen, so sollte dieser Effekt nur dann beobachtet werden, wenn das Intervall zwischen den Aufgaben in Durchgang n-1 und Durchgang n (n-1 RCI) lang ist. Ist die Größe der beobachteten n-2 Wiederholungskosten allerdings abhängig von der Aktivierung der Aufgabe in Durchgang n-2, so sollte diese kleiner sein, wenn das Intervall zwischen den Aufgaben in Durchgang n-2 und Durchgang n-1 lang ist (n-2 RCI). Spielen beide Prozesse, also der Zerfall von Aktivierung und der Zerfall von Inhibition eine Rolle, dann sollte die Reduktion der n-2 Wiederholungskosten am deutlichsten sein, wenn beide Intervalle lang sind (vgl. auch Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Vorhersagen der unterschiedlichen Ansätze für das kritische RCI

Theoretischer Ansatz	n-2 RCI	n-1 RCI
Zerfall von Inhibition	kurz/lang	lang
Zerfall von Aktivierung	lang	kurz/lang
Zerfall von Aktivierung und Inhibition	lang	lang

In diesem ersten Experiment manipulierten wir das RCI zufällig in zwei Stufen (100 ms vs. 1900 ms), um somit zu unterscheiden, welcher der vorliegenden Ansätze am besten die Reduktion der n-2 Wiederholungskosten erklären kann. Sollte Aufgabeninhibition wirklich von dem Konflikt zwischen Aufgaben-Sets abhängig sein, so würden wir die stärkste Reduktion von n-2 Wiederholungskosten bei einem langen n-2 RCI erwarten, unabhängig vom n-1 RCI.

2.1.1 Methode Experiment 1

In Experiment 1 testeten wir die Hypothese, dass die Größe der n-2 Wiederholungskosten abhängig von der residualen Aktivierung der zuletzt bearbeiteten Aufgabe ist. .

Versuchspersonen. Sechzehn Versuchspersonen (davon 9 Frauen, mittleres Alter: 26.8 Jahre) nahmen an Experiment 1 teil und erhielten fünf Euro.

Aufgaben und Stimuli. Die Versuchspersonen mussten entweder die Form, Farbe oder Größe eines dreidimensionalen Stimulus klassifizieren. Die Stimuli wurden im Zentrum eines 15" Monitors dargeboten. Dieser war mit einem IBM kompatiblen PC verbunden. Als Stimuli wurden der Buchstabe „A“ oder die Zahl „4“ entweder in blau oder rot und groß (ca. 1 cm hoch) oder klein (ca. 0.5 cm hoch) dargeboten. Die Kombination der drei Stimulusdimensionen (Form, Farbe und Größe) führte zu acht verschiedenen Stimuli. Die Stimuli wurden innerhalb eines weißen Rechtecks (4.0 cm hoch und 3.5 cm breit) gezeigt. Das Rechteck war von vier Hinweisreizen umgeben, die die jeweils aktuelle Aufgaben anzeigten. Diese waren: vier \$-Zeichen für die Formunterscheidung („A“ vs. „4“), vier Doppelpfeile für die Größenunterscheidung („groß“ vs. „klein“) und vier gelbe Quadrate (Kantenlänge 0.5 cm) für die Farbunterscheidung („rot“ vs. „blau“). Die Versuchspersonen antworteten, indem sie die linke bzw. rechte Taste einer externen Tastatur mit ihrem linken beziehungsweise rechten Zeigefinger drückten. Die Antworttasten waren quadratisch und hatten 1.7 cm Kantenlänge. Der Abstand zwischen den beiden Tasten betrug 3.2 cm. Die Versuchspersonen machten das Experiment in einem schallgedämpften, abgedunkelten Raum. Die Distanz zum Bildschirm betrug ca. 50 cm.

Durchführung. Das Experiment wurde in einer einzelnen Sitzung mit jeweils einer Versuchsperson durchgeführt und dauerte ca. 30 min. Die Versuchspersonen sahen die Instruktion auf dem Bildschirm, diese wurde ihnen allerdings auch mündlich erläutert. Sie wurden darüber informiert, dass sie einen dreidimensionalen Stimulus hinsichtlich seiner Form, Farbe oder Größe zu beurteilen hatten, je nachdem, welche Hinweisreize das Rechteck umgaben. Den Versuchspersonen wurde nahegelegt, die Hinweisreize zu nutzen, da alle Stimuli dreidimensional waren und keine Information über die aktuell relevante Aufgabe enthielten. Die Zuordnung einzelner Stimuli zu den Reaktionstasten wurde erklärt und eine Plas-

tikkarte mit der für die jeweilige Versuchsperson relevanten Zuordnung wurde unter den Bildschirm platziert. Die Versuchspersonen begannen dann mit zwei Übungsblöcken mit jeweils 16 Durchgängen. In der Instruktionen wurden sowohl Reaktionsgeschwindigkeit als auch -genauigkeit betont. Die Versuchspersonen erhielten eine Rückmeldung, wenn sie einen Fehler gemacht hatten, das heißt das Wort „Fehler“ wurde für 500 ms auf dem Bildschirm präsentiert.

Ein Durchgang begann mit einem schwarzen Bildschirm für entweder 100 ms oder 19000 ms. Dann erschien das weiße Rechteck umgeben von vier Hinweisreizen. Nach 100 ms kam der eigentliche Stimulus. Rahmen, Hinweisreize und Stimulus blieben auf dem Bildschirm, bis die Versuchsperson eine Reaktionstaste betätigte. Pro Experimentalblock gab es 98 Durchgänge, in denen das RCI zwischen den Aufgaben zufällig variierte. Nach jedem Block konnten die Versuchspersonen eine kurze Pause machen und bekamen ihre mittlere Reaktionszeit mitgeteilt. Insgesamt machte jede Versuchsperson vier Experimentalblöcke, gefolgt von einem kurzen Interview nach dem Experiment.

Design. Die drei unabhängigen Variablen waren Aufgabensequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel), n-1 RCI (100 ms vs. 1900 ms) und n-2 RCI (100 ms vs. 1900 ms). Die Aufgabensequenz war pseudo-zufällig, so dass alle Aufgaben, Aufgabentripel und Stimuli gleich häufig vorkamen. Es gab keine unmittelbare Aufgabenwiederholung. Direkte Stimuluswiederholungen waren ebenfalls ausgeschlossen. Alle 8 Stimulus-Reaktions Zuordnungen wurden verwendet, ausbalanciert über die Versuchspersonen. Als abhängige Variablen wurden Reaktionszeiten und Fehlerrate gemessen.

2.1.2 Ergebnisse Experiment 1

Die ersten beiden Durchgänge in jedem Block wurden nicht analysiert. In die Analyse wurden lediglich fehlerfreie Durchgänge, denen mindestens zwei weitere fehlerfreie Durchgänge vorangegangen waren, aufgenommen. Reaktionszeiten, die länger als 4000 ms waren wurden als Ausreißer behandelt und nicht analysiert (0.8% ansonsten fehlerfreier Durchgänge).

Die Reaktionszeiten und Fehlerdaten wurden mit 2*2*2 Varianzanalyse (ANOVA) mit den Faktoren Aufgabensequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel), n-1 RCI (100 ms vs. 1900 ms) und n-2 RCI (100 ms vs. 1900 ms) analysiert. Wir

erhielten einen signifikanten Haupteffekt für Aufgabensequenz ($F(1,15)=10.7$, $p=.005$) und für n-2 RCI ($F(1,15)=8.3$, $p=.011$). Die Versuchspersonen waren 58 ms langsamer in einer ABA Sequenz verglichen mit einer CBA Sequenz (1308 ms vs. 1250 ms). Sie waren 33 ms schneller mit einem langen n-2 RCI verglichen mit einem kurzen n-2 RCI (1263 ms vs. 1296 ms).

Dieser Haupteffekt wurde von einer signifikanten Interaktion zwischen Aufgabensequenz und n-2 RCI begleitet ($F(1,15)=8.4$, $p=.011$). Die n-2 Wiederholungskosten wurden mit langem n-2 RCI kleiner (88 ms vs. 28 ms für kurzes vs. langes n-2 RCI) und unterstützen somit die Hypothese des Zerfalls von Aktivierung. Die Interaktion zwischen Aufgabensequenz und n-1 RCI war nicht signifikant ($F(1,15)=3.4$, $p=.101$), so dass keine direkte Evidenz für die Hypothese des Zerfalls von Inhibition gefunden wurde. Allerdings fanden wir eine fast signifikante Dreifachinteraktion zwischen Aufgabensequenz, n-2 und n-1 RCI ($F(1,15)=4.02$, $p=.063$), die anzeigt, dass die beobachtete Reduktion der n-2 Wiederholungskosten mit langem n-2 RCI nur dann zu beobachten war, wenn das n-1 RCI kurz war (101 ms vs. -20 ms für langes vs. kurzes n-2 RCI). Bei langem n-1 RCI war keine Reduktion der n-2 Wiederholungskosten erkennbar (77 ms vs. 76 ms für langes vs. kurzes n-2 RCI). Weiter fanden wir eine signifikante Interaktion zwischen n-2 und n-1 RCI ($F(1,15)=7.5$, $p=.015$). Versuchspersonen waren 36 ms langsamer, wenn das RCI zwischen den beiden Durchgängen wechselte verglichen mit einem konstanten RCI. Wir interpretieren diese Interaktion einen carry-over Effekt des zuletzt erfahrenen RCIs, der zu Kosten führt, wenn das RCI zwischen den beiden Durchgängen wechselt (vgl. auch Gade & Koch, 2005).

In den Fehlerdaten fanden wir eine signifikante Interaktion zwischen Aufgabensequenz und n-1 RCI ($F(1,15)=4.9$, $p=.041$). Die Versuchspersonen machten mehr Fehler in einer ABA Sequenz verglichen mit einer CBA Sequenz, allerdings nur, wenn das n-1 RCI kurz war (1.8 % vs. 0.2% n-2 Wiederholungskosten für kurzes vs. langes n-1 RCI).

2.1.3 Diskussion Experiment 1

Insgesamt scheinen die Daten von Experiment 1 nicht völlig klar in Bezug zu den drei vorher diskutierten Ansätzen zu sein. Obwohl wir eine klare Reduktion der n-2 Wiederholungskosten nur mit einem langen n-2 RCI beobachteten, war die-

se wiederum abhängig von dem folgenden n-1 RCI. Um mehr Klarheit über die Ursachen der Verringerung der n-2 Wiederholungskosten zu bekommen, werden wir deshalb in der folgenden Diskussion auch noch die Daten, eines zweiten Experiments herangezogen, das allerdings nicht im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit entstanden ist ¹ In diesem Experiment, das identisch war mit Experiment 1, manipulierten wir wiederum das RCI in zwei Stufen von Durchgang zu Durchgang. Wir verwendeten allerdings ein kurzes RCI von 100 ms (das selbe wie in Experiment 1) und ein langes RCI von 1400 ms. Auch hier erhielten eine signifikante Interaktion zwischen Aufgabensequenz und n-2 RCI, die die Hypothese des Zerfalls von Aktivierung als ursächlich für die Reduktion der n-2 Wiederholungskosten stützt (wie auch in Experiment 1, vgl. Abb. 2.1).

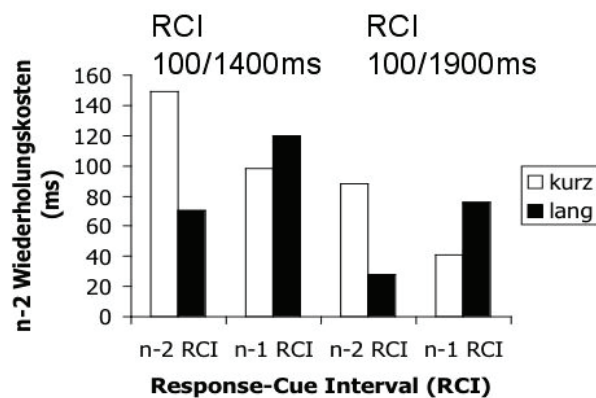


Abbildung 2.1: N-2 Wiederholungskosten als Funktion von n-2 RCI und n-1 RCI für RCI 100/1400 ms und RCI 100/1900 ms

¹Dieses Experiment war mit zwei anderen Experimenten, die das RCI blockweise manipulierten Bestand meiner Diplomarbeit.

Anders als in Experiment 1 wurde allerdings die Dreifachinteraktion zwischen Aufgabensequenz sowie n-2 und n-1 RCI in diesem Experiment nicht signifikant (diese war in Experiment 1 marginal signifikant), so dass die Evidenz für die kombinierte Hypothese, die einen Zerfall von Aktivierung und einen Zerfall von Inhibition als Ursache der Reduktion von n-2 Wiederholungskosten annimmt, aus den beiden Experimenten keine empirische Unterstützung erfährt.

In den Fehlerdaten von Experiment 1 fanden wir eine signifikante Interaktion zwischen Aufgabensequenz und n-1 RCI, die auf einen Zerfall von Inhibition hindeutet. Wiederum fand sich diese Interaktion weder in den Reaktionszeitdaten beider Experimente, noch in den Fehlerdaten des Experiments mit 100/1400 ms RCI. Von daher legen die Daten, unter Berücksichtigung beider Experimente nahe, dass die Reduktion von n-2 Wiederholungskosten im Wesentlichen auf den Zerfall der Aktivierung des zuletzt verwendeten Aufgaben-Sets zurückzuführen ist. Die Evidenz für die den Zerfall von Inhibition ist vage und bedarf weiterer Experimente (Gade & Koch, 2005).

Aufgabeninhibition wird also durch die persistierende Aktivierung der Aufgabe in Durchgang n-2 moduliert. Wir nehmen an, dass persistierende Aktivierung des zuletzt verwendeten Aufgaben-Sets zu Konflikt zwischen Aufgaben führt und dieser Konflikt die Implementierung der neuen, nun zu bearbeitenden Aufgabe behindert. Somit passt der Befund, dass residuale Aufgabenaktivierung die Größe der n-2 Wiederholungskosten moduliert, gut in die der Arbeit zugrunde liegende Hypothese, dass Aufgabeninhibition ein Mechanismus der Konfliktreduktion zwischen Aufgaben-Sets ist (Gade & Koch, 2005).

Neben persistierender Aktivierung ist in einigen Modellen der Bearbeitung von Aufgabensequenzen auch postuliert worden, dass die Dominanz einer Aufgabe ebenfalls zu Konflikt zwischen Aufgaben-Sets führt, wenn Versuchspersonen zu einer weniger dominanten Aufgabe wechseln müssen (Allport & Wylie, 1999; 2000). Von daher untersuchten wir nun einem zweiten Experiment, ob Dominanz einer Aufgabe ebenfalls zu einer Modulation von n-2 Wiederholungskosten führt.

2.2 Dominanz und Aufgabeninhibition

In Experiment 1 fanden wir Evidenz für die Annahme, dass residuale Aufgabenaktivierung zu Konflikt zwischen Aufgaben-Sets führt und dieser die Größe der n-2

Wiederholungskosten moduliert. In dem zweiten berichteten Experiment soll nun eine weitere Quelle möglichen Konflikts zwischen Aufgaben untersucht werden: Aufgabendominanz.

Dominanz zwischen Aufgaben ist allerdings ein relatives Konzept und Dominanzunterschiede können auch relativ schnell durch unterschiedliche Übung innerhalb eines Experiments hergestellt werden (Monsell, Yeung & Azuma, 2000; Yeung and Monsell, 2003). Generell liegt der theoretische Fokus von Experiment 2 allerdings mehr auf einer, sich durch die Lerngeschichte deutlicher unterscheidenden Dominanzbeziehung zwischen drei Aufgaben. Ein Bereich, der sich dafür anbietet, sind Sprachen. Das Wechseln zwischen Sprachen (in der Regel Muttersprache vs. 1. Fremdsprache) führt relativ zuverlässig zu asymmetrischen Wechselkosten (das heißt, größere Kosten beim Wechseln zur dominanteren Sprache hin, siehe u.a. Meuter & Allport, 1999; Jackson, Swainson, Cunningham & Jackson, 2001).

Diese asymmetrischen Kosten beim Wechseln zwischen (Fremd-)Sprachen werden, wie zum Beispiel in dem Modell von Green (1998), durch Inhibition der dominanteren der beiden Sprachen (beziehungsweise des mentalen Lexikons dieser Sprache) erklärt. Generell aber scheinen die Befunde von Sprachwechselexperimenten gut in den allgemeineren Rahmen des Aufgabenwechsels, beziehungsweise der Bearbeitung von Aufgabensequenzen zu passen (Orfanidou & Sumner, 2005). Von daher erschien uns dieser Bereich als geeignet, um die Fragestellung zu untersuchen, ob Aufgabeninhibition über die Dominanz der unterschiedlichen Sprachen moduliert werden kann. Wenn das so ist, dann sollten wir die größten $n-2$ Wiederholungskosten für die dominanteste Sprache, die Muttersprache, erwarten. Dieser Befund wäre dann auch eine erste empirische Unterstützung für die Annahme, dass asymmetrische Wechselkosten durch (mehr) Inhibition der dominanteren der verwendeten Aufgaben entstehen. Im weiteren manipulierten wir in diesem Experiment die Vorbereitungszeit. Bezüglich dieser Manipulation hatten wir keine spezifischen Hypothesen ².

²Dieses Experimente wurde im Rahmen einer umfassenderen Studie zur Beziehung zwischen asymmetrischen Wechselkosten und Aufgabeninhibition beim Wechseln zwischen Sprachen gemeinsam mit Dr. Andrea M. Philipp durchgeführt, über die Erstautorenschaft wurde eine Münze geworfen. Da in solchen Studien Vorbereitungszeiten meist konstant gehalten oder nur zwischen Versuchspersonen manipuliert werden (vgl. Costa & Santesteban, 2004), ist die Frage einer Ma-

2.2.1 Methode Experiment 2

Dieses Experiment untersucht den Einfluß von Dominanz auf Aufgabeninhibition. Versuchspersonen wurden aufgefordert, Ziffern von 1 bis 9 in einer von drei Sprachen zu benennen (S1, S2 oder S3). Sollte Sprachdominanz Aufgabeninhibition modulierten, so sollten die größten n-2 Wiederholungskosten für S1 (Muttersprache) auftreten und diese sich deutlich von den n-2 Wiederholungskosten für S2 und S3 (1. und 2. Fremdsprache) unterscheiden.

Versuchspersonen. Achtzehn Versuchspersonen (davon 14 Frauen, mittleres Alter 24.2 Jahre) nahmen am Experiment teil und erhielten acht Euro Aufwandsentschädigung für ihre Teilnahme. Alle Versuchspersonen hatten Deutsch als Muttersprache, 15 von ihnen gaben Englisch als erste Fremdsprache an, von ihnen hatten wiederum sieben Französisch als zweite Fremdsprache und jeweils drei Italienisch oder Spanisch. Eine Versuchsperson hatte Russisch als zweite Fremdsprache und eine kroatisch. Die verbleibenden 3 Versuchspersonen hatten Französisch als erste Fremdsprache und Englisch als zweite. Sprachkompetenz wurde über die gelernten Schuljahre angegeben, basierend auf der Selbstauskunft der Vps. Alle Versuchspersonen lernten die erste Fremdsprache länger als die zweite (im Mittel 8.41 Jahre vs. 5.22 Jahre).

Aufgaben und Stimuli. Als Stimuli wurden die arabischen Ziffern von 1-9 verwendet. Die Versuchspersonen mußten den jeweils präsentierten Stimulus in einer der drei Sprachen benennen (je nach Hinweisreiz also in S1, S2 oder S3). Die Stimuli wurden jeweils einzeln in einem weißen Rahmen im Zentrum eines 15' Bildschirms präsentiert. Dieser war mit einem IBM-kompatiblen PC verbunden. Die Stimuli waren ca. 1 cm hoch und ungefähr 0.5 cm breit. Die Blickdistanz betrug ca. 60 cm. Der Rahmen, der gleichzeitig als Hinweisreiz für die drei Sprachen diente, hatte entweder die Form einer Raute (für deutsch), eines Quadrates (für englisch) oder eines Dreiecks (für die verbleibende S3 bzw. Französisch, wenn diese als S2 angegeben wurde). Sprach-Onset wurde mittels eines voice-keys aufgezeichnet und als Reaktionszeit genommen. Die Versuchsleiterin markierte Feh-

nipulation von Vorbereitungszeit innerhalb der Versuchsperson als erstes einmal empirisch interessant. Zum anderen kann sie aber auch genauere Aufschlüsse darüber geben, wie Aktivierung und Inhibition zum Entstehen asymmetrischer Wechselkosten beitragen können (für eine ausführlichere Diskussion, siehe Philipp, Gade, & Koch, eingereicht).

ler der Versuchsperson in einem Versuchspersonenblatt, das alle Stimuli und geforderten Reaktionen (also die Namen der Stimuli in den drei Sprachen) umfasste.

Durchführung. Das Experiment wurde in einer einzelnen Sitzung von ungefähr 45 min Dauer durchgeführt. Instruktionen wurden sowohl schriftlich auf dem Bildschirm wie auch mündlich durch die Versuchsleiterin gegeben. Eine Karte, die die Hinweisreiz-Sprachen Zuordnung zeigte, wurde unter den Bildschirm platziert. Die Zuordnung wurde über die Versuchspersonen konstant gehalten.

Das Experiment begann mit drei Blöcken mit jeweils 27 Durchgängen. Jeder Block verlangte von den Versuchspersonen das Benennen der gezeigten Ziffern in jeweils einer Sprache (S1, S2 oder S3). Die Reihenfolge der Blöcke war über die Versuchspersonen ausbalanciert. Diese Blöcke galten als Übungsblöcke und sollten den Versuchspersonen die Möglichkeit geben, sich an den voice-key zu gewöhnen. Das eigentliche Experiment bestand dann aus 6 Blöcken mit jeweils 108 Durchgängen, in denen die Versuchspersonen in unvorhersehbarer Reihenfolge zwischen den Sprachen wechselten.

Wir manipulierten die Vorbereitungszeit (d.h. das Hinweisreiz-Stimulus Interval (CSI)) blockweise in zwei Stufen (100 ms vs. 1000 ms) innerhalb jeder Versuchsperson. Das CSI im ersten Block wurde über die Versuchspersonen ausbalanciert (100 ms vs. 1000 ms). Das Interval zwischen Antwort und nächstem Hinweisreiz (RCI) wurde ebenfalls in zwei Stufen (1000 ms vs. 100 ms) variiert, so dass das Interval zwischen Antwort und nächsten Stimulus (RSI) konstant bei 1100 ms lag. Die Länge des CSIs wurde vor jedem Block angezeigt.

Ein Durchgang begann mit einem schwarzen Bildschirm entweder für 100 ms oder für 1000 ms, je nach RCI in diesem Block. Danach erschien der Hinweisreiz in der Mitte des Bildschirms. Je nach Vorbereitungszeit erschien entweder nach 100 ms oder 1000 ms der eigentliche Stimulus. Hinweisreiz und Stimulus blieben auf dem Bildschirm zu sehen, bis die Versuchsperson antwortete. Die Aufgabensequenz war pseudo-zufällig, so dass jede Sprache, jedes Tripel aus den drei Sprachen und jeder Stimulus gleich häufig vorkamen. Direkte Stimuluswiederholung und direkte Stimuluswiederholung innerhalb einer Sprache kamen nicht vor. Direkte Wiederholung einer Sprache kam ebenfalls nicht vor, da direkte Wiederholungen die Verwendung inhibitorischer Mechanismen bei der Bearbeitung von Aufgabensequenzen verändern können (siehe auch Philipp & Koch, im Druck).

Design. Die unabhängigen Variablen waren Sprache (S1 vs. S2 vs. S3), Sprachsequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel) und CSI (100 ms vs. 1000 ms). Reaktionszeiten und Fehlerraten wurden als abhängige Variablen verwendet. Da Sprache eine Variable mit drei Stufen ist, werden mit der Huynh-Feldt Prozedur korrigiert p-Werte berichtet und ϵ -Werte, wenn diese unterschiedlich von 1 sind. Der Lesbarkeit halber berichten wir allerdings unkorrigierte Freiheitsgrade.

2.2.2 Ergebnisse Experiment 2

Die ersten beiden Durchgänge jedes Blocks wurden nicht analysiert. Alle Reaktionszeiten länger als 2500 ms und unter 200 ms wurden als Ausreißer klassifiziert und ebenfalls nicht analysiert (1.3% anderweitig korrekter Durchgänge). Es wurden nur Durchgänge analysiert, denen mindestens zwei fehlerfreie Durchgänge vorausgegangen waren. Die Fehlerrate in Experiment 2 betrug 5.8%. Für die Auswertung der Fehler wurden Fehler aufgrund von Problemen mit dem voice-key nicht berücksichtigt.

Wir rechneten eine 3*2*2 ANOVA mit den Faktoren Sprache (S1 vs. S2 vs. S3), Sprachsequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel) und CSI (100 ms vs. 1000 ms). Um einer einfacheren Darstellung willen berichten wir zuerst die Effekte von Dominanzunterschieden auf Aufgabeninhibition. In einem zweiten Abschnitt werden dann die Effekte der CSI Manipulation diskutiert werden. Ferner werden nun zur besseren Lesbarkeit Reaktionszeit- und Fehlerdaten gemeinsam berichtet.

In den Reaktionszeiten fanden wir einen signifikanten Haupteffekt für Sprachsequenz

($F(1,17)=20.76, p<.001$). Eine n-2 Wiederholung einer Sprache war langsamer als ein n-2 Wechsel (902 ms vs. 865 ms, siehe Abb. 2.2.), so dass insgesamt n-2 Wiederholungskosten von 37 ms entstanden. In den Fehlerdaten wurde dieser Haupteffekt zwar nicht signifikant ($F(1,17)=1.76, p>.20$), zeigte allerdings einen Trend in die gleiche Richtung (0.7 % Differenz zwischen n-2 Wiederholung und n-2 Wechsel). Sprache selber führte nicht zu einem Haupteffekt ($F<1$ in Reaktionszeiten und Fehlern). Allerdings fanden wir eine signifikante Interaktion zwischen Sprache und Sprachsequenz ($F(2,34)=14.90, \epsilon=.873, p<.001$). Die Vps zeigten größere n-2 Wiederholungskosten für S1 ($M=71$ ms) als für S2 ($M=-4$ ms) und S3 ($M=43$ ms).

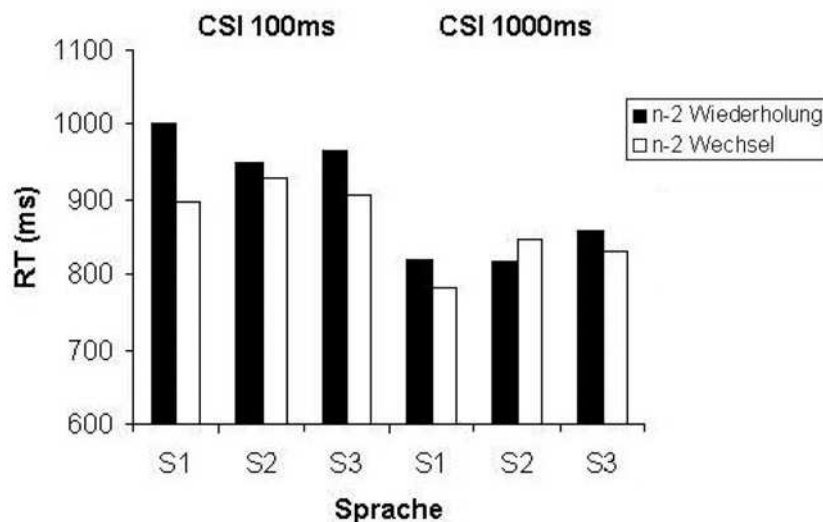


Abbildung 2.2: Ergebnisse für Experiment 2 als Funktion von Sprache (S1 vs. S2 vs. S3) und Sprachsequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel) für kurzes und langes CSI

Post-hoc Vergleiche zeigten, dass sich die n-2 Wiederholungskosten in S1 signifikant von denen in S2 und S3 unterschieden ($F(1,17)=22.80$, $p<.001$, bzw. $F(1,17)=7.62$, $p=.017$). Der Unterschied zwischen S2 und S3 war auch signifikant ($F(1,17)=9.62$, $p=.006$). In den Fehlerdaten wurde die Interaktion zwischen Sprache und Sprachsequenz nicht signifikant ($F<1.1$), zeigte aber einen Trend in die gleiche Richtung wie in den Reaktionszeiten.

Mit Blick auf die ebenfalls manipulierte Vorbereitungszeit fanden wir einen signifikanten Haupteffekt für CSI ($F(1,17)=38.23$, $p<.001$). Die Versuchspersonen konnten die längere Vorbereitungszeit nutzen und wurden dadurch schneller (826 ms vs. 941 ms für langes vs. kurzes CSI). Dieser Effekt zeigte sich allerdings nicht in den Fehlerdaten. Im Gegenteil, Vps tendierten zu mehr Fehlern mit längerer Vorbereitungszeit. Die Interaktion zwischen Sprache und CSI wurde ebenfalls signifikant ($F(2,34)=4.45$, $\epsilon=.873$, $p=.019$). Der Vorbereitungseffekt war am größten für S1 ($M=147$ ms) und unterschied sich signifikant von denen in S2 ($M=107$ ms, $t(1,17)=2.33$, $p=.032$ für den Unterschied zwischen S1 und S2) und S3 ($M=91$

ms, $t(1,17)=2.67$, $p=.016$ für den Unterschied zwischen S1 und S3). Der Vorbereitungseffekt zwischen S2 und S3 unterschied sich hingegen nicht ($t<1$). In den Fehlerdaten fanden wir denselben Trend wie in den Reaktionszeiten, allerdings wurde die Interaktion hier knapp nicht signifikant ($F(2,34)=3.18$, $p=.054$).

Unsere Manipulation der Vorbereitungszeit beeinflusste auch die n-2 Wiederholungskosten ($F(1,17)=21.73$, $p<.001$). Die n-2 Wiederholungskosten verringerten sich mit langem CSI (von 63 ms auf 10 ms). Dasselbe Muster (wenn auch nicht signifikant) fanden wir den Fehlerdaten ($F(1,17)=3.33$, $p=.086$). Die Dreifachinteraktion zwischen Sprache, Sprachsequenz und CSI war weit entfernt von statistischer Signifikanz ($F<1.5$ in RTs und Fehlern).

2.2.3 Diskussion Experiment 2

Experiment 2 erbrachte zwei wichtige Resultate: Zum einen konnten wir zeigen, dass n-2 Wiederholungskosten auch für Sprachen auftreten können und konnten somit zum ersten Mal überhaupt Evidenz liefern, dass bei einem Wechseln zwischen Sprachen auch inhibitorische Mechanismen wichtig sind. Zum anderen belegen die Daten aus Experiment 2 unsere Annahme, dass Aufgabeninhibition auch über Aufgabendominanz moduliert werden kann und unterstützen damit die Idee das asymmetrische Wechselkosten durch Inhibition der dominanteren der beiden Aufgaben entstehen.

In den meisten Studien, die sich mit dem Wechseln zwischen Sprachen beschäftigen, findet man die Annahme, dass beim Wegwechseln von einer Sprache die andere gehemmt werden muss (Green, 1998). Diese Hemmung wird dann auch als ursächlich für die beobachteten asymmetrischen Wechselkosten betrachtet (siehe u.a. Meuter & Allport, 1999; Jackson et al., 2001). Allerdings konnte diese angenommene Inhibition empirisch bisher nicht eindeutig nachgewiesen werden. Unser Experiment schließt somit eine empirische Lücke in der Forschung zum Wechseln zwischen Sprachen.

Für das eigentliche Anliegen der Arbeit, nämlich die Untersuchung, wie Konflikt zwischen Aufgaben-Sets Aufgabeninhibition modulieren kann, ist allerdings das zweite Ergebnis aus Experiment 2 interessanter. Die beobachteten n-2 Wiederholungskosten waren für die dominanteste Sprache signifikant größer als für die beiden anderen Sprachen. Aufgabendominanz, das heißt der Automatisierungs-

grad der jeweiligen Aufgabe, beeinflusst die Stärke der Aufgabeninhibition. Da Aufgabeninhibition von Mayr und Keele (2000) initial als Kontrollinstrument, das unter anderem der Verhinderung von Perseveration dient, formuliert war, ist diese Verbindung zwischen Aufgabendominanz und Aufgabeninhibition nicht überraschend. Dominantere Aufgaben können aufgrund ihres hohen Automatisierungsgrades Perseverationstendenzen weiter fördern. Deshalb müssen sie besonders gehemmt werden.

Studien, die sich mit der Frage nach Aufgabendominanz und asymmetrischen Wechselkosten in einem Zwei-Aufgaben-Paradigma beschäftigt haben, konnten zeigen, dass sich neben etablierten Dominanzrelationen (wie zum Beispiel in der Stroop-Aufgabe das Lesen immer dominanter ist, das heißt automatisierter und somit leichter ist als das Farbe benennen) auch Dominanzeffekte im Laufe eines Experiments herausbilden können, vermutlich über kurzlebige Übungseffekte auf Block- oder Experimentebene (Yeung & Monsell, 2003). Diese experimentell-induzierten Dominanzrelationen führen zu dem gleichen Ergebnismuster wie längerfristige, durch die Lerngeschichte eines Menschen erworbene. Von daher ist die Frage nach der Dominanz einer Aufgabe über eine andere empirisch nicht leicht zu entscheiden. Möglicherweise lässt sich absolute Dominanz, also Dominanz durch Unterschiede in der Lerngeschichte, der Anwendung und somit im Automatisierungsgrad, wirklich nur für alltagsnahe Aufgaben, wie zum Beispiel das Wechseln zwischen Sprachen, oder durch Operationalisierungen wie die Stroop-Aufgabe erfassen.

Ein interessantes und so nicht vorhergesagtes Ergebnis unseres Experimentes 2 war allerdings, dass sich die n-2 Wiederholungskosten für S2 und S3 ebenfalls signifikant unterschieden, beziehungsweise wir für S2 gar keine n-2 Wiederholungskosten fanden. Gegeben die oben geführte Diskussion halten wir es für wahrscheinlich, dass genau die oben beschriebenen experimentell-induzierten Übungseffekte möglicherweise dazu geführt haben, dass S3 an Dominanz gegenüber S2 gewonnen hat und deshalb stärker inhibiert werden mußte als S2.

Eine andere mögliche Erklärung stützt sich auf eine genauere Betrachtung der n-2 Wiederholungskosten für S2 in Abhängigkeit der verwendeten Sprache in Durchgang n-1. Für S2 fanden wir kleine, nicht-signifikante n-2 Wiederholungskosten von 8 ms, wenn Vps zu S1 wechselten (also S1 in Durchgang n-1 verwendet wurde), allerdings einen n-2 Wiederholungsvorteil von -8 ms, wenn

S3 in Durchgang n-1 angewandt werden mußte ($F(1,17) < 1$). S2 scheint also weniger mit S3 zu konfliktieren als S1. Möglicherweise gibt es hier einen Einfluss der Sprachfamilie auf die n-2 Wiederholungskosten für S2. Da S1 immer deutsch und S2 für die meisten Versuchspersonen (und immer in der zugrundeliegenden Analyse) englisch war, also beides Sprachen, die aus dem indogermanischen Sprachraum kommen, sind sie sich vermutlich (phonologisch und orthografisch) ähnlicher als S2 und S3. In unserem Experiment hatten alle bis auf zwei Versuchspersonen eine romanische Sprache als S3 (bei den zwei verbleibenden Versuchspersonen war S3 eine slawische Sprache und somit ebenfalls eine andere Sprachfamilie), was die unterschiedlichen n-2 Wiederholungskosten für S2 in Abhängigkeit der Sprache in Durchgang n-1 erklären könnte. Diese Überlegung wird weiter durch die Betrachtung der n-2 Wiederholungskosten für S1 gestützt, die 97 ms betragen, wenn die Sprache in Durchgang n-1 Englisch (also S2) war, allerdings nur 42 ms, wenn es sich um die zweite Fremdsprache (S3) handelte. Dieser Unterschied ist (anders als die für S2) auch reliabel ($F(1,17) = 6.83$, $p = .014$ für die Interaktion zwischen Sprache in Durchgang n-1 und Sprachsequenz). Für S3 betragen die n-2 Wiederholungskosten 35 ms, wenn S1 in Durchgang n-1 angewandt wird und 52 ms, wenn S2 die Sprache in Durchgang n-1 ist. Allerdings findet sich auch hier kein reliabler Unterschied ($F < 1$), da ja sowohl S1 als auch S2 eine anderen Sprachfamilie als S3 angehören und beide indogermanische Sprachen sind. Leider scheint es keine gute Erklärung für das Ausbleiben der n-2 Wiederholungskosten für S2 zu geben, die auch eindeutig durch die Daten gestützt wird und es bedarf weiterer Forschung, um zu klären, ob das Ausbleiben von n-2 Wiederholungskosten für die erste Fremdsprache konstant ist.

Ein weiteres, nicht erwartetes Ergebnis unseres Experiments ist der Befund, dass sich die n-2 Wiederholungskosten mit längerer Vorbereitungszeit verringerten, und zwar in allen Sprachen. Bisherige Studien, die sich mit der Frage beschäftigten, ob n-2 Wiederholungskosten abhängig von Vorbereitung seien, fanden keinen Einfluss verlängerter Vorbereitungszeit (Mayr & Keele, 2000; Schuch & Koch, 2003). Allerdings fanden Koch und Kollegen (Koch et al., 2004) eine signifikante Reduktion der n-2 Wiederholungskosten mit verlängerter Vorbereitungszeit, insbesondere für die n-2 Wiederholungskosten in ihrer „single response“ Bedingung. Koch und Kollegen (2004) argumentieren, dass es durch motorische Vorbereitung offensichtlich möglich ist, residuale Inhibition zu überwinden.

In unserem Experiment konnten die Versuchspersonen möglicherweise eine Art „rehearsal“-Prozess beginnen und sich die Namen der Ziffern in der jeweiligen Sprache leise vorsagen.

Im Weiteren unterscheidet sich unsere Studien von anderen Studien, die keinen Einfluss von verlängerter Vorbereitungszeit auf n-2 Wiederholungskosten fanden dahingehend, dass dort immer Stimuluskategorie-Antwort Regeln verwendet wurden (z.B. alle gerade Zahlen führen zu einem linken Tastendruck). In unserer Studie hingegen gab es solche Regeln nicht, sondern die Versuchspersonen konnten sich auf die konkret zu gebenden Antworten (die Namen der Ziffern in drei Sprachen vorbereiten). Möglicherweise ist die Vorbereitung konkreter Antworten effizienter als die abstrakter Stimuluskategorie-Antwort Regeln. Festzustellen bleibt, dass unter bestimmten Bedingungen, Versuchspersonen verlängerte Vorbereitungszeit nutzen können, um die Effekte von Aufgabeninhibition zu überwinden. Solche Bedingungen könnten die Verwendung motorisch einfacher Antworten oder konkreter Antworten sein, während offensichtlich die Vorbereitung von abstrakten Antwortregeln nicht von verlängerter Vorbereitungszeit profitiert.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass Aufgabeninhibition mit der Dominanz der Aufgaben variiert. Dies stützt unsere Idee, dass Aufgabeninhibition ein Mechanismus zur Lösung von Konflikt zwischen Aufgaben ist. Inwieweit Aufgabeninhibition aber nun wirklich ursächlich für das Entstehen asymmetrischer Wechselkosten ist, kann aufgrund dieses Experiments nicht entschieden werden. Wir haben zwar Inhibition beim Wechseln zwischen drei Sprachen gefunden, allerdings kann daraus nicht sicher geschlossen werden, dass Inhibition auch beim Wechseln zwischen zwei Sprachen und der Entstehung von asymmetrischen Wechselkosten eine Rolle spielt. Da asymmetrische Wechselkosten allein durch persistierende Aktivationszustände kommen können, also dadurch dass auch dominante Aufgaben sehr stark aktiviert werden müssen um einen Aktivierungsvorteil gegenüber der vorher ausgeführten und noch immer aktivierten nicht-dominanten Aufgabe zu haben, sind weitere Experimente, die asymmetrische Wechselkosten und Aufgabeninhibition innerhalb derselben Studie zeigen, nötig, um die Aufgabenaktivierung und -inhibition als Ursache ebensolcher asymmetrischer Wechselkosten dissoziieren zu können (siehe dazu auch Philipp, Gade, & Koch, eingereicht).

In den ersten beiden Experimenten konnten wir nun zwei Ursachen für Konflikt zwischen Aufgaben identifizieren und zeigen, dass die Größe der n-2 Wie-

derholungskosten mit der residualen Aktivierung und der Dominanz einer Aufgabe variiert. Wir folgern aus den ersten beiden Experimenten, dass Aufgabeninhibition ein Mechanismus der Konfliktreduktion in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen ist. Aus dieser Schlußfolgerung lässt sich die Hypothese ableiten, dass Aufgabeninhibition, gemessen als n-2 Wiederholungskosten, nicht zu beobachten sein sollte, wenn kein Konflikt zwischen Aufgaben-Sets vorliegt. Allerdings können wir diese Hypothese aus den ersten Experimenten heraus nicht bestätigen, da wir hier Konflikt nicht direkt manipulierten, sondern nur indirekt auf weniger Konflikt bei kleineren n-2 Wiederholungskosten schließen können. In den nächsten vier Experimenten verwendeten wir deshalb eine direkte Manipulation von Konflikt zwischen Aufgaben-Sets und testeten die Hypothese, dass Aufgabeninhibition nur auftritt, wenn Konflikt zwischen Aufgaben vorliegt.

2.3 Überlappung im Antwort-Set und Aufgabeninhibition

In den ersten beiden Experimenten konnten wir zeigen, dass n-2 Wiederholungskosten mit der residualen Aktivierung eines Aufgaben-Sets und der Dominanz desselben variieren. Wir interpretierten diese Modulation der n-2 Wiederholungskosten als direkte Beziehung zwischen dem Ausmaß an Konflikt, die zwischen Aufgaben-Sets vorliegt und der daraus resultierenden Inhibition, die nötig ist, diesen Konflikt zu lösen. In der nun folgenden Studie soll zwei Fragen nachgegangen werden. Zum einen soll es darum gehen, einen möglichen Teil des Aufgaben-Sets genauer festzulegen, an dem Aufgabeninhibition ihre Wirkung entfaltet. Zum anderen soll der in der Einleitung der Experimente aufgestellten Hypothese nachgegangen werden, ob Aufgabeninhibition auch als Mechanismus der Konfliktreduktion zwischen Aufgaben-Sets definiert werden kann und nur dann zu beobachten ist, wenn Aufgaben-Sets miteinander in Konflikt stehen. Gegeben die mehrkomponentielle Struktur eines Aufgaben-Sets (vgl. Abschnitt 1.5.1 der Einleitung) sind mehrere mögliche Ziele des Aufgabeninhibitionsprozesses denkbar. So könnte Aufgabeninhibition zum Beispiel auf der Ebene der Stimuluskategorisierung ansetzen: Wenn Versuchspersonen in Aufgabe A den Stimulus als „groß“ oder „klein“ kategorisieren müssen und dann zu Aufgabe B, die eine Kategorisierung

des Stimulus in „rot“ oder „blau“ verlangt, wechseln, ist sicher sinnvoll die alte Stimuluskategorie zu inhibieren, um eine schnelle und fehlerfreie Stimuluskategorisierung gemäß der neuen Farb-Aufgabe zu ermöglichen. Aber wie bereits in der Einleitung ausgeführt, sind auch antwortbezogene Prozesse, zum Beispiel die Antwortselektion, als kritische Prozesse, in denen Aufgabeninhibition ihre Wirkung entfaltet, denkbar.

In ihrer Arbeit zum Antwort-Selektions Ansatz von Aufgabeninhibition konnten Schuch und Koch (2003) zeigen, dass die n-2 Wiederholungskosten deutlich reduziert waren, wenn die Versuchspersonen in Durchgang n-1 keine Antwort selektieren mussten (z.B. weil es ein no-go Durchgang war). In ihrem Ansatz gehen Schuch und Koch (2003, 2004) davon aus, dass die zuletzt verwendete Stimuluskategorie-Antwort Regel bei der Auswahl der Antwort für die nun relevante Aufgabe immer noch aktiv ist und diese persistierende Aktivität die Antwortauswahl für die, nicht mehr mit der alten Aufgabe identischen, neuen Aufgabe behindert. Um diesen Konflikt aufzulösen, muss die zuletzt ausgeführte, noch persistierende Regel gehemmt werden. Ziel der Aufgabeninhibition ist also die Stimuluskategorie-Antwort Regel. Als Ursache für die Entstehung von Konflikt zwischen Aufgaben nahmen Schuch und Koch (2004) an, dass eine gegebene Antwort (z.B. „links“) durch die Antwortauswahl mit einer Stimuluskategorie oder -attribut (z.B. „klein“) verbunden wird. Wechselt nun die Aufgabe, so muss diese Verbindung („links“= „klein“) wieder aufgelöst und mit dem nun relevanten Stimulus-Attribut (z.B. „rot“) geschlossen werden und dazu ist die neue Stimuluskategorie-Antwort Regel notwendig („persistence of response meaning“, Schuch & Koch, 2004). Sollte Aufgabeninhibition ein Mechanismus zur Reduktion von Konflikt zwischen den Aufgaben sein und dieser Konflikt im Wesentlichen durch überlappende Antwort-Sets zwischen den Aufgaben entstehen, so würde man keine n-2 Wiederholungskosten erwarten, wenn es keinen Konflikt zwischen Aufgaben innerhalb der Antwort-Selektion gibt, beispielsweise, wenn Antworten nicht überlappen und somit die Verbindungen von Antwort (z.B. „links“) und Antwortbedeutung („klein“) nicht immer wieder aufgelöst und neugeknüpft werden müssen. Dieser Hypothese wurde in den folgenden vier Experimenten nachgegangen.

Wir entwickelten ein Vier-Aufgaben-Paradigma (siehe Abb. 2.3). Drei der Aufgaben erforderten die Klassifizierung eines dreidimensionalen Stimulus als

„A“ oder „4“ (Form), „groß“ oder „klein“ (Größe) oder als „rot“ oder „blau“ (Farbe). Diese Aufgaben überlappten sowohl im Stimulus-Set (Versuchspersonen sahen zum Beispiel ein großes rotes A) wie auch im Antwort-Set (sie erforderten alle eine verbale „links“ vs. „rechts“ Antwort). Als vierte Aufgabe sollten die Versuchspersonen die Fülle eines Balkens beurteilen. Dieser konnte entweder „voll“ oder „leer“ sein.

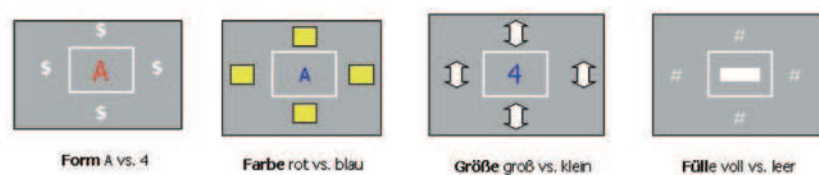


Abbildung 2.3: Aufgaben Experiment 3-5

Die Balken-Aufgabe hatte univalente Stimuli und konnte entweder natürliche Antworten („voll“ vs. „leer“, Experiment 3), arbiträre, aber nicht überlappende Antworten („oben“ vs. „unten“, Experiment 4) oder arbiträre und mit den anderen drei Aufgaben überlappende Antworten haben („rechts“ vs. „links“, Experiment 5) haben. Die Aufgaben, die in Stimulus- und Antwort-Set überlappten (das heißt die Form-, Größen- und Farbklassifikation) werden im Folgenden mit T (für trivalent) abgekürzt, die Balkenaufgabe erhält das Kürzel U, da sie univalente Stimuli hatte. Das bedeutet, dass in keinem der Experimente die Fülle-Aufgabe eine Überlappung mit den anderen Stimuli der anderen Aufgabe hatte. Systematisch manipuliert wurde allerdings die Überlappung auf der Antwort-Seite für diese Aufgabe.

Wir analysierten n-2 Wiederholungskosten abhängig davon, ob die Aufgabe in Durchgang n-1 entweder eine der drei überlappenden Aufgaben war (TTT Tripel) oder aber die univalente Balkenaufgabe (TUT Tripel, siehe auch Tabelle 2.2). Wir erwarteten, dass wir zumindest in Experiment 2 und 3, in denen die univalente Aufgabe nicht im Antwort-Set mit den trivalenten Aufgaben überlappte, keine n-2 Wiederholungskosten für die TUT Tripel sehen würden. Für die TTT Tripel sollten allerdings n-2 Wiederholungskosten auftreten. In Experiment 4 erwarten wir n-2 Wiederholungskosten in beiden, TTT und TUT Tripeln, sollte Konflikt wäh-

rend der Antwortauswahl die kritische Auslösebedingung für Aufgabeninhibition sein³.

Tabelle 2.2: Aufgabentripel und dahinter liegende Aufgabensequenzen für Experiment 2-4

Aufgabentripel	n-2 Wiederholungen vs. n-2 Wechsel	
TTT	ABA, CBC, BAB, BCB, CAC, CBC	CBA, BCA, CAB, ACB, BAC, ABC
TUT	AUA, BUB, CUC	BUA, CUA, AUB, CUB, AUC, BUC

A, B und C sind Platzhalter für die Form-, Größe- und Farbunterscheidung in den TTT Tripeln, U steht für die univalente Balkenaufgabe

Generell ist zu bemerken, dass diese Studie im Wesentlichen auf antwortbezogene Prozesse, also den Konflikt, der durch überlappende Antwort-Sets entsteht, fokussiert und keine Aussagen über die Rolle von Überlappung im Stimulus-Set für die Entstehung von n-2 Wiederholungskosten macht. Dieser Punkt wird in Experiment 6 aufgegriffen und diskutiert. In Experiment 6 überlappten alle vier Aufgaben im Stimulus-Set und drei von vier Aufgaben im Antwort-Set, um die Rolle überlappender Antworten nochmals genauer von der überlappenden Stimuli zu dissoziieren.

2.3.1 Methode und Ergebnisse Experiment 3

In Experiment 3 verwendeten wir „natürliche Antworten“ für die U-Aufgabe, das heißt die Versuchspersonen mussten immer die Fülle des Balkens („voll“ vs. „leer“) benennen. Somit ist keine Bindung einer Stimuluseigenschaft an ein Ortsattribut („rechts“ vs. „links“) der jeweiligen Antwort nötig, wie es für die trivalenten Aufgaben der Fall ist. Dementsprechend erwarteten wir keine n-2 Wiederholungskosten für die TUT Tripel.

Versuchspersonen. Achtundvierzig Versuchspersonen (davon 28 Frauen, mittleres Alter: 24.35 Jahre) nahmen an Experiment 3 teil und erhielten sieben Euro für ihre Teilnahme.

³Neben TTT und TUT Tripeln ergeben sich noch sogenannte UTU Tripel, also n-2 Wiederholungen und n-2 Wechsel der univalenten Aufgabe. Diese werden in einer separaten Analyse berichtet (siehe Kapitel 2.3.6), da sie nicht direkt relevant für die hier interessierende Fragestellung sind.

Aufgaben und Stimuli. Die Stimuli wurden im Zentrum eines 15' Monitors dargeboten. Dieser war mit einem IBM-kompatiblen PC verbunden. Als Stimuli wurden der Buchstabe „A“ oder die Zahl „4“, entweder in blau oder rot, groß (ca. 1 cm hoch) oder klein (ca. 0.5 cm hoch) dargeboten. Die Kombination der drei Stimulusdimensionen (Form, Farbe und Größe) führte zu acht verschiedenen Stimuli. Die Stimuli wurden innerhalb eines weißen Rechtecks (4.0 cm hoch und 3.5 cm breit) dargeboten. Das Rechteck war von vier Hinweisreizen umgeben, die die jeweils aktuelle Aufgaben anzeigten. Diese waren vier \$-Zeichen für die Formunterscheidung („A“ vs. „4“), vier Doppelpfeile für die Größenunterscheidung („groß“ vs. „klein“) und vier gelbe Quadrate (Kantenlänge 0.5 cm) für die Farbunterscheidung („rot“ vs. „blau“). Die Versuchspersonen antworteten verbal mit Hilfe eines Mikrofons (voicekey). Somit wurde der Sprach-Onset als Reaktionszeit genommen. Für alle drei Aufgaben war jeweils eine „links“ oder „rechts“ Antwort gefordert, abhängig von der Reaktionszuordnung. Als vierte Aufgabe mußten die Versuchspersonen die Fülle eines kleinen Balkens (0.5 cm lang, 0.3 cm hoch) beurteilen, der in der Mitte des weißen Rechtecks erschien. Die Hinweisreize für diese Aufgabe waren vier Rauten (#). Als Antwort wurde von den Versuchspersonen lediglich das jeweilige Stimulus-Attribut, also „voll“ beziehungsweise „leer“ erwartet. Die Antworten für alle vier Aufgaben wurden durch die Versuchsleiterin mit der linken und rechten Cursor-Taste kodiert, um ein Maß für die Reaktionsgenauigkeit zu haben. Die Versuchspersonen machten das Experiment in einem schallgedämpften, abgedunkelten Raum. Die Distanz zum Bildschirm betrug ca. 50 cm.

Durchführung. Das Experiment wurde in einer einzelnen Sitzung mit jeweils einer Versuchsperson durchgeführt und dauerte ca. 45 min. Die Versuchspersonen sahen die Instruktion auf dem Bildschirm, diese wurde ihnen allerdings auch mündlich erläutert. Sie wurden darüber informiert, dass sie einen dreidimensionalen Stimulus hinsichtlich seiner Form, Farbe oder Größe zu beurteilen hatten, je nachdem welche Hinweisreize das Rechteck umgaben. Den Versuchspersonen wurde nahegelegt, die Hinweisreize zu nutzen, da alle Stimuli dreidimensional waren und keine Information über die aktuell relevante Aufgabe enthielten. Die Zuordnung zu den verbalen Antworten („rechts“ vs. „links“) wurde erklärt und eine Plastikkarte mit der für die jeweilige Versuchsperson relevanten Zuordnung wurde unter den Bildschirm platziert. Dann wurde die Balkenaufgabe als vierte

Aufgabe eingeführt. Die Versuchspersonen begannen das Experiment mit zwei Übungsblöcken, die aus jeweils 12 Durchgängen bestanden. In der Instruktion wurden sowohl Reaktionsgeschwindigkeit als auch -genauigkeit betont. Die Versuchspersonen erhielten eine Rückmeldung, wenn sie einen Fehler gemacht hatten, das heißt das Wort „Fehler“ wurde für 500 ms auf dem Bildschirm präsentiert. Ein Durchgang begann mit einem schwarzen Bildschirm für 900 ms. Dann erschien das weiße Rechteck umgeben von vier Hinweisreizen. Nach 100 ms kam der eigentliche Stimulus. Rechteck, Hinweisreize und Stimulus blieben auf dem Bildschirm, bis die Versuchsperson eine verbale Reaktion abgab. Pro Experimentalblock gab es 98 Durchgänge. Nach jedem Block konnten die Versuchspersonen eine kurze Pause machen und bekamen ihre mittlere Reaktionszeit mitgeteilt. Insgesamt machte jede Versuchsperson sechs Experimentalblöcke, gefolgt von einem kurzen Interview nach dem Experiment.

Design. Die beiden unabhängigen Variablen waren Aufgabentripel (TTT vs. TUT) und Aufgabensequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel). Die Aufgabensequenz war pseudo-zufällig, so dass alle Aufgaben, Aufgabentripel und Stimuli gleich häufig vorkamen. Es gab keine unmittelbare Aufgabenwiederholung. Direkte Stimuluswiederholungen waren ebenfalls ausgeschlossen. Alle 8 Stimulus-Reaktions Zuordnungen wurden verwendet, ausbalanciert über die Versuchspersonen. Als abhängige Variablen wurden Reaktionszeiten und Fehlerrate gemessen.

Ergebnisse. Die ersten beiden Durchgänge in jedem Block wurden nicht analysiert. In die Auswertung gingen nur fehlerfreie Durchgänge, denen mindestens zwei fehlerfreie Durchgänge vorangegangen waren, ein. Reaktionszeiten unter 200 ms und alle RTs, die zwei Standardabweichungen oder mehr über der mittleren Reaktionszeit lagen, wurden als Ausreißer behandelt und ebenfalls nicht analysiert (3.6 % ansonsten fehlerfreier Durchgänge). Reaktionszeit und Fehlerdaten wurden mit einer 2*2 ANOVA mit den Faktoren Aufgabentripel (TTT vs. TUT) und Aufgabensequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel) analysiert.

In den Reaktionszeiten wurde die vorhergesagte Interaktion zwischen Aufgabentripel und Aufgabensequenz signifikant ($F(1,47)=12.32, p=.001$). In den TTT Tripeln fanden wir n-2 Wiederholungskosten ($M=38 \text{ ms}, t(1,47)=3.86, p=.001$), allerdings nicht in den TUT Tripeln ($M=-20 \text{ ms}, t(1,47)=-1.5, p=.15$, siehe Abb. 2.4, linkes Diagramm). Wir interpretieren dies als erste Unterstützung für unsere

Hypothese, dass Konflikt zwischen Aufgaben zu Aufgabeninhibition führt. Weiterhin wurde der Haupteffekt Aufgabentripel signifikant ($F(1,47)=6.11, p=.017$). Versuchspersonen waren in TTT Tripeln schneller als in TUT Tripeln (1370 ms vs. 1396 ms⁴). Der Haupteffekt Aufgabensequenz war nicht signifikant ($F<1$).

Insgesamt betrug die Fehlerrate in Experiment 3 4.6%. Wie auch in den Reaktionszeiten wurde die Interaktion zwischen Aufgabentripel und Aufgabensequenz signifikant ($F(1,47)=5.26, p=.026$). In den TTT Tripeln fanden sich geringe n-2 Wiederholungskosten (0.7%). In den TUT Tripeln hingegen fand sich, wie auch in den Reaktionszeiten, tendenziell eher ein n-2 Wiederholungsvorteil (-0.8%, beide $ts<1.6$, beide $ps<.13$).

Diskussion. Insgesamt waren die Daten aus Experiment 3 in Einklang mit unseren Erwartungen. Wir fanden keine n-2 Wiederholungskosten, wenn die Aufgabe in Durchgang n-1 in ihren geforderten Antworten nicht mit den Antworten der Aufgabe in Durchgang n-2 überlappten. Allerdings antworteten die Versuchspersonen in Experiment 3 in der U-Aufgabe mit den „natürlichen“, das heißt aus den eigentlichen Stimulus-Attributen bestehenden Antworten („voll“ vs. „leer“), während die T Aufgaben arbiträre Antworten verlangten. Möglicherweise führen arbiträre Antworten an sich zu erhöhtem Konflikt zwischen Aufgaben, auch wenn sie nicht überlappen. Um diese Alternativerklärung zu prüfen und weitere Evidenz für unsere Hypothese zu erlangen, dass der Konflikt in den Antwort-Sets durch Überlappung derselben und dem damit notwendigen Auflösen von Stimuluseigenschaft-Reaktionsattribut Bindungen entsteht und dazu Aufgabeninhibition nötig ist, führten wir Experiment 4 durch.

⁴Dieser Haupteffekt für die Aufgabentripel (TTT Tripel werden immer schneller als TUT Tripel bearbeitet), der in Experiment 3,4 und 5 dieser Studie reliabel auftritt, läßt sich am ehesten mit einer Veränderung in den Aufmerksamkeitsroutinen der Versuchspersonen erklären. Während die Vps bei den TTT Tripeln eine Aufmerksamkeitsroutine, nämlich das Fokussieren der Aufmerksamkeit zuerst auf den Hinweisreiz und dann auf die jeweils relevante Stimulusdimension beibehalten konnten, war dies bei den TUT Tripeln nicht nötig, da die Hinweisreize hier keine weitere Information beisteuerten, sondern der univalente Stimulus alleine die Aufgabe anzeigen konnte. Diese kurzzeitige Veränderung innerhalb der Aufmerksamkeitsroutinen, beziehungsweise deren Überflüssigwerden in der univalenten Aufgabe erklärt möglicherweise die hier beobachtete Verlangsamung (siehe auch Arrington, Altmann, & Carr, 2003).

2.3.2 Methode und Ergebnisse Experiment 4

Experiment 4 war identisch mit Experiment 3. Die einzige Änderung war die Einführung arbiträrer, aber nicht überlappender Antworten für die U-Aufgabe. Die Versuchspersonen antworteten nun auf Fülle des Balkens mit „oben“ oder „unten“, je nach Stimulus-Reaktions Zuordnung.

Versuchspersonen. Achtundvierzig neue Versuchspersonen (36 Frauen, mittleres Alter 25.75 Jahre) nahmen an Experiment 4 teil und erhielten sieben Euro.

Stimuli, Aufgaben und Durchführung. Diese waren identisch mit Experiment 3. Der einzige Unterschied bestand in den geforderten Antworten für die U-Aufgabe. Versuchspersonen antworteten nun mit „oben“ oder „unten“ auf die Fülle des Balkens. Die Zuordnung der Antworten war über die Versuchspersonen ausbalanciert.

Design. Die beiden unabhängigen Variablen waren wiederum Aufgabentripel (TTT vs. TUT) und Aufgabensequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel). Abhängige Variablen waren Reaktionszeiten und Fehlerrate.

Ergebnisse Die Daten wurden genauso ausgewertet wie in Experiment 3. Insgesamt 3.2% fehlerfreier Durchgänge wurden als Ausreißer von der Reaktionszeit- und Fehleranalyse ausgeschlossen. In den Reaktionszeiten wurde die vorhergesagte Interaktion zwischen Aufgabentripel und Aufgabensequenz signifikant ($F(1,47)=4.20, p=.046$). Anders als in Experiment 3 fanden wir nur einen Trend in Richtung der erwarteten n-2 Wiederholungskosten in den TTT Tripeln ($M=14$ ms, $t(1,47)=1.44, p=.16$). Für die TUT Tripel fanden wir, wie auch in Experiment 3, einen nicht-signifikanten n-2 Wiederholungsvorteil ($M=-20$ ms, $t(1,47)=1.41, p=.17$). Dieses Ergebnis schließt aus, dass die in Experiment 3 gefundene Interaktion lediglich durch die Verwendung natürlicher Antwortkategorien per se entstanden ist (siehe auch Abb. 2.4, mittleres Diagramm). Weiterhin fanden wir einen Haupteffekt für Aufgabentripel ($F(1,47)=35.62, p<.001$). Die Versuchspersonen waren in TTT Tripeln schneller als in TUT Tripeln (1433 ms vs. 1491 ms). Aufgabensequenz als Haupteffekt wurde nicht signifikant ($F<1$).

Insgesamt machten Versuchspersonen in Experiment 4 3.8% Fehler. Die Interaktion zwischen Aufgabentripel und Aufgabensequenz wurde nicht signifikant ($F<1$). Wie auch in den Reaktionszeitdaten erhielten wir einen signifikanten Haupteffekt für Aufgabentripel ($F(1,47)=8.8, p=.005$). Versuchspersonen machten weniger Fehler in einer der trivalenten Aufgaben, wenn dieser eine trivalente Aufga-

be vorangegangen war (4.0% vs. 4.9% für TTT vs. TUT Tripel). Wir fanden Effekten einen marginal signifikanten Haupteffekt für Aufgabensequenz ($F(1,47)=3.03$, $p=.09$). Den Trend in den Reaktionszeitdaten unterstützend fanden wir signifikante n-2 Wiederholungskosten für die TTT Tripel ($M=0.9\%$, $t(1,47)=2.32$, $p=.025$). In den TUT Tripeln war ebenfalls ein Trend in Richtung n-2 Wiederholungskosten zu beobachten, dieser wurde allerdings nicht signifikant ($t<1$).

Diskussion. Die Daten von Experiment 4 liefern somit weitere Unterstützung für unsere Hypothese, dass Konflikt zwischen Aufgaben aufgrund von überlappenden Antwort-Sets zu Aufgabeninhibition führt. Dabei scheint die Verwendung arbiträrer Reaktionen alleine keine ausreichende Bedingung für das Entstehen von Konflikt zwischen Aufgaben darzustellen, sondern es scheint wirklich auf die Überlappung in den Antwort-Sets anzukommen.

Allerdings können wir bisher wenig über die Rolle überlappender Antwort-Sets alleine für die Entstehung von Aufgabeninhibition sagen. Schuch und Koch (2003) verwendeten in ihrem Paradigma nicht nur überlappende Antwort-Sets, sondern stets auch überlappende Stimulus-Sets. Die fehlende Überlappung im Stimulus-Set ist auch eine denkbare Alternative für die bisher berichteten Daten. Wenn allerdings Aufgabeninhibition allein durch den Konflikt überlappender Antwort-Sets während der Antwortauswahl entsteht, so sollten wir n-2 Wiederholungskosten auch in TUT Tripeln finden, wenn die U-Aufgabe in ihren Antworten komplett mit den TTT Aufgaben überlappt. Ist aber neben der Überlappung in den Antwort-Sets auch noch zusätzlich Überlappung im Stimulus-Set notwendig, so sollten auch hier keine n-2 Wiederholungskosten auftreten. Diese beiden Möglichkeiten wurden in Experiment 5 getestet.

2.3.3 Methode und Ergebnisse Experiment 5

Experiment 5 wurde durchgeführt um auszuschließen, dass Aufgabeninhibition nur zwischen Aufgaben auftritt, die in Stimulus- und Antwort-Set überlappen. Das Experiment war identisch mit Experiment 3 und 4, der einzige Unterschied war, dass dieses Mal auch für die U-Aufgabe „rechts“- und „links“-Antworten gegeben werden mußten.

Versuchspersonen. Achtundvierzig neue Versuchspersonen (davon 35 Frauen, mittleres Alter 24.6 Jahre) nahmen an Experiment 5 teil und erhielten sieben Euro.

Stimuli, Aufgaben, Durchführung und Design. Diese waren identisch zu Experiment 3 und 4. Die einzige Änderung war, dass die Versuchspersonen nun bei allen vier Aufgaben verbale „links“ und „rechts“ Antworten gaben.

Ergebnisse. Die Daten wurden wie in Experiment 3 und 4 analysiert. Auch hier wurden 1.1% ansonsten fehlerfreier Durchgänge als Ausreißer von der Analyse ausgeschlossen. In Experiment 5 war die Interaktion zwischen Aufgabentripel und Aufgabensequenz weit entfernt von statistischer Signifikanz ($F < 1$, siehe Abb. 2.4., rechtes Diagramm). Post-hoc t-tests zeigten signifikante n-2 Wiederholungskosten für TTT Tripel ($M = 40$ ms, $t(1,47) = 3.38$, $p < .001$) wie auch für TUT Tripel ($M = 25$ ms, $t(1,47) = 2.31$, $p = .025$). Wir fanden einen signifikanten Haupteffekt für Aufgabentripel ($F(1,47) = 15.51$, $p < .001$). Wie auch in beiden Experimenten zuvor waren Versuchspersonen in den TTT Tripeln schneller als in den TUT Tripeln (1441 ms vs. 1480 ms). Aufgabensequenz war als Haupteffekt ebenfalls signifikant ($F(1,47) = 11.99$, $p < .001$). Insgesamt fanden sich n-2 Wiederholungskosten von 36 ms.

Insgesamt betrug die Fehlerrate in Experiment 5 4.5%. Wie in den Reaktionszeiten war die Interaktion zwischen Aufgabentripel und Aufgabensequenz nicht signifikant ($F < 1$). Es zeigte sich auch kein signifikanter Haupteffekt für Aufgabentripel ($F < 1$). Lediglich der Haupteffekt für Aufgabensequenz wurde signifikant ($F(1,47) = 5.78$, $p = .020$). Insgesamt fanden sich n-2 Wiederholungskosten von 1.1%. Post-hoc t-tests zeigten, dass diese nur in den TTT Tripeln signifikant waren ($M = 1.4\%$, $t(1,47) = 2.71$, $p = .009$, TUT: $M = .08\%$, $t(1,47) = 1.32$, $p = .19$). Insgesamt legen die Daten aus Experiment 5 somit nahe, dass Überlappung im Antwort-Set zu Konflikt zwischen Aufgaben führt, der über Aufgabeninhibition gelöst wird.

2.3.4 Vergleich zwischen den Experimenten

Zusammen mit den beiden anderen Experimenten legen die Daten aus Experiment 5 die Schlußfolgerung nahe, dass Überlappung innerhalb der Antwort-Sets verschiedener Aufgaben zur Aufgabeninhibition führt. Um weitere Evidenz für diesen Ansatz zu erhalten, haben wir einen Vergleich zwischen den Experimenten gerechnet. Hierzu wurden Experiment 3 und 4 (beide ohne Überlappung im Antwort-Set, siehe Abb. 2.4) zusammengefasst und mit Experiment 5 (mit Überlappung im Antwort-Set) verglichen. Wenn Aufgabeninhibition durch den Kon-

flikt zwischen Aufgaben, die im Antwort-Set überlappen, hervorgerufen wird, sollten wir eine signifikante Dreifachinteraktion zwischen Aufgabentripel und Aufgabensequenz als „within-subjects“ Variablen und Überlappung als „between-subjects“ Variable erwarten.

Wir verwendeten dieselbe ANOVA wie auch in den einzelnen Experimenten, mit Aufgabentripel (TTT vs. TUT) und Aufgabensequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel) als „within-subjects“ Variablen und Überlappung (ohne Überlappung vs. mit Überlappung) als „between-subjects“ Variable. Wir fanden n-2 Wiederholungskosten von 40 ms für die TTT Tripel und von 36 ms für die TUT Tripel in der Gruppe mit Überlappung in den Antwort-Sets (Experiment 5). Die n-2 Wiederholungskosten für die TTT Tripel in der Gruppe ohne Überlappung in den Antwort-Sets (Experiment 3 und 4) lagen bei 26 ms. In dieser Gruppen fanden wir in den TUT Tripel statt n-2 Wiederholungskosten einen n-2 Wiederholungsvorteil ($M=-20$ ms). Die vorhergesagte Dreifachinteraktion wurde knapp nicht signifikant ($F(1,143)=3.87, p=.051$). Weitere Analysen zeigten, dass die Dreifachinteraktion bei einem Vergleich von Experiment 5 mit Experiment 3 klar signifikant war ($F(1,95)=5.11, p=.026$), allerdings nicht im Vergleich von Experiment 5 mit Experiment 4 ($F(1,95)=1.37, p=.24$). Dieses Ausbleiben der Dreifachinteraktion im Vergleich von Experiment 4 und 5 liegt möglicherweise an der großen Varianz in Experiment 4. Alternativerklärungen, wie zum Beispiel die Idee, dass die Verwendung arbiträrer Antwort-Sets immer mit mehr Konflikt verbunden ist, weil sie die Zuordnung eines Stimulus-Attributs auf eine willkürliche Antwort erfordern wie auch in Experiment 4 können wir nicht ausschließen und sie bedürfen weiterer empirischer Untersuchung.

Im weiteren fanden wir eine, die Dreifachinteraktion in ihrer Tendenz unterstützende, signifikante Interaktion von Aufgabensequenz und Überlappung begleitet ($F(1,143)=8.54, p=.006$). Insgesamt zeigte die Gruppe mit Überlappung in den Antwortsets n-2 Wiederholungskosten von 37 ms, während keine, beziehungsweise nur sehr kleine n-2 Wiederholungskosten ($M=6$ ms) für die andere Gruppe gefunden werden konnten. Diese Zweifachinteraktion war auch in den Vergleichen von Experiment 5 mit Experiment 3 ($F(1,95)=4.07, p=.041$) und Experiment 5 mit Experiment 5 ($F(1,95)=8.33, p=.005$) signifikant.

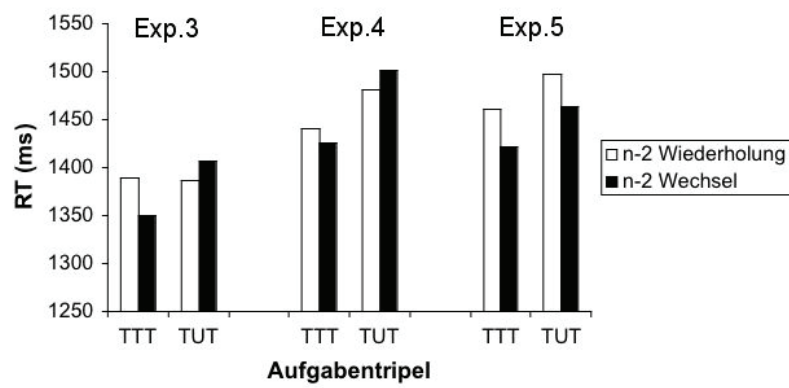


Abbildung 2.4: Ergebnisse für Experiment 3-5 als Funktion von Aufgabentripel (TTT vs. TUT) und Aufgabensequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel)

In den Fehlerdaten fand sich ebenfalls eine marginal signifikante Interaktion zwischen Aufgabensequenz und Überlappung ($F(1,143)=2.78, p=.098$) und legt weiter nahe, dass Aufgabeninhibition in Experiment 5, also wenn alle Aufgaben in ihren Antworten überlappten eine größere Rolle gespielt hat, als in den beiden anderen Experimenten, in denen wir immer n-2 Wiederholungsvorteile für die TUT Tripel beobachteten. In den Fehlerdaten fanden sich außer den berichteten Effekten keine weiteren signifikanten Effekte.

Insgesamt sprechen die Daten, wenn auch nicht völlig eindeutig, doch dafür, dass Überlappung im Antwort-Set Aufgabeninhibition beeinflussen kann. Die beobachtete Verringerung von n-2 Wiederholungskosten entsteht unserer Meinung nach durch weniger Konflikt zwischen Aufgaben, die nicht in ihrem Antwort-Set überlappen.

2.3.5 Analyse der UTU Tripel für Experiment 3-5

In diesem letzten Abschnitt möchten wir die bisher vernachlässigten UTU Tripel, also die n-2 Wiederholung und n-2 Wechsel für die univalente Aufgabe berichten. Wenn wir annehmen, dass die U-Aufgabe aufgrund ihrer univalenten Reize und nicht-überlappenden Antworten in Experiment 3 und 4 nicht zu Konflikt mit den trivalenten Aufgaben führt, so sollte es auch keine n-2 Wiederholungskosten für die UTU Tripel geben. Für Experiment 5 allerdings sollten wir aufgrund der hier überlappenden Antwort-Sets in allen vier Aufgaben n-2 Wiederholungskosten auch für die UTU Tripels finden, wenn denn Überlappung in den Antwort-Sets alleine ausreicht damit Aufgabeninhibition entsteht.

Im Einklang mit diesen Vorhersagen, fanden wir keine n-2 Wiederholungskosten in den Reaktionszeiten für die UTU Tripel in Experiment 3 ($t(1,47)<1, 807$ ms vs. 809 ms für n-2 Wiederholungen vs. n-2 Wechsel). In den Fehlerdaten für Experiment 3 zeigte sich sogar ein signifikanter n-2 Wiederholungsvorteil ($t(1,47)=2.2, p=.033, 2.4\%$ vs. 3.4% für n-2 Wiederholungen vs. n-2 Wechsel). Ein n-2 Wiederholungsvorteil fand sich auch in Experiment 4, hier allerdings hauptsächlich in den Reaktionszeiten ($M=-19$ ms, $t(1,47)=2.6, p=.012$ für die Reaktionszeiten und $M=.05\%$, $t(1,47)=1.24$ für die Fehler). In Experiment 5 fanden wir entgegen unseren Vorhersagen einen n-2 Wiederholungsvorteil für die UTU Tripel in den Reaktionszeiten ($M=-30$ ms, $t(1,47)=2.71, p=.009$). Dieser wurde aber von signifikan-

ten *n-2 Wiederholungskosten* in den Fehlern begleitet ($M=1.24\%$, $t(1,47)=2.95$, $p=.005$).

Insgesamt entsprachen die Daten von Experiment 3 und 4 unseren Vorhersagen bezüglich der UTU Tripel (wobei sich auch in Experiment 4 ein leichter speed-accuracy trade-off zeigt). Die Daten aus Experiment 5 sind wegen des speed-accuracy trade-offs und dem daraus entstandenen widersprüchlichen Datenmuster nicht interpretierbar. Von daher kann auf Basis dieser Daten nicht entschieden werden, ob es wirklich *nur* die Überlappung im Antwort-Set ist, die zu *n-2 Wiederholungskosten* führt. In Experiment 6 innerhalb dieser Studie manipulierten wir deshalb nun zusätzlich zur Überlappung im Antwort-Set auch die Überlappung auf Seiten der Stimuli. Dabei überlappten wie bisher drei Aufgaben in Stimulus- und Antwort-Set und eine Aufgabe hatte zwar überlappende Stimuli, aber univalente, das heißt nicht überlappende Antworten. Wenn Überlappung in den Antwort-Sets wirklich kritisch für das Entstehen von *n-2 Wiederholungskosten* ist, dann sollten wir keine *n-2 Wiederholungskosten* für die Aufgabe mit der univalenten, nicht überlappenden Antwort finden.

2.3.6 Zusammenfassende Diskussion und Motivation für Experiment 6

Insgesamt zeigen die Experimente 3-5, dass Überlappung im Antwort-Set Aufgabeninhibition modulieren kann und liefern damit weitere Evidenz für die Annahmen des Antwort-Selektions Ansatzes von Schuch und Koch (2003) wie auch für die hier leitende Hypothese, dass Konflikt zwischen Aufgaben zur Aufgabeninhibition führt. Allerdings gibt es zwei Studien, die mit den hier präsentierten Schlussfolgerungen nicht im Einklang stehen. Es sind dies die Studien von Arbuthnott und Kollegen (Arbuthnott & Frank, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002).

In ihren Studien mußten Versuchspersonen immer auf univalente Stimuli mit der Benennung des jeweils relevanten Stimuluskategorie reagieren (das heißt diese Studien verwendeten „natürliche Antworten“ wie in Experiment 3). Gegeben die Schlussfolgerung aus Experiment 3 bis 5 sollte hier keine Aufgabeninhibition zu beobachten sein, da sowohl univalente Stimuli wie auch nicht-überlappende Antworten verwendet worden sind und dementsprechend kein Konflikt zwischen

Aufgaben auftreten sollte. Dennoch berichten Arbuthnott und Kollegen in beiden Studien signifikante n-2 Wiederholungskosten (Arbuthnott & Frank, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002).

Ein Unterschied zu den bisher berichteten Experimenten ist allerdings, dass immer Stimuli aller drei Aufgaben sichtbar waren und nicht nur ein Stimulus für die jeweils relevante Aufgabe. Möglicherweise führt die Darbietung aller Stimuli auch zu erhöhtem Konflikt zwischen den ansonsten nicht konfligierenden Aufgaben im Sinne einer Eriksen-Flanker Aufgabe. Dieser Konflikt muß dann wiederum über Aufgabeninhibition gelöst werden. Diese Interpretation würde auch von der Arbeit von Hübner und Kollegen (Hübner et al., 2003) gestützt werden, die zeigen konnten, dass Flanker-Interferenz reduziert war, wenn die Flanker-Stimuli einer vorhergehenden, konkurrierenden Aufgabe waren.

Dennoch stellt sich die Frage, ob Aufgabeninhibition wirklich *nur* von der Überlappung innerhalb des Antwort-Sets abhängt, oder ob nicht auch Überlappung im Stimulus-Set beziehungsweise die simultane Präsentation von Stimuli, die mit anderen Aufgaben assoziiert sind, zu Aufgabeninhibition führen kann. Um dies zu überprüfen, führten wir Experiment 6 durch. In diesem Experiment verwendeten wir vierdimensionale Stimuli, das heißt alle Aufgaben konnten mit den gleichen Stimuli durchgeführt werden. Die Aufgaben unterschieden sich wiederum in ihrer Überlappung im Antwort-Set, analog zu Experiment 3. Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, auf drei der vier Aufgaben mit einer verbalen links/rechts Antwort zu reagieren, für die vierte Aufgabe musste als Antwort lediglich das Stimulus-Attribut verbalisiert werden (z.B. „rot“, wenn ein roter Stimuli erschien und die Farbaufgabe univalente Antworten erforderte, siehe unten). Analysiert wurden wieder n-2 Wiederholungskosten in Abhängigkeit von der Aufgabe in Durchgang n-1 (überlappende Antworten vs. univalente Antworten). Wir erwarteten, dass wir auch hier nur dann n-2 Wiederholungskosten finden würden, wenn die Aufgabe in Durchgang n-1 ebenfalls eine „rechts“ vs. „links“ Antworten erfordern würde. Sollte allerdings, wie die Studien von Arbuthnott und Kollegen nahe legen, Überlappung auf Seite der Stimuli eine Rolle spielen, dann würden wir n-2 Wiederholungskosten für alle drei Typen von Aufgabentripeln (TTT vs. TUT vs. UTU⁵) erwarten.

⁵Der Lesbarkeit wegen werden für Experiment 6 die Aufgabentripel genauso abgekürzt wie für Experiment 3-5. T bedeutet also eine der drei Aufgaben, die ebenso wie zwei weitere Aufgaben

2.3.7 Methode Experiment 6

Wie oben beschrieben, bestand der wesentliche Unterschied zu Experiment 3-5 in Experiment 6 in der Verwendung vierdimensionaler Stimuli, so dass jetzt jede Aufgabe gleichermaßen durch alle Stimuli gebahnt werden sollte.

Versuchspersonen. Zweiundreißig Versuchspersonen (davon 25 Frauen, mittleres Alter 26.9 Jahre) nahmen an Experiment 6 teil und erhielten sieben Euro als Gegenleistung für ihre Teilnahme.

Aufgaben und Stimuli. Die Stimuli wurden wiederum im Zentrum eines 15" Monitors dargeboten. Dieser war mit einem IBM-kompatiblen PC verbunden. Als Stimuli wurden ein Dreieck oder ein Rechteck, entweder in blau oder rot, groß (ca. 2 cm hoch) oder klein (ca. 1 cm hoch) dargeboten. Darüber hinaus konnten diese Stimuli entweder voll (d.h. komplett ausgefüllt) oder leer (d.h. man sah nur die Kontur) sein. Die Kombination der vier Stimulusdimensionen (Form, Farbe, Größe und Fülle) führte zu sechzehn verschiedenen Stimuli. Die Stimuli wurden innerhalb eines weißen Rechtecks (4.0 cm hoch und 3.5 cm breit) dargeboten. Das Rechteck war von vier Hinweisreizen umgeben, die die jeweils aktuelle Aufgaben anzeigten. Diese waren vier \$-Zeichen für die Formunterscheidung („Dreieck“ vs. „Viereck“), vier Doppelpfeile für die Größenunterscheidung („groß“ vs. „klein“), vier gelbe Quadrate (Kantenlänge 0.5 cm) für die Farbunterscheidung („rot“ vs. „blau“) und vier #-Zeichen für die Fülleunterscheidung („voll“ vs. „leer“). Die Versuchspersonen antworteten verbal mit Hilfe eines voice-keys. Für drei Aufgaben war jeweils eine „links“ oder „rechts“ Antwort gefordert, abhängig von der Reaktionszuordnung. Für die vierte Aufgabe mußten Versuchspersonen immer das jeweils relevante Stimulusattribut benennen.

Bei den ersten acht Versuchspersonen verlangte die Formaufgabe eine univalente Antwort (die Versuchspersonen sagten hier „drei“ bzw. „vier“, also die Anzahl der Ecken, um die Antwort vergleichbar kurz zu den anderen Aufgaben zu halten). Die zweiten acht Vps antworteten bei der Größenaufgabe mit dem jeweiligen Stimulusattribut („groß“ vs. „klein“). Die verbleibenden sechzehn Versuchspersonen antworteten auf die Farbaufgabe („rot“ vs. „blau“, 8 Versuchspersonen)

eine „rechts“ vs. „links“ Antwort erforderte und somit in ihren Antwort-Sets mit anderen Aufgaben überlappte. U steht für die Aufgabe, deren Antworten univalent waren und keine Überlappung mit den anderen drei Aufgaben im Antwort-Set hatte

oder auf die Fülleaufgabe („voll“ vs. „leer“, 8 Versuchspersonen) mit den jeweiligen Stimulusattributen. Die Antworten für alle vier Aufgaben wurden durch die Versuchsleiterin mit der linken und rechten Cursor-Taste kodiert, um wiederum ein Maß für die Reaktionsgenauigkeit zu erhalten. Die Versuchspersonen machten das Experiment in einem schallgedämpften, abgedunkelten Raum. Die Distanz zum Bildschirm betrug ca. 50 cm.

Durchführung. Das Experiment wurde in einer einzelnen Sitzung mit jeweils einer Versuchsperson durchgeführt und dauerte ca. 45 min. Die Versuchspersonen sahen die Instruktion auf dem Bildschirm, diese wurde ihnen allerdings auch mündlich erläutert. Sie wurden darüber informiert, dass sie einen vierdimensionalen Stimulus hinsichtlich seiner Form, Farbe, Größe oder Fülle zu beurteilen hatten, je nachdem welche Hinweisreize das Rechteck umgaben. Den Versuchspersonen wurde nahegelegt, die Hinweisreize zu nutzen, da alle Stimuli vierdimensional waren und keine Information über die aktuell relevante Aufgabe enthielten. Die Zuordnung zu den verbalen Reaktionen wurde erklärt und eine Karte mit der für die Versuchsperson relevanten Zuordnung wurde unter den Bildschirm platziert. Die Versuchspersonen hatten zwei Übungsblöcke, die aus jeweils 12 Durchgängen bestanden. In der Instruktionen wurden sowohl Reaktionsgeschwindigkeit als auch -genauigkeit betont. Die Versuchspersonen erhielten eine Rückmeldung, wenn sie einen Fehler gemacht hatten, das heißt das Wort „Fehler“ wurde für 500 ms auf dem Bildschirm präsentiert.

Ein Durchgang begann mit einem schwarzen Bildschirm für 900 ms. Dann erschien das weiße Rechteck umgeben von vier Hinweisreizen. Nach 100 ms kam der eigentliche Stimulus. Rechteck, Hinweisreize und Stimulus blieben auf dem Bildschirm, bis die Versuchsperson antwortete. Pro Experimentalblock gab es 132 Durchgänge. Nach jedem Block konnten die Versuchspersonen eine kurze Pause machen und bekamen ihre mittlere Reaktionszeit mitgeteilt. Insgesamt machte jede Versuchsperson sechs Experimentalblöcke, gefolgt von einem kurzen Interview nach dem Experiment.

Design. Die beiden unabhängigen Variablen waren Aufgabe in Durchgang $n-1$ (mit überlappenden Antworten vs. mit univalenten Antworten) und Aufgabensequenz ($n-2$ Wiederholung vs. $n-2$ Wechsel). Die Sequenz der Aufgaben in den Blöcken war pseudo-zufällig, so dass alle Aufgaben, Aufgabentripel und Stimuli gleich häufig vorkamen. Es gab keine unmittelbare Aufgabenwiederholung.

Direkte Stimuluswiederholungen waren ebenfalls ausgeschlossen. Alle 32 S-R mappings wurden verwendet, ausbalanciert über die Versuchspersonen. Als abhängige Variablen wurden Reaktionszeiten und Fehlerrate gemessen.

2.3.8 Ergebnisse Experiment 6

In die Auswertung gingen nur fehlerfreie Durchgänge, denen mindestens zwei fehlerfreie Durchgänge vorangegangen waren, ein. Reaktionszeiten unter 200 ms und alle Reaktionszeiten, die zwei Standardabweichungen oder mehr über der mittleren Reaktionszeit lagen wurden als Ausreißer behandelt und ebenfalls nicht analysiert (3.0 % ansonsten fehlerfreier Durchgänge). Reaktionszeiten und Fehlerdaten wurden mit einer 2*2 ANOVA mit den Faktoren Aufgabe in Durchgang n-1 (überlappende Antworten vs. univalente Antworten) und Aufgabensequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel) analysiert. Die Interaktion zwischen Aufgabe in Durchgang n-1 und Aufgabensequenz wurde signifikant ($F(1,31)=6.52$, $p=.016$). Versuchspersonen hatten geringe, nicht signifikante n-2 Wiederholungskosten, wenn die Aufgabe in Durchgang n-1 überlappende Antworten hatte ($M=9$ ms, $t(1,31)<1$). Allerdings zeigten sie einen deutlichen n-2 Wiederholungsvorteil ($M=-32$ ms, $t(1,31)=2.72$, $p<.001$), wenn die Aufgabe in Durchgang n-1 univalente Antworten hatte. Die Konfidenzintervalle beider Effekte überlappten nicht, was nahelegt, dass es sich hier tatsächlich um unterschiedliche Prozesse, Hemmung zum einen und Bahnung zum anderen, handelt, die in den beiden Bedingungen vorliegen (siehe auch Abb. 2.5). Diese Annahme wird auch durch eine geringe, negative Kovariation beider Effekte ($r=-.20$, $p>.30$) gestützt. Generell zeigen die Daten, wenn auch nicht so klar wie in den vorher berichteten Experimenten weitere Evidenz für die Annahme, dass Konflikt zwischen Aufgaben im wesentlich durch Überlappung in den Antwort-Sets verursacht wird.

Im weiteren fanden wir einen marginal signifikanten Haupteffekt für Aufgabe in Durchgang n-1 ($F(1,31)=4.07$, $p=.053$). Versuchspersonen waren schneller, wenn die vorangegangene Aufgabe ebenfalls eine rechts/links Antwort erforderte (1520 ms vs. 1547 ms). Wie auch in den vorhergehenden Experimenten scheinen Versuchspersonen so etwas wie eine Routine für den Umgang mit den in ihren Antwort-Sets überlappenden Aufgaben zu entwickeln, die beim Wechseln zu der univalenten Aufgabe obsolet wird. Wenn Versuchspersonen dann wieder zu ei-

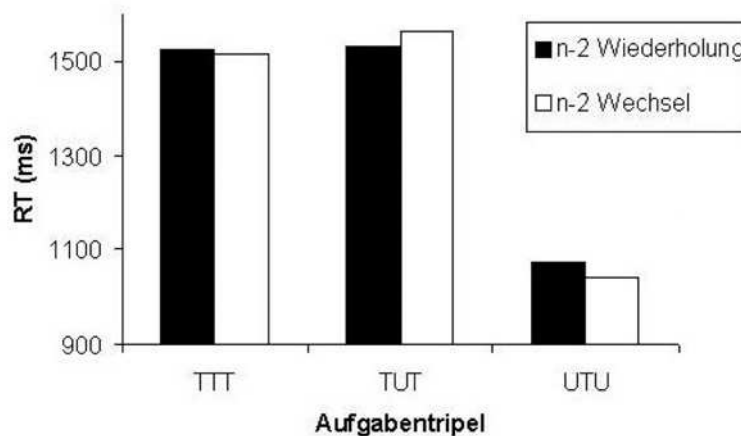


Abbildung 2.5: Ergebnisse für Experiment 6 als Funktion von Aufgabentripel (TTT vs. TUT) und Aufgabensequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel)

ner Aufgabe mit überlappenden Antworten zurück wechseln, dauert es bis diese Routine wieder etabliert ist. Diese Annahme wird auch durch die Analyse der Fehlerdaten gestützt (siehe unten). Außerdem wurde der Haupteffekt für Aufgabensequenz ebenfalls fast signifikant ($F(1,31)=3.04, p=.09$). Es zeigte sich, bedingt durch den starken n-2 Wiederholungsvorteil, wenn eine univalente Antwort in Durchgang n-1 gegeben werden mußte, insgesamt ein leichter n-2 Wiederholungsvorteil von 11 ms.

Die Fehlerrate betrug insgesamt 3.7%. In den Fehlern fand sich lediglich ein signifikanter Haupteffekt für Aufgabe in Durchgang n-1 ($F(1,31)=4.94, p=.034$). Versuchspersonen machten mehr Fehler, wenn die Aufgabe in Durchgang n-1 eine univalente Antwort erforderte als wenn ebenfalls eine rechts beziehungsweise links Antwort gegeben werden musste.

Analyse der n-2 Wiederholungen für Aufgaben mit univalenten Antworten.

Wie auch in den vorhergehenden Experimenten gingen wir davon aus, dass univalente Antworten nicht zu Konflikt zwischen den Aufgaben führen sollten und wir erwarteten deshalb auch keine n-2 Wiederholungskosten für die Aufgaben. Entgegen unseren Annahmen fanden wir signifikante n-2 Wiederholungskosten für die Aufgaben mit univalenten Antworten, zumindest in den Reaktionszeiten ($M=35$ ms, $t(1,31)=2.43, p=.021$; $M=.07\%$, $t(1,31)=1.37, p=.18$ für die Fehler).

2.3.9 Diskussion Experiment 6

Im Großen und Ganzen unterstützen die Daten von Experiment 6 die aus den Experimenten 3-5 gezogenen Schlussfolgerungen. Wiederum fanden wir keine n-2 Wiederholungskosten, sondern einen n-2 Wiederholungsvorteil, wenn die Aufgaben nicht in ihren Antwort-Sets überlappten. Somit scheint Überlappung im Stimulus-Set nicht notwendigerweise zur Entstehung von n-2 Wiederholungskosten beizutragen.

Etwas überraschend und so nicht vorhergesagt, waren die signifikanten n-2 Wiederholungskosten für die n-2 Wiederholungen der Aufgabe mit dem univalenten Antwort-Set. Dieser Befund kann unseres Erachtens allerdings durch Hinzunahme einer anderen Studie unserer Arbeitsgruppe besser verstanden werden. In dieser Studie von Koch, Gade und Philipp (2004) verwendeten wir „choice response“ und „single response“ als unterschiedliche Antwortmodi. Unsere Versuchspersonen erhielten zwei numerische Entscheidungsaufgaben, die sie wie durch den Hinweisreiz vorgeben, ausführen sollten. Bei diesen Aufgaben sollten sie immer eine von zwei möglichen Antworttasten drücken. In einem Drittel der Durchgänge allerdings wurde diese Wahlreaktion auf eine einfache Reaktion reduziert, die im möglichst simultanen Drücken beider Antworttasten bestand, sobald der eigentliche Stimulus erschien.

Dieser Wechsel im Antwortmodus wurde ebenfalls durch einen Hinweisreiz angekündigt. In zwei Experimenten fanden wir n-2 Wiederholungskosten für n-2 Wiederholungen des Antwortmodus und schlussfolgerten, dass auch Antwortmodi Ziel von Aufgabeninhibition sein können. Möglicherweise kodierten Versuchspersonen die Einführung von univalenten Antworten in einer der vier Aufgaben als Einführung eines anderen Antwortmodus. Da dieser Antwortmodus wesentlich einfacher, weil kompatibler mit dem Stimulus, war, musste er, um nicht zu Fehlern in den anderen Aufgaben zu führen, gehemmt werden. Diese Hemmung führt dann zu den beobachteten n-2 Wiederholungskosten. Interessant ist, dass in der Studie von Koch und Kollegen (2004) auch dann n-2 Wiederholungskosten auftraten, wenn die Aufgabe in Durchgang n-1 einen anderen Antwortmodus erforderte als die Aufgaben in Durchgang n-2 und n. Koch und Kollegen (2004) interpretieren diesen Befund dahingehend, dass offensichtlich nicht nur der vorhergehende Antwortmodus gehemmt wird, sondern auch die zuletzt aus-

geführte Aufgabe. Dies scheint in Experiment 6 nicht der Fall gewesen zu sein, da wir in den TUT Tripeln einen signifikanten n-2 Wiederholungsvorteil fanden. Eine mögliche Ursache für die Diskrepanz der Ergebnisse kann darin liegen, dass Koch und Kollegen manuelle Antworten verlangten, die sich lediglich in der Zahl der zu drückenden Tasten unterschieden. Von daher macht es Sinn, neben dem Antwortmodus auch noch die zuletzt ausgeführte Stimuluskategorie-Antwort Regel zu hemmen, um sicherzustellen, dass die beiden Tasten wirklich gleichzeitig gedrückt werden. In unserem Paradigma zeigte die jeweils relevante Stimulusdimension direkt die Antwort an und diese hatte keinen Bezug zu der zuletzt verwendeten Stimuluskategorie-Antwort Regel. Deshalb erstreckt sich die Inhibition, die wir für die UTU Tripel fanden, vermutlich wirklich nur auf den Antwortmodus (also „Antworten mit dem Stimulus-Attribut“) und nicht noch zusätzlich die zuletzt verwendete Stimuluskategorie-Antwort Regel.

Die n-2 Wiederholung der Aufgabe mit dem univalenten Antwort-Set ist allerdings am vergleichbarsten mit den n-2 Wiederholungsbedingungen aus den Studien von Arbuthnott und Kollegen (siehe Diskussion, Experimente 3-5 sowie Arbuthnott & Frank, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002), allerdings mit dem Unterschied, dass in ihren Studien alle Antworten univalent waren. Von daher scheint eine Erklärung, die auf Inhibition von unterschiedlichen Antwortmodi zielt zwar passend für das vorliegende Experiment 6 zu sein, aber nicht die n-2 Wiederholungskosten in den Arbuthnott-Studien erklären zu können (Arbuthnott & Frank, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002).

Ein weiterer, möglicher Faktor, der eine Erklärung für die Diskrepanz der Ergebnisse liefern könnte und der die Studien von Arbuthnott und Kollegen von den vorliegenden Experimenten unterscheidet, ist die Manipulation der Stimulusposition von Durchgang zu Durchgang. Obwohl in ihren Studien immer alle drei Stimuli in einer Spalte präsentiert wurden, wechselte die Position der zu den Aufgaben gehörigen Stimuli (Buchstaben, Zahlen und Symbole) pseudo-zufällig von Durchgang zu Durchgang. Das bedeutet für die Versuchspersonen, dass sie nicht nur erst den Hinweisreiz in die dazugehörige Aufgabe übersetzen mußten, sondern danach auch eine visuelle Suchaufgabe durchführen mußten, um den nun relevanten Stimulus zu finden. Dass diese Art der Stimuluspräsentation offensichtlich den Konflikt zwischen den drei Aufgaben verstärkt hat, läßt sich aus der Tatsache folgern, dass Arbuthnott und Kollegen (Arbuthnott, 2005; Arbuthnott & Woodward,

2002) keine n-2 Wiederholungskosten finden, wenn sie die Aufgabe räumlich, das heißt durch Anzeigen der Position des relevanten Stimulus vorab ankündigten⁶. Durch die Vorwegnahme der Suche nach dem richtigen Stimulus konfliktieren die Aufgaben nicht mehr miteinander und es gibt keinen Grund, die vorhergehende Aufgabe zu hemmen.

Neben dieser räumlichen Manipulation wurde den Versuchspersonen von Arbuthnott die Aufgabe immer in Sequenzen von fünf Aufgaben vorgegeben, die nur eine Aufgabenwiederholung beinhalteten (die entweder fest innerhalb der Fünfersequenz (Arbuthnott & Frank, 2000) oder an einer von zwei möglichen Stellen (Arbuthnott & Woodward, 2002) liegt). Obwohl die Autoren davon ausgehen, dass die Versuchspersonen die Sequenzen in Blöcken von 30 (Arbuthnott & Frank, 2000) oder 60 Durchgängen (Arbuthnott & Woodward, 2002) nicht bemerken beziehungsweise nicht lernen, kann es dennoch sein, dass diese Sequenzen einen bisher noch nicht geklärten Einfluß auf das Entstehen von n-2 Wiederholungskosten haben (siehe auch Mayr & Keele, 2000 bzw. Koch et al., 2006, für divergierende Ergebnisse über den Einfluß von (gelernten) Aufgabensequenzen auf n-2 Wiederholungskosten).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass wir in der vorliegenden Arbeit vier Experimente präsentieren, die zeigen, dass überlappende Antwort-Sets eine wichtige Ursache für Konflikt zwischen Aufgaben zu sein scheinen. Überlappung in den Antwort-Sets kann also Aufgabeninhibition auslösen, oder anders formuliert Aufgabeninhibition tritt nicht auf, wenn kein Konflikt während der Antwortselektion durch nicht-überlappende Antwort-Sets vorhanden ist.

Weitere Experimente, die untersuchen wie zusätzliche visuelle Suche des relevanten Stimulus oder versteckte Sequenzen innerhalb der Blöcke den Konflikt zwischen Aufgaben und damit auch Aufgabeninhibition beeinflussen, sind angesichts der divergierenden Ergebnisse der vorliegenden Experimente und der Arbeiten von Arbuthnott (Arbuthnott & Frank, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002, siehe aber auch Mayr & Keele, 2000) sicher angezeigt.

⁶Ähnliches mag auch für die Studie von auch Mayr & Keele (2000) gelten, die ebenfalls eine, zu den jeweils relevanten Stimuli räumlich kompatible Reaktionsanordnung verwendeten, aber eine visuelle Suchaufgabe von ihren Versuchspersonen verlangten, um den, in der durch den Hinweisreiz vorgegebenen Dimension abweichenden Stimulus zu finden, siehe auch 3.2. Antwortkonflikt und Inhibition für eine ausführlichere Diskussion.

2.4 Aufgaben-Sets als Ziele von Aufgabeninhibition

In diesem letztem Experiment geht es um die Annahme, dass das Ziel des inhibitorischen Prozesses das Aufgaben-Set ist, also die mentale Repräsentation der Aufgabe. In dem Modell zum Aufgabenwechsel von Mayr und Kliegl (2003) werden zwei unterschiedliche Stufen der Aufgabenbearbeitung unterschieden: zum einen ein „retrieval stage“, der sich auf das mit dem Hinweisreiz assoziierte Aufgaben-Set bezieht und ein „application stage“ (siehe auch Mayr, Diedrichsen, Ivry & Keele, 2006 für eine neuroanatomische Dissoziation beider Prozesse). Während des „retrieval stage“ wird das aktuell relevante Aufgaben-Set in das Arbeitsgedächtnis geladen. Der „application stage“ führt dann zur Anwendung der im „retrieval stage“ gefundenen Aufgabenregeln auf den jeweils präsentierten Stimulus. Mayr und Kliegl (2000; 2003) konnten zeigen, dass ein Großteil der beim Aufgabenwechsel entstehenden Kosten mit dem hinweisreizbezogenen Auffinden des richtigen Aufgaben-Sets im Langzeitgedächtnis zusammenhängt. Diese zweigeteilte Struktur in einen hinweisreizbezogenen Prozess der Aktivierung der richtigen Aufgabe und einen Prozess der eigentlichen Aufgabenbearbeitung ist vielen Aufgabenwechselmodellen gemein (siehe u.a. Rogers & Monsell, 1995; Rubinstein et al., 2001).

Da Aufgabeninhibition bisher nur nach intentionaler Vorbereitung auf eine Aufgabe beobachtet wurde, das heißt nur wenn Versuchspersonen wussten, zu welcher Aufgabe sie wechseln sollten (Mayr & Keele, 2000; Hübner et al., 2003), ist die Frage, ob hinweisreizbezogene Prozesse oder aber das Aufgaben-Set Ziel des inhibitorischen Prozesses sind, von großer empirischer und theoretischer Bedeutung für das Konzept von Aufgaben-Sets und Aufgabeninhibition. Auch in den zuvor berichteten Experimenten gingen wir immer implizit davon aus, dass Ziel des Inhibitionsprozesses das Aufgaben-Sets ist und Aufgabeninhibition den Konflikt zwischen Aufgaben-Sets auflöst. Allerdings kann aufgrund der vorher berichteten Experimente nicht sicher geschlossen, dass Inhibition wirklich am Aufgaben-Set ansetzt, da hier keine Manipulation der hinweisreizbezogenen Prozesse, beziehungsweise der Hinweisreize selber stattfand (das heißt, alle Studien verwendeten nur einen Hinweisreiz pro Aufgabe).

Allerdings gibt es ein erstes Experiment, das Evidenz für die Annahme bringt, dass Aufgabeninhibition im Aufgaben-Set wirksam wird. In diesem Experiment

verwendeten Mayr und Kliegl (2003, Experiment 3) zwei Hinweisreize pro Aufgabe. Die Logik hinter diesem experimentellen Vorgehen war wie folgt: Sollte Aufgabeninhibition den „retrieval“-Prozess also z.B. die Repräsentation des Hinweisreizes als kritischen Teil der Aufgabe mitbetreffen, so sollten nur Aufgabensets mit identischem Hinweisreiz oder „retrieval“-Prozess Ziel der Aufgabenhemmung sein. Ist die Hinweisreizrepräsentation oder der „retrieval“-Prozess jedoch unabhängig von dem „application“-Prozess und dieser das eigentliche Ziel der Aufgabenhemmung, dann sollten n-2 Wiederholungskosten unabhängig von der Identität des „retrieval“-Prozesses sein. Die Identität des „retrieval“-Prozesses wurde hierbei über die Identität des Hinweisreizes operationalisiert. Der gleiche Hinweisreiz sollte zum gleichen „retrieval“-Prozess führen.

Die Ergebnisse dieses Experiments lassen die Schlussfolgerung zu, dass Aufgabenhemmung auf der Ebene des „application“-Prozesses, das heißt im Aufgabenset stattfindet und den „retrieval“-Prozess nicht beeinflusst. So fanden Mayr und Kliegl (2003) auch dann signifikante n-2 Wiederholungskosten, wenn der „retrieval“-Prozess für die Aufgabe in Durchgang n-2 verschieden zu dem in Durchgang n war, das heißt keine Wiederholung des Hinweisreizes stattfand. Allerdings fanden Mayr und Kliegl (2003) in der Bedingung mit Wiederholung des Hinweisreizes keine n-2 Wiederholungskosten, sondern einen n-2 Wiederholungsvorteil. Dieses überraschende Ergebnis des Fehlens von n-2 Wiederholungskosten in der eigentlichen Standardbedingung für Aufgabeninhibition, erklären die Autoren mit starken Bahnungsprozessen, die durch die Wiederholung des Hinweisreizes hervorgerufen werden und den Inhibitionsprozess beziehungsweise seine Effekte überdecken. Die Autoren gehen davon aus, dass die größere Anzahl von Hinweisreizen (sechs Hinweisreize statt wie bisher drei) zu wesentlich distinkteren Gedächtnisspuren führt. Diese distinkteren Gedächtnisspuren haben dann wiederum größere Bahnungseffekte im Falle einer Hinweisreizwiederholung zur Folge (Mayr & Kliegl, 2003, S.368). Um ihre Argumentation zu stützen, berichten die Autoren substantielle Korrelationen ($r=0.6$) zwischen den n-2 Wiederholungskosten in den beiden Bedingungen (mit Hinweisreizwiederholungen bzw. ohne Hinweisreizwiederholung). Die Autoren argumentieren, dass diese Korrelation dafür spricht, dass in beiden Bedingungen der gleiche Prozess vorhanden ist, er nur in der Bedingung mit Hinweisreizwiederholung von den starken Bahnungseffekten überdeckt wird.

In diesem letzten Experiment haben wir deshalb versucht, eindeutige Evidenz für die Annahme zu erbringen, dass Aufgabeninhibition auf der Ebene des Aufgaben-Sets liegt. Wie auch Mayr und Kliegl (2003) verwendeten wir perzeptuelle Entscheidungsaufgaben und verlangten von den Versuchspersonen, einen Stimulus entweder nach seiner Form, Farbe und Größe zu klassifizieren. Weiter verwendeten wir symbolische Hinweisreize, die einigermaßen einfach mit den drei perzeptuellen Entscheidungsaufgaben zu assoziieren waren (z.B. Symbole wie \$ für die Formunterscheidung oder Pfeile für die Größenunterscheidung). Mayr und Kliegl (2003) hatten Buchstaben als Hinweisreize verwendet, bei denen keine klare Verbindung zu den Aufgaben bestand (z.B. „V“ und „M“ für die Formunterscheidung). Möglicherweise führten diese sehr abstrakten und sich einander sehr ähnlichen Hinweisreize zu den starken positiven Bahnungseffekten im Falle einer Hinweisreizwiederholung. Außerdem verzichteten wir auf die lange Vorbereitungszeit, die Mayr und Kliegl ihren Versuchspersonen gaben (das CSI in ihrer Studie lag bei 800 ms). Diese hat den vermuteten Bahnungsprozess möglicherweise ebenfalls noch verstärkt. Stattdessen verlängerten wir die Zeit zwischen Reaktion und nächstem Hinweisreiz auf 900 ms, um die Zeit zwischen den Stimuli vergleichbar zu der Studie von Mayr und Kliegl zu halten.

Unsere Vorhersagen für dieses Experiment waren klar: Wenn Aufgabeninhibition innerhalb des Aufgaben-Sets wirksam wird, dann sollten wir n-2 Wiederholungskosten unabhängig von einer Hinweisreizwiederholung von Durchgang n-2 auf Durchgang n finden. Außerdem gingen wir davon aus, dass mit unseren unterschiedlichen Hinweisreizen keine positiven Bahnungseffekte im Falle einer Hinweisreizwiederholung zu finden sein würden, das heißt die n-2 Wiederholungskosten sollten sich nicht zwischen den Bedingungen (mit oder ohne Wiederholung des Hinweisreizes) unterscheiden.

2.4.1 Methode Experiment 7

In Experiment 7 testeten wir die Hypothese, dass das Ziel der Aufgabeninhibition das Aufgaben-Set, also die kognitive Repräsentation der Aufgabe ist. Dementsprechend erwarteten wir n-2 Wiederholungskosten bei einer n-2 Wiederholung einer Aufgabe, unabhängig davon, ob sich auch der Hinweisreiz wiederholte.

Versuchspersonen. Sechzehn Versuchspersonen (davon 12 Frauen, mittleres Alter: 25.7 Jahre) nahmen an Experiment 7 teil und erhielten sieben Euro.

Aufgaben und Stimuli. Die Versuchspersonen mussten entweder die Form, Farbe oder Größe eines dreidimensionalen Stimulus klassifizieren. Die Stimuli wurden im Zentrum eines 15" Monitors dargeboten. Dieser war mit einem IBM kompatiblen PC verbunden. Als Stimuli wurden der Buchstabe „A“ oder die Zahl „4“ entweder in blau oder rot und groß (ca. 1 cm hoch) oder klein (ca. 0.5 cm hoch) dargeboten. Die Kombination der drei Stimulusdimensionen (Form, Farbe und Größe) führte zu acht verschiedenen Stimuli. Die Stimuli wurden innerhalb eines weißen Rechtecks (4.0 cm hoch und 3.5 cm breit) gezeigt. Das Rechteck war von vier Hinweisreizen umgeben, die die jeweils aktuelle Aufgaben anzeigten. Diese konnten sein: vier \$-Zeichen oder %-Zeichen für die Formunterscheidung („A“ vs. „4“), vier Doppelpfeile bzw. vier Pfeilköpfe (<, >) für die Größenunterscheidung („groß“ vs. „klein“) und vier gelbe bzw. vier grüne Quadrate (Kantenlänge 0.5 cm) für die Farbunterscheidung („rot“ vs. „blau“). Die Versuchspersonen antworteten, indem sie die linke bzw. rechte Taste einer externen Tastatur mit ihrem linken beziehungsweise rechten Zeigefinger drückten. Die Antworttasten waren quadratisch und hatten 1.7 cm Kantenlänge. Der Abstand zwischen den beiden Tasten betrug 3.2 cm. Die Versuchspersonen machten das Experiment in einem schallgedämpften, abgedunkelten Raum. Die Distanz zum Bildschirm betrug ca. 50 cm.

Durchführung. Das Experiment wurde in einer einzelnen Sitzung mit jeweils einer Versuchsperson durchgeführt und dauerte ca. 45 min. Die Versuchspersonen sahen die Instruktion auf dem Bildschirm, diese wurde ihnen allerdings auch mündlich erläutert. Sie wurden darüber informiert, dass sie einen dreidimensionalen Stimulus hinsichtlich seiner Form, Farbe oder Größe zu beurteilen hatten, je nachdem, welche Hinweisreize das Rechteck umgaben. Den Versuchspersonen wurde nahegelegt, die Hinweisreize zu nutzen, da alle Stimuli dreidimensional waren und keine Information über die aktuell relevante Aufgabe enthielten. Die Zuordnung einzelner Stimuli zu den Reaktionstasten wurde erklärt und eine Plastikkarte mit der für die jeweilige Versuchsperson relevanten Zuordnung wurde unter den Bildschirm platziert. Die Versuchspersonen begannen dann mit einem Übungsblock, der aus 24 Durchgängen bestand. In der Instruktionen wurden sowohl Reaktionsgeschwindigkeit als auch -genauigkeit betont. Die Versuchsperso-

nen erhielten eine Rückmeldung, wenn sie einen Fehler gemacht hatten, das heißt das Wort „Fehler“ wurde für 500 ms auf dem Bildschirm präsentiert.

Ein Durchgang begann mit einem schwarzen Bildschirm für 900 ms. Dann erschien das weiße Rechteck umgeben von vier Hinweisreizen. Nach 100 ms kam der eigentliche Stimulus. Rahmen, Hinweisreize und Stimulus blieben auf dem Bildschirm, bis die Versuchsperson eine Reaktionstaste betätigte. Pro Experimentalblock gab es 98 Durchgänge. Nach jedem Block konnten die Versuchspersonen eine kurze Pause machen und bekamen ihre mittlere Reaktionszeit mitgeteilt. Insgesamt machte jede Versuchsperson zehn Experimentalblöcke, gefolgt von einem kurzen Interview nach dem Experiment.

Design. Die beiden unabhängigen Variablen waren Aufgabensequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel) und Hinweisreizsequenz (n-2 Wiederholung des Hinweisreizes vs. n-2 Wechsel des Hinweisreizes). Die Aufgabensequenz war pseudo-zufällig, so dass alle Aufgaben, Aufgabentripel und Stimuli gleich häufig vorkamen. Es gab keine unmittelbare Aufgabenwiederholung. Direkte Stimuluswiederholungen waren ebenfalls ausgeschlossen. Alle 8 Stimulus-Reaktions Zuordnungen wurden verwendet, ausbalanciert über die Versuchspersonen. Als abhängige Variablen wurden Reaktionszeiten und Fehlerrate gemessen.

2.4.2 Ergebnisse Experiment 7

Die ersten beiden Durchgänge in jedem Block wurden nicht analysiert. In die Analyse wurden lediglich fehlerfreie Durchgänge, denen mindestens zwei weitere fehlerfreie Durchgänge vorangegangen waren, aufgenommen. Reaktionszeiten, die länger als 3500 ms waren wurden als Ausreißer behandelt und nicht analysiert (1.6% ansonsten fehlerfreier Durchgänge). Wir verglichen die Mittelwerte aller drei Bedingungen (n-2 Wiederholung mit Hinweisreizwiederholung, n-2 Wiederholung ohne Hinweisreizwiederholung sowie n-2 Wechsel (immer ohne Hinweisreizwiederholung) mittels t-test miteinander. Wir erhielten signifikante n-2 Wiederholungskosten in beiden Hinweisreizsequenzen. Die n-2 Wiederholungskosten waren 52 ms, wenn der Hinweisreiz in Durchgang n identisch war mit dem in Durchgang n-2 (01243 ms vs. 1191 ms, $t(1,15)=4.07$, $p=.0001$). Wenn der Hinweisreiz in Durchgang n nicht derselbe war wie in Durchgang n-2 waren die n-2 Wiederholungskosten 64 ms (1254 ms vs. 1191 ms, $t(1,15)=7.14$, $p<.001$). Die n-2

Wiederholungskosten unterschieden sich nicht zwischen den beiden Bedingungen ($t < 1$). Insgesamt machten die Versuchspersonen 3.6% Fehler. In den Fehlern fand sich kein signifikanter Effekt, allerdings zeigten sich auch keine den Reaktionszeiten entgegengesetzten Trends.

2.4.3 Diskussion Experiment 7

Das hier vorgestellte Experiment unterstützt den von Mayr und Kliegl (2003) berichteten Befund, dass Aufgabeninhibition innerhalb des Aufgaben-Sets wirksam ist. Außerdem fanden wir keine Hinweise auf mögliche Bahnungseffekte durch Hinweisreizwiederholungen. Somit liegt die Schlussfolgerung nahe, dass die von Mayr und Kliegl angenommenen Bahnungseffekte vermutlich durch ihre experimentellen Parameter zustande gekommen sind. Hinweisreize scheinen somit im Wesentlichen für das Auffinden des richtigen Aufgaben-Sets im Langzeitgedächtnis nötig zu sein, haben aber keine Bedeutung für Aufgabeninhibition. Aufgabeninhibition spielt erst bei Prozessen der Bearbeitung eines Stimulus eine Rolle.

Kapitel 3

Aufgabeninhibition - Abschlussdiskussion

3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In hier vorgestellten sieben Experimenten haben wir Belege dafür gefunden, dass Aufgabeninhibition ein Mechanismus der Konfliktreduktion zwischen Aufgaben-Sets in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen ist. Auf Aufgabeninhibition als Mechanismus wurde in der vorliegenden Arbeit aus dem Vorliegen von n-2 Wiederholungskosten geschlossen. Dabei wurde angenommen, dass diese Kosten persistierende Inhibition reflektieren, die beim Wechseln zu einer anderen Aufgabe in Durchgang n-1 ausgelöst wird und sich gegen die konkurrierende, noch aktive Aufgabe aus Durchgang n-2 richtet. Wenn Versuchspersonen dann in Durchgang n wieder zu der Aufgabe aus Durchgang n-2 zurückkehren (also eine n-2 Wiederholung wie z.B. ABA, bearbeiten), führt diese persistierende Inhibition zu Kosten, verglichen mit einem n-2 Wechsel (z.B. CBA).

In unserem ersten Experiment griffen wir die Beobachtung, dass n-2 Wiederholungskosten kleiner werden, wenn mehr Zeit zwischen den Aufgaben verstreicht (vgl. u.a. Mayr, 2002), auf. Wir postulierten, dass diese Verringerung von n-2 Wiederholungskosten durch den Zerfall der Aktivierung des zuletzt verwendeten Aufgaben-Sets bedingt ist. Zerfällt die Aktivierung des konkurrierenden Aufgaben-Sets, so entsteht weniger Konflikt bei der Implementierung einer neuen Aufgabe und die alte Aufgabe muss deshalb weniger gehemmt werden. Bisherige Studien manipulierten das RCI zwischen Aufgaben immer nur blockweise und

konnten somit nicht zwischen dem oben beschriebenen Ansatz und einer Alternativerklärung, die den Zerfall von Aufgabeninhibition als Ursache der Reduktion von n-2 Wiederholungskosten sieht, unterscheiden. Durch eine zufällige Manipulation des RCIs von Durchgang zu Durchgang in Experiment 1 konnten wir zeigen, dass die Reduktion von n-2 Wiederholungskosten im Wesentlichen auf den Zerfall der Aktivierung der konkurrierenden Aufgabe zurückzuführen ist. Somit konnte Experiment 1 zeigen, dass Aufgabeninhibition durch das Ausmaß an Konflikt zwischen Aufgaben-Sets moduliert wird.

In dem zweiten hier berichteten Experiment untersuchten wir, ob n-2 Wiederholungskosten auch durch andere Konfliktursachen als residuale Aktivierung von Aufgaben-Sets wie zum Beispiel Aufgabendominanz beeinflussbar sind. In Experiment 2 mussten Versuchspersonen Ziffern in einer von drei möglichen Sprachen benennen. Wir nahmen an, dass die Größe der n-2 Wiederholungskosten, bedingt durch die unterschiedliche Dominanz der Sprachen (z.B. Muttersprache vs. Fremdsprachen) mit der jeweiligen Sprache variieren sollte. Diese Variation ist wiederum auf das unterschiedliche Ausmaß an Konflikt, das durch die Dominanzunterschiede der einzelnen Sprache verursacht wird, zurückzuführen. Wie auch in Experiment 1 erwarteten wir größere n-2 Wiederholungskosten für die dominanteren, und somit stärker konfligierenden Aufgaben. Diese Annahme wurde durch die Daten bestätigt. Wir fanden die größten n-2 Wiederholungskosten für die dominanteste der drei Sprachen, die Muttersprache deutsch. Ferner konnten wir statistisch signifikante n-2 Wiederholungskosten auch für die zweite Fremdsprache beobachten, nicht jedoch für die erste. Für dieses seltsame Effektmuster fanden wir allerdings leider keine plausible Erklärung (siehe Diskussion Experiment 2).

Die Daten aus Experiment 2 stützen somit die Schlussfolgerungen aus Experiment 1, das zeigen konnte dass die Größe der n-2 Wiederholungskosten mit der Stärke des Konflikts zusammenhängt, beziehungsweise mit der Stärke der konkurrierenden Aktivierung einer Aufgabe. Je dominanter die Sprache, von der Versuchspersonen weg wechselten (die also im aktuellen Durchgang nicht mehr relevant war), desto mehr Inhibition war nötig, um eine weniger dominante Sprache erfolgreich zu implementieren. Darüber hinaus liefern die Ergebnisse von Experiment 2 auch einen ersten empirischen Beleg für die Annahme, dass das Wechseln zwischen Sprachen durch inhibitorische Mechanismen unterstützt wird. Ins-

gesamt zeigen diese ersten beiden Experimente Evidenz für die Annahme, dass Aufgabeninhibition nur durch Konflikt zwischen Aufgaben moduliert wird. In beiden Experimenten schlossen wir allerdings nur indirekt auf Konflikt, eben durch die Modulation der n-2 Wiederholungskosten. Ein direkter Test unserer Annahme, dass Aufgabeninhibition ein Mechanismus zur Konfliktreduktion zwischen Aufgaben-Sets ist, fehlt jedoch noch. Deshalb manipulierten wir in den folgenden vier Experimenten Konflikt zwischen Aufgaben direkt und postulierten, dass keine n-2 Wiederholungskosten zu beobachten sein sollten, wenn kein Konflikt zwischen Aufgaben vorliegt.

In der folgenden Studie (Experiment 3-6) untersuchten wir die Hypothese, dass Aufgabeninhibition nur dann zu beobachten ist, wenn Konflikt, insbesondere Konflikt während der Antwortauswahl, zwischen den Aufgaben-Sets vorliegt. Innerhalb eines Aufgaben-Sets können weiter Sub-Sets (vgl. Meiran, 2000; Meiran et al., 2000) unterschieden werden, nämlich Sets beziehungsweise Prozesse, die mehr mit der Stimulusverarbeitung (z.B. Stimulusklassifikation und -kategorisierung, vgl. Rogers & Monsell, 1995; Meiran, 1996) oder mehr mit der Antwortproduktion (z.B. Antwortauswahl und -ausführung sowie spätere Evaluationsprozesse, vgl. Meiran, 2000; Koch & Philipp, 2005; Steinhauser & Hübner, im Druck) zu tun haben. Von daher stellt sich weiter die Frage, welches Sub-Set, beziehungsweise welcher Prozess besonders konfliktanfällig ist und von daher ein mögliches Ziel von Aufgabeninhibition sein kann. Dieser Frage wurde in den Experimenten 3 bis 6 nachgegangen. Dabei gingen wir von dem Antwort-Selektions Ansatz von Koch und Mitarbeiterinnen (Schuch & Koch, 2003; Koch & Philipp, 2005) aus, der annimmt, dass Konflikt zwischen Aufgaben vor allen Dingen durch persistierende Aktivierung der zuletzt ausgeführten Stimuluskategorie-Antwort Regel, beziehungsweise durch das Vorliegen der im Rahmen der Antwortselektion entstehenden Stimuluskategorie-Antwort Verbindungen (Schuch & Koch, 2004) entsteht. Wir manipulierten die Überlappung dieser Stimuluskategorie-Antwort Verbindungen zwischen Aufgaben. In allen vier Experimenten fanden wir nur dann n-2 Wiederholungskosten, wenn die Aufgabe in Durchgang n-1 in ihren Stimuluskategorie-Antwort Verbindungen, also in ihrem Antwort-Set, mit der Aufgabe in Durchgang n-2 überlappte. War das Antwort-Set der Aufgabe in Durchgang n-1 allerdings verschieden von dem der Aufgabe in Durchgang n-2, zeigten

sich sowohl bei der Verwendung von natürlichen wie auch arbiträren Antworten keine n-2 Wiederholungskosten.

Festzuhalten ist dabei, dass es uns durch die Verwendung eines Paradigmas mit vier Aufgaben möglich war, immer eine Kontrollbedingung für das Vorliegen von n-2 Wiederholungskosten im gleichen Experiment mitlaufen zu lassen. In diesen Kontrollbedingungen (den so genannten TTT Tripeln, also Aufgaben, die sowohl im Stimulus-Set wie auch im Antwort-Set überlappten) beobachteten wir in allen Experimenten signifikante n-2 Wiederholungskosten (Experiment 3 und 5) beziehungsweise Tendenzen in Richtung von n-2 Wiederholungskosten (Experiment 4 und 6). Vergleiche zwischen den Experimenten legten weiter nahe, dass Aufgabeninhibition als Prozess bei überlappenden Antwort-Sets eine größere Rolle spielt (Experiment 5), als in Experimenten, in denen nicht alle Aufgaben im Antwort-Set überlappten (Experiment 3 und 4). Weiter fand sich in allen Experimenten eine signifikante Interaktion, die belegte, dass n-2 Wiederholungskosten abhängig waren von der Überlappung des Antwort-Sets der Aufgabe in Durchgang n-1 mit dem der Aufgabe in Durchgang n-2. Experiment 6 konnte zeigen, dass das Ausbleiben von n-2 Wiederholungskosten mit nicht-überlappenden Antwort-Sets nicht durch Überlappung in den verwendeten Stimuli moduliert wurde. Somit liefert diese Studie weitere Evidenz für den Ansatz von Koch und Kolleginnen (Schuch & Koch, 2003; Koch & Philipp, 2005), dass Konflikt zwischen Aufgaben während der Auswahl der für die jeweils aktuelle Aufgabe richtigen Antwort entsteht. Außerdem unterstützten die Daten unsere eigene Idee, dass Konflikt zwischen Aufgabenrepräsentationen über Aufgabeninhibition gelöst wird (Gade & Koch, 2005). Besteht kein Konflikt zwischen den jeweils gerade aktivierten Aufgaben, so finden sich auch keine n-2 Wiederholungskosten als Marker für Aufgabeninhibition.

Nach Mayr und Kliegl (2003) wie auch Schuch und Koch (2003) ist das Ziel des Inhibitionsprozesses das Aufgaben-Set. Erste Evidenz für diese Behauptung kommt aus einem Experiment von Mayr und Kliegl (2003) mit einer 2:1 Hinweisreiz-Aufgaben Zuordnung. Diese Evidenz ist jedoch nicht völlig überzeugend, da keine n-2 Wiederholungskosten in der eigentlichen Standard-Bedingung (das heißt, wenn der Hinweisreiz in Durchgang n-2 derselbe ist wie in Durchgang n) beobachtet werden. In unserem letzten Experiment verwendeten wir ebenfalls eine 2:1 Hinweisreiz-Aufgaben Zuordnung mit perzeptuellen Entscheidungsauf-

gaben. Wir fanden signifikante n-2 Wiederholungskosten, unabhängig davon, ob der Hinweisreiz und somit der „retrieval“-Prozess in Durchgang n derselbe war wie in Durchgang n-2. Somit legen diese Daten den Schluss nahe, dass Aufgabeninhibition während der Aufgabenbearbeitung auftritt, also nach Präsentation des imperativen Stimulus (Experiment 7).

Somit unterstützen unsere Experimente die Annahme, dass Aufgabeninhibition als Mechanismus zu Konfliktreduktion zwischen Aufgaben-Sets konzipiert werden kann und nicht auftritt, wenn kein Konflikt zwischen Aufgabe-Sets vorliegt. Eine wichtige Frage ist, ob es aufgrund der vorliegenden Experimente und der anderen publizierten Studien, die n-2 Wiederholungskosten berichten, möglich ist, die Ursachen des Konfliktes zwischen Aufgaben genauer zu spezifizieren um somit von einem allgemeinen Konfliktmodell (in dem Aufgaben einfach miteinander konfliktieren) zu einer spezifischeren und vor allem überprüfbareren Aussage über die Ursachen von Konflikt zu kommen, der wiederum zur Inhibition konkurrierender Aufgaben führt.

Auch stellt sich die Frage, welcher Art der Inhibitionsprozess ist, der n-2 Wiederholungskosten zugrunde liegt und ob dieser Prozess immer derselbe ist, oder ob n-2 Wiederholungskosten durch unterschiedliche Arten von Inhibition entstehen können? Eng mit diesen beiden Fragen hängt die dritte hier zu diskutierende Frage nach dem Ziel der Inhibition zusammen. Während wir in Experiment 7 zwar zeigen konnten, dass das Ziel der Aufgabeninhibition das Aufgaben-Set ist, bleiben wir weitere Spezifikationen schuldig. Inwieweit ist das Ziel der Inhibition in allen sieben Experimenten, die hier beschrieben wurden und in allen weiteren Arbeiten, die n-2 Wiederholungskosten berichten, dasselbe? Diese Fragen sollen in den nächsten drei Abschnitten erläutert werden.

In den letzten beiden Abschnitten sollen dann noch Implikationen der vorliegenden Arbeit für die Konzeption von Arbeitsgedächtnis und paralleler Aktivierung im kognitiven System diskutiert werden und zuletzt auch die hier in den Experimenten gewählte Vorgehensweisen einer kritischen Betrachtung unterzogen werden.

3.2 Antwortkonflikt und Inhibition

Sowohl Berlyne (1957, 1960) als auch Ach (1905, 1910, 1935) gingen davon aus, dass Konflikt während der Antwortauswahl durch die gleichzeitige Aktivierung mehrerer Antworttendenzen auf ein und denselben Stimulus beziehungsweise die Stimuluskonfiguration, wenn mehrere Stimuli vorliegen, entsteht. Nach dem „conflict monitoring“ Ansatz von Botvinick und Kollegen (2001) führt das Entstehen und Wahrnehmen von Konflikt im kognitiven System zu einer Anpassung von Kontrollmechanismen. Auch die Vertreter dieses Ansatzes beziehen sich in ihren Arbeiten wesentlich auf Konflikt der durch die gleichzeitige Aktivierung mehrerer, miteinander nicht-kompatibler Reaktionstendenzen durch einen oder mehrere Stimuli entsteht (vgl. Botvinick et al., 2001).

In den vorliegenden Experimenten 3 bis 6 gingen wir, ausgehend von den Arbeiten von Schuch und Koch (2003; 2004) und Koch und Philipp (2005) ebenfalls davon aus, dass der Konflikt, der zur Aufgabeneinhibition führt, während der Selektion der im Moment richtigen Stimuluskategorie-Reaktions Regel entsteht und somit also auch Konflikt auf der Ebene von Reaktionstendenzen ist. Eine mögliche Ursache für das Entstehen dieses Konfliktes ist hierbei die Notwendigkeit, bestehende und immer noch aktive Stimuluskategorie-Reaktions Verbindungen zu lösen und diese gemäß der nun relevanten Stimuluskategorie-Reaktions Regel neu zu knüpfen (Schuch & Koch, 2004). Diese Annahme wurde explizit in diesen Experimenten getestet, bei der die oben diskutierte potentielle Ursache von Konflikt für eine Aufgabe nicht gegeben war, da hier keine Überlappung zwischen den einzelnen geforderten Reaktionen vorlag. Stimuluskategorie-Reaktions Verknüpfungen mußten also nicht aufgelöst und wieder neu geschlossen werden und es war auch keine Inhibition nötig, wenn kein Konflikt in diesem Schritt der Aufgabebearbeitung vorlag. Auch fanden wir signifikant kleinere n-2 Wiederholungskosten, wenn Teile der zuletzt verwendeten Stimuluskategorie-Reaktions Regel in der Antwortauswahl für die nun relevante Aufgabe wiederverwendet werden konnten, also wenn kongruente Stimuli vorlagen. Auch hier scheint deutlich weniger Konflikt während der Reaktionsauswahl zu entstehen und das Neuknüpfen von Stimuluskategorie-Reaktions Verbindungen stellt ein geringeres Problem dar¹.

¹Wobei natürlich zu bemerken ist, dass man bei kongruenten Stimuli in Experimenten mit überlappenden Antworten nie sicher sein kann, dass die Versuchsperson wirklich erfolgreich die Auf-

Die Annahme, dass das Auflösen und Neuknüpfen von Stimuluskategorie-Reaktions Verbindungen kritisch ist für die Entstehung von Konflikt und dadurch ausgelöster Aufgabeninhibition, macht nur für Studien Sinn die Kategorisierungsaufgaben verwendeten, in denen die Antworten teilweise oder komplett überlappen (vgl. z.B. die Experiment 1, 3-6 und 7, Mayr, 2001; Mayr & Kliegl, 2003; Philipp & Koch, im Druck; Schuch & Koch, 2003). Somit stellt sich die Frage, inwieweit das Vorliegen von Antwortkonflikt, also die Notwendigkeit eine alte S-R Regel aufzugeben und eine neue zu implementieren, auch kritisch in Experiment 2 und anderen Studien ist, die n-2 Wiederholungskosten berichten, aber keine überlappenden Antwort-Sets wie in Experiment 3 bis 6 operationalisiert hatten. (vgl. Arbuthnott & Franks, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002; Mayr & Keele, 2000; Mayr, 2002). Kann also das allgemeine Konfliktmodell für Aufgabeninhibition eingeschränkt werden auf ein Antwortkonfliktmodell für Aufgabeninhibition? Und gibt es Grund zu der Annahme vergleichbarer Stimuluskategorie-Reaktions Verbindungen, die diesen Konflikt auslösen in anderen Paradigmen, die n-2 Wiederholungskosten berichten?

In Experiment 2 mussten die Versuchspersonen einen gegebenen Stimulus immer in einer von drei möglichen Sprachen benennen. Unsere Ergebnisse legen nahe, dass die S1, also die Muttersprache deutsch, die stärkste persistierende Aktivierung zeigte und dementsprechend auch am stärksten gehemmt werden mußte. Hier führt also die persistierende Aktivierung einer Stimulus-Antwortkategorie Regel wiederum zu Konflikt während der Antwortauswahl und infolgedessen zu Inhibition, um eine neue Antwort erfolgreich ausführen zu können. Anders als in den vorhergehenden Experimenten haben wir es hier vermutlich aber eher mit Stimulus-Antwortkategorie Verbindungen zu tun. Dabei wird angenommen, dass die Versuchspersonen die Sprachen als distinkte Antwortkategorien repräsentierten, mit denen sie auf den jeweils aktuellen Stimulus reagieren mussten. So können, in Analogie zu den von Schuch und Koch (2004) postulierten Stimuluskategorie-Reaktions Verbindungen auch Stimulus-Antwortkategorie Verbindungen angenommen werden, die ebenfalls bei dem Wechsel zu einer neuen relevanten Antwort-

gabe gewechselt hat. Von daher passen die Ergebnisse zwar gut in den theoretischen Rahmen von Schuch und Koch (2004), sind allerdings nur mit Vorsicht zu interpretieren. Von daher scheinen Studien, die die Beziehung von Kongruenz der Stimuli der Aufgabe in Durchgang n-1 zu der Aufgabe in Durchgang n-2 systematisch untersuchen, angezeigt.

kategorie aufgelöst und neu geknüpft werden müssen. Anders als Stimuluskategorie-Reaktions Verbindungen scheinen Stimulus-Antwortkategorie Verbindungen sensitiv gegenüber verlängerter Vorbereitungszeit zu sein, da hier nicht auf das Erscheinen des Stimulus gewartet werden muss, um die richtige Antwortkategorie auszuwählen. Eine Idee hierzu wäre, dass das Wissen um die Verwendung einer bestimmten Antwortkategorie es Versuchspersonen ermöglicht, die Kategorie als solche vorzubereiten, zum Beispiel über einen „rehearsal“ Prozess, und somit nachteiligen Effekten vorhergehender Inhibition entgegen wirken zu können (vgl. Diskussion Experiment 2). So kann für Experiment 2 also angenommen werden, dass ebenfalls Konflikt in der Antwortauswahl, hier verursacht durch die Notwendigkeit Stimulus-Antwortkategorie Verbindungen aufzulösen und neu zu knüpfen eine Rolle bei der Entstehung von Aufgabeninhibition spielt. Generell scheinen also Prozesse, die kurzfristig Verbindungen zwischen Stimuli und Antworten beziehungsweise Reaktionen knüpfen, und damit Lernprozesse darstellen, vorteilhaft zu sein, wenn Versuchspersonen die Aufgabe beibehalten können, aber zu Konflikt zu führen, wenn die Aufgabe und damit der Kontext gewechselt werden muss (Schuch & Koch, 2004; Steinhauser & Hübner, im Druck).

Die Annahme kurzfristiger Verbindungen von antwortbezogenen Repräsentationen gilt möglicherweise auch für die Studie von Philipp und Koch (2005), die n-2 Wiederholungskosten für Reaktionsmodalitäten fanden. In diesen Experimenten mußten die Versuchspersonen je nach Hinweisreiz immer eine rechts vs. links Antwort entweder mit den Händen, Füßen oder mit dem Mund, also vokal, auf den imperativen Stimulus abgeben. Auch hier scheint die Annahme von kurzzeitigen rechts/links-Modalitäts Verbindungen, im Sinne von „gebe eine links-Reaktion mit dem Fuß, sinnvoll, wobei diese dann bei einem Wechsel der Reaktionsmodalität wiederum aufgelöst und neu geknüpft werden mußten.

Die verbleibenden Studien, die das Auftreten von n-2 Wiederholungskosten berichten, verwendeten alle hochgradig (räumlich) kompatible Reaktionen (Arbuthnott & Franks, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002; Mayr & Keele, 2000; Mayr, 2002). Während Mayr und Keele (2000) von ihren Versuchspersonen eine „odd-item out“ Aufgabe bearbeiten und sie auf den in seiner Dimension (z.B. Farbe, Orientierung und Bewegung) jeweils abweichenden Stimulus mit einem räumlich-kompatiblen Tastendruck reagieren ließen, mußten die Versuchspersonen in den Studien von Arbuthnott und Kollegen (Arbuthnott & Franks, 2000;

Arbuthnott & Woodward, 2002) Zahlen, Buchstaben und Symbole klassifizieren und ihre jeweilige Kategorie-Zugehörigkeit benennen. Im Weiteren forderten die beiden Studien von Arbuthnott und Kollegen (Arbuthnott & Franks, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002) und auch die Studie von Mayr und Keele (2000) von ihren Versuchspersonen immer, den jeweils relevanten Stimulus aus einem Display mit mehreren Stimuli herauszufiltern. Diese Stimuli zeigten alle direkt ihre jeweiligen Antworten entweder über ihre räumliche Position (vgl. Mayr & Keele, 2000) oder über ihre Kategoriezugehörigkeit (Arbuthnott & Frank, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002) an. Die Stimulus-Antwort Regeln in diesen Studien lassen sich also wie folgt zusammenfassen: Suche x und reagiere entweder auf Position oder Kategorie von x^2 .

Da x , also die Dimension, auf der der Stimulus abwich (Mayr & Keele, 2000) beziehungsweise die Kategorie des zu klassifizierenden Stimulus (Arbuthnott & Frank, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002), jedoch von Durchgang zu Durchgang verschieden sein konnte, änderte sich auch die jeweilige Stimulus-Reaktions-Verbindung ebenfalls von Durchgang zu Durchgang, beziehungsweise mußte in jedem Durchgang eine neue Verbindung basierend auf dem Hinweisreiz aufgebaut werden. Da allerdings in jedem Display Stimuli vorhanden waren, die mit der alten Verbindung assoziiert waren und diese bahnten, kann man annehmen, dass auch hier der Konflikt in der Reaktionsauswahl vorlag. Dieser Konflikt zwischen aktuellen und älteren Stimulus-Reaktions Regeln wurde durch die Notwendigkeit, alle Stimuli zu betrachten um den jeweils relevanten zu identifizieren ausgelöst und führte wiederum zu Aufgabeninhibition. Möglicherweise führte auch eben erst die Notwendigkeit, den relevanten Stimulus aus einer Gruppe anderer Stimuli herauszusuchen zu den beobachteten $n-2$ Wiederholungskosten, die ansonsten, gegeben diese einfachen Aufgabe und ihre kompatiblen Antworten nicht zu beobachten gewesen wären (vgl. auch Arbuthnott, 2005). Somit scheint auch auch

²Die Studien von Arbuthnott und Kollegen (Arbuthnott & Franks, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002) verlangten dabei noch zusätzlich eine Klassifikation und eben die Benennung der jeweiligen Kategorie. Vergleicht man $n-2$ Wiederholungskosten und allgemeine Reaktionszeiten in diesen beiden verschiedenen Paradigmen von Mayr und Keele (2000) und Arbuthnott und Kollegen (Arbuthnott & Franks, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002), so scheinen diese zusätzliche Klassifikationsaufgabe für Versuchspersonen doch deutlich schwieriger gewesen zu sein, als die relativ einfachen Aufgabe von Mayr und Keele (2000).

in diesen Studien Konflikt im wesentlichen auf der Ebene der Antwortauswahl vorzuliegen.

Interessant ist weiter, dass n-2 Wiederholungskosten in den im letzten Absatz diskutierten Studien kaum durch die Wiederholung von Stimuli oder Antworten moduliert wurde (Mayr & Keele, 2000³). Dieser Befund legt den Schluss nahe, dass nicht die jeweils relevante Stimulusdimension mit einer spezifischen Reaktion (z.B. dem Drücken der Taste links unten) verbunden wurde, sondern eher mit einer generellen Reaktionsbereitschaft im Sinne einer bevorzugten Verarbeitung oder eines attentionalen Fokus.

Eine letzte Studie, die ebenfalls n-2 Wiederholungskosten in einem, von den bisher diskutierten Studien unterschiedlichen Paradigma berichtet, ist die Studie von Mayr (2002). In dieser Studie sahen die Versuchspersonen einen Stimulus in einer Ecke des Bildschirms und sollten unter Verwendung einer durch einen Hinweisreiz angezeigten Regel diesen mental zu einer Endposition verschieben und diese Endposition durch Drücken einer räumlich kompatiblen Taste anzeigen. Mayr (2002) berichtet auch hier signifikante n-2 Wiederholungskosten, die nicht durch Selbstinhibition, also ein Absinken der Aktivations direkt nach der Reaktionsausführung, der zuletzt verwendeten Regel erklärt werden können. Auch waren selbst bei kompletter Wiederholung einer Episode (also gleicher Stimulus und identische Regel) n-2 Wiederholungskosten zu beobachten, die mit einem Ansatz, der davon ausgeht, dass die letzte zu einem Stimulus gehörende Reaktion automatisch im Gedächtnis aktiviert wird, wie es „episodic retrieval“ Ansatz annehmen würde, nicht vereinbar sind. Mayr (2002) folgert daraus, dass in diesem Paradigma die Handlungsregeln inhibiert werden, wenn sie in Konkurrenz zu anderen Regeln stehen. In diesem Paradigma führt also das Anwenden unterschiedlicher Regeln auf einen Stimulus, der lediglich in seiner Ausgangsposition variieren konnte, zu Konflikt, der über Aufgabeninhibition gelöst wird. Da Stimulusposition und Regel eindeutig festlegen, welche Endposition als Antwort gefordert wird, scheint

³Arbuthnott und Kollegen (Arbuthnott & Franks, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002) berichten Effekte von Stimulus- und Antwortwiederholungen leider nicht beziehungsweise nur unzureichend, um daraus Schlüsse über mögliche Einflüsse von eben solchen Wiederholungen auf n-2 Wiederholungskosten ziehen zu können. Zu bemerken ist jedoch, dass Positionswiederholungen Wechseleffekte verringerten (Arbuthnott & Franks, 2000), allerdings wird auch hier zu wenig berichtet, um weitere Schlüsse ziehen zu können.

auch hier die Annahme einer kurzzeitigen Verbindung von Stimulus und Regel vernünftig, um richtig zu reagieren. Da allerdings der Stimulus an jeder Position mit vier verschiedenen Regeln assoziiert werden kann und jede Regel mit einer anderen Endposition und somit Reaktion verbunden ist, müssen auch hier konkurrierende Regeln, insbesondere die zuletzt verwendete und immer noch aktive Regel, gehemmt werden, um zur richtigen Antwort zu gelangen. Somit scheint auch hier Konflikt während der Antwortauswahl der bestimmende Faktor für das Auftreten von $n-2$ Wiederholungskosten zu sein.

Ferner interessant ist, dass Mayr (2002) keine Effekte von Stimulus- und damit auch Antwortwiederholung findet. Wie auch in dem „odd-item out“ Paradigma scheint die räumliche Position des Stimulus keine Rolle zu spielen. Somit scheint das Ziel des Inhibitionsmechanismus die zuletzt verwendete Regel zu sein.

Auch die Inhibition von Antwortmodi, wie sie von Koch und Kollegen (2004) und auch in unserem Experiment 6 aufzutreten scheint, legt nahe, dass Konflikt, der während der Auswahl einer Antwort auftritt zur Inhibition, in diesem Fall Inhibition des konfligierenden Antwortmodus führt. Da in beiden Studien ein Antwortmodus immer einfacher war als die andere, zum Beispiel weil lediglich das Stimulusattribut benannt wurde, konfligierte dieser einfache Antwortmodus mit dem schwierigeren Antwortmodus und musste deshalb gehemmt werden, um nicht zu fehlerhaften Reaktionen zu führen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass alle bisher publizierten Studien sich gut mit der Idee von Konflikt während der Antwortauswahl und dem Auftreten von Aufgabeninhibition vereinbaren zu lassen scheinen. Da wir Stimuli selten um ihrer selbst willen wahrnehmen, sondern meist, weil sie Gegenstand von Handlungen sind (vgl. Ach, 1935), ist es nicht verwunderlich, dass Konflikt zwischen unterschiedlichen Antworttendenzen Ursache für das Auftreten von Aufgabeninhibition ist.

Das Persistieren der zuletzt verwendeten Stimuluskategorie-Reaktions Regel, Handlungsregel, Stimulus-Antwortkategorie Regel oder einfachen S-R Regel, wie in der Studie von Mayr und Keele (2000) behindert die Anwendung der nun relevanten Regel, um zur richtigen Antwort zu gelangen. Konflikt, der durch gleichzeitig aktivierte Antworttendenzen ausgelöst wird, scheint also beim Bearbeiten von Aufgabensequenzen die auslösende Bedingung für Inhibition zu sein. Dabei kann die Regel, die zur richtigen Antwort führt aus unterschiedlichen Bestandtei-

len bestehen: zum einen können Stimuluskategorien mit bestimmten Antworten verbunden sein, oder aber Antwortkategorie mit bestimmten Stimuli. In den Paradigmen von Arbuthnott und Kollegen (Arbuthnott und Frank, 2000; Arbuthnott & Woodward, 2002) wie auch bei Mayr und Keele (2000) zeigt der Stimulus selber entweder in seiner Kategorie-Zugehörigkeit oder aufgrund seiner Position die dazugehörige Antwort an.

Die Schlussfolgerung, dass Konflikt in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen durch miteinander konkurrierende Antworttendenzen ausgelöst wird und zu Aufgabeninhibition führt, wird auch von Studien unterstützt, die mittels funktioneller Bildgebung oder der Untersuchung von Patienten versucht haben, die neuroanatomischen Korrelate von Aufgabeninhibition einzugrenzen (Dreher & Berman, 2002; Mayr et al., 2006). Aufgabeninhibition wird danach im rechten inferior-frontalen Gyrus lokalisiert, ein Areal, das auch in Studien gefunden worden ist, die sich mit der Hemmung von motorischen Antworten (siehe Aron, Robbins & Poldrack, 2004 für einen Übersichtsartikel) und der Umkodierung von der Bedeutung von Antworten (Brass, Ruge, Meiran, Rubin, Koch, Zysset, Prinz & v. Cramon, 2003) beschäftigt haben.

Inhibition von Aufgaben wie sie in den vorliegenden Studien und auch in anderen Paradigmen beobachtet worden ist, kann somit im Sinne des „conflict monitoring“ Ansatzes als Anpassung des kognitiven Systems an Konflikt verstanden werden (vgl. auch Botvinick et al., 2001; 2004; Cohen et al., 2000). Wenn im Wesentlichen persistierende Aktivierung der zuletzt verwendeten Regel, die zur richtigen Antwort führt, die Ursache für Konflikt ist und Aufgabeninhibition in erster Linie dazu dient, Antwortkonflikt aufzulösen, stellt sich die Frage, warum keine n-2 Wiederholungskosten beobachtet werden, wenn keine Hinweisreize und univalente Stimuli verwendet werden (vgl. Mayr & Keele, 2000, Experiment 3)? Außerdem kann die Konzeption von Aufgabeninhibition zur Lösung von Antwortkonflikt auch nicht erklären, warum keine Inhibition gefunden wird, wenn nur unspezifisch ein Wechsel zu einer anderen Aufgabe angezeigt wird, ohne dass die Versuchsperson genau weiß, zu welcher Aufgabe gewechselt werden soll (Hübner et al., 2003).

Möglicherweise führte in dem Paradigma von Mayr und Keele (2000) die Verwendung univalenter Stimuli, zusammen mit der Instruktion, immer auf die deviante Dimension zu achten und diese durch eine räumlich kompatible Antwort

anzuzeigen, nicht notwendigerweise zu der Verwendung von drei verschiedenen Aufgaben-Sets bei den Versuchspersonen, sondern ist von den Versuchspersonen nur als eine Aufgabe (reagiere auf den abweichenden Stimulus) gesehen worden ist (vgl. auch Hübner et al., 2003 für die gleiche Diskussion). Die Verwendung expliziter Hinweise in der zweiten „top-down“- Gruppe legte Versuchspersonen vermutlich eher nahe, die verschiedenen abweichenden Dimensionen als unterschiedliche Aufgaben im Sinne der oben beschriebenen Regel - suche x und reagiere darauf - zu sehen. Sobald Versuchspersonen dies tun, kann auch Konflikt zwischen der zuletzt durchgeführten und der nun zu implementierenden Regel entstehen. Aufgabeninhibition kann dann wiederum zur Auflösung dieses Konfliktes führen. Allerdings scheint, gemessen an der Größe der berichteten n-2 Wiederholungskosten, dieser Konflikt nur sehr klein zu sein.

Hübner und Kollegen (2003) berichten reduzierte Flanker-Interferenz, also geringere Reaktionszeitkosten, wenn die, den Zielreiz flankierenden Stimuli aus der einen Durchgang vorher ausgeführten Aufgabe stammen im Vergleich zu einer Kontrollbedingungen, in dem die Flanker nicht aus der gerade vorher durchgeführten Aufgabe stammen. Hübner und Kollegen schreiben diese Reduktion dem Wirken desselben Mechanismus zurück, der auch zu n-2 Wiederholungskosten führt. Die Reduktion von Flankerinterferenz ist allerdings nur dann zu beobachten, wenn die Identität der Aufgabe, zu der gewechselt werden soll, eindeutig bekannt ist⁴. Dieser Befund legt eine (intentionale) Inhibition von nicht mehr relevanten Aufgaben-Sets beziehungsweise Stimulus-Reaktions-Zuordnungen nahe, die sich speziell auf die zuletzt durchgeführte Aufgabe richtet und womöglich schon in der Phase der Aufgabenvorbereitung beginnt. Inwieweit diese Art von Inhibition allerdings identisch ist mit der in den vorliegenden Studien untersuchten Aufgabeninhibition, die zu n-2 Wiederholungskosten führt, bleibt ungeklärt (obwohl die Autoren so argumentieren, als seien die beiden Mechanismen identisch und somit sowohl die Ursache der reduzierten Flankerinterferenz als auch der von Mayr und Keele (2000) beobachteten n-2 Wiederholungskosten). So zeigen Hübner und Kollegen in ihrer Arbeit keine eindeutige Evidenz, dass n-2 Wiederholungskosten in ihrem Paradigma auftreten, sondern lediglich reduzierte Flanker-Effekte, die

⁴Dieser Effekt gilt allerdings nur für die Reaktionszeitdaten. Die Fehlerdaten aus Experiment 2 legen nahe, dass Interferenz durch Flanker, die Stimuli der Aufgabe in Durchgang n-1 waren, bei unspezifischen Hinweisreizen ebenfalls reduziert war.

auf einem n-1 Wechsel der Aufgabe basiert (das heißt die Aufgabe in n-1 war eine andere als die in Durchgang n). Ferner manipulieren die Autoren eine Reihe von Parametern in ihrem Experiment (z.B. die Anzahl der Wiederholungen vor dem Wechsel, Aufgabenwechsel mit Flanker- Stimuli oder ohne), lassen aber Fragen bezüglich des Einflusses dieser Manipulationen auf die reduzierte Flankerinterferenz offen. Auch wird kein Vergleich zwischen den Experimenten berichtet, um zu sehen, inwieweit sich spezifische Hinweisreize (wie in Experiment 1) und unspezifische Hinweisreize (wie in Experiment 2) wirklich signifikant voneinander und in ihrem Einfluss auf die Flanker-Interferenz unterscheiden.

Generell scheinen diese Daten, obwohl sie einen interessanten Effekt berichten, wenig über die Abhängigkeit von n-2 Wiederholungskosten von intentionaler Aufgabenvorbereitung auszusagen (vgl. auch Dreisbach et al., 2002). Dennoch bleibt die Frage bestehen, welche Rolle intentionale Vorbereitung für das Entstehen von n-2 Wiederholungskosten spielt, beziehungsweise wie wichtig eine Instruktion ist, die unterschiedliche, potentiell miteinander konkurrierende Aufgaben-Sets nahelegt für die Beobachtung von n-2 Wiederholungskosten ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in Studien, die n-2 Wiederholungskosten als Marker für Aufgabeninhibition berichten, Konflikt während der Antwortauswahl der Auslöser für das Auftreten dieser n-2 Wiederholungskosten zu sein scheint. Diese Ursache für Aufgabeninhibition ist stimmig mit der ursprünglichen Konzeption von Aufgabeninhibition als Inhibitionsprozess, der sich gegen konkurrierende Aufgaben-Sets richtet, um eine erfolgreiche Implementation einer neuen Aufgabe sicherzustellen und Perseverationen zu verhindern (vgl. Mayr & Keele, 2000).

3.3 Inhibitionsmechanismen

Die vorhergehende Diskussion aller Studien, die n-2 Wiederholungskosten berichtet haben, führte zu dem Schluss, dass Konflikt während der Antwortauswahl vermutlich die Auslösebedingung für Aufgabeninhibition ist. Allerdings wurde bei dieser Diskussion nicht weiter darauf eingegangen, inwieweit dem gleichen Phänomen, also der Beobachtung von n-2 Wiederholungskosten, auch immer ein vergleichbarer Inhibitionsprozess zugrunde lag. Diese, auch aus den Studien ausgeklammerte Diskussion soll hier nun aufgegriffen werden.

Generell unterscheidet man in der kognitiven Psychologie zwei Arten von Inhibition: Selbstinhibition und laterale Inhibition (vgl. Arbuthnott, 1995 für einen Übersichtsartikel). Unter Selbstinhibition versteht man das Absinken des Aktivationsniveaus der gerade verwendeten Repräsentation einer Aufgabe oder Handlung in einen weniger erregbaren Zustand direkt nach ihrer Ausführung. Selbstinhibition spielt insbesondere in sequentiellen Leistungen, wie zum Beispiel Sprachproduktion oder aber in der Modellierung von kognitiven Prozessen durch neuronale Netze, eine Rolle (Arbuthnott, 1995; McKay, 1987). Selbstinhibition ermöglicht so flexibles Wechseln zwischen verschiedenen Repräsentationen und verringert das Perseverationsrisiko. Ferner wichtig für die Konzeption von Selbstinhibitionsmechanismen ist, dass diese nach Abgabe der Reaktion einsetzen und somit nicht abhängig von nachfolgenden oder vorhergehenden Aufgaben oder Handlungen sind (Arbuthnott, 1995; McKay, 1987).

Für die vorliegende Arbeit und den hier untersuchten Inhibitionseffekt scheint allerdings die zweite Art von Inhibition, laterale Inhibition, der wesentlich wichtigere Prozess zu sein. Laterale Inhibition wird dabei als Inhibition eines Aufgaben-Sets (oder Handlungsschemas) durch ein konkurrierendes Aufgaben-Sets verstanden. Ziel lateraler Inhibition ist die Reduktion von Konflikt und das Sicherstellen einer stabilen Ausführung des inhibierenden Aufgaben-Sets (oder Handlungsschemas, vgl. Arbuthnott, 1995; Houghton & Tipper, 1996; Norman & Shallice, 1986). Mayr und Keele (2000) gehen ebenfalls davon aus, dass der Inhibitionsmechanismus, der zu $n-2$ Wiederholungskosten führt, sich gegen das konkurrierende Aufgaben-Set während der Implementation eines neuen Aufgaben-Sets richtet und somit eher mit lateraler Inhibition vereinbar ist. Evidenz für die Konzeption von Aufgabeninhibition als laterale Inhibition kommt aus ihrem zweiten Experiment, in dem sie größere $n-2$ Wiederholungskosten berichten, wenn Zielreize aus der Aufgabe in Durchgang $n-2$ als Distraktoren in Durchgang $n-1$ vorhanden sind im Vergleich zu Durchgängen, in denen keine Stimuli aus dem Durchgang $n-2$ wiederholt werden. Ein Selbstinhibitionsansatz von Aufgabeninhibition hätte Probleme, diesen Effekt zu erklären, da Selbstinhibition sofort nach dem Ausführen einer Antwort einsetzt und somit nicht durch Wiederholungen von Teilen der Aufgabe beeinflusst werden sollte. Weitere Evidenz für die Annahme von Aufgabeninhibition als lateralem Inhibitionsprozess liefert auch die Studie von Schuch und Koch (2003), die $n-2$ Wiederholungskosten in Abhängigkeit von Antwortse-

lektion berichtet und keine, beziehungsweise stark reduzierte n-2 Wiederholungskosten fanden, wenn der n-1te Durchgang ein no-go Durchgang war.

Zu diesen Schlussfolgerungen über Aufgabeninhibition als lateralen Inhibitionsprozess passen auch die von uns berichteten Daten der Experimente 3 bis 6. Hier fanden wir keine n-2 Wiederholungskosten, wenn die Antworten der Aufgaben in Durchgang n-2 und Durchgang n-1 nicht überlappten. Auch die berichteten Kongruenzeffekte aus den Experimenten 3-5, die eine Reduktion der n-2 Wiederholungskosten zeigten, wenn der Stimulus in der Aufgabe in Durchgang n-1 kongruent zu der Aufgabe in Durchgang n-2 war, legen nahe, dass der Inhibitionsprozess, der zu n-2 Wiederholungskosten führt gegen die konkurrierende Aufgabe gerichtet ist und in Durchgang n-1 beginnt. Somit ist das Entstehen von n-2 Wiederholungskosten nicht mit Selbstinhibition zu erklären. Weitere Einflüsse auf die Größe der n-2 Wiederholungskosten fanden wir auch in Experiment 2. Hier zeigte sich, dass n-2 Wiederholungskosten durch die Sprache, zu der man wechselt, beeinflusst werden (vgl. Diskussion Experiment 2). So fanden wir größere n-2 Wiederholungskosten, wenn die Sprache in Durchgang n-1 aus der gleichen Sprachfamilie stammte und von daher vermutlich mehr mit der zu implementierenden Sprache in Konflikt stand. Ebenso legt Experiment 1, das eine Abhängigkeit der n-2 Wiederholungskosten von dem Intervall zwischen den Aufgaben in Durchgang n-2 und Durchgang n-1 fand, eher einen lateralen Inhibitionsprozess nahe.

Die Modulation der n-2 Wiederholungskosten durch die Aufgabe in Durchgang n-1 lässt somit zwei Schlussfolgerungen zu: Der Prozess, der zu n-2 Wiederholungskosten führt, tritt während der Bearbeitung der Aufgabe in Durchgang n-1 auf, vermutlich während der Antwortselektion, und er wird zweitens durch das Ausmaß des Konfliktes zwischen den beiden konkurrierenden Aufgaben-Sets moduliert. Diese beiden Schlussfolgerungen lassen sich gut mit einem lateralen Inhibitionsprozess, dessen Ziel das konkurrierende Aufgaben-Set ist, erklären und sind nicht mit einem Selbstinhibitionsprozess vereinbar.

Offen bleibt noch, inwieweit die Inhibition von Antwortmodi, die von Koch und Kollegen (2004) gefunden wurde und die auch in Experiment 6 der vorliegenden Arbeit eine Rolle zu spielen scheint, ebenfalls mit lateraler Inhibition erklärt werden kann. Auf den ersten Blick scheint hier ein Selbstinhibitionsansatz mehr Sinn zu machen: Die Versuchspersonen wussten in der Studie von Koch und Kol-

legen (2004) sowie in Experiment 6, dass direkte Aufgabenwiederholungen nicht vorkommen konnten. Von daher erscheint es plausibel, die „leichte“ Antwort immer gleich nach ihrer Ausführung zu hemmen und somit sicher zu stellen, dass man wieder zu den „schwierigeren“ Antworten zurückwechseln kann. Das würde die n-2 Wiederholungskosten für die DAD (Koch et al., 2004) beziehungsweise UTU Tripel (vgl. Experiment 6) erklären.

Allerdings finden Koch und Kollegen (2004) auch n-2 Wiederholungskosten, wenn die Aufgabe in Durchgang n-1 eine univalente Antwort hat, also das gleichzeitige Drücken beider Antworttasten erfordert. Sie erklären diesen Befund damit, dass die Inhibition, die zu den n-2 Wiederholungskosten in diesen, mit den TUT Tripeln aus Experiment 3 bis 6 vergleichbaren, Tripeln führt sich somit nicht nur auf den Antwortmodus erstrecken kann (two-choice vs. single response), sondern auch Teile der vorhergehenden Aufgabe mitbetreffen muss. Also scheint auch hier laterale Inhibition die beobachteten Effekte besser erklären zu können als Selbstinhibition. Ob diese Schlussfolgerung uneingeschränkt auch für den angenommenen Inhibitionsprozess in Experiment 6 gilt, ist leider nicht zu entscheiden. Weitere Studien, die sich der Rolle unterschiedlicher Antwortmodi innerhalb der Bearbeitung von Aufgabensequenzen annehmen scheinen nötig, um festzustellen, ob diese ebenfalls Ziel von Inhibition sein können (vgl. auch Swainson, Cunnington, Jackson, Rorden, Peters, Morris & Jackson, 2003 für die Verwendung von Antwortmodi als eigene Aufgaben und somit Ziel von Inhibitionsprozessen).

Generell sprechen die berichteten Effekte in dieser und anderen Studien zu n-2 Wiederholungskosten somit dafür, dass der Prozess, der n-2 Wiederholungskosten zugrunde liegt, laterale Inhibition der zuletzt ausgeführten und deshalb am stärksten konkurrierenden Aufgabe ist. Ein Selbstinhibitionsansatz hätte Schwierigkeiten, die in dieser Studie gezeigte Modulation der n-2 Wiederholungskosten zu erklären. Aus vorheriger Diskussion können wir weiter schließen, dass Aufgabeninhibition durch Konflikt während der Antwortauswahl ausgelöst wird. Eine Frage, die sich nun stellt, ist, inwieweit es möglich ist, das Ziel des Inhibitionsprozesses innerhalb des Aufgaben-Sets genauer zu spezifizieren. Dies erscheint in soweit möglich, wie es möglich ist, Ähnlichkeiten zwischen den anzunehmenden kognitiven Repräsentationen der einzelnen in den unterschiedlichen Studien verwendeten Aufgaben zu entdecken.

3.4 Aufgaben-Sets als Ziele von Inhibition

N-2 Wiederholungskosten entstehen durch laterale Inhibition innerhalb des Aufgaben-Sets, die durch Konflikt in der Antwortauswahl ausgelöst wird. In dem vorliegenden Abschnitt der Abschlussdiskussion soll noch einmal auf das Konzept eines Aufgaben-Sets als Ziel von Aufgabeneinhibition eingegangen werden.

In der kognitiven Psychologie wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass unser Handeln durch mentale Repräsentationen der Handlung, die wir gerade ausführen, geleitet wird (vgl. u.a. Mayr, 2003; Norman & Shallice, 1986; Cooper & Shallice, 2000). Im Bereich der Forschung zum Aufgabenwechsel werden solche mentalen Repräsentationen nach Rogers und Monsell (1995) gerne als Aufgaben-Sets bezeichnet. Dabei wird meist stillschweigend davon ausgegangen, dass einander ähnliche Aufgaben, zum Beispiel alle perzeptuellen Klassifikationsaufgaben, auch einander ähnliche mentale Repräsentationen haben. Generell wird aber die Frage, was denn nun eine Aufgabe genau ist und wie man sich ein solches Aufgaben-Set vorstellen muss, gerne umgangen oder extrem reduziert (z.B. eine Aufgabe wird gleichgesetzt mit einer S-R Regel, ohne dass auf andere Prozesse, die vor der Anwendung der S-R Regel liegen eingegangen wird, wie zum Beispiel Stimulusklassifikation). Nicht selten wird im Bereich der Forschung zum Aufgabenwechsel auch einfach das Vorliegen verschiedener Aufgaben-Sets aus dem Vorliegen von Wechselkosten geschlossen (Philipp, 2005).

Der Befund aus Experiment 7, dass das Aufgaben-Set Ziel des Aufgabeneinhibitionsprozesses ist, ist nicht nur für die Konzeption dieses Mechanismus wichtig, sondern bringt auch weitere Evidenz für die Existenz von Aufgaben-Sets, zwischen denen die Versuchspersonen in der Bearbeitung von Aufgaben-Sequenzen flexibel hin und her wechseln können (vgl. Rogers & Monsell, 1995). Diese Annahme wurde kürzlich durch Studien von Logan und Kollegen (Logan & Bundesen, 2003; Schneider & Logan, 2005) angegriffen. Da bisherige Paradigmen zum Aufgabenwechsel immer nur einen Hinweisreiz pro Aufgabe verwendeten, sind Hinweisreizwechsel und Aufgabenwechsel konfundiert (vgl. Logan & Bundesen, 2003; Logan & Schneider, im Druck; Schneider & Logan, 2005) und lassen somit keine Schlussfolgerung zu, was nun zu den beobachteten Verschlechterungen in der Leistung der Versuchspersonen führt, der Wechsel der Aufgabe oder der Wechsel des Hinweisreizes.

Logan und Bundesen verwendeten eine 2:1 Hinweisreiz- Aufgaben Zuordnung und zeigten, dass die Kosten, die beim Wechseln zu einer neuen Aufgabe entstehen (verglichen mit dem Wiederholen derselben Aufgabe) im Wesentlichen durch den Wechsel des Hinweisreizes bedingt sind und eigentliche Aufgabenwechselkosten nicht auftraten. In der Zuspitzung ihrer Argumentation erklären Logan und Bundesen (2003; vgl. auch Logan & Schneider, im Druck; Schneider & Logan, 2005), dass es eigentlich keinen Beleg für die Annahme gibt, dass Versuchspersonen in einem Aufgabenwechselparadigma wirklich über so etwas wie mentale Repräsentationen von Aufgaben verfügen und dass Versuchspersonen das Experiment lediglich auf der Basis von Hinweisreiz-Stimulus Gruppierungen bearbeiten, die die geforderte Antwort eindeutig festlegen würden.

Obwohl die Annahme von Hinweisreiz-Stimulus Gruppierungen, die die zu gebende Antwort bestimmen, intuitiv plausibel ist und dies vermutlich auch in Aufgabenwechsexperimenten eine noch genauer zu klärende Rolle spielt, scheinen doch nicht alle Befunde aus Experimenten, die Aufgaben über Hinweisreize anzeigten, gefunden wurden, mit dieser Annahme in Einklang zu bringen zu sein (vgl. auch Forstmann, Brass & Koch, im Druck; Gade & Koch, in Vorbereitung, Monsell & Mizon, im Druck).

Kritisch an dem Modell von Schneider und Logan (2005) und der Idee, dass es immer Hinweisreiz-Stimulus Gruppierungen sind, auf die Versuchspersonen reagieren, ist ferner, dass hier Inhibitionsprozesse keine Rolle zu spielen scheinen. Das Modell kann also für die beobachtbaren und empirisch gut belegten n-2 Wiederholungskosten keine Erklärung bieten, da es nur von hinweisreizbasierten Bahnungsprozessen und Aktivationsmechanismen ausgeht (vgl. Logan & Bundesen, 2003; Schneider & Logan, 2005).

Generell scheint es also, trotz der Kritik von Logan und Kollegen (Logan & Bundesen, 2003, Schneider & Logan, 2005) plausibel anzunehmen, dass es mentale Repräsentationen von Aufgaben, so genannte Aufgaben-Sets, gibt. Bezüglich dieser wird angenommen, dass die Versuchspersonen die jeweiligen Aufgaben-Sets auf der Basis der Instruktion, die sie schriftlich oder mündlich zu Beginn des Experiments erhält, aufbauen. Erklärt man der Versuchsperson, dass von ihr im Folgenden verlangt wird, Stimuli als gerade oder ungerade beziehungsweise größer oder kleiner als fünf zu klassifizieren, so führt dies zu den beiden Aufgaben-Sets, die die Versuchsperson in den folgenden 45 Minuten verwendet. Was

eine Aufgabe ist, bestimmt somit im Wesentlichen der Experimentator. Dementsprechend gibt es auch Befunde innerhalb des Aufgabenwechselparadigmas, die zeigen, dass eigentlich stabile Effekte, die oft beobachtet worden sind, wenn Versuchspersonen zwischen zwei oder mehr Aufgaben wechseln, wie zum Beispiel Wechselkosten, verschwinden können, wenn hierarchische Aufgabenstrukturen instruiert werden, die bei den Versuchspersonen offensichtlich zur Bildung einer anderen Repräsentation der Aufgaben führen (vgl. Lien & Ruthruff, 2003; Koch et al., 2006).

Aufgaben-Sets sind demnach flexibel an die Situationen anpassbar, in denen sie gebraucht werden und das Verwenden der gleichen Aufgabe in unterschiedlichen experimentellen Kontexten stellt somit keine Garantie dafür dar, dass Versuchspersonen über Kontexte hinweg die Aufgabe auch gleich repräsentieren (z.B. kann sie einmal als Endpunkt in einer Sequenz eingebunden sein oder als Übergangspunkt in eine komplexere, weil hierarchisch organisierte Aufgabe). Gegeben diese Flexibilität, die es dem kognitiven System erlaubt, Aufgabenrepräsentationen an sich ändernde Kontexte anzupassen (und vermutlich damit auch die verbundenen Prozesse), sind Fragen nach dem Ort innerhalb eines Aufgaben-Sets, an dem Aufgabeninhibition ihre Wirkung entfaltet immer schwierig. Orte innerhalb eines Aufgaben-Sets zu bestimmen gelingt nur dann, wenn man weiß (oder über die Instruktion sicherstellen kann), wie Versuchspersonen die Aufgaben repräsentieren und auch Hypothesen darüber hat, welche Prozesse innerhalb der Aufgabenbearbeitung zu Konflikt führen können.

Die Studie von Schuch und Koch (2003), unsere Experimente 1, 3-6 und 7 verwendeten alle Klassifikationsaufgaben, die von den Versuchspersonen verlangten, einen Stimulus gemäß einer vorgegebenen Dimensionen oder Kategorie zu klassifizieren und dementsprechend eine Antwort auszuwählen. Alle diese Aufgaben legen nahe, dass die Antwortauswahl der Prozess ist, an dem Konflikt, verursacht von persistierender Aktivierung der letzten Stimuluskategorie-Antwort Regel, Aufgabeninhibition auslöst. Schuch und Koch (2003) postulierten, dass das Ziel dieser Inhibition eben diese letzte Stimuluskategorie-Antwort Regel ist, die wiederum zu den bereits erwähnten Stimuluskategorie-Antwort Verbindungen führt. Inhibition führt also zur Unterdrückung der zuletzt verwendeten Stimuluskategorie-Antwort Regel.

Für Experiment 2 postulierten wir, dass Versuchspersonen Stimulus-Antwortkategorie Verknüpfungen bilden, und dass diese persistieren und so zu Konflikt bei einem Wechsel der Antwortkategorie führen. Ein möglicher Ort, an dem Inhibition hier ihre Wirkung entfalten könnte, wäre somit die Antwortkategorie, die zuletzt verwendet worden ist. Ein gemeinsamer Ort der Inhibition scheint somit vor allem über eine vergleichbare Repräsentation der Aufgabe auffindbar zu sein.

Mayr und Keele (2000) postulieren sehr allgemein dass das Aufgaben-Set inhibiert wird. Dies würde allerdings auch bedeuten, dass Prozesse der Stimulusverarbeitung und -klassifikation ebenfalls Nachwirkungen eines inhibitorischen Prozesses aufweisen sollten. Studien, die zeigen, dass auch diese stimulusbezogenen Prozesse von Aufgabeninhibition beeinflusst werden, beziehungsweise dass auch hier Konflikt entstehen kann, der zur Aufgabeninhibition führt, fehlen bisher noch, sind aber dringend notwendig um ein komplettes Bild über die einzelnen Teilkomponenten eines Aufgaben-Sets und ihre Rolle bei der Entstehung von Aufgabeninhibition zu bekommen.

Das möglicherweise mehr gehemmt wird als die Repräsentationen, die für die Antwortauswahl eine Rolle spielen, legt die Studie von Koch und Kollegen (2004) nahe, die fand, dass n-2 Wiederholungskosten auch auftraten, wenn die Aufgabe in Durchgang n-1 eine von den anderen Aufgaben verschiedene, weil einfachere Antwort erforderte. Dieses Befund legt nahe, dass Stimuluskategorien und/oder Prozesse der Stimulusverarbeitung Ziel von Inhibition sein können. Wäre nur der Antwortmodus Ziel der Hemmung, sollten sich n-2 Wiederholungen nach einem Wechsel des Antwortmodus nicht von n-2 Wechseln unterscheiden.

Generell ist somit zu sagen, dass Aussagen über den Teil (also das Sub-Set, die Regel oder den Prozess) der Ziel der Aufgabeninhibition ist, schwierig ist, gegeben die Tatsache, dass immer nur vermutet werden kann, wie Versuchspersonen eigentlich die ihnen gegebenen Aufgaben repräsentieren. Nur soviel lässt sich mit einiger Sicherheit, basierend auf der vorliegenden Arbeit und anderen Studien sagen: Aufgabeninhibition entsteht während der Antwortselektion und löst den dort vorliegenden Konflikt zwischen konkurrierenden Antworttendenzen. Ziel der Aufgabeninhibition ist somit wahrscheinlich die zur Antwort führende (Stimulus-Antwort) Regel, die ihrerseits wiederum zum Aufbau kurzzeitigen Verbindungen von stimulus- und antwortbezogenen Komponenten der jeweils aktuellen Aufga-

be führt (vgl. auch Schuch & Koch, 2004). Aufgabeninhibition muss also in ihrer Zielwahl genauso flexibel gedacht werden wie ein Aufgaben-Set.

Eine Alternative zu dem flexibel gedachten Ziel der Aufgabeninhibition wäre anzunehmen, dass es nicht nur einen Inhibitionsmechanismus bei der Bearbeitung von Aufgabensequenzen gibt, sondern mehrere, die möglicherweise ihre Wirkung dann auch an unterschiedlichen Stellen innerhalb des Aufgaben-Sets entfalten können. Bisher haben wir Aufgabeninhibition immer mit dem Prozess gleichgesetzt, der zu n-2 Wiederholungskosten führt. Andere Studien allerdings, die Aufgabeninhibition postuliert haben, konnten nicht notwendigerweise (meist aufgrund des verwendeten experimentellen Designs) n-2 Wiederholungskosten berichten. Auch kann aus dem Vorliegen von n-2 Wiederholungskosten nicht auf die Art der Inhibition zurückgeschlossen werden (vgl. den vorherigen Abschnitt der Abschlussdiskussion), sondern es müssen weitere Faktoren in Betracht gezogen werden. So bleibt die Frage, ob es nur einen einzigen Inhibitionsmechanismus in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen gibt, bislang ungeklärt. Auch die vorliegende Arbeit kann zu dieser Frage empirisch nichts beitragen, da sie ebenfalls lediglich auf laterale Aufgabeninhibition gemessen als n-2 Wiederholungskosten fokussierte. Studien, die versuchen, verschiedene inhibitorische Prozesse zu dissoziieren, scheinen von daher angezeigt (vgl. Waszak et al., 2005 für einen solchen Ansatz zur Trennung von Kompetitor- und Negative Priming in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen).

Ferner konnte eine latent-variabel Analyse von Friedman und Miyake (2004) ebenfalls Evidenz für die Annahme finden, dass Inhibition, die durch Konflikt während der Reaktionsauswahl ausgelöst wird (also Inhibition präpotenter Reaktionen und Auflösen von Distraktorinterferenz wie zum Beispiel in der Eriksen-Flanker Aufgabe, wenn die flankierenden Stimuli eine andere Antwort aktivieren als der Zielstimulus), sich von anderen Mechanismen, die Konflikt im kognitiven System auflösen, unterscheidet (z.B. von proaktiver Interferenz, also dem negativen Einfluss, den früher gelernter Inhalte auf neu gelernte haben können). Die Arbeit von Friedman und Miyake (2004) legt somit eine Differenzierung der verschiedenen Inhibitionsmechanismen in zwei Klassen nahe: solche, die mehr mit Antwortkonflikt zu tun haben und solche, die mit der Überwindung proaktiver Interferenz befasst sind. Somit passt die Arbeit von Friedman und Miyake (2004) gut zu Untersuchungen, die sich mit den neuronalen Korrelaten der einen oder

anderen Art von Inhibition beschäftigt haben. Während die Inhibition präpotenter Reaktionen und Distraktorinterferenz meist mit dem bereits erwähnten rechten inferior-frontalen Gyrus in Verbindung gebracht wird (Aron et al., 2004), zeigt sich bei der Überwindung von proaktiver Interferenz in Gedächtnisaufgaben Aktivierung im linken präfrontalen Gyrus (Johnides, Badre, Curtis, Thompson-Schill & Smith, 2002; Postle et al., 2004).

Problematisch sind latent-variable Analysen allerdings dahingehend, dass zum einen die Art der identifizierten Konstrukte von den vorher in die Analyse eingegeben Paradigmen (also z.B. das Stop-Signal Paradigma) abhängt, die ja an sich schon wieder Vorannahmen über das machen, was sie messen (beziehungsweise aufgrund theoretischer Vorannahmen dem einen oder anderen Faktor zugeschlagen werden, insbesondere bei konfirmatorischen Faktorenanalysen wie der in Friedman und Miyake (2004)). Ferner wird aus der Arbeit von Friedman und Miyake (2004) auch nicht ganz klar, inwieweit die Inhibition, die nötig ist um Distraktorinterferenz zu überwinden, sich konzeptuell klar von der Inhibition präpotenter Reaktionen unterscheidet. In der Regel stellt die Inhibition präpotenter Reaktionen einen speziellen Fall der Inhibition, die nötig ist um Distraktorinterferenz zu überwinden, dar. So erscheint es auch nicht verwunderlich, dass diese beiden Faktoren sich nicht unterscheiden sondern gemeinsam einen Faktor bilden.

So ist die Frage, ob n-2 Wiederholungskosten in jedem Fall den gleichen Inhibitionsmechanismus widerspiegeln derzeit nicht zu entscheiden. Möglicherweise können hier Studien, die neuronale Korrelate der verschiedenen Prozesse besser fassen können, einen wichtige Beitrag zu der Frage, ob es nur einen Inhibitionsmechanismus in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen gibt, leisten. Auch erscheint es sinnvoll, die Idee von Friedman und Miyake (2004), dass Inhibition nicht notwendigerweise ein einheitliches Konstrukt sein muss, weiter zu verfolgen (vgl. auch Band & van Boxtel, 1999; Eimer & Schlaghecken, 2004). Generell spielt dabei die Tatsache, dass auf Inhibitionsprozesse immer nur indirekt aus vorliegenden inhibitorischen Nacheffekten (wie z.B. n-2 Wiederholungskosten) geschlossen werden kann, eine methodisch wichtige Begrenzung. In vielen Studien, die Inhibitionsprozesse annehmen, werden alternative Ansätze (wie zum Beispiel „carry-over“ Effekte von Aktivierung oder „episodic retrieval“-Ansätze) nicht ausreichend geprüft. So scheint also mehr Vorsicht in der Verwendung des Begriffs „Inhibition“ angezeigt und weitere Forschung zu Inhibitionsmechanismen,

die Paradigmen verwendet, in denen Alternativerklärungen so gut wie möglich ausgeschlossen werden (vgl. auch Mayr & Keele, 2000) sinnvoll.

3.5 Arbeitsgedächtnis und Aufgabensequenzen

Aufgabeninhibition wurde im Modell von Mayr und Keele (2000; vgl. auch Mayr & Kliegl, 2003) als notwendiger Prozess angesehen, um eine Überladung des Arbeitsgedächtnisses zu verhindern. Die dahinter stehende Idee war, dass immer nur eine Aufgabe im Arbeitsgedächtnis aktiv sein kann und nach ihrer Durchführung durch den Inhibitionsprozess wieder zurück ins Langzeitgedächtnis geschickt werden muss, um Platz für das nächste Aufgaben-Set zu machen (Mayr & Keele, 2000; Mayr & Kliegl, 2003, vgl. aber auch Dehaene et al., 1998).

Dabei gehen Mayr und Kollegen allerdings nicht von einem klassischen Speicher innerhalb eines separaten Arbeitsgedächtnissystems aus (vgl. Baddeley & Hitch, 1974), sondern postulieren eher so etwas wie einen aktuellen Aufmerksamkeitsfokus, in dem sich die jeweils relevanten Aufgaben-Sets befinden (vgl. auch Cowan, 2000). Leider elaborieren Mayr und Kollegen (Mayr & Keele, 2000; Mayr & Kliegl, 2003; Mayr 2003) diese Idee nicht weiter, um zum Beispiel zu erklären, warum Inhibition überhaupt nötig ist, um den Aufmerksamkeitsfokus zu verschieben. Eine denkbare Erklärung wäre, dass dieser zwar intentional zur neuen Aufgabe hin verschoben werden kann, sich aber generell immer am Ort der größten Aktivierung im Langzeitgedächtnis befindet. Da das zuletzt ausgeführte Aufgaben-Set immer noch aktiv ist, entsteht Konflikt bei der Verschiebung des Aufmerksamkeitsfokus und dieser muss über Inhibition aufgelöst werden. Obwohl dieses Szenario theoretisch denkbar ist, wirft es genau so viele Fragen auf: Warum reicht intentionales Verschieben nicht aus? Wie müssen Aufgaben-Sets gedacht werden, um dennoch, die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit gegeben, für ein 1-Item Arbeitsgedächtnis gelten zu können? Sind alle Teile eines Aufgaben-Sets im Aufmerksamkeitsfokus oder wandert dieser durch die verschiedenen Sub-Sets, je nach Verarbeitungsschritt? Von daher erscheint es plausibel nach anderen Ideen zu suchen, warum Inhibition eine Rolle bei der Bearbeitung von Aufgabensequenzen spielt, und nicht eine willkürliche Limitierung des Arbeitsgedächtnisses für eine Aufgabe anzunehmen, um die Existenz dieses Prozesses zu rechtfertigen.

Bereits Schuch und Koch (2003) schlugen eine alternative Sichtweise für das Auftreten von Aufgabeninhibition vor und postulieren, dass nicht die Anzahl der Aufgaben für die Belastung des Arbeitsgedächtnisses beziehungsweise des Aufmerksamkeitsfokus entscheidend ist, sondern der Konflikt der zwischen den Aufgaben vorliegt. Diese Hypothese wird durch die Experiment 3-6 dieser Arbeit, die das Ausbleiben von n-2 Wiederholungskosten bei nicht miteinander konfligierenden Aufgaben berichtet, weiter gestärkt. Allerdings stellt sich auch die Frage, ob wirklich alle Teile eines Aufgaben-Sets von Aufgabeninhibition betroffen sind (vgl. Abschnitt 3.4). Möglicherweise reduziert Aufgabeninhibition nur die Verfügbarkeit der zuletzt verwendeten und deshalb konfligierenden Antwort-Regel, lässt aber andere Teile des Aufgaben-Sets völlig unberührt, wie zum Beispiel den „retrieval“-Prozess (vgl. Experiment 7).

Gegeben die Diskussion über die Geschlossenheit der Aufgaben-Sets, die bereits kurz in der Einleitung geführt wurde, erscheint eine andere Konzeption des Aufmerksamkeitsfokus beim Bearbeiten von Aufgabensequenzen denkbar: es gibt einen Bereich (entweder innerhalb des Langzeitgedächtnisses oder aber in einem separaten Arbeitsgedächtnis), in dem die kognitive Repräsentation der experimentellen Situation, das bedeutet alle Instruktionen und die ihnen gemäß aufgebauten Aufgaben-Sets, auf einem moderaten Aktivationsniveau gehalten werden. Wenn nun ein Aufgaben-Set durch einen Hinweisreiz besondere zusätzliche Aktivierung erhält, übernimmt es kurzfristig die Handlungssteuerung. Da aber die Aufgaben-Sets nicht in sich geschlossene Repräsentationen sind, sondern teilweise miteinander überlappen (vgl. Botvinick & Plaut, 2002), leidet die Bearbeitung des aktuellen Stimulus nicht nur unter der persistierenden Aktivierung der zuletzt verwendeten S-R Regel, sondern wird möglicherweise auch durch die anderen, durch den Stimulus aktivierten, Reaktionstendenzen behindert. In diesem Szenario treten also mehr als eine Konfliktquelle auf: neben persistierender Aktivierung spielt auch Distraktorinterferenz eine Rolle. Während schwächere Konfliktquellen, zum Beispiel Aktivierung von Reaktionstendenzen durch Präsentation des Stimulus durch eine kurzfristige Anpassung der Aufmerksamkeit behoben werden können, scheint bei persistierender Aktivierung der zuletzt verwendeten Antwort-Regel dies nicht mehr auszureichen. Um nun sicher zu stellen, dass das gewünschte Aufgaben-Set weiter handlungsleitend ist, werden andere, mit diesem Aufgaben-Set in Konflikt stehende Antwort-Regeln gehemmt. Die Hemmung ist

an das Vorliegen von Konflikt und an die Existenz eines Mechanismus gebunden, der der allgemeinen Situationsrepräsentation anzeigt, dass mehr Kontrolle nötig ist, um die Aufgabe gemäß der Instruktion zu erfüllen. Somit haben wir also Kontrolle auf zwei Ebenen, zum einen eine permanente Kontrolle, die über den Aufbau einer Repräsentation gemäß der experimentellen Situation sichergestellt ist (vgl. auch Schneider & Logan, 2005) und zum anderen adaptive Kontrollmechanismen, die nicht notwendigerweise bereits in der Spezifizierung der allgemeinen Situationsrepräsentation bereitgestellt werden und beim Auftreten von Konflikt eingreifen, um instruktionsgemäßes Handeln sicherzustellen.

Diese Zerteilung von Kontrolle in globale und lokale Mechanismen wurde bereits in der Einleitung vorgestellt und diskutiert. Somit entspricht dieses Modell in weiten Teilen den Ideen, die im Rahmen des „conflict monitoring“ Ansatzes diskutiert worden sind (vgl. Botvinick et al., 2001; McDonald et al., 2000), aber auch immer mehr Eingang in die Modelle zur Bearbeitung von Aufgaben und zum Wechseln zwischen Aufgaben finden (vgl. z.B. Rubinstein et al., 2001). Es unterscheidet sich von vorliegenden Modellen, die versuchen, die Leistung von Versuchspersonen im Aufgabenwechselparadigma zu erklären, dadurch dass Aufgaben-Sets nicht mehr in sich geschlossen sind, sondern teilweise innerhalb eines festgelegten repräsentationalen Raumes überlappen. Weiter nimmt das Modell auch an, dass Aufgabeninhibition nur bei Konflikt zwischen Aufgaben-Sets oder Sub-Sets auftritt und nicht der default-Mechanismus ist, der immer nötig ist, um das Arbeitsgedächtnis von der letzten Aufgabe zu reinigen (Mayr & Keele, 2000). Innerhalb des Modells ist Aktivierung der Prozess, mit dem Aufgaben-Sets ausgewählt und implementiert werden.

Dem Modell liegt die Annahme zugrunde, dass die Bearbeitung von Aufgabensequenzen ein komplexes Zusammenspiel von inhibitorischen und aktivationsbasierten Prozessen zu erfordern scheint. Je nach Wahl der Aufgaben (und deren Charakteristiken wie etwa Überlappung untereinander), Konstruktion der zu bearbeitenden Aufgabensequenzen (Anzahl der Übergänge, Anzahl der Durchgänge insgesamt), und in der Instruktion nahegelegte Bearbeitungsstrategien, scheint dieses Zusammenspiel andere Charakteristiken aufzuweisen (vgl. auch Koch & Philipp, 2005; Philipp, Gade & Koch, eingereicht für eine ähnliche Diskussion). Als Ergebnis aus der vorliegenden Studie bleibt dabei festzustellen, dass Konflikt innerhalb der Antwortauswahl zur Aufgabeninhibition führt und dieser Inhibiti-

onsprozess keine Rolle zu spielen scheint, wenn kein Konflikt zwischen Aufgaben vorliegt. Aufgabeninhibition ist somit ein selektiver Mechanismus des kognitiven Systems um mit Konflikt umzugehen und kein „default“-Mechanismus zum Schutz vor Überladung des Arbeitsgedächtnisses.

3.6 Grenzen der vorliegenden Arbeit

In diesem letzten Abschnitt sollen Grenzen der vorliegenden Arbeit aufgezeigt und Ideen für weitere Studien diskutiert werden. Die vorliegende Arbeit untersucht, inwieweit das Auftreten von Aufgabeninhibition an Konflikt zwischen Aufgaben-Sets gebunden ist. Wir fanden, dass n-2 Wiederholungskosten als empirischer Marker dieser Inhibition nur dann auftraten, wenn Konflikt während der Antwortauswahl, entweder durch persistierende Aktivierung der zuletzt verwendeten Antwort oder aber durch Dominanzunterschiede, vorlag. Dabei ging die Arbeit von dem Antwort-Selektions-Ansatz von Koch und Kolleginnen aus (Koch & Philipp, 2005; Schuch & Koch, 2003) und fokussierte somit im Besonderen auf Antwortkonflikt als auslösende Bedingung für Aufgabeninhibition. Obwohl die berichteten Ergebnisse konsistent mit dem Antwort-Selektions Ansatz sind, kann nicht ausgeschlossen werden, dass Konflikt auch während anderen Prozessen der Aufgabebearbeitung entstehen kann, zum Beispiel während der Stimulus-Klassifikation. Dieser stimulusbezogene Konflikt könnte möglicherweise ebenfalls zu n-2 Wiederholungskosten führen. Von daher sind Studien, die die Rolle des Stimulus-Set in der Entstehung von Konflikt zwischen Aufgaben-Sets und Aufgabeninhibition untersuchen, wichtig und notwendig um die hier gezogenen Schlussfolgerungen zu validieren beziehungsweise zu erweitern.

Ferner stellt sich die Frage, welche Rolle intentionale Vorbereitung auf eine Aufgabe für das Auftreten von n-2 Wiederholungskosten spielt. Nach Mayr und Keele (2000) zeichnet sich Aufgabeninhibition als „top-down“ Prozess vor allen Dingen deshalb aus, weil keine Aufgabeninhibition bei univalenten Stimuli beobachtet wurde, also wenn die Aufgabe „bottom-up“ angezeigt wurde. Allerdings kann bei Mayr und Keele (2000) nicht sicher davon ausgegangen werden, dass Versuchspersonen in ihrer „odd-item out“ Aufgabe wirklich verschiedene Aufgaben-Sets verwendeten. Von daher bleibt nicht nur die Frage zu klären, welche Rolle intentionale Vorbereitung auf eine Aufgabe für das Entstehen von n-2

Wiederholungskosten spielt, sondern auch, welche Rolle das Vorliegen distinkter Aufgaben-Sets für die Entstehung von Aufgabeninhibition hat.

Letztlich verwendeten wir in den vorliegenden Experimenten immer Aufgabensequenzen, in denen es keine direkte Aufgabenwiederholung gab. Daher ist es möglich, dass unsere experimentellen Designs generell zu einer Überschätzung der n-2 Wiederholungskosten geführt haben. Studien, die die Rolle von Aufgabeninhibition in Aufgabensequenzen untersuchen, in denen Wechsel und Wiederholungen von Aufgaben gleichermaßen möglich sind, sollten somit eine realistischere Einschätzung der Rolle von Aufgabeninhibition in Aufgabenwechselexperimenten ermöglichen (vgl. auch Philipp & Koch, im Druck).

Auch die Frage nach dem eigentlichen Ziel der Aufgabeninhibition, also was genau innerhalb eines Aufgaben-Sets denn nun inhibiert wird, konnten wir nicht klären, sondern bieten lediglich Spekulationen, basierend auf der Annahme unterschiedlicher Aufgaben-Sets bei unterschiedlichen Paradigmen, an. Auch diese Spekulation kann und sollte weiter evaluiert werden, möglicherweise auch unter Zuhilfenahme anderer Methoden wie funktioneller Bildgebung oder neuronaler Modellierung.

Obwohl einiges an Evidenz nahelegt, dass es verschiedene Inhibitionsmechanismen im kognitiven System gibt (vgl. Friedman & Miyake, 2004), können diese doch miteinander interagieren und sich gegenseitig beeinflussen (wie zum Beispiel in Experiment 2 von Mayr & Keele (2000), die zeigen, dass n-2 Wiederholungskosten additiv zu Negative Priming sind). Wie Aufgabeninhibition sich zu anderen postulierten Inhibitionsmechanismen verhält ist ebenfalls ein noch offenes Feld, das wir in der vorliegenden Studie völlig ausgeklammert haben. Ebenso ist nach wie vor ungeklärt, ob der Inhibitionsprozess, der zu n-2 Wiederholungskosten in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen führt, der einzige Inhibitionsprozess innerhalb dieses Paradigmas ist, oder ob nicht noch andere Inhibitionsprozesse denkbar sind.

3.7 Fazit

Festzuhalten bleibt, dass trotz der oben beschriebenen Einschränkungen die vorliegende Studie Evidenz für die Annahme erbringt, dass Aufgabeninhibition ein Mechanismus der Konfliktreduktion in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen

ist. Liegt kein Konflikt zwischen Aufgaben vor, können diese auch ohne Zuhilfenahme von Aufgabeninhibition innerhalb einer Sequenz bearbeitet werden. Die Größe der n-2 Wiederholungskosten variierte dabei mit dem Ausmaß des Konfliktes zwischen Aufgaben-Sets, sei es aufgrund von residualer Aktivierung des zuletzt verwendeten Aufgaben-Sets (Experiment 1) oder wegen Dominanzunterschieden zwischen den Aufgaben (Experiment 2)

Weiter zeigt die vorliegende Arbeit auch, dass Konflikt während der Antwortauswahl entstehen kann und dann dort durch Aufgabeninhibition aufgelöst werden muss. Dieser Konflikt kann zum einen durch persistierende Aktivierung der zuletzt verwendeten Stimuluskategorie-Antwort Regel und der Notwendigkeit, Stimuluskategorie-Antwort Verbindungen aufzulösen und wieder neuzuknüpfen verursacht werden (Experiment 3-6). Wir konnten außerdem zeigen, dass der Konflikt zwischen Aufgaben und damit auch die Größe der entstehenden n-2 Wiederholungskosten abhängig ist von Kongruenzbeziehungen zwischen Aufgaben und Stimuli (Experiment 3-5) und der Ähnlichkeit der nun relevanten Aufgabe mit der vorausgehenden (Experiment 2, Diskussion der n-2 Wiederholungskosten in Abhängigkeit von der Sprache in Durchgang n-1). Aufgabeninhibition wirkt dabei während bei der Bearbeitung des imperativen Stimulus, also innerhalb des Aufgaben-Sets (Experiment 7).

Somit unterstützen die Daten aus den sieben Experimenten die Annahme, dass Konflikt zwischen Aufgabenrepräsentationen zu Inhibition von Aufgaben-Sets führt und somit eine Anpassung des kognitiven Systems an das Vorliegen von Konflikt im Sinne des „conflict monitoring“ Ansatzes von Botvinick und Kollegen (2001, 2004) darstellt. Anders als von Mayr und Keele (2000) postuliert, ist die Inhibition konkurrierender Aufgaben kein „default“-Mechanismus, sondern scheint spezifisch an das Vorliegen von Antwortkonflikt zwischen Aufgaben gebunden zu sein. Aufgabeninhibition kann somit als lokaler, flexibler Kontrollprozess konzipiert werden, der erst dann einsetzt, wenn Konflikt vorliegt und globale, durch die jeweilige Situationsrepräsentation eingesetzte Kontrollmechanismen nicht mehr ausreichen.

Literaturverzeichnis

- Ach, N. (1905). *Über die Willenstätigkeit und das Denken*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- Ach, N. (1910). *Über den Willensakt und das Temperament*. Quelle & Mayer, Leipzig.
- Ach, N. (1935). Analyse des Willens. In *Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. VI, Methoden der experimentell Psychologie, Teil E*. Urban & Schwarzenberg, Berlin.
- Allport, D., Styles, E., & Hsieh, S. (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of task sets. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and Performance XV: Conscious and non-conscious Information Processing* (p. 421-452). MIT Press, Cambridge, MA.
- Allport, D., & Wylie, G. (1999). Task switching: positive and negative priming of task-set. In G. Humphreys, G. Duncan, & A. Treisman (Eds.), *Attention, Space and Action: Studies in cognitive neuroscience* (p. 273-296). Oxford University Press, New York, NY.
- Allport, D., & Wylie, G. (2000). Task switching, stimulus-response bindings and negative priming. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes* (p. 35-70). MIT Press, Cambridge, MA.
- Arbuthnott, K. (1995). Inhibitory mechanisms in cognition: Phenomena and models. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 14(1), 3-45.
- Arbuthnott, K. (2005). The influence of cue type on backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 31(5), 1030-42.
- Arbuthnott, K., & Frank, J. (2000). Executive control in set switching: residual switch cost and task-set inhibition. *Canadian Journal of Experimental*

- Psychology*, 54(1), 33-41.
- Arbuthnott, K., & Woodward, T. (2002). The influence of cue-task association and location on switch cost and alternating-switch cost. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 56(1), 18-29.
- Aron, A., Robbins, T., & Poldrack, R. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Science*, 8(4), 170-7.
- Arrington, C., Altmann, E., & Carr, T. (2003). Tasks of a feather flock together: similarity effects in task switching. *Memory and Cognition*, 31(5), 781-9.
- Asaad, W., Rainer, G., & Miller, E. (2000). Task-specific neural activity in the primate prefrontal cortex. *Journal of Neurophysiology*, 84(1), 451-9.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working memory. In *The psychology of learning and motivation* (p. 47-89). Academic Press, New York NY.
- Band, G., & Boxtel, G. van. (1999). Inhibitory motor control in stop paradigms: review and reinterpretation of neural mechanisms. *Acta Psychologica*, 101, 179-211.
- Berlyne, D. (1957). Uncertainty and conflict: a point of contact between information-theory and behavior-theory concepts. *Psychological Review*, 64(6), 329-39.
- Berlyne, D. (1960). *Conflict, arousal and curiosity*. McGraw Hill Series in Psychology, New York, NY.
- Botvinick, M., Braver, T., Barch, D., Carter, C., & Cohen, J. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108(3), 624-52.
- Botvinick, M., Cohen, J., & Carter, C. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in Cognitive Science*, 8(12), 539-46.
- Botvinick, M., & Plaut, D. (2002). Representing task context: proposals based on a connectionist model of action. *Psychological Research*, 66(4), 298-311.
- Botvinick, M., & Plaut, D. (2004). Doing without schema hierarchies: a recurrent connectionist approach to normal and impaired routine sequential action. *Psychological Review*, 111(2), 395-429.
- Brass, M., Ruge, H., Meiran, N., Rubin, O., Koch, I., Zysset, S., et al. (2003). When the same response has different meanings: Recoding the response meaning in the lateral prefrontal cortex. *Neuroimage*, 20(2), 1026-31.
- Braver, T., & Cohen, D. (2000). On the control of control: The role of dopamine in regulating prefrontal function and working memory. In S. Monsell &

- J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes* (p. 713-737). MIT Press, Cambridge, MA.
- Braver, T., Reynolds, J., & Donaldson, D. (2003). Neural mechanisms of transient and sustained cognitive control during task switching. *Neuron*, 39(4), 713-26.
- Cohen, J., Botvinick, M., & Carter, C. (2000). Anterior cingulate and prefrontal cortex: who's in control? *Nature Neuroscience*, 3(5), 421-3.
- Cooper, R., & Shallice, T. (2000). Contention scheduling and the control of routine actions. *Cognitive Neuropsychology*, 17(4), 297-338.
- Costa, A., & Santesteban, M. (2004). Lexical access in bilingual speech production: Evidence from language switching in highly proficient bilinguals and L2 learners. *Journal of Memory and Language*, 50, 491-511.
- Cowan, N. (2000). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 87-185.
- Dehaene, S., Kerszberg, M., & Changeux, J. (1998). A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 95(24), 14529-34.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 193-222.
- Dreher, J., & Berman, K. (2002). Fractionating the neural substrate of cognitive control processes. *Proceedings of the National Academy of Science U S A*, 99(22), 14595-600.
- Dreisbach, G., Haider, H., & Kluwe, R. (2002). Preparatory processes in the task-switching paradigm: evidence from the use of probability cues. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 28(3), 468-83.
- Duncan, J. (2001). An adaptive coding model of neural function in prefrontal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(11), 820-9.
- Duncan, J., & Miller, E. (2002). Cognitive focus through adaptive neural coding in the primate prefrontal cortex. In S. DT & R. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe functions* (p. 278-291). Oxford University Press, New York, NY.
- Eimer, M., & Schlaghecken, F. (2003). Response facilitation and inhibition in subliminal priming. *Biological Psychology*, 64(1-2), 7-26.

- Eriksen, B., & Eriksen, C. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception and Psychophysics*, *16*(1), 143-149.
- Fagot, C. (1994). *Chronometric investigation of task switching*. unpublished PhD thesis.
- Falkenstein, M., Hoormann, J., Christ, S., & Hohnsbein, J. (2000). Erp components on reaction errors and their functional significance: a tutorial. *Biological Psychology*, *51*(2-3), 87-107.
- Forstmann, B., Brass, M., & Koch, I. (im Druck). Methodological and empirical issues when dissociating cue-related from task-related processes in the explicit task-cuing procedure. *Psychological Research*.
- Friedman, N., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*(1), 101-35.
- Gade, M., & Koch, I. (2005). Linking inhibition to activation in the control of task sequences. *Psychonomic Bulletin and Review*, *12*(3), 530-534.
- Gade, M., & Koch, I. (eingereichta). Cue-independence of task inhibition: Evidence from a 2:1 cue-to-task mapping study. *Canadian Journal of Experimental Psychology*.
- Gade, M., & Koch, I. (eingereichtb). The influence of overlapping response sets on task inhibition. *Memory and Cognition*.
- Gehring, W., & Knight, R. (2000). Prefrontal-cingulate interactions in action monitoring. *Nature Neuroscience*, *3*(5), 516-20.
- Goldstein, E. (1997). *Wahrnehmungspsychologie: Eine Einführung*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Goschke, T. (2000). Intentional reconfiguration and involuntary persistence in task-set switching. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes* (p. 331-355). MIT Press, Cambridge, MA.
- Goschke, T. (2002). Volition und kognitive Kontrolle. In W. Prinz & J. Müsse-ler (Eds.), *Allgemeine Psychologie* (p. 272-302). Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Goschke, T. (2003). Voluntary action and cognitive control from a cognitive neuroscience perspective. In S. Maassen, W. Prinz, & G. Roth (Eds.), *Vo-*

- luntary actions: brains, minds and sociality* (p. 49-85). Oxford University Press, New York, NY.
- Gotler, A., Meiran, N., & Tzelgov, J. (2003, Dec). Nonintentional task set activation: evidence from implicit task sequence learning. *Psychon Bull Rev*, *10*(4), 890-6.
- Gratton, G., Coles, M., & Donchin, E. (1992). Optimizing the use of information: strategic control of activation of responses. *Journal of Experimental Psychology: General*, *121*(4), 480-506.
- Green, D. (1998). Mental control of the bilingual lexico-semantic system. *Bilingualism: Language and Cognition*, *1*(1), 67-81.
- Haggard, P., & Clark, S. (2003). Intentional action: conscious experience and neural prediction. *Consciousness and Cognition*, *12*(4), 695-707.
- Hazeltine, E., Poldrack, R., & Gabrieli, J. (2000). Neural activation during response competition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12 Suppl 2*, 118-29.
- Holroyd, C., & Coles, M. (2002). The neural basis of human error processing: reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, *109*(4), 679-709.
- Holroyd, C., Nieuwenhuis, S., Yeung, N., & Cohen, J. (2003). Errors in reward prediction are reflected in the event-related brain potential. *Neuroreport*, *14*(18), 2481-4.
- Hommel, B. (2000). The prepared reflex: Automaticity and control in stimulus-response translation. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes* (p. 247-273). MIT Press, Cambridge, MA.
- Houghton, G., & Tipper, S. (1996). Inhibitory mechanisms of neural and cognitive control: applications to selective attention and sequential action. *Brain and Cognition*, *30*(1), 20-43.
- Hübner, M., Dreisbach, G., Haider, H., & Kluwe, R. (2003). Backward inhibition as a means of sequential task-set control: evidence for reduction of task competition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *29*(2), 289-97.
- Hübner, M., Kluwe, R., Luna-Rodriguez, A., & Peters, A. (2004). Response selection difficulty and asymmetrical costs of switching between tasks and stimuli: no evidence for an exogenous component of task-set reconfiguration.

- Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(6), 1043-63.
- Hübner, R., & Druery, M. (2005). Response execution, selection or activation: What is sufficient for response-related repetition effects under task shifting. *Psychological Research*.
- Hübner, R., Futterer, T., & Steinhauser, M. (2001). On attentional control as a source of residual shift cost: Evidence from two-component task shifts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(3), 640-653.
- Jackson, G., Swainson, R., Cunnington, R., & Jackson, S. (2001). Erp correlates of executive control during repeated language switching. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4(2), 169-178.
- James, W. (1890, 1950). *Principles of psychology*. Dover Publishers, New York, NY.
- Jersild, A. (1927). Mental set and mental shift. *Archives of Psychology*, 89.
- Johnides, J., Badre, D., Clayton, C., Thompson-Schill, S., & Smith, E. (2002). Mechanisms of conflict resolution in prefrontal cortex. In D. Stuss & R. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe functions* (p. 233-245). Oxford University Press, New York, NY.
- Kleinsorge, T., & Heuer, H. (1999). Hierarchical switching in a multi-dimensional task space. *Psychological Research*, 62(300-312).
- Knight, R., Staines, W., Swick, D., & Chao, L. (1999). Prefrontal cortex regulates inhibition and excitation in distributed neural networks. *Acta Psychol*, 101(2-3), 159-78.
- Koch, I. (2001). Automatic and intentional activation of task sets. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 27(6), 1474-86.
- Koch, I. (2005). Sequential task predictability in task switching. *Psychonomic Bulletin and Review*, 12(1), 107-12.
- Koch, I., & Allport, A. (im Druck). Cue-based preparation and stimulus-based priming of tasks in task-switching. *Memory and Cognition*.
- Koch, I., Gade, M., & Philipp, A. (2004). Inhibition of response mode in task switching. *Experimental Psychology*, 51(1), 52-58.

- Koch, I., Gade, M., & Philipp, A. (2006). Chunking in task sequences modulates task inhibition. *Psychological Science, 17*, 346-50.
- Koch, I., & Philipp, A. (2005). Effects of response selection on the task repetition benefit in task switching. *Memory and Cognition, 33*(4), 624-34.
- Koch, I., Prinz, W., & Allport, A. (2005). Involuntary retrieval in alphabet-arithmetic tasks: task-mixing and task-switching costs. *Psychological Research, 69*(4), 252-61.
- Kornblum, S., Hasbroucq, T., & Osman, A. (1990). Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulus-response compatibility- a model and taxonomy. *Psychological Review, 97*(2), 253-270.
- Lien, M., & Proctor, R. (2002). Stimulus-response compatibility and psychological refractory period effects: implications for response selection. *Psychonomic Bulletin and Review, 9*(2), 212-38.
- Lien, M., & Ruthruff, E. (2004). Task switching in a hierarchical task structure: evidence for the fragility of the task repetition benefit. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 30*(3), 697-713.
- Lien, M., Ruthruff, E., Remington, R., & Johnston, J. (2005). On the limits of advance preparation for a task switch: do people prepare all the task some of the time or some of the task all the time? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 31*(2), 299-315.
- Logan, G. (1985). Executive control of thought and action. *Acta Psychologica, 60*, 193-210.
- Logan, G. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review, 95*(4), 492-527.
- Logan, G., & Bundesen, C. (2003). Clever homunculus: is there an endogenous act of control in the explicit task-cuing procedure? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 29*(3), 575-99.
- Logan, G., & Gordon, R. (2001). Executive control of visual attention in dual-task situations. *Psychological Review, 108*.
- Logan, G., & Schneider, D. (im Druck). Interpreting instructional cues in task-switching paradigm: The role of mediator retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*.
- Los, S. (1996). On the origin of mixing cost: Exploring information processing in pure and mixed blocks of trials. *Acta Psychologica, 94*.

- MacDonald, A., Cohen, J., Stenger, V., & Carter, C. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288(5472), 1835-8.
- MacLeod, C. (1991). Half a century of research on the stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2), 163-203.
- Magen, H., & Cohen, A. (2002). Action-based and vision-based selection of input: two sources of control. *Psychological Research*, 66(4), 247-59.
- Masson, M., Bub, D., Woodward, T., & Chan, J. (2003). Modulation of word-reading processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(3), 400-18.
- Mayr, U. (2001, Mar). Age differences in the selection of mental sets: the role of inhibition, stimulus ambiguity, and response-set overlap. *Psychol Aging*, 16(1), 96-109.
- Mayr, U. (2002). Inhibition of action rules. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9(1), 93-9.
- Mayr, U. (2003). Towards principles of executive control: How mental sets are selected. In R. Kluwe, G. Luer, & F. Rösler (Eds.), *Principles of learning and memory* (p. 223-240). Birkhauser, Cambridge, MA.
- Mayr, U., Diedrichsen, J., Ivry, R., & Keele, S. (2006). Dissociating task-set selection from task-set inhibition in the prefrontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(1), 14-21.
- Mayr, U., & Keele, S. (2000). Changing internal constraints on action: the role of backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129(1), 4-26.
- Mayr, U., & Kliegl, R. (2000). Task-set switching and long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 26(5), 1124-40.
- Mayr, U., & Kliegl, R. (2003). Differential effects of cue changes and task changes on task-set selection costs. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 29(3), 362-72.
- McGeoch, J. (1932). Forgetting and the law of disuse. *Psychological Review*, 39, 352-370.
- McKay, D. (1987). *The organization of perception and action*. Springer Verlag, New York, NY.

- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 22(6), 1423-1442.
- Meiran, N. (2000). Reconfiguration of stimulus task sets and response task sets during task switching. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive processes* (p. 377-399). MIT Press, Cambridge, MA.
- Meiran, N., Chorev, Z., & Sapir, A. (2000). Component processes in task switching. *Cognitive Psychology*, 41(3), 211-53.
- Meuter, R., & Allport, A. (1999). Bilingual language switching in naming: Asymmetrical cost of language selection. *Journal of Memory and Language*, 40, 25-40.
- Miller, E. (2000). The prefrontal cortex and cognitive control. *Nature Reviews Neuroscience*, 1(1), 59-65.
- Miller, E., & Cohen, J. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202.
- Miyake, A., Friedman, N., Emerson, M., Witzki, A., Howerter, A., & Wager, T. (2003). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex „frontal lobe“ tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41.
- Monsell, S. (1996). Control of mental processes. In V. Bruce (Ed.), *Unsolved mysteries of the mind: Tutorial essays in cognition* (p. 93-148). Earlbaum, Taylor & Francis.
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Science*, 7(3), 134-140.
- Monsell, S., & Mizon, G. (im Druck). Can the task-cuing paradigm measure an „endogenous“ task-set reconfiguration process. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*.
- Monsell, S., Yeung, N., & Azuma, R. (2000). Reconfiguration of task-set: Is it easier to switch the weaker task? *Psychological Research*, 63, 250-264.
- Müller, H., & Krummenacher, J. (2002). Aufmerksamkeit. In J. Müsseler & W. Prinz (Eds.), *Allgemeine Psychologie* (p. 121-165). Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Norman, D., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. In R. Davidson, G. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.),

- Consciousness and self-regulation* (Vol. 4, p. 1-18). Plenum, New York, NY.
- Orfanidou, E., & Sumner, P. (2005). Language switching and the effects of orthographic specificity and response repetition. *Memory and Cognition*, 33(2), 355-69.
- Philipp, A. (2005). *The cognitive representation of a task: Exploring the role of response modalities using the task switching paradigm* (No. 65). Max Planck Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, Leipzig.
- Philipp, A., Gade, M., & Koch, I. (eingereicht). Inhibitory processes in language switching? Evidence from switching language-defined response-sets. *European Journal of Cognitive Psychology*.
- Philipp, A., & Koch, I. (2005). Switching of response modalities. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, Section A*, 58(7), 1325-38.
- Philipp, A., & Koch, I. (im Druck). Task inhibition and task repetition in task switching. *European Journal of Cognitive Psychology*.
- Postle, B., Brush, L., & Nick, A. (2004). Prefrontal cortex and the mediation of proactive interference in working memory. *Cognitive and Affective Behavioral Neuroscience*, 4(4), 600-8.
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9(2), 129-154.
- Prinz, W. (2004). Kritik des freien Willen: Bemerkungen über eine soziale Institution. *Psychologische Rundschau*, 55(4), 198-206.
- Ridderinkhof, K. (2002). Micro- and macro-adjustments of task set: activation and suppression in conflict tasks. *Psychological Research*, 66(4), 312-23.
- Ridderinkhof, K., Ullsperger, M., Crone, E., & Nieuwenhuis, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science*, 306(5695), 443-7.
- Rogers, R., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207-231.
- Rubin, O., & Koch, I. (im Druck). Exogenous influences on task-set activation in task switching. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, Section A*.
- Rubin, O., & Meiran, N. (2005). On the origins of the task mixing cost in the cuing task-switching paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 31, 1477-91.

- Rubinstein, J., Meyer, D., & Evans, J. (2001). Executive control of cognitive processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(4), 763-97.
- Rushworth, M., Walton, M., Kennerley, S., & Bannerman, D. (2004). Action sets and decisions in the medial frontal cortex. *Trends in Cognitive Science*, 8(9), 410-7.
- Ruthruff, E., Remington, R., & Johnston, J. (2001). Switching between simple cognitive tasks: the interaction of top-down and bottom-up factors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(6), 1404-19.
- Schiffrin, R., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 84(2), 127-190.
- Schneider, D., & Logan, G. (2005). Modeling task switching without switching tasks: a short-term priming account of explicitly cued performance. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134(3), 343-67.
- Schuch, S., & Koch, I. (2003). The role of response selection for inhibition of task sets in task shifting. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(1), 92-105.
- Schuch, S., Koch, I., & Schuch, S. (2004). The costs of changing the representation of action: response repetition and response-response compatibility in dual tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(3), 566-82.
- Shallice, T. (1994). Multiple levels of control processes. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and Performance XIV: Conscious and non-conscious Information Processing* (p. 395-420). MIT Press, Cambridge, MA.
- Simon, J. (1968). Effect of ear stimulated on reaction time and movement time. *Journal of Experimental Psychology*, 78(2), 344-6.
- Simon, J. (1969). Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology*, 81(1), 174-6.
- Simon, J., & Rudell, A. (1967). Auditory s-r compatibility: the effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology*, 51(3), 300-4.

- Slotnick, S., & Yantis, S. (2005). Common neural substrates for the control and effects of visual attention and perceptual bistability. *Cognitive Brain Research*, 24(1), 97-108.
- Sohn, M., & Anderson, J. (2001). Task preparation and task repetition: two-component model of task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 764-78.
- Sohn, M., & Anderson, J. (2003). Stimulus-related priming during task switching. *Memory and Cognition*, 31(5), 775-80.
- Sohn, M., & Carlson, R. (2000). Effects of repetition and foreknowledge in task-set reconfiguration. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 26(6), 1445-60.
- Spector, A., & Biederman, I. (1976). Mental set and mental shift revisited. *American Journal of Psychology*, 89, 669-679.
- Steinhauser, M., & Hübner, R. (im Druck). Response-based strengthening in task-shifting: Evidence from shift effects produced by errors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*.
- Stoet, G., & Snyder, L. (2004). Single neurons in posterior parietal cortex of monkeys encode cognitive set. *Neuron*, 42(6), 1003-12.
- Stroop, J. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 8(6), 643-662.
- Sudevan, P., & Taylor, D. (1987). The cuing and priming of cognitive operations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13(1), 89-103.
- Swainson, R., Cunnington, R., Jackson, G., Rorden, C., Peters, A., Morris, P., et al. (2003). Cognitive control mechanisms revealed by erp and fmri: evidence from repeated task-switching. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(6), 785-99.
- Tipper, S. (2001). Does negative priming reflect inhibitory mechanisms? a review and integration of conflicting views. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, Section A*, 54(2), 321-43.
- Waszak, F., Hommel, B., & Allport, A. (2003). Task-switching and long-term priming: role of episodic stimulus-task bindings in task-shift costs. *Cognitive Psychology*, 46(4), 361-413.

- Waszak, F., Hommel, B., & Allport, A. (2004). Semantic generalization of stimulus-task bindings. *Psychonomic Bulletin and Review*, *11*(6), 1027-33.
- Waszak, F., Hommel, B., & Allport, A. (2005). Interaction of task readiness and automatic retrieval in task switching: negative priming and competitor priming. *Memory and Cognition*, *33*(4), 595-610.
- Yeung, N., Cohen, J., & Botvinick, M. (2004). The neural basis of error detection: conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological Review*, *111*(4), 931-59.
- Yeung, N., & Monsell, S. (2003). The effects of recent practice on task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*(5), 919-36.

Abbildungsverzeichnis

1.1 Vereinfachte Darstellung des Zugewinns an Wahlmöglichkeiten im Laufe der Evolution	2
1.2 Hierarchisches Handlungsschema der Kaffeezubereitung	5
1.3 Schematische Darstellung des cuing-Paradigmas	28
1.4 Entstehung von n-2 Wiederholungskosten durch persistierende In- hibition	36
2.1 N-2 Wiederholungskosten als Funktion von n-2 RCI und n-1 RCI für RCI 100/1400 ms und RCI 100/1900 ms	48
2.2 Ergebnisse für Experiment 2 als Funktion von Sprache (S1 vs. S2 vs. S3) und Sprachsequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel) für kurzes und langes CSI	54
2.3 Aufgaben Experiment 3-5	61
2.4 Ergebnisse für Experiment 3-5 als Funktion von Aufgabentripel (TTT vs. TUT) und Aufgabensequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel)	70
2.5 Ergebnisse für Experiment 6 als Funktion von Aufgabentripel (TTT vs. TUT) und Aufgabensequenz (n-2 Wiederholung vs. n-2 Wechsel)	77

Tabellenverzeichnis

2.1	Vorhersagen der unterschiedlichen Ansätze für das kritische RCI .	44
2.2	Aufgabentripel und dahinter liegende Aufgabensequenzen für Experiment 2-4	62

Curriculum Vitae

Name	Miriam Elisabeth Gade
Geburtsdatum	19.09.1978
Geburtsort	Würzburg
seit 2004	Doktorandin am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, Arbeitsbereich Psychologie, München/Leipzig
2003	Praktikum International School of Advanced Studies, Cognitive Neuroscience Sector
2001-2003	Studentische Hilfskraft Max Planck Institut für psychologische Forschung
1999 - 2004	Studium der Psychologie, Ludwigs-Maximilians Universität München
1999 - 2004	Stipendiatin der Bayrischen Begabtenförderung
1998 - 1999	Freiwilliges soziales Jahr Caritas Augsburg
1989 - 1998	Gymnasium Starnberg, Abitur Juni 1998
1985 - 1989	Ferdinand-Maria Grundschule Starnberg

Bibliographische Daten

AUFGABENINHIBITION ALS MECHANISMUS DER KONFLIKTREDUKTION
ZWISCHEN AUFGABENREPRÄSENTATIONEN

Miriam Gade

123 Seiten, 150 Referenzen, 9 Abbildungen, 2 Tabellen

ZUSAMMENFASSUNG

Kognitive Kontrolle ermöglicht den Menschen, Handlungen gemäß ihren Zielen auszuwählen und umzusetzen. Dabei spielt die Repräsentation des Ziels an sich und der zu ihm führenden Handlungen eine wichtige Rolle. Diese Zielrepräsentation bestimmt, welche Verarbeitungsbahnen innerhalb des kognitiven System gerade benötigt werden, um eingehende Stimuli in zielführender Weise zu verarbeiten und aktiviert diese (Miller & Cohen, 2001). Neben der Aktivierung bestimmter Verarbeitungsbahnen spielt auch die Inhibition anderer, das Erreichen des Ziels behindernder Verarbeitungswege oder konkurrierender Handlungsalternative eine wichtige Rolle. In Modellen zu kognitiven Kontrolle wird allgemein zwischen Prozessen unterschieden, die mehr der Auswahl und Implementierung des eigentlichen Ziels zu tun haben (so genannte globale Kontrollprozesse) und anderen, lokalen Prozessen, die Schwierigkeiten und Konflikte während der eigentlichen Stimulusbearbeitung verhindern und auflösen sollen (Braver, Reynolds & Donaldson, 2003). Zielgerichtetes Verhalten wird somit über die Aktivierung und Inhibition von einzelnen Handlungsrepräsentationen und Verarbeitungsprozessen auf globaler wie auch auf lokaler Ebene möglich. Eine Anpassung lokaler Kontrollmechanismen, wenn die global voreingestellten Verarbeitungsbahnen nicht mehr ausreichen, erfolgt dabei über die Detektion von Konflikt im kognitiven System (Botvinick, Cohen & Carter, 2004). Konflikt entsteht in diesem Ansatz im Wesentlichen durch die gleichzeitige Aktivierung nicht miteinander vereinbar

Reaktionstendenzen auf ein und denselben Stimulus. In der vorliegenden Arbeit wurde diese Idee von der Adaptivität von Kontrollprozessen auf die Bearbeitung von Aufgabensequenzen angewandt, die von Versuchspersonen verlangen, flexibel zwischen drei Aufgaben hin und her zu wechseln.

Auch in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen wird davon ausgegangen, dass Aktivations- und Inhibitionsprozesse Versuchspersonen ermöglichen, flexibel zwischen Aufgaben hin und her zu wechseln. Inhibition von Aufgaben wird aus dem Vorliegen so genannter n-2 Wiederholungskosten geschlossen. Diese Kosten werden beim Vergleich von Sequenzen des Typs ABA (n-2 Wiederholungen) mit Sequenzen vom Typ CBA (n-2 Wechsel) beobachtet. Es wird angenommen, dass Versuchspersonen beim Wechseln zwischen Aufgaben die zuletzt ausgeführte Aufgabe hemmen, um die neue Aufgabe implementieren zu können (Mayr & Keele, 2000). Dabei wurde postuliert, dass Aufgabeninhibition ein „default“-Mechanismus in der Bearbeitung von Aufgabensequenzen ist, um das Arbeitsgedächtnis vor Überlastung zu schützen. Hinter dieser Idee steht die Annahme, dass immer nur eine Aufgabe (beziehungsweise ihre mentale Repräsentation) im Arbeitsgedächtnis gehalten werden kann. Die vorliegende Arbeit untersuchte inwieweit Aufgabeninhibition nicht besser als Mechanismus der Konfliktreduktion zwischen Aufgaben-Sets, also mentalen Repräsentationen von Aufgaben, konzipiert werden sollte. Somit würde Aufgabeninhibition, gemessen als n-2 Wiederholungskosten, einen flexiblen Mechanismus in der Kontrolle der Bearbeitung von Aufgabensequenzen darstellen und keine „default“-Lösung mehr sein.

Die ersten beiden Experimente der vorliegenden Arbeit untersuchen deshalb inwieweit die Größe der beobachteten n-2 Wiederholungskosten von dem Ausmaß an Konflikt zwischen Aufgaben-Sets abhängt. Dabei manipulierten Konflikt einmal über die residuale Aktivierung der zuletzt bearbeiteten Aufgabe (Experiment 1) und zum anderen über die Dominanz einer Aufgabe über eine andere (Experiment 2). In beiden Experimenten fanden wir signifikant geringere n-2 Wiederholungskosten, wenn weniger Konflikt zwischen den Aufgaben-Sets vorlag.

In einer Studie, die weitere vier Experimente umfasste, manipulierten wir Konflikt zwischen Aufgaben-Sets dann direkt. Unsere Hypothese war, dass keine n-2 Wiederholungskosten zu beobachten sein sollten, wenn kein Konflikt zwischen den Aufgaben vorlag. Dabei manipulierten wir in erster Linie Konflikt, der

durch Überlappung der Antworten für die verschiedenen Aufgaben, entsteht. Wir fanden nur dann n-2 Wiederholungskosten für eine Aufgabe, wenn die Antworten der Aufgabe im Durchgang n-1 eines Aufgabentripels mit den Antworten der Aufgabe in Durchgang n-2 desselben Tripels überlappten. Hatte die Aufgabe in Durchgang n-1 keine überlappenden Antworten mit der vorher bearbeiteten Aufgabe, fanden sich keine n-2 Wiederholungskosten. In einem weiteren Experiment konnten wir zeigen, dass es im Wesentlichen die Überlappung in den Antworten ist, die zur Beobachtung von n-2 Wiederholungskosten führt und überlappende Stimuli keine Rolle zu spielen scheinen.

In einem letzten Experiment testeten wir die implizite Annahme der bisherigen Experimente, dass das Ziel der Aufgabeninhibition das Aufgaben-Set, also die mentale Repräsentation der Aufgabe ist. Dazu verwendeten wir eine 2:1 Hinweisreiz-Aufgaben Zuordnung, das bedeutet jede Aufgabe wurde von zwei unterschiedlichen Hinweisreizen angezeigt. Wenn Aufgabeninhibition nur im Aufgaben-Set wirksam ist, sollten wir unabhängig von dem, im jeweiligen Durchgang verwendeten Hinweisreiz n-2 Wiederholungskosten sehen. Die Ergebnisse des siebten Experiments unterstützen die Annahme, dass Aufgabeninhibition das Aufgaben-Set als Ziel hat. Wir fanden signifikante n-2 Wiederholungskosten unabhängig von einer Wiederholung des Hinweisreizes.

Somit unterstützen die Daten aus den sieben Experimenten die Annahme, dass Konflikt zwischen Aufgabenrepräsentationen zu Inhibition von Aufgaben-Sets führt und somit eine Anpassung des kognitiven Systems an das Vorliegen von Konflikt im Sinne des „conflict monitoring“ Ansatzes von Botvinick und Kollegen (2004) darstellt. Anders als von Mayr und Keele (2000) postuliert, ist die Inhibition konkurrierender Aufgaben kein „default“-Mechanismus, sondern scheint spezifisch an das Vorliegen von Konflikt zwischen Aufgaben gebunden zu sein. Aufgabeninhibition kann somit als lokaler, flexibler Kontrollprozess konzipiert werden, der erst dann einsetzt, wenn Konflikt vorliegt und globale, durch die jeweilige Situationsrepräsentation eingesetzte Kontrollmechanismen nicht mehr ausreichen.

MPI Series in Human Cognitive and Brain Sciences:

- 1 Anja Hahne
Charakteristika syntaktischer und semantischer Prozesse bei der auditiven Sprachverarbeitung: Evidenz aus ereigniskorrelierten Potentialstudien
- 2 Ricarda Schubotz
Erinnern kurzer Zeitdauern: Behaviorale und neurophysiologische Korrelate einer Arbeitsgedächtnisfunktion
- 3 Volker Bosch
Das Halten von Information im Arbeitsgedächtnis: Dissoziationen langsamer corticaler Potentiale
- 4 Jorge Jovicich
An investigation of the use of Gradient- and Spin-Echo (GRASE) imaging for functional MRI of the human brain
- 5 Rosemary C. Dymond
Spatial Specificity and Temporal Accuracy in Functional Magnetic Resonance Investigations
- 6 Stefan Zysset
Eine experimentalpsychologische Studie zu Gedächtnisabrufprozessen unter Verwendung der funktionellen Magnetresonanztomographie
- 7 Ulrich Hartmann
Ein mechanisches Finite-Elemente-Modell des menschlichen Kopfes
- 8 Bertram Opitz
Funktionelle Neuroanatomie der Verarbeitung einfacher und komplexer akustischer Reize: Integration haemodynamischer und elektrophysiologischer Maße
- 9 Gisela Müller-Plath
Formale Modellierung visueller Suchstrategien mit Anwendungen bei der Lokalisation von Hirnfunktionen und in der Diagnostik von Aufmerksamkeitsstörungen
- 10 Thomas Jacobsen
Characteristics of processing morphological structural and inherent case in language comprehension

- 11 Stefan Kölsch
Brain and Music
A contribution to the investigation of central auditory processing with a new electrophysiological approach
- 12 Stefan Frisch
Verb-Argument-Struktur, Kasus und thematische Interpretation beim Sprachverstehen
- 13 Markus Ullsperger
The role of retrieval inhibition in directed forgetting – an event-related brain potential analysis
- 14 Martin Koch
Measurement of the Self-Diffusion Tensor of Water in the Human Brain
- 15 Axel Hutt
Methoden zur Untersuchung der Dynamik raumzeitlicher Signale
- 16 Frithjof Kruggel
Detektion und Quantifizierung von Hirnaktivität mit der funktionellen Magnetresonanztomographie
- 17 Anja Dove
Lokalisierung an internen Kontrollprozessen beteiligter Hirngebiete mithilfe des Aufgabenwechselfaradigmas und der ereigniskorrelierten funktionellen Magnetresonanztomographie
- 18 Karsten Steinhauer
Hirnphysiologische Korrelate prosodischer Satzverarbeitung bei gesprochener und geschriebener Sprache
- 19 Silke Urban
Verbinformationen im Satzverstehen
- 20 Katja Werheid
Implizites Sequenzlernen bei Morbus Parkinson
- 21 Doreen Nessler
Is it Memory or Illusion? Electrophysiological Characteristics of True and False Recognition
- 22 Christoph Herrmann
Die Bedeutung von 40-Hz-Oszillationen für kognitive Prozesse

- 23 Christian Fiebach
*Working Memory and Syntax during Sentence Processing.
A neurocognitive investigation with event-related brain potentials and
functional magnetic resonance imaging*
- 24 Grit Hein
*Lokalisation von Doppelaufgabendefiziten bei gesunden älteren Personen
und neurologischen Patienten*
- 25 Monica de Filippis
*Die visuelle Verarbeitung unbeachteter Wörter:
Ein elektrophysiologischer Ansatz*
- 26 Ulrich Müller
*Die katecholaminerge Modulation präfrontaler kognitiver Funktionen
beim Menschen*
- 27 Kristina Uhl
Kontrollfunktion des Arbeitsgedächtnisses über interferierende Information
- 28 Ina Bornkessel
*The Argument Dependency Model: A Neurocognitive Approach to Incremental
Interpretation*
- 29 Sonja Lattner
*Neurophysiologische Untersuchungen zur auditorischen Verarbeitung
von Stimminformationen*
- 30 Christin Grünewald
*Die Rolle motorischer Schemata bei der Objektrepräsentation:
Untersuchungen mit funktioneller Magnetresonanztomographie*
- 31 Annett Schirmer
*Emotional Speech Perception: Electrophysiological Insights into the
Processing of Emotional Prosody and Word Valence in Men and Women*
- 32 André J. Szameitat
*Die Funktionalität des lateral-präfrontalen Cortex für die Verarbeitung
von Doppelaufgaben*
- 33 Susanne Wagner
*Verbales Arbeitsgedächtnis und die Verarbeitung ambiger Wörter in Wort-
und Satzkontexten*

- 34 Sophie Manthey
Hirn und Handlung: Untersuchung der Handlungsrepräsentation im ventralen prämotorischen Cortex mit Hilfe der funktionellen Magnet-Resonanztomographie
- 35 Stefan Heim
Towards a Common Neural Network Model of Language Production and Comprehension: fMRI Evidence for the Processing of Phonological and Syntactic Information in Single Words
- 36 Claudia Friedrich
Prosody and spoken word recognition: Behavioral and ERP correlates
- 37 Ulrike Lex
Sprachlateralisierung bei Rechts- und Linkshändern mit funktioneller Magnetresonanztomographie
- 38 Thomas Arnold
Computergestützte Befundung klinischer Elektroenzephalogramme
- 39 Carsten H. Wolters
Influence of Tissue Conductivity Inhomogeneity and Anisotropy on EEG/MEG based Source Localization in the Human Brain
- 40 Ansgar Hantsch
Fisch oder Karpfen? Lexikale Aktivierung von Benennungsalternativen bei der Objektbenennung
- 41 Peggy Bungert
*Zentralnervöse Verarbeitung akustischer Informationen
Signalidentifikation, Signallateralisation und zeitgebundene Informationsverarbeitung bei Patienten mit erworbenen Hirnschädigungen*
- 42 Daniel Senkowski
Neuronal correlates of selective attention: An investigation of electrophysiological brain responses in the EEG and MEG
- 43 Gert Wollny
Analysis of Changes in Temporal Series of Medical Images
- 44 Angelika Wolf
Sprachverstehen mit Cochlea-Implantat: EKP-Studien mit postlingual ertaubten erwachsenen CI-Trägern

- 45 Kirsten G. Volz
Brain correlates of uncertain decisions: Types and degrees of uncertainty
- 46 Hagen Huttner
Magnetresonanztomographische Untersuchungen über die anatomische Variabilität des Frontallappens des menschlichen Großhirns
- 47 Dirk Köster
Morphology and Spoken Word Comprehension: Electrophysiological Investigations of Internal Compound Structure
- 48 Claudia A. Hruska
Einflüsse kontextueller und prosodischer Informationen in der auditorischen Satzverarbeitung: Untersuchungen mit ereigniskorrelierten Hirnpotentialen
- 49 Hannes Ruge
Eine Analyse des raum-zeitlichen Musters neuronaler Aktivierung im Aufgabenwechselparadigma zur Untersuchung handlungssteuernder Prozesse
- 50 Ricarda I. Schubotz
Human premotor cortex: Beyond motor performance
- 51 Clemens von Zerssen
Bewusstes Erinnern und falsches Wiedererkennen: Eine funktionelle MRT Studie neuroanatomischer Gedächtniskorrelate
- 52 Christiane Weber
Rhythm is gonna get you. Electrophysiological markers of rhythmic processing in infants with and without risk for Specific Language Impairment (SLI)
- 53 Marc Schönwiesner
Functional Mapping of Basic Acoustic Parameters in the Human Central Auditory System
- 54 Katja Fiehler
Temporospatial characteristics of error correction
- 55 Britta Stolterfoht
Processing Word Order Variations and Ellipses: The Interplay of Syntax and Information Structure during Sentence Comprehension

- 56 Claudia Danielmeier
Neuronale Grundlagen der Interferenz zwischen Handlung und visueller Wahrnehmung
- 57 Margret Hund-Georgiadis
Die Organisation von Sprache und ihre Reorganisation bei ausgewählten, neurologischen Erkrankungen gemessen mit funktioneller Magnetresonanztomographie – Einflüsse von Händigkeit, Läsion, Performanz und Perfusion
- 58 Jutta L. Mueller
Mechanisms of auditory sentence comprehension in first and second language: An electrophysiological miniature grammar study
- 59 Franziska Biedermann
Auditorische Diskriminationsleistungen nach unilateralen Läsionen im Di- und Telenzephalon
- 60 Shirley-Ann Rüschemeyer
The Processing of Lexical Semantic and Syntactic Information in Spoken Sentences: Neuroimaging and Behavioral Studies of Native and Non-Native Speakers
- 61 Kerstin Leuckefeld
The Development of Argument Processing Mechanisms in German. An Electrophysiological Investigation with School-Aged Children and Adults
- 62 Axel Christian Kühn
Bestimmung der Lateralisierung von Sprachprozessen unter besonderer Berücksichtigung des temporalen Cortex, gemessen mit fMRT
- 63 Ann Pannekamp
Prosodische Informationsverarbeitung bei normalsprachlichem und deviantem Satzmaterial: Untersuchungen mit ereigniskorrelierten Hirnpotentialen
- 64 Jan Derrfuß
Functional specialization in the lateral frontal cortex: The role of the inferior frontal junction in cognitive control
- 65 Andrea Mona Philipp
*The cognitive representation of tasks
Exploring the role of response modalities using the task-switching paradigm*
- 66 Ulrike Toepel
Contrastive Topic and Focus Information in Discourse – Prosodic Realisation and Electrophysiological Brain Correlates

- 67 Karsten Müller
Die Anwendung von Spektral- und Waveletanalyse zur Untersuchung der Dynamik von BOLD-Zeitreihen verschiedener Hirnareale
- 68 Sonja A.Kotz
The role of the basal ganglia in auditory language processing: Evidence from ERP lesion studies and functional neuroimaging
- 69 Sonja Rossi
The role of proficiency in syntactic second language processing: Evidence from event-related brain potentials in German and Italian
- 70 Birte U. Forstmann
Behavioral and neural correlates of endogenous control processes in task switching
- 71 Silke Paulmann
Electrophysiological Evidence on the Processing of Emotional Prosody: Insights from Healthy and Patient Populations
- 72 Matthias L. Schroeter
Enlightening the Brain – Optical Imaging in Cognitive Neuroscience
- 73 Julia Reinholz
Interhemispheric interaction in object- and word-related visual areas
- 74 Evelyn C. Ferstl
The Functional Neuroanatomy of Text Comprehension