

Momente des Übergangs
Reaktionszeit- und Blickbewegungsstudien
zur Flexibilität der Aufmerksamkeitssteuerung

Dissertationsschrift

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor rerum naturalium
(Dr. rer. nat)

vorgelegt

der Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften
der Technischen Universität Dresden

von

Dipl.-Psych. René Mayer
geboren am 03.07.1975 in Rostock

Gutachter: Prof. Thomas Goschke
Prof. Boris M. Velichkovsky
Prof. Iring Koch

Eingereicht am: 10.01.2008
Tag der Verteidigung: 09.06.2008

Danksagung

Im Folgenden möchte ich allen Leuten danken, die mir bei der Anfertigung dieser Arbeit zur Seite gestanden haben. Für die Möglichkeit dieses Thema zu bearbeiten und für all die anregenden Diskussionen danke ich Thomas Goschke. Nicht nur für das Korrekturlesen, sondern für alles Andere auch, möchte ich meiner Freundin Giannina Pelinski danken.

Den Kollegen meiner Abteilung möchte ich für konstruktive Kritik während des Entstehens und Wachsens dieser Arbeit danken, insbesondere Gesine Dreisbach, Hannes Ruge und Rico Fischer, die mir Rückmeldungen zu bestimmten Teilen der vorliegenden Arbeit gaben. Markus Joos möchte für die wertvollen Hinweise bei der Programmierung des Eye-Trackers danken. Matthias Rudolf danke ich für die Anregungen in Bezug auf einige statistischen Fragen. Ferner danke ich Familie Krüger, besonders für die stilistischen Anregungen von Anja.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretische Vorbetrachtungen	4
2.1	Das Paradigma des Aufgabenwechsels	4
2.1.1	Die Trägheitstheorie	5
2.1.1.1	Die klassische Trägheitstheorie	5
2.1.1.2	Assoziative TSI	7
2.1.1.3	Der Asymmetrieeffekt	8
2.1.2	Die Rekonfigurationstheorie	9
2.1.3	Der freie Aufgabenwechsel	13
2.2	Der Wisconsin Card Sorting Test	19
2.2.1	Aufbau und empirische Ergebnisse	20
2.2.2	Bildgebungsstudien	22
2.2.3	Modellierungen mit neuronalen Netzen	23
2.3	Blickbewegungen	27
2.3.1	Neurophysiologie	27
2.3.2	Visuelle Suche und Leseforschung.	28
2.3.3	Der Fixationsort	30
2.3.3.1	Die Salienzverteilung einer visuellen Szene	30
2.3.3.2	<i>Top-down</i> Modulation der Salienzverteilung	31
2.3.3.3	Latenz und Wahrscheinlichkeit von Fixationen	32
2.3.4	Exekutive Kontrolle und Blickbewegungen	34
2.3.5	Der Zeitliche Verlauf von Fixationswahrscheinlichkeiten	36
2.3.5.1	Theoretische Vorbetrachtungen	36
2.3.5.2	Empirische Arbeiten	39

3	Experimentelle Untersuchungen	41
3.1	Experiment 1	41
3.1.1	Methode	43
3.1.1.1	Versuchspersonen	43
3.1.1.2	Apparatur und Stimuli	43
3.1.1.3	Durchführung	44
3.1.1.4	Wahrscheinlichkeit einzelner Übergänge	46
3.1.1.5	Auswertung	49
3.1.2	Ergebnisse	49
3.1.3	Diskussion	51
3.2	Experiment 2	52
3.2.1	Methode	54
3.2.1.1	Versuchspersonen	54
3.2.1.2	Apparatur und Stimuli	54
3.2.2	Ergebnisse	56
3.2.2.1	Manuelle Reaktionen	56
3.2.2.2	Blickbewegungen	57
3.2.3	Diskussion	71
3.3	Experiment 3	74
3.3.1	Methode	78
3.3.1.1	Versuchspersonen	78
3.3.1.2	Apparatur und Stimuli	78
3.3.1.3	Durchführung	78
3.3.2	Ergebnisse	82
3.3.2.1	Manuelle Reaktionen	82
3.3.2.2	Reaktionszeiten	83
3.3.2.3	Blickbewegungen	87
3.3.3	Diskussion	107

4	Generelle Diskussion	112
4.1	Zusammenfassung der zentralen experimentelle Befunde	113
4.2	Aufrechterhaltung von Merkmalsdimensionen	114
4.3	Mögliche Ursachen der Perseverationstendenz	114
4.4	Mögliche Ursachen der Wechseltendenz	116
4.5	Die zuvor relevante Merkmalsdimension beeinflusst die aktive visuelle Verarbeitung	118
4.6	Der Einfluss dimensionsbasierter Aufmerksamkeit auf die aktive visuelle Verarbeitung	120
4.7	Die Dynamik der Abschirmung	122
4.7.1	Erhöhte Distraktibilität beim Dimensionswechsel	124
4.8	Simulation	128
4.8.1	Architektur	128
4.8.2	Durchgänge und Versuchspersonen	130
4.8.3	Rezeptive Felder und Aktivierungsdynamik	131
4.8.4	Simulationsergebnisse	133
4.9	Ausblick	135
	Literaturverzeichnis	139
	Abbildungsverzeichnis	145
	Tabellenverzeichnis	147
	Abkürzungsverzeichnis	148
	Anhang	150
	A Experiment 1: Zusatzanalysen	150
	B Experiment 2: Zusatzanalysen	156
	C Experiment 3: Zusatzanalysen	173
	Anlage 1: Versicherung	180

1 Einleitung

Die heutige Zeit ist schnelllebig. Fortlaufend ändern sich Zusammenhänge und neue Möglichkeiten eröffnen sich. Umso wichtiger sind Eigenschaften wie Flexibilität und Persistenz. Flexibilität ist nötig, um leichter alte Gewohnheiten ablegen zu können und neue Zusammenhänge schneller zu erlernen. Damit wir uns nicht zu sehr von den neuen Möglichkeiten ablenken lassen und unsere eigentlichen Ziele vorantreiben, ist jedoch auch Persistenz nötig.

Mitunter fällt es uns nicht immer leicht, neue Wege zu gehen, wenn sich altbekannte und bewährte anbieten. Ferner ist es eine durchaus sinnvolle Strategie, die Aufmerksamkeit auf bekannte Reize oder Merkmalsdimensionen zu richten und gegebenenfalls in gewohnter Weise darauf zu reagieren. Oft ist es jedoch notwendig, eingeübte Reiz-Reaktionsverbindungen zugunsten von neuen aufzubrechen. Beispielsweise schauen wir jeden Tag beim Überqueren einer Straße zuerst nach links. In Großbritannien müssen wir diese Gewohnheit möglichst schnell zugunsten einer dort gesünderen ablegen, nämlich zuerst nach rechts zu schauen.

Dennoch scheint in uns ein regelrechtes Widerstreben gegen neue Zusammenhänge zu existieren. Die folgende Anekdote verdeutlicht dies. Die Marke Kinderschokolade änderte 2003 ihre Verpackung: das seit 30 Jahren vertraute Jungengesicht auf der Schachtel wurde gegen ein neues (*Kevin*) ersetzt. Bei vielen führte dies zu derartigem Missfallen, dass die Bewegung „weg mit Kevin“ ins Leben gerufen wurde. Aussagen wie „mein Leben lang hat mich dieses Gesicht begleitet, Kevin muss weg“ sind umso erstaunlicher, wenn man sieht, dass es zwischen beiden Jungengesichtern nicht allzu große visuelle Unterschiede gibt.

Trotzdem gelingt *dem Menschen* ein Umlernen im Vergleich zu den Tieren relativ gut. Die neurophysiologische Region, welche diese Flexibilität ermöglicht, der präfrontale Kortex (PFC), ist beim Menschen im Vergleich zu diversen Tierarten ausgeprägter und differenzierter. Verletzungen und Erkrankungen des (ventromedialen als auch des dorsolateralen) PFC gehen oft mit einem Verlust an Flexibilität einher: Um- und Neulernen sind verlangsamt und einmal Gelerntes wird starr angewendet, selbst dann, wenn es nicht mehr zielführend ist (Stuss et al., 2000).

Um möglichst effizient neue Zusammenhänge zu erlernen, ist die Fähigkeit, die Aufmerksamkeit flexibel zwischen verschiedenen Reizen oder Reizdimensionen zu wechseln, entscheidend. Dieser Gegenstandsbereich wird innerhalb der Psychologie zum Forschungs-

gebiet der *kognitiven Kontrolle* gezählt. Ein Grundproblem, mit dem sich die Forschung zur kognitiven Kontrolle beschäftigt, möchte ich wie folgt formulieren: Wie schaffen wir es, flexibel zwischen verschiedenen Handlungen bzw. Reizaspekten zu wechseln *und* gleichzeitig unsere Ziele nicht aus den Augen zu verlieren, selbst dann, wenn wir diversen Ablenkungen ausgesetzt sind? Diese Dissertation beschäftigt sich mit spezifischen Problemen innerhalb dieses Bereiches.

Ausgangspunkte der vorliegenden Arbeit waren zwei experimentelle Paradigmen: das Aufgabenwechselparadigma (*task-switching*: TS) und der Wisconsin Card Sorting Test (WCST). In beiden Paradigmen muss die Versuchsperson flexibel zwischen Aufgaben bzw. Reizaspekten wechseln, wobei ein Wechsel bzw. eine Wiederholung durch den experimentellen Ablauf vorgegeben wird.

Weitaus weniger erforscht sind Situationen, in denen die Versuchsperson ihre Aufmerksamkeit von sich aus und ohne einen äußeren Hinweisreiz einer bestimmten Aufgabe zuwendet. Es gibt derzeit nur drei Veröffentlichungen zu diesem Thema, die alle dasselbe Paradigma verwenden (Arrington & Logan, 2004, 2005; Mayr & Bell, 2006).

Mit dem in der vorliegenden Arbeit entwickelten alternativen freien TS-Paradigma wurden Situationen untersucht, in denen nicht durch den experimentellen Ablauf vorgegeben wurde, auf welche Reizaspekte die Versuchsperson ihre Aufmerksamkeit lenken muss, um die Aufgabe zu lösen. Damit konnten Probleme (bspw. Wechselkosten aufgrund eines Hinweisreizwechsels), die aus einer Hinweisreizapplikation entstehen, umgangen werden.

Im Einzelnen wurden mit dem Paradigma dieser Arbeit die Reaktionszeiten (wie beim TS) und die Häufigkeiten (wie beim WCST) von Wechsel und Wiederholung untersucht. Dies ermöglichte es, die Tendenz zu untersuchen, die Aufmerksamkeit wieder auf eine zuvor relevante Reizdimension zu lenken oder die Aufmerksamkeit auf eine neue zu richten. Gleichzeitig konnten die damit verbundenen Dimensionswechselkosten erhoben werden. Bei den experimentellen Untersuchungen der vorliegenden Arbeit waren explizit folgende Forschungsfragen von Interesse.

Experiment 1. Kommt es auch dann zu Wechselkosten, wenn nur die Merkmalsdimension wechselt, aber die Aufgabe gleich bleibt? Können selbst dann Wechselkosten beobachtet werden, wenn die Person die Möglichkeit hat, auf die vormals relevante oder eine neue Merkmalsdimension zu antworten?

Experiment 2. Spiegeln diese Wechselkosten den Einfluss perseverierender Aufmerksamkeitseinstellungen auf frühe Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsprozesse wider? Um diese Frage zu beantworten, wurden während der Aufgabenbearbeitung Blickbewe-

gungen erhoben, mit deren Hilfe der Zeitverlauf der Aufmerksamkeitsallokation anhand der *aktiven* visuellen Verarbeitung untersucht werden konnte.

Experiment 3. Ein dritter Fragenkomplex beschäftigte sich mit der Dynamik der Abschirmung, genauer: Welche Auswirkungen haben die Aufmerksamkeitseinstellungen auf bestimmte Merkmalsdimensionen bei einem Wechsel vs. einer Wiederholung der relevanten Dimension auf die Dynamik der Abschirmung gegenüber irrelevanten Merkmalsdimensionen?

Die Ergebnisse werden unter Einbeziehung unterschiedlicher theoretischer Perspektiven, wie dem Exploitations-Explorations-Ansatz (Aston-Jones & Cohen, 2005a), dem Dimensionengewichtungsansatz (Müller et al., 1995) und der Theorie der Salienzkarten (Itti & Koch, 2000) diskutiert. Darüber hinaus wird ein Teil der Befunde im Rahmen einer neuronalen Netzarchitektur reproduziert.

2 Theoretische Vorbetrachtungen

2.1 Das Paradigma des Aufgabenwechsels

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit dem Paradigma des Aufgabenwechsels und den zwei einflussreichsten Theorien auf diesem Forschungsgebiet: der Theorie der Aufgabenträgheit (Allport et al., 1994) und der Rekonfigurationstheorie (Rogers & Monsell, 1995).

Diese Theorien treffen über den Ursprung der Wechselkosten unterschiedliche Aussagen. Die Theorie der Aufgabenträgheit behauptet, dass die empirisch zu beobachtenden Effekte des Aufgabenwechsels (insb. die Wechselkosten) die Folge eines passiven, automatischen Prozesses und nicht die Folge eines aktiven Kontrollprozesses sind. Demgegenüber wird in der Rekonfigurationstheorie behauptet, dass Wechselkosten den Zeitbedarf für aktive Kontroll- und Umkonfigurierungsprozesse abbilden.

Die Forschung zum Aufgabenwechselfaradigma gibt es seit ca. 80 Jahren. Die erste Veröffentlichung zum Aufgabenwechsel stammt von Jersild aus dem Jahre 1927. Jersilds (1927) Versuchspersonen sollten in einer Reihe von Zahlen zu jeder sechs addieren bzw. drei subtrahieren. Die arithmetischen Operationen wurden in verschiedene Listen ausgeführt. In gemischten Listen wurde bei jeder zweiten Zahl addiert und bei den anderen subtrahiert. In reinen Listen wurde entweder nur addiert oder subtrahiert. Die Ergebnisse zeigten, dass der Wechsel zwischen den arithmetischen Operationen zeitaufwendiger und fehleranfälliger war, als das wiederholte Ausführen von nur einer Operation. Anders formuliert: beim Wechseln zwischen Aufgaben entstehen Kosten.

Spector und Biederman (1976) replizierten dieses Ergebnis, interpretierten es jedoch als Gedächtnisproblem. Bis heute wird diskutiert, wodurch der Unterschied zwischen Aufgabenwechseln und Aufgabenwiederholungen entsteht. Die zwei einflussreichsten Theorien behaupten, dass Wechselkosten entweder dadurch entstehen, weil wir Zeit brauchen, um uns auf eine neue Aufgabe einzustellen, oder weil wir uns nicht voll-ständig von der alten Aufgabe gelöst haben.

Die Theorie der Aufgabenträgheit wurde 20 Jahre nach der Arbeit von Spector und Biederman (1976) veröffentlicht. Allport, Styles und Hsieh (1994) stellten die Frage, ob die von Jersild (1927), Spector und Biederman (1976) berichteten Wechselkosten durch eine aktive Kontrolleinheit oder einen passiven Mechanismus entstehen.

2.1.1 Die Trägheitstheorie

2.1.1.1 Die klassische Trägheitstheorie

Die Theorie der (Aufgabenträgheit task-set-inertia: TSI) war die Schlussfolgerung aus empirischen Untersuchungen, die Allport und seine Mitarbeiter 1994 veröffentlichten. Die Grundidee dieser Theorie ist der physikalischen Massenträgheit entlehnt: Ähnlich dem Ändern der Richtung eines sich im Raume bewegenden Objektes, kommt es beim Wechseln zwischen Aufgaben zu einer Tendenz, den vorherigen Zustand beizubehalten (d.h. die vorherige Aufgabe auszuführen). Bei der physikalischen Trägheit ist der vorherige Zustand die Richtung, bei der psychologischen Trägheit ist der vorherige Zustand die Aufgabe.

Wechsel führen im Vergleich zu Wiederholungen deshalb zu einer Zeitverzögerung, weil eine Tendenz vorliegt, die Reaktion auf die vorherige Aufgabe zu zeigen. Obwohl auf einen Reiz mit der Regel B reagiert werden soll, kommt es immer dann zu einer Tendenz auch die Regel A anzuwenden, wenn im vorherigen Durchgang die Regel A angewendet wurde. Wenngleich die Regel B korrekt angewendet wird, ist die Reaktionszeit beim Wechsel langsamer, als bei Wiederholungsdurchgängen.

Die empirische Basis für diese Aussagen war der Stroop-Test, genauer: der Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben, die mit Stroop-Reizen ausgeführt werden können. Beim Stroop-Test (Stroop, 1935) wird bei einem Farbwort in bestimmter Druckfarbe entweder die Wortfarbe benannt oder der Wortinhalt gelesen. In Durchgängen, in denen Wortfarbe und Wortbedeutung verschieden sind, ist die Reaktionszeit länger und die Fehleranzahl höher als in Durchgängen, in denen Wortfarbe und Wortinhalt gleich sind. Soll die Farbe benannt werden, kommt es in Durchgängen, in denen Wortfarbe und Wortbedeutung verschieden sind, zu längeren Reaktionszeiten und mehr Fehlern, als bei Durchgängen, in denen Wortfarbe und Wortbedeutung gleich sind.

Dieser Reaktionszeitunterschied ist schwach bis kaum vorhanden, wenn das Wort gelesen werden soll. Der Stroop-Effekt ist stark ausgeprägt, wenn die Farbe benannt wird und schwach ausgeprägt, wenn das Wort gelesen wird. Der Grund dafür ist die unterschiedliche Aufgabenschwierigkeit, bzw. der Grad der Automatisierung der jeweiligen Handlung. Die Aufgabe, die Farbe zu benennen ist schwieriger und weniger automatisiert als die Aufgabe, das Wort zu lesen. Das zeigt sich in einer höheren Fehleranfälligkeit und einer längeren Bearbeitungszeit für die Farbbenennung im Vergleich zum Wortlesen. Dies wiederum erklärt, warum die schwierige Aufgabe von der einfachen beeinflusst wird (im Sinne erhöh-

ter Interferenz bei Nichtübereinstimmung von Farbe und Wortbedeutung), jedoch nicht die einfache von der schwierigen (siehe Abschnitt 2.1.1.3).

Allport et al. (1994) verwendete die Logik dieses Paradigmas, um mehrdeutige Stimuli darzubieten und dann zwischen den Aufgaben, die mit diesem verbunden waren, wechseln zu lassen. Es wurden zwei Reizarten verwendet: Zum einen klassische Stroop-Reize (Farb-Worte in unterschiedlichen Druckfarben) und zum anderen Ziffern, die in einer Gruppe bestimmter Anzahl angeordnet wurden (z.B. viermal die Ziffer 3). Bei den Ziffern bestand die Aufgabe darin, gerade-ungerade bzw. größer-kleiner Urteile abzugeben. Beurteilt wurden entweder die Anzahl der Ziffern oder die Ziffern selbst. Über die Durchgänge konnte ein Wechsel zwischen den Aufgabenkomponenten stattfinden, wenn in einem Folgedurchgang eine andere Aufgabe bearbeitet werden sollte. Die Übergänge zwischen den Durchgängen bestanden im Einzelnen darin, dass die Reizdimension (Ziffer vs. Anzahl) oder die Aufgabe (gerade/ ungerade vs. größer/ kleiner) gewechselt oder wiederholt werden konnte.

Eine zentrale Eigenschaft, die dem exekutiven Kontrollsystem zugeschrieben wird ist, dass seine Ressourcen begrenzt sind. Die Funktion eines exekutiven Kontrollsystems besteht darin, auf die nächste Aufgabe vorzubereiten und der Bearbeitung der Aufgabe Ressourcen zuzuweisen. Das Ziel der Experimente bestand darin, folgende Vorhersagen zu testen, die sich aus diesen Annahmen ableiteten. Ermöglicht ein exekutives Kontrollsystem den Wechsel, sollte sich ein bestimmtes Muster in den Reaktionszeiten zeigen. 1. Die Kontrolle von mehreren Aufgabenkomponenten sollte aufwendiger sein, als die Kontrolle von einer Aufgabenkomponente. 2. Mit steigender Aufgabenschwierigkeit sollten mehr Ressourcen in Anspruch genommen werden. 3. Mit hinreichend langer Vorbereitungszeit sollten keine Wechselkosten entstehen, weil dann dem exekutiven System ausreichend Zeit zur Verfügung stünde, alle Ressourcenallokationen abzuschließen.

Keine der Vorhersagen traf ein: Der gleichzeitige Wechsel von Aufgabe und Dimension nahm nicht mehr Zeit in Anspruch, als der Wechsel von nur einer Aufgabenkomponente. Wechselten die Aufgaben (bspw. von gerade/ungerade zu größer/kleiner) aber nicht die Dimension (bspw. Ziffer), kam es zu den gleichen Reaktionszeiten wie beim Wechsel zwischen Aufgaben und Dimensionen. Folglich war die Kontrolle von mehreren Aufgabenkomponenten nicht aufwendiger. Auch die Variation der Aufgabenschwierigkeit mit Hilfe der numerischen Distanz zwischen den Ziffern führte nicht zu den vorhergesagten Resultaten. Darüber hinaus zeigten die Reaktionszeiten nach dem Wechsel ein bestimmtes Muster. Mit fortlaufenden Wiederholungsdurchgängen nach dem Wechsel näherte sich die Reaktionszeit asymptotisch der Zeit an, die für die alleinige Bearbeitung dieser Aufgabe

benötigt wurde, erreichte diese aber nicht. Darüber hinaus fand man selbst bei langem Vorbereitungsintervall noch Wechselkosten. Die Wechselkosten sollten aber bei hinreichend langer Vorbereitungszeit gegen null gehen, wenn ein exekutives Kontrollsystem für die Vorbereitung auf die folgende Aufgabe verantwortlich ist, da bei einem hinreichend langen Vorbereitungsintervall alle Rekonfigurationsprozesse bereits abgeschlossen sein sollten, wenn der zu bearbeitende Reiz erscheint.

Diese Resultate führten Allport zu folgendem Schluss: Die Performanzeinbußen beim Aufgabenwechsel entstehen nicht, weil ein exekutives Kontrollsystem zunächst zwischen den Aufgaben wechselt und dann die Verarbeitungsressourcen auf die relevante Aufgabe richtet, sondern durch das Nachwirken der vormals relevanten Aufgabe (zu einer Kritik dieser Konklusion siehe Hübner et al., 2001). Nach der Auffassung von Allport et al. (1994) entstehen Wechselkosten durch einen zeitlich versetzten (proaktiven) Interferenzeffekt: Jede Aufgabe wird mit der Bearbeitung einer zukünftigen interferieren, weil die S-R Verbindung (das Task-Set) im Gedächtnis aufrechterhalten oder zumindest nicht vollständig deaktiviert wird. Allport et al. (1994) gingen ferner davon aus, dass diese Interferenz langsam zerfällt. Nach einem Wechsel verursacht dieser Zerfall die asymptotische Annäherung an die Zeit, die für die alleinige Bearbeitung der Aufgabe benötigt wird.

In der ursprünglichen Theorie der Aufgabenträgheit (Allport et al., 1994) blieb der Prozess, durch welchen die persistierende Aktivierung bzw. Inhibition von Aufgaben entsteht, noch unklar. In späteren Experimenten (Waszak et al., 2003; Wylie & Allport, 2000) wurde die Theorie erweitert und präzisiert, es entstand die Theorie der assoziativen Aufgabenträgheit.

2.1.1.2 Assoziative TSI

Die Theorie der TSI führte die Wechselkosten auf einen Gedächtniseffekt zurück. Die Ergebnisse von Allport et al. (1994) konnten durch eine persistierende Aktivierung/Inhibition der vormaligen Aufgabe erklärt werden. Es war plausibel, von einer Aktivierung im Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis (Atkinson & Shiffrin, 1971) auszugehen, da die Wechselkosten mit zunehmender Aufgabenwiederholung kleiner wurden. Spätere empirische Befunde sprachen jedoch dagegen, dass eine Aktivierung des Arbeitsgedächtnisses ausreicht, diese Effekte zu erklären. Eine Revision der Theorie war die Folge. Diese Befunde und die Revision der Theorie werden im Folgenden kurz dargestellt.

Die Interferenz sollte mit ansteigender Zeit kleiner werden, wenn nichtassoziative Gedächtnisprozesse wie Arbeitsgedächtnisaktivierung für die Wechselkosten verantwortlich

sind, weil die Aktivierung des Arbeitsgedächtnisses mit der Zeit abnimmt (Goldman-Rakic, 1990). Der folgende Befund spricht jedoch gegen den Zerfall der Aktivierung. Es kommt selbst dann zu einer Reaktionszeitverlangsamung, wenn Minuten zuvor der identische Reiz mit einer alternativen Aufgabe bearbeitet wurde. Dieser Effekt deutet darauf hin, dass Reiz und Reaktion nicht nur aktiv aufrechterhalten werden, sondern dass zusätzlich eine assoziative Verbindung zwischen dem Reiz und der Reaktion bzw. dem Reiz und der mit dem Reiz ausgeführten Aufgabe aufgebaut wurde. Wylie und Allport (2000) glauben, dass es zum Aufbau einer Assoziation zwischen Reiz und Reaktion kommt. Infolgedessen wird der Reiz gleichsam zu einem Signal oder Abrufhinweis, die zuvor ausgeführte Aufgabe wieder auszuführen. Diese Assoziation verursacht Wechselkosten, weil trotz eines Aufgabenwechsels die alte Episode (d.h. die zuvor ausgeführte Aufgabenregel oder Reiz-Reaktions-Verknüpfung) abgerufen wird. Ein Reaktionskonflikt, dessen Überwindung Zeit kostet, ist die Folge.

Wie weitere Studien zeigten, scheint dieser Effekt stimulusspezifisch zu sein. Waszak et al. (2003) verwendeten bivalente Reize, die sich aus zwei Reizdimensionen zusammensetzten: 1. Strichzeichnungen von Objekten und 2. Worte, die über die Zeichnungen gedruckt waren. Die Aufgabe bestand darin, entweder das gezeichnete Objekt zu benennen oder das Wort zu lesen. Im ersten Block sollten jeweils die Objekte benannt und das Wort ignoriert werden. Im nächsten Block bestanden die Reize aus den zuvor dargebotenen sowie neuen Strichzeichnungen. In der Bedingung Wort-Lesen kam es dann zu einer Reaktionszeitverlangsamung, wenn eine Strichzeichnung aus dem vorherigen Block dargeboten wurde. Dieser Effekt zeigte sich selbst dann, wenn zwischen ursprünglicher und wiederholter Darbietung der Strichzeichnung einige Minuten lagen. Die Autoren interpretierten dieses Ergebnis als Nachweis dafür, dass die Aufgabenträgheit durch eine Assoziation zwischen Reiz und Reaktion entsteht.

2.1.1.3 Der Asymmetrieeffekt

Eines der Hauptargumente, welches für die Theorie der Aufgabenträgheit spricht, sind die Ergebnisse aus Experimenten, in denen zwischen Aufgaben verschiedener Schwierigkeitsgrade gewechselt wird.

Nimmt man an, dass der Aufgabenwechsel in einer Vorbereitung oder Rekonfiguration auf die aktuelle Aufgabe besteht, sollte der Wechsel auf eine leichtere Aufgabe mit weniger Kosten verbunden sein als der Wechsel auf eine schwierigere Aufgabe. Im Gegensatz dazu ist nach der Theorie der Aufgabenträgheit nicht der zukünftige, sondern der vergan-

gene Zustand entscheidend, weil Wechselkosten durch persistierende Aktivierung/ Inhibition entstehen.

Allport et al. (1994) sowie Meuter und Allport (1999b) konnten zeigen, dass ein Wechsel von der schwierigen zur leichten Aufgabe länger dauert als der Wechsel von der leichten zur schwierigen. Dieser Asymmetrieeffekt wird von der Theorie der Aufgabenträgheit vorhergesagt. Der TSI-Theorie zufolge verlangt die Bearbeitung einer schwierigen Aufgabe eine Inhibition der (interferierenden) leichten Aufgabe und/oder eine stärkere Aktivierung der schwierigen Aufgabe. Wird von der schwierigen zur leichten Aufgabe gewechselt, muss eine stärkere Inhibition der vormals irrelevanten und/ oder eine erhöhte Aktivierung der nunmehr irrelevant gewordenen Aufgabe überwunden werden als beim Wechsel von der leichten zur schwierigen Aufgabe.

Ein Asymmetrieeffekt, wie er von der TSI-Theorie vorhergesagt wird, konnte beim Wechseln zwischen verschiedenen Sprachen gezeigt werden (Meuter & Allport, 1999). Bilinguale Versuchspersonen sollten zwischen einer Fremdsprache und ihrer Muttersprache wechseln. Der Wechsel von der Fremdsprache zur Muttersprache führte zu größeren Wechselkosten als der Wechsel von der Muttersprache zur Fremdsprache. Der aktuelle Stand der Forschung zeigt jedoch, dass der Asymmetrieeffekt nicht allgemeingültig ist, sondern dass dessen Größe und Richtung empirisch und theoretisch spezifiziert werden können (Gilbert & Shallice, 2002).

Derartige Interferenzeffekte sind empirisch nachweisbar, aber nicht die einzige Ursache für Wechselkosten. Experimente, in denen das Vorbereitungsintervall manipuliert wurde, verweisen darauf, dass bei der Entstehung von Wechselkosten auch eine Rekonfigurationskomponente beteiligt ist. Der folgende Abschnitt berichtet empirische Befunde und theoretische Annahmen der Rekonfigurationstheorie.

2.1.2 Die Rekonfigurationstheorie

Physikalische Objekte ändern nur unter Energiezufuhr ihre Richtung. Wenngleich es richtig sein mag, Menschen eine Trägheit oder Schwerfälligkeit beim Ändern ihrer Aufgaben und Ziele zu unterstellen, so bleibt doch die Frage, woher sie die Energie dazu nehmen. Anders formuliert: Gibt es im menschlichen Gehirn eine Instanz, die es ermöglicht, alte Zustände zu überwinden und damit flexibel zu reagieren?

Werden separate Theorien über Kognition, Gedächtnis, Wahrnehmung gebildet und getestet, bleibt die Frage offen, ob es eine übergeordnete exekutive Kontrollinstanz gibt, die alle Einzelprozesse integriert und verwaltet. Wie Logan (2003) betont, ist das Paradigma

des Aufgabenwechsels deshalb zur Untersuchung von exekutiven Kontrollprozessen geeignet, weil der Zeitunterschied zwischen Aufgabenwechseln und Aufgabenwiederholungen die Möglichkeit bietet, den Kontrollprozess bei der Arbeit zu beobachten. Die Theorie der Aufgabenträgheit behauptet, dass Wechselkosten nicht durch eine Kontrollinstanz, sondern einen passiven Mechanismus verursacht werden. Die Rekonfigurationstheorie (TSR = task set reconfiguration) sagt dagegen aus, dass ein Wechsel durch einen Kontrollprozess oder mehrere Kontrollprozesse ermöglicht wird.

Wechselkosten entstehen, weil dieser Kontrollprozess Zeit in Anspruch nimmt. Die TSR geht davon aus, dass sich die Person aktiv auf eine Aufgabe vorbereiten kann. Unter Einbeziehung von Zielen und Instruktionen bereitet die Kontrollinstanz das System auf die Aufgabe vor. Dieser aktive Aspekt der Kontrolle wird abgegrenzt gegen einen passiven Zerfall (siehe TSI). Vorbereitungs- und Aufgabenwiederholungseffekte sprechen dafür, dass zumindest ein Teil der Wechselkosten durch eine aktive Rekonfiguration entsteht. Für eine Kritik dieser Argumente siehe Dreisbach et al. (2002). Ich werde im Folgenden die methodischen und experimentellen Ausgangspunkte der TSR beschreiben.

Das von Spector und Biederman (1979) verwendete Paradigma hatte einige methodische Schwächen: Die Gedächtnisbelastung ist in Listen mit zwei Aufgaben größer als in Listen mit einer. Im Gegensatz zu Listen mit einer Aufgabe müssen bei gemischten Listen zwei Aufgaben erinnert werden. Darüber hinaus muss bei jeder Aufgabe überlegt werden, welche Aufgabe zuvor bearbeitet wurde. Werden Wechselkosten aus der Differenz von Blöcken mit einer Aufgabe und Blöcken mit zwei Aufgaben berechnet (siehe Spector und Biederman, 1979), entsteht folgendes Problem. Die Kosten, die durch den Wechsel der Aufgabe entstehen, enthalten einen Teil, der durch eine Gedächtnismehrbelastung entsteht (mixed list costs). Diese methodischen Einwände motivierten Rogers und Monsell (1995), ein alternatives Paradigma zu entwickeln.

Beim alternating runs –Paradigma (Rogers & Monsell, 1995) wird die Gedächtnisbelastung konstant gehalten. In jedem Durchgang wird im Uhrzeigersinn ein Reiz an einer von N Bildschirmpositionen dargeboten. Zu einer anderen Aufgabe muss dann gewechselt werden, wenn ein Reiz auf der 12.00 Uhr Position erscheint. Diese Art der Hinweisreizapplikation wird als simultan bezeichnet¹, weil Reiz und Hinweisreiz (Bildschirmposition) gleichzeitig erscheinen. Ein anderer Vorteil dieses Experimentalablaufes ist, dass es zu jeder Aufgabe N fortlaufende Messzeitpunkte gibt. Damit besteht die Möglichkeit, den Faktor N (die Anzahl von Versuchsdurchgängen, in denen nach einem Wechsel der Aufgabe

¹ Bei einer fixen Sequenz von Positionen und einem längeren RSI kann die nächste Aufgabe bereits antizipiert werden.

die gleiche Aufgabe wiederholt auszuführen ist) nach dem Wechsel der Aufgabe explizit zu analysieren und eine Vorhersage der TSI, dass die Reaktionszeit mit fortlaufenden N kürzer wird, zu testen. Die Wechselkosten berechnen sich aus der Differenz vom letzten oder mittleren Wiederholungsdurchgang und dem Wechseldurchgang. Im Folgenden stelle ich die Ergebnisse von Rogers und Monsell (1995) dar.

In Übereinstimmung zu vorherigen Veröffentlichungen zu diesem Thema wurden bei einem Wechseldurchgang mehr Fehler gemacht und die Reaktionszeit war länger als bei einem Wiederholungsdurchgang. Der TSI zufolge müsste nach dem Wechsel ein gradueller Zerfall des Task-Sets stattfinden. Die Wechselkosten sollten sich mit fortlaufender Wiederholung verringern. Anders als von der TSI vorhergesagt, bestand jedoch nur ein Unterschied zwischen Wechsel- und erstem Wiederholungsdurchgang; im dritten und vierten Wiederholungsdurchgang fand keine weitere Verkürzung der Reaktionszeit statt. Diese Ergebnisse stimmten jedoch mit den Vorhersagen der Rekonfigurationstheorie überein. Darüber hinaus waren die Wechselkosten umso kleiner, je mehr Zeit zwischen Reaktion und nächster Aufgabe verging. Rogers und Monsell (1995) sahen in diesen Befunden einen Nachweis für eine aktive Vorbereitung.

Gegen diese Schlussfolgerungen wurden zwei Einwände eingebracht. Erstens: Gilbert und Shallice (2002) zeigten mit Hilfe einer Computer-Simulation, dass die von Rogers und Monsell (1995) beobachteten Effekte auch durch die TSI-Theorie erklärt werden können. Zweitens: In der Zeit zwischen Reaktion und der nächsten Aufgabe sind zwei Prozesse denkbar – aktive Vorbereitung auf die kommende Aufgabe sowie passiver Zerfall der Gedächtnisaktivierung durch die vergangene Aufgabe.

Aktive Vorbereitung und passiver Zerfall konnten durch die Verwendung eines expliziten asynchronen Hinweisreizes getrennt werden. Ein expliziter nicht-simultaner Hinweisreiz bietet die Möglichkeit, die Zeit zwischen Hinweisreiz und Reiz (cue-trial-interval = CTI) sowie die Zeit zwischen Hinweisreiz und Aufgabe (cue-stimulus-interval = CSI) experimentell zu manipulieren. Die Logik eines expliziten Hinweisreizes besteht darin, dass experimentelle Variationen von CSI und CTI dann die Reaktionszeiten in bestimmter Weise verändern, wenn es die Prozesskomponenten Zerfall und Vorbereitung gibt. Wenn man davon ausgeht, dass während des Reaktions-Stimulus-Intervalls ein Zerfall stattfindet, kann der Anteil der aktiven Vorbereitung experimentell beeinflusst werden, indem bei konstantem Reaktions-Stimulus-Intervall das CTI variiert wird. Für eine aktive Rekonfiguration spricht, wenn die Wechselkosten bei gleich bleibender Zerfallszeit mit zunehmender Vorbereitungszeit kleiner werden. Gegen eine aktive Rekonfiguration spricht, wenn die

Wechselkosten bei gleich bleibender Zerfallszeit und zunehmender Vorbereitungszeit konstant bleiben.

Meiran (1996) entwickelte die Idee, beim Aufgabenwechsel eine Darbietungssequenz von Hinweisreiz und Reiz (Sudevan & Taylor, 1987) zu verwenden. Er zeigte, dass sich einerseits die Wechselkosten mit zunehmender Zeit zwischen Hinweisreiz und Aufgabe verringerten. Andererseits verringerten sich die Wechselkosten auch mit zunehmender Zeit zwischen Reaktion und nächster Aufgabe. Die Wechselkosten können demnach weder ausschließlich durch einen graduellen Zerfall von Inhibition/Aktivierung noch durch eine aktive Vorbereitung erklärt werden. Darüber hinaus kann eine aktive Rekonfiguration die Wechselkosten nicht vollständig erklären, weil auch bei einem hinreichend langen Vorbereitungsintervall² residuale Wechselkosten entstehen. Rogers und Monsell (1995) gaben hierfür die post-hoc Erklärung ab, dass der Vorbereitungsprozess erst mit der Verarbeitung des Stimulus abgeschlossen werden kann. Rubinstein et al. (2001) argumentieren ähnlich: In der Vorbereitungsphase wird zwar auf die neue Aufgabe gewechselt (eine abstrakte Zielrepräsentation wird abgerufen), die Aufgabenregeln (d.h. die konkreten Reiz-Reaktions-Zuordnungen) werden jedoch erst mit der Stimulusverarbeitung aktiviert. Wenngleich die residualen Wechselkosten damit erklärt werden können, ist es auch möglich, dass passive Interferenzeffekte an ihrer Entstehung beteiligt sind. Denkbar ist auch, dass Wechselkosten durch Zerfall und Vorbereitung entstehen.

Logan und Bundesen (2004) kritisierten die Messung von Zerfall und Vorbereitung durch Verwendung eines expliziten Hinweisreizes. Logan und Bundesen (2004) verwendeten für jede Aufgabe zwei Hinweisreize, um zu zeigen, dass die Wechselkosten beim Paradigma des expliziten Hinweisreizes einen Zeitanteil enthalten, der durch die Verarbeitung des Hinweisreizes entsteht. Werden zwei Hinweisreize für jede Aufgabe verwendet, gibt es Aufgabenwiederholungen, bei denen der Hinweisreiz wiederholt wird und Aufgabenwiederholungen, bei denen der Hinweisreiz gewechselt wird. Damit kann unterschieden werden zwischen: Aufgabenwiederholungen mit Hinweisreizwechseln und Aufgabenwiederholungen mit Hinweisreizwiederholungen.

Der Effekt des Hinweisreizwechsels zeigt sich an der Differenz beider Aufgabenwiederholungen. Darüber hinaus können Wechselkosten vom Effekt des Hinweisreizwechsels bereinigt werden, indem man die Differenz aus Aufgabenwiederholungen mit Hinweisreizwechseln und Aufgabenwechseln mit Hinweisreizwechseln berechnet. Die Ergebnisse zeigten, dass es beim Wechsel des Hinweisreizes und gleicher Aufgabe zu einer Verlang-

² Unter der Annahme, dass die Wechselkosten den Zeitbedarf der Rekonfigurationsprozesse spiegeln, sollte ein Vorbereitungsintervall dann hinreichend lang sein, wenn es größer als die Wechselkosten ist.

samung der Reaktionszeit kommt. Des Weiteren war der Zeitanteil des Hinweisreizwechsels größer als der Zeitanteil der bereinigten Wechselkosten. Logan und Bundesen (2004) behaupten, dass Hinweisreiz und Reiz einen gemeinsamen Verbundreiz bilden. Wechselkosten entstehen, weil der Verbundreiz bei einer Wiederholung schneller enkodiert werden kann. Wechselkosten entstehen durch einen Enkodierungsvorteil bei Wiederholungsdurchgängen. Deshalb werden bei klassischen Aufgabenwechselfparadigmen die Wechselkosten überschätzt. Diese Erkenntnis war der Ausgangspunkt für das im folgenden Abschnitt vorgestellte freie Aufgabenwechselfparadigma.

2.1.3 Der freie Aufgabenwechsel

Arrington und Logan (2004) entwickelten ein Paradigma mit dem Ziel, den aktiven Prozess des Aufgabenwechsels zu messen, in dem Wechselkosten und Hinweisreizwechsel nicht konfundiert sind. Ihre Idee bestand darin, keinen Hinweisreiz zu verwenden und stattdessen den Versuchspersonen die freie Wahl zwischen den Aufgaben zu lassen. Wechsel und Wiederholung waren damit nicht von einem Hinweisreiz abhängig, sondern von der freien Wahl der Person. Den Autoren zufolge repräsentieren die Wechselkosten einer freien Wahl eine rein aktive Komponente. Mit diesem Paradigma konnten sowohl die Perseverationstendenz, d.h. die Tendenz, wiederholt die gleiche Aufgabe auszuführen, obwohl eine andere Aufgabe ausgeführt werden könnte, als auch die Wechselkosten erhoben werden. Obwohl im empirischen Teil der vorliegenden Arbeit ein Paradigma vorgestellt wird, mit welchem auch die Perseverationstendenz und die Wechselkosten gemessen werden können, unterscheiden sich beide Paradigmen formell in der Instruktion und der Art der Aufgabe. So lag bei Arrington und Logan (2004) das Augenmerk auf dem Wechsel der Aufgaben, während sich das Paradigma der vorliegenden Arbeit mit dem Wechsel zwischen verschiedenen Merkmalsdimensionen beschäftigt. Trotzdem ist die Arbeit von Arrington und Logan für den theoretischen Hintergrund dieser Arbeit interessant, weil es sich meines Wissens um das einzige Aufgabenwechselfparadigma handelt, mit dem spontane Alternationen untersucht wurden.

Das freie Aufgabenwechselfparadigma von Arrington und Logan (2004) bestand im Einzelnen darin, dass die Versuchspersonen Zahlen als gerade-ungerade oder größer-kleiner beurteilen sollten. Dabei sollten die Versuchspersonen möglichst nach Zufall zwischen diesen Aufgaben wechseln. Für die Wechselkosten ergab sich jenes aus dem Aufgabenwechselfparadigma bekannte Muster: Wiederholungen waren schneller als Wechsel und die Wechselkosten stiegen mit zunehmenden Zeitdruck, d.h. mit kleiner werdendem Intervall

zwischen Reaktion und Folgedurchgang. Ferner war die Reaktionszeit vor und nach einem freien Wechsel leicht erhöht, was nach Arrington und Logan (2004) dafür spricht, dass vor einem Wechsel das alternative Task-Set langsam aufgebaut wurde und mit dem aktuellen Task-Set interferierte. Darüber hinaus zeigte sich eine Tendenz zur Aufgabenwiederholung und die Wahrscheinlichkeit, die gleiche Aufgabe noch einmal zu wählen, wurde mit zunehmender Anzahl von Aufgabenwiederholungen kleiner. Die Autoren behaupten, dass mit diesem Paradigma ein volitionaler Prozess messbar sei, der durch klassische Aufgabenwechselfaradigmen nicht erfasst wird. Das freie Aufgabenwechselfaradigma umgeht zwar den Effekt des Hinweisreizwechsels, aber es misst meiner Meinung nach nicht eine freie Aufgabenwahl, sondern die Fähigkeit bzw. Schwierigkeit, instruktionsgemäß einen Zufallsprozess nachzuahmen. Ich erachte es als sinnvoll, den Begriff der freien Aufgabenwahl vom Begriff der Zufallsentscheidung abzugrenzen³. Durch die artifizielle Instruktion, eine Zufallsentscheidung zu imitieren, entstand der nachfolgende Zusammenhang. Mit zunehmender Anzahl von Aufgabenwiederholungen stieg die Wahrscheinlichkeit eines Wechsels, was zeigt, dass die Wahlentscheidung der Versuchspersonen von der Zeit abhängig war, in der die alternative Aufgabe zuletzt ausgeführt wurde, und dies wiederum, dass die Aufgabenwahl nicht als frei bezeichnet werden kann. Die Wahlentscheidung spiegelt eher den Versuch wider, der Instruktion gerecht zu werden. In diesem Sinne sind die von Arrington und Logan (2004) gemessenen spontanen Alternationen zwar nicht durch einen instruktiven Hinweisreiz bedingt, wohl aber dadurch, der Instruktion gerecht zu werden.

Im Experimententeil der vorliegenden Arbeit wird die Idee aufgegriffen, verschiedene Übergänge (Wiederholung vs. Wechsel) ohne Hinweisreiz zu untersuchen, wobei auf die Instruktion – einen Zufallsprozess zu imitieren, verzichtet wird. Dies eröffnet die Möglichkeit, die Perseverationswahrscheinlichkeit und die Wechselkosten ohne einen Hinweisreiz zu untersuchen, jedoch ohne dass währenddessen zusätzlich eine Zufallsüberwachung stattfinden muss.

Arrington und Logan (2005) führten mit dem Paradigma des freiwilligen Aufgabenwechsels eine weitere Serie von Experimenten durch, um zu zeigen, dass der Aufgabenwechsel in ihrem Paradigma durch einen aktiven Prozess und nicht durch Stimuluseigenschaften entsteht. Entgegen dieser Interpretation zeigten Mayr und Bell (2006) mit einer

³ Ich behaupte, dass die freie Wahl keine Zufallsentscheidung ist. Für diesen Schluss, dass die freie Wahl eine Zufallsentscheidung ist, müssten die Autoren zeigen, dass die freie Wahl mit der Generierung von Zufallssequenzen vergleichbar ist. Beispielsweise kann ich beim Gemüsehändler frei zwischen verschiedenen Apfelsorten wählen oder ich kann zufällig, z.B. ohne hinzuschauen, in eine Apfelkiste greifen.

kritisch erweiterten Replikation des freien Aufgabenwechselfparadigmas, dass der spontane Aufgabenwechsel in diesem Paradigma durch Stimuluseigenschaften bedingt ist. Ich werde im Folgenden auf beide Arbeiten eingehen.

Arrington und Logan (2005) ließen in einem weiteren Experiment zum freien Aufgabenwechselfparadigma Versuchspersonen entweder frei zwischen zwei Aufgaben wählen oder sie gaben durch einen Hinweisreiz eine Aufgabe vor. Ein Hinweisreiz in Form eines Rahmens informierte darüber, ob die Aufgabe frei gewählt werden konnte oder vorgegeben wurde. Weil für jede Aufgabe zwei Hinweisreize vorlagen, konnten die Übergänge zwischen den Aufgaben in Bezug auf Wechsel und Wiederholung des Hinweisreizes untersucht werden.

Die Ergebnisse zeigten, dass Wechselkosten selbst dann entstanden, wenn die Hinweisreizeffekte kontrolliert wurden. Darüber hinaus waren die Reaktionszeiten in Durchgängen bei freier Wahl kürzer als in der forcierten Bedingung, in der ein Hinweisreiz die Aufgabe ankündigte. Das Muster der Perseverationstendenz in Bezug auf die Wahlentscheidung wurde repliziert, d.h. wenn die Personen die Wahl hatten, dann entschieden sie sich in ca. 2/3 aller Fälle für die gleiche Aufgabe. Außerdem wurde der Einfluss von exogenen Reizmerkmalen wie der Wechsel vs. die Wiederholung von Hinweisreiz, Reaktion und Stimulus analysiert. Die Perseverationswahrscheinlichkeit stieg leicht an, wenn sich exogene Reizmerkmale wiederholten. Im Einzelnen führte sowohl eine Wiederholung des Reizes als auch der Reaktion oder des Hinweisreizes zu einer Erhöhung der Perseverationswahrscheinlichkeit. Die Autoren sprachen zusammenfassend von einer schwachen bis inkonsistenten Wirkung exogener Stimuluseigenschaften, woraus Arrington und Logan (2005) schlussfolgerten, dass die Wahlentscheidung in diesem Paradigma ein endogener Prozess ist. Interessanterweise konnten für die Wahlentscheidung keine Langzeitprimingeffekte (im Sinne der assoziativen TSI) gefunden werden. Die vormals ausgeführte Aufgabe wurde nicht häufiger gewählt, wenn ein identischer Hinweisreiz dargeboten wurde, d.h. ein Hinweisreiz, welcher mit der vorangegangenen Aufgabe verbunden war. Unklar bleibt allerdings, ob dieser Befund spezifisch für eine Situation mit freier Wahl ist.

Nach Arrington und Logan (2005) konnten während einer freien Wahl zwei Prozesse stattfinden: 1. Die Aufgabe wurde gewählt. 2. Es fand eine Rekonfiguration statt. Weitere Teilexperimente sollten klären, ob beide Prozesse sowohl bei Wechseln als auch bei Wiederholungen vorkamen und welchen Einfluss sie hatten. Zunächst sollte geklärt werden, ob eine freie Wahl auch dann stattfand, wenn die Aufgabe wiederholt wurde, d.h. ob sich die Versuchspersonen für die Wiederholung entschieden. Zu diesem Zweck wurde im Experi-

ment 3 (Arrington und Logan, 2005) ein *alternating runs* – Paradigma verwendet. Bei jedem ersten Durchgang eines Durchlaufes sollte die Aufgabe gewählt werden und in den folgenden Durchgängen sollte die Aufgabe wiederholt werden. Bei einer Wiederholung sollte sich der erste Durchgang eines Durchlaufes dann von den anderen in der Reaktionszeit unterscheiden, wenn eine aktive Wahl getroffen wurde. Die Ergebnisse zeigten, dass sich der erste Durchgang eines Durchlaufes von den anderen in der Reaktionszeit unterschied, woraus die Autoren schlussfolgerten, dass die Versuchspersonen eine aktive Wahl trafen. Darüber hinaus wurde der Einfluss der Anzahl der Durchgänge mit Aufgabenwiederholungen auf das Wahlverhalten untersucht, in dem die Durchlauflänge manipuliert wurde. Es zeigte sich, dass nach häufigeren Aufgabenwiederholungen öfter gewechselt wurde als nach weniger häufigen Wiederholungen. Die Autoren interpretierten diesen Effekt als die Auswirkung eines Wahlalgorithmus: Die Anzahl der Wiederholungen wurde registriert und danach geprüft, ob ein Wechsel nötig war, um beide Aufgaben gleich häufig bearbeitet zu haben. Auch dieses Ergebnis spiegelt meiner Meinung nach wider, dass in diesem Paradigma keine freie Wahlentscheidung, sondern ein Zufalls-simulationsprozess gemessen wurde, denn wieso sollte eine freie Wahl mit der Anzahl der fortlaufenden Wiederholungen korrelieren?

In einem abschließenden Experiment (Arrington und Logan, 2005, Exp. 4) wurden Wahlkosten und Wechselkosten getrennt, indem zwei separate Reaktionen gemessen wurden. Die erste Reaktion betraf die Aufgabenwahl (gerade/ungerade vs. größer/kleiner) und die zweite das Urteil (im Falle von gerade/ungerade bspw. gerade). Unter Wahlkosten verstehen die Autoren den Zeitaufwand, der auf die Wahlentscheidung zurückgeht. Die Wahlkosten berechneten sich aus dem Zeitunterschied zwischen Wiederholung und Wechsel der Aufgabe. Nur bei der Kategorisierungsreaktion entstanden Unterschiede zwischen Wechsel und Wiederholung, woraus Arrington und Logan schlussfolgerten, dass die Prozesskomponente Wahlentscheidung ein Bestandteil, aber nicht ursächlich für die Wechselkosten ist.

Arrington und Logan (2005) kamen zusammenfassend zu dem Schluss, dass es bei der Erforschung exekutiver Kontrollprozesse durch das Aufgabenwechselparadigma folgende Probleme gibt: wir wissen nicht, ob und in welchem Ausmaß Umwelteinflüsse eine Reaktion bestimmen, wobei das klassische Aufgabenwechselparadigma nur Wechsel in Folge von Umwelteinflüssen misst. Eine freie Wahl ist aber nur dann wahrscheinlich, wenn externe Umwelteinflüsse fehlen. Es kommt immer dann zu einem aktiven top-down Prozess, d.h. zu einer freien Wahl, die nicht an externe Umwelteigenschaften gebunden ist, wenn ungenügend Hinweisreize oder andere Informationen vorhanden sind. Im Gegensatz zum

klassischen Aufgabenwechselfparadigma sei das Paradigma des freien Aufgabenwechsels eine Situation, in der ungenügend Hinweisreize vorhanden sind, weshalb aktive top-down Prozesse mit diesem Paradigma messbar seien.

Ich werde im Folgenden eine Kritik am freien Aufgabenwechselfparadigma von Mayr und Bell (2006) vorstellen. Eine entscheidende Voraussetzung für die Behauptung, dass mit dem Paradigma des freien Aufgabenwechsels von Arrington und Logan (2004, 2005) ein aktiver top-down Prozess gemessen wird, ist, dass hier Wechsel und Wiederholungen tatsächlich endogen verursacht sind. Diesen Punkt greifen Mayr und Bell (2006) auf und gelangen durch eine Reihe von Experimenten zu dem Schluss, dass diese Prämisse nicht haltbar ist und dass am Paradigma des freiwilligen Aufgabenwechsels wenig freiwillig ist. Dennoch bietet das Paradigma des freien Aufgabenwechsels nach Mayr und Bell (2006) die Möglichkeit, interindividuelle Unterschiede bei Kontrollprozessen zu erforschen. Um dies zu belegen, verwendeten sie neben der gerade/ungerade – größer/kleiner Aufgabe noch eine räumliche Kompatibilitätsaufgabe, in der ein Kreis oben oder unten erschien und ein räumlich kompatibles (obere Taste, wenn der Kreis oben erscheint) oder inkompatibles Urteil (untere Taste, wenn der Kreis unten erscheint) abgegeben werden sollte. Die zweite Aufgabe wurde verwendet, um zu untersuchen, inwiefern die Ergebnisse von Arrington und Logan (2004, 2005) aufgabenspezifisch sind. Mayr und Bell (2006) zufolge können externe Merkmale des Reizes, wie Wechsel und Wiederholung spezifischer Reizausprägungen der Aufgabe, die Wahl beeinflussen.

Es konnte gezeigt werden, dass ein Wechsel des Reizes auch die Wahrscheinlichkeit erhöhte, dass die Aufgabe gewechselt wurde. Dieser Befund lag auch schon Arrington und Logan vor (2004, 2005). Aber aufgrund der von ihnen gewählten Aufgabe (gerade-ungerade vs. größer-kleiner) waren die Effekte klein, weshalb sie den Schluss zogen, dass der Einfluss externer Reizmerkmale inkonsistent und folglich zu vernachlässigen sei. Mayr und Bell (2006) behaupteten hingegen, externe Reizmerkmale hätten einen Einfluss, der jedoch aufgabenspezifisch sei, da dieser Zusammenhang bei der räumlichen Aufgabe stärker als bei der von Arrington und Logan (2004, 2005) verwendeten Zahlenkategorisierungsaufgabe war.

Arrington und Logan (2005) vertraten die Meinung, dass die Stärke ihres Paradigmas darin bestand, die Frage, ob Wechselkosten eine endogene Komponente haben, umkehren zu können in die Frage, ob es bei einem endogenen Wechsel Kosten gibt. Nach Mayr und Bell (2006) kann das freie Aufgabenwechselfparadigma diese Frage nicht beantworten, da der Wechsel starken exogenen Einflüssen unterliegt. Die Stärke dieses Paradigmas besteht

nach Mayr und Bell (2006) allerdings in der Möglichkeit, einen Einblick in die individuelle Kontrollstrategie zu bekommen. Mayr und Bell (2006) fanden, dass diejenigen Personen häufiger wechselten, die bei Wiederholungsdurchgängen längere Reaktionszeiten hatten. Dieser Befund entsteht nach Meinung der Autoren durch einen Inhibitionsprozess: Eine Person, die häufiger wechselt, muss sich von der Information aus dem vorherigen Durchgang lösen, indem sie diese Information inhibiert. Wenn sie das nicht täte, würde sie immer die gleiche Aufgabe wählen. So kommt es, dass die Personen mit einer stärkeren Inhibition des vorherigen Durchganges auch weniger stark unter dem Einfluss des vorherigen Durchganges stehen und damit ‚freier‘ wählen und folglich häufiger wechseln. Für diese Aussage spricht eine positive Korrelation zwischen der Wechselrate und den globalen Wechselkosten⁴. Je langsamer eine Person generell bei einem Wechsel war, desto größer war die Wechselwahrscheinlichkeit. Die verstärkte Inhibition der Information des vorherigen Durchganges führt nach Mayr und Bell (2006) zu einer Verlängerung der Reaktionszeit.

Ich möchte folgende Kritikpunkte an dem von Arrington und Logan (2004, 2005) entwickelten Paradigma zusammenfassen: 1. Das Ergebnis ist stark abhängig von der Instruktion, einen Zufallsprozess zu simulieren. 2. Die freie Wahl wird durch externe Stimuluseigenschaften beeinflusst (bspw. Wechsel des Hinweisreizes oder Wechsel des Reizes). Ungeachtet der Kritik gibt es zum jetzigen Zeitpunkt nur die drei hier vorgestellten Arbeiten zum freien Aufgabenwechsel, während in allen anderen Paradigmen die Aufgabe vorgegeben wurde. Wie Mayr und Bell (2006) bemerkten, kommen Arrington und Logan (2004, 2005) mit Hilfe ihres Paradigmas nicht zu neuen Erkenntnissen. Auf der empirischen Seite haben wir den Befund, dass ein frei gewählter Wechsel zu den gleichen Effekten wie ein vorgegebener, nämlich zu Wechselkosten führt.

Ich möchte im Folgenden auf Studien eingehen, welche die neuroanatomischen Korrelate einer freien Aufgabenwahl (im Sinne eines Task-Sets) untersuchten. Walton et al. (2004) untersuchten den freien und *forcierten* Wechsel von Reaktions-Sets⁵. Die Autoren zeigten, dass im Vergleich zu einer *forcierten* Wahl des Reaktions-Sets bei einer freien Wahl der mittlere zinguläre Kortex aktiviert wurde.

⁴ Die globalen Wechselkosten wurden errechnet aus der Differenz von Wiederholungsdurchgängen aus Blöcken, in denen nur eine Aufgabe ausgeführt werden sollte und Wiederholungsdurchgängen aus Blöcken, in denen zwischen beiden Aufgaben gewechselt werden sollte.

⁵ Im Gegensatz zu Task-Sets sind bei Reaktionssets die jeweiligen Aufgaben nur mit einem Reizmerkmal verbunden (bspw. das Reizmerkmal Form: drücke links, wenn ein Kreis erscheint und rechts, wenn ein Quadrat erscheint).

Eine Studie zum freien Wechsel von Task-Sets wurde von Forstmann et al. (2006) durchgeführt. Es wurde ein multivalenter Reiz verwendet und jeder der zwei Ausprägungen der vier Reizmerkmale wurde eine Taste zugeordnet. Die Aufgabe bestand darin, auf ein vorgegebenes Reizmerkmal mit einem Tastendruck zu reagieren. Ein Durchgang bestand aus drei Schritten. Zunächst zeigte ein Hinweisreiz, welche Reizmerkmale zur Auswahl standen und die Versuchsperson sollte sich frei für eines der Merkmale entscheiden. Anschließend sollte auf das ausgewählte Reizmerkmal reagiert werden. Danach gab die Person an, auf welches Reizmerkmal sie reagiert hatte. Durchgänge, in denen nur ein Reizmerkmal zur Auswahl stand (*forciert*), wurden verglichen mit Durchgängen, bei denen mehrere Reizmerkmale zur Auswahl standen (*frei*). Im Gegensatz zu *forcierten* Durchgängen kam es bei *freien* zu einer zusätzlichen Aktivierung des rostralen zingulären Gebiets. Die Autoren sahen darin einen Beleg dafür, dass bei einer *freien* Wahl andere Hirngebiete aktiviert wurden als bei *forcierter* Wahl. Leider erfahren wir in der Arbeit von Forstmann et al. (2006) nichts über die wechelspezifischen Aktivierungen, da keine Aufgabenwiederholungen erhoben wurden. Die Berechnung von Wechselkosten ist mit diesem Paradigma auch problematisch, da ein Aufgabenwechsel immer mit einem Hinweisreizwechsel verbunden wäre (Logan & Bundesen, 2004). Darüber hinaus ist es möglich, dass sich die Probanden nicht schon während der Hinweisreizdarbietung für die Aufgabe entschieden haben, sondern dass die Entscheidung erst während der Reizdarbietung getroffen wurde. Neben dem Aufgabenwechselparadigma wurden die experimentellen Untersuchungen der vorliegenden Arbeit vor allem durch den Wisconsin Card Sorting Test (WCST) angeregt. Daher werde ich im Folgenden auf den WCST genauer eingehen.

2.2 Der Wisconsin Card Sorting Test

Im empirischen Teil der vorliegenden Arbeit wird eine Modifikation des WCST vorgestellt. Es wurde unter Verwendung von Blickbewegungsanalysen die Hypothese getestet, ob die Charakteristika eines Wechsels, wie erhöhte Reaktionszeit und Fehleranfälligkeit, durch Prozesse auf Ebene der Reizidentifikation und Wahrnehmung zustande kommen. Wie im Folgenden gezeigt wird, legen die Theorien zum klassischen WCST eine solche Hypothese nahe.

Das ursprüngliche Anliegen des WCST war es, funktionelle Schädigungen im Bereich des PFC zu explorieren (Milner, 1963; Stuss et al., 2000), für eine Kritik siehe Anderson et al. (1991). In aktuellen Arbeiten zur Dynamik der Aufrechterhaltung und Aktualisierung

von Arbeitsgedächtnisaktivierungen (Amos, 2000; O'Reilly et al., 2002) wurde der WCST oft verwendet, um mit Hilfe von Bildgebungsstudien und Computersimulationen spezifische Vorhersagen zu prüfen. Dabei zeigte sich, dass Regeln und Reizmerkmale dann verstärkt repräsentiert wurden, wenn deren Beachtung zu einem Erfolg führte und ferner, dass diese Repräsentationen dann deaktiviert wurden, wenn der Erfolg ausblieb. Bei der fehlerfreien Bearbeitung des WCST spielt der PFC eine bedeutende Rolle. Läsionen des PFC, aber auch Beeinträchtigungen von damit verbundenen Strukturen wie den Basalganglien, führen zu charakteristischen Defiziten. Dass die einzelnen Strukturen unterschiedliche Funktionen vermitteln, kann daran gesehen werden, dass es in Abhängigkeit vom Läsionsort zu qualitativ unterschiedlichen Defiziten kommt. Nachfolgend wird der Aufbau, der empirische Basiseffekt sowie einige fMRT –Studien und Computersimulationen zum WCST vorgestellt.

2.2.1 Aufbau und empirische Ergebnisse

In einer Reihe von Durchgängen werden ein Stapel Zielkarten und vier Referenzkarten dargeboten. Auf jeder Karte befindet sich ein farbiges Symbol in einer bestimmten Anzahl. Drei der vier Referenzkarten stimmen mit der Zielkarte in unterschiedlichen Merkmalsdimensionen (Form, Farbe oder Anzahl) überein. Über eine Anzahl von Durchgängen wird jedoch nur eine der drei Dimensionen vom Testleiter als relevant festgelegt, ohne die Versuchsperson zu informieren, um welche es sich handelt. Die Versuchsperson muss herausfinden, welche Dimension als relevant festgelegt wurde. Dafür muss angegeben werden, welche Referenzkarte auf der relevanten Merkmalsdimension mit der Zielkarte übereinstimmt. Auf diese Reaktion der Versuchsperson gibt der Versuchsleiter eine Rückmeldung, in dem er richtig oder falsch sagt. Die Reaktion ist dann richtig, wenn auf diejenige Referenzkarte gezeigt wurde, die auf der relevanten Dimension mit der Zielkarte übereinstimmt. Nach der Rückmeldung beginnt der nächste Durchgang und eine neue Zielkarte wird aufgedeckt.

Wenn die Karte mit der relevanten Merkmalsdimension beim ersten Durchgang nicht identifiziert wurde, muss die Versuchsperson über die Durchgänge hinweg herausfinden bzw. lernen, welche Merkmalsdimension aktuell relevant ist. Die relevante Merkmalsdimension kann über die Durchgänge eindeutig geschlussfolgert werden, wenn die Versuchsperson nach einer falschen Reaktion im folgenden Durchgang eine andere Merkmalsdimension wählt. Selbst wenn wieder eine falsche Merkmalsdimension gewählt wurde, folgt aus der Rückmeldung aus dem vergangenen und aktuellen Durchgang, dass die dritte, noch

nicht gewählte Merkmalsdimension die relevante ist. Nachdem die Versuchsperson für eine festgelegte Zahl von aufeinander folgenden Durchgängen die Karten korrekt (d.h. nach der relevanten Merkmalsdimension) zugeordnet hat, wird ohne Ankündigung die relevante Merkmalsdimension gewechselt.

Gemessen wird, wie viele Durchgänge ab diesem Wechsel nötig sind, bis die neue relevante Merkmalsdimension gefunden wird. Personen mit Läsionen im Bereich des dorso-lateralen präfrontalen Kortex benötigen typischerweise nach einem Wechsel mehr Durchgänge als gesunde Kontrollpersonen, um die neue relevante Merkmalsdimension zu identifizieren (Milner, 1963). Charakteristisch dabei sind Perseverationsfehler: Es wird auf die Referenzkarte gezeigt, die in Bezug auf die vormals richtige, aber aktuell irrelevante Merkmalsdimension mit der Zielkarte übereinstimmt. Neben Perseverationsverhalten ist ein so genanntes Benutzungsverhalten (*utilisation behavior*) für ein präfrontales Defizit charakteristisch (Lhermitte, 1983). Das Benutzungsverhalten ist gleich dem Perseverationsverhalten dadurch gekennzeichnet, dass stark überlernte Reaktionen selbst dann gezeigt werden, wenn diese im aktuellen Kontext nicht adäquat sind. Ein Beispiel für ein Benutzungsverhalten ist: eine Person, die bereits eine Brille trägt und der eine weitere gereicht wird, versucht sich diese aufzusetzen. Benutzungsverhalten und Perseveration haben gemeinsam, dass eine starke Tendenz besteht, eine zuvor erlernte Reaktion auch dann zu zeigen, wenn diese nicht mehr angebracht ist. In diesem Sinne kann das Benutzungsverhalten als eine Variante der Perseveration angesehen werden, weil in einem ungeeigneten Kontext eine zuvor erlernte Reaktion gezeigt wird bzw. eine Strategie oder Verhaltensweise perseveriert.

Der WCST ist empirisch und theoretisch gut erforscht, verschiedene Varianten wurden in aktuellen Arbeiten oft als Paradigma für Bildgebungsstudien (Monchi et al., 2001), Tierstudien (Dias et al., 1996) und Simulationen mit neuronalen Netzen (Rougier et al., 2005; Rougier & O'Reilly, 2002) verwendet. Bedingt durch dieses breite Einsatzgebiet haben Untersuchungen mit dem WCST einen großen Beitrag zum Erkenntnisfortschritt über Prozesse und Funktionsweise des PFC beigetragen. Zusammengefasst zeigen diese Arbeiten, dass die Aufrechterhaltung und Aktualisierung von Repräsentationen entscheidende Prozesskomponenten flexiblen Verhaltens sind. Der PFC stellt eine relevante neuronale Schnittstelle dieser Prozesse und damit für das Um- und Neulernen von Aufgabenregeln dar. Im Folgenden werden einige Arbeiten, die diese Zusammenhänge belegen, vorgestellt.

2.2.2 Bildgebungsstudien

Unter Verwendung bildgebender Techniken konnten die anatomischen Strukturen lokalisiert werden, welche während der Bearbeitung des WSCT erhöhte Aktivierung zeigten. Frühere PET- und fMRT-Studien ergaben, dass der dorsolaterale präfrontale Kortex bei einem Wechsel aktiviert wird. Der occipitale Kortex zeigte mitunter eine stärkere Aktivierung als der präfrontale, aber diese Aktivierung war wechselunspezifisch.

Monchi et al. (2001) untersuchten, welche Hirnbereiche beim Wechsel und bei der Aufrechterhaltung von Merkmalsdimensionen aktiviert wurden. Mit Hilfe der fMRT erfassten die Autoren das BOLD-Signal, welches bei der Rückmeldung sowie beim Wechseln und Perseverieren der Merkmalsdimensionen entstand. Damit konnte die Hirnaktivität während einer positiven bzw. negativen Rückmeldung von der Aktivierung während der Aufrechterhaltung und dem Wechsel der Kategorisierungsregel separiert werden. Eine negative Rückmeldung aktivierte den mittleren dorsolateralen PFC, den mittleren ventrolateralen PFC und Teile der Basalganglien (Nucleus Caudatus) und den mediodorsalen Thalamus. Die Aufgabenbearbeitung nach einer negativen Rückmeldung, d.h. während eines Wechsels, führte zur Aktivität im linken Putamen und im linken posterioren PFC. Eine positive Rückmeldung führte zu Aktivität im mittleren dorsolateralen und posterioren PFC. Während der Aufgabenbearbeitung nach einer positiven Rückmeldung, d.h. während einer Perseveration, kam es zu Aktivität in prämotorischen und parietalen Gebieten.

Monchi et al. (2001) interpretieren die Aktivierung nach der Rückmeldung als dynamische Kontrolle des Gedächtnisinhaltes. Bei einer positiven Rückmeldung, so Monchi et al. (2001), wurde die Übereinstimmungsdimension aktiv aufrechterhalten und bei einer negativen Rückmeldung wurde der Inhalt des PFC über eine Basalganglienschleife aktualisiert⁶.

Bildgebende Studien können nicht direkt aufzeigen, wie und durch welche Transformationen die Information eines Reizes bis zur Reaktion umgewandelt wird. Simulationen mit neuronalen Netzen tragen dazu bei, Hypothesen über solche Transformationsvorgänge zu entwickeln und zu testen. Diese Modelle beschreiben, wann und durch welche Algorithmen es zur Aktualisierung und Aufrechterhaltung von Repräsentationen kommt.

⁶ Bestehend aus ventrolateralem PFC, Nucleus Caudatus und mediodorsalem Thalamus. In anderen Studien zeigte sich, dass nach einer negativen Rückmeldung der orbitofrontale PFC aktiviert wurde (Elliott et al, 2000), wobei noch unklar ist, inwiefern verschiedene Paradigmen unterschiedliche Aktivierungen bedingen.

2.2.3 Modellierungen mit neuronalen Netzen

In aktuellen Simulationen mit neuronalen Netzen (Monchi and Taylor, 1999) wurden computationale Mechanismen und Algorithmen zur Bearbeitung des WCST entwickelt und geprüft, wobei die angenommenen Prozesse explizit auf neuroanatomische Strukturen bezogen wurden (für Simulationen ohne neurophysiologische Einbettung siehe Levine et al., 1993, Dehaene and Changeux, 1989). Zusammengefasst zeigen diese Simulationen, dass der Prozess des Umlernens bei intaktem PFC schneller ist, weil er die Informationsverarbeitung auf Ebene der Reizidentifikation so verändert, dass die relevante Merkmalsdimension intensiviert verarbeitet wird.

Die meisten Simulationen zum WCST haben folgende Logik: Durch Versuch und Irrtum wird gelernt, welche Merkmalsdimension relevant ist, indem die Repräsentation der relevanten Dimension verstärkt wird. Dadurch etabliert sich eine Assoziation zwischen Aufgabe und Dimension. Nach dem Wechsel der Dimension muss die Stärke dieser Assoziation abgebaut werden: es muss ver- und umgelernt werden. An dieser Stelle greift der PFC ein. Der PFC ist am Überschreiben der alten Assoziation, d.h. am Umlernen beteiligt, in dem er ein Signal erzeugt, welches die Repräsentation der neuen Dimension (*top-down*) verstärkt und gleichzeitig die Stärke der Repräsentation der vormals relevanten Dimension inhibiert. Durch dieses Signal wird die Bildung einer neuen Assoziation vorangetrieben.

Der PFC beschleunigt den Lernprozess und folglich ist der Prozess des Umlernens verlangsamt, wenn dieses PFC-Signal fehlt. Ein Umlernen ist immer dann nötig, wenn andere oder neue Merkmalsdimensionen relevant werden. In den Simulationen werden Perseverationsfehler bei PFC-Läsion dadurch erklärt, dass die alte Assoziation zwischen Aufgabe und Dimension noch dominant ist. Im Folgenden werde ich anhand von zwei Simulationen auf einige Details näher eingehen, wie die Theorie der dopaminergen Neuromodulation von Cohen und Servan-Schreiber (1993).

Die WCST- Simulation von Amos (2000) beschreibt unter Einbeziehung der vermuteten anatomischen Strukturen mögliche computationale Mechanismen. Auch nach diesem Modell kommt es bei Patienten mit PFC-Läsionen zu Perseverationsfehlern, weil nur langsam umgelernt wird. Der kritische Test dieses Modells war ein Vergleich zwischen störungsspezifisch vorhergesagter und empirischer Fehlerverteilung. Damit bezog sich der Autor auf ein oft kritisiertes Problem des WCST, dass darin besteht, dass nicht nur PFC-Läsionen zu Performanzeinbußen beim WCST führen, sondern auch Parkinson, Chorea Huntington und Schizophrenie. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass Menschen mit diesen Störungen

unterschiedliche Fehler beim WCST verursachen: Schizophrene machen eher Perseverationsfehler, Parkinsonkranke Zufallsfehler und Patienten mit Chorea Huntington begehen beide Fehlerarten. Das von Amos (2000) postulierte Modell verdeutlicht, in welcher Weise Läsionen im Bereich des PFC oder damit verbundenen Gebieten zu unterschiedlichen Fehlerarten beim WCST führen können.

Es besteht aus den Komponenten PFC, Thalamus und Basalganglien (BG). Der PFC hält die Repräsentationen der relevanten Merkmalsdimension aufrecht und bahnt deren Verarbeitung auf perzeptueller Ebene. Die BG regulieren den Signalfluss vom Thalamus zum PFC und werden wiederum durch den PFC gesteuert, indem dieser Informationen in das Eingangsrelais der BG, das Striatum, gibt. Amos (2000) ging davon aus, dass im Striatum Ziel- und Referenzkarte auf Übereinstimmung in Bezug auf die Merkmalsdimensionen geprüft werden. Die Aktualisierung oder Aufrechterhaltung von Arbeitsgedächtnisrepräsentationen entsteht laut Modell wie folgt. Die Ausgabekerne der Basalganglien, die Substantia Nigra (SN) und der Globus Pallidus (GP), inhibieren den Thalamus tonisch, was dazu führt, dass nur dann neue Informationen in den PFC gelangen, wenn diese Inhibition aufgehoben (disinhibiert) wird. Infolge einer solchen Disinhibition werden die Repräsentationen im PFC aktualisiert, d.h. es gelangt neue Information ins Arbeitsgedächtnis.

Einer Idee von Cohen und Servan-Schreiber (1993) folgend, wurde ferner davon ausgegangen, dass die Aktivität des PFC (vermittelt über den Neuromodulator Dopamin) durch Belohnung und Bestrafung beeinflusst wird. Im Einzelnen postuliert dieser Ansatz, dass Dopamin ein Signal im mittleren Bereich verstärkt, indem es einen Einfluss auf die Signalschärfe hat: Schwache und starke Signale werden gedämpft und mittlere verstärkt⁷.

Diese Annahmen waren die Grundlage für folgende Überlegungen. Alle drei Störungen haben einen gestörten Dopamin-Haushalt gemeinsam. Jedoch ist das Dopaminsignal bei den unterschiedlichen Störungen an verschiedenen Strukturen beeinträchtigt. So ist bei Schizophrenie und Parkinson das Dopaminsignal *zum PFC* herabgesetzt, während bei Chorea Huntington das Dopaminsignal *zum Striatum* abgeschwächt ist. Nach Amos (2000) führt bei Schizophrenie und Huntington die herabgesetzte Signalschärfe im PFC dazu, dass die erlernte Assoziationstärke zwischen Aufgabe und Dimension langsamer abnimmt. Im Gegensatz zu einem intakten PFC bleibt bei einem läsierten die alte Assoziation zwischen Aufgabe und Dimension nach einem Wechsel der Dimension länger bestehen als bei einem intakten PFC. Weil bei Parkinson im Vergleich zur Schizophrenie noch zusätzlich

⁷ Mathematisch betrachtet, handelt es sich um eine Optimierung des Signal/Rauschverhältnis durch eine Erhöhung des Gain-Parameters in der sigmodialen Signalintegrationsfunktion. Dieser Parameter beeinflusst die Steilheit der sigmodialen Kurve (Cohen & Servan-Schreiber, 1993).

die Signalschärfe zum Striatum herabgesetzt ist, kommt es in diesem zum erhöhten unspezifischen Signal (Rauschen). Infolge dessen ist der Übereinstimmungscheck beeinträchtigt und es werden zusätzlich zufällige Fehler begangen. Die Performanzdefizite bei Chorea Huntington simulierte das Modell mit Hilfe einer verringerten PFC-Signalschärfe *und* striatalen Läsionen. Zusammengefasst zeigt diese Simulation, dass stabile Aufrechterhaltung sowie flexible Aktualisierung der relevanten Merkmalsdimension zur richtigen Reaktion beim WCST führt. Eine Beeinträchtigung dieser Prozesskomponenten geht einher mit unterschiedlichen Performanzeinbußen, wobei die Art dieser Fehler vom Ort der Läsion abhängig ist.

Ein ähnliches Modell zu einer WCST-Variante wurde von O'Reilly et al. (2002) erstellt. Ausgangspunkt war, dass nur unter bestimmten Bedingungen neue Inhalte in den PFC gelangen, wobei das Konzept der Belohnungserwartung zentral war. Eine Grundannahme bildete die Überlegung, dass auf jede Handlung auf einen Hinweisreiz eine Belohnung oder ihr Ausbleiben folgt, wobei diese Relation zwischen Reiz und Belohnung zeitlich versetzt sein kann⁸. Im Einzelnen wurde angenommen, dass jeder Reiz mit einer Belohnungserwartung verbunden ist. Entsteht eine Diskrepanz zwischen erwarteter und tatsächlicher Belohnung, ändert sich phasisch die Signalstärke des Neuromodulators Dopamin (Schultz, 1986). Ein Ausbleiben einer erwarteten Belohnung führt dazu, dass die aktuelle PFC-Repräsentation destabilisiert (*resetting*) wird, wohingegen eine unerwartete Belohnung ein erhöhtes phasisches Dopaminsignal bewirkt, was eine Aktualisierung des Inhaltes des PFC verursacht (*updating and maintenance*). Infolge dessen wird die Repräsentation des aktuell wahrgenommenen Reizes in den PFC gespeist und dort aktiv aufrechterhalten. Mit diesem Modell wurden u.a. die Ergebnisse einer empirischen Studie von Dias et al. (1996) simuliert.

Dias et al. (1996) verwendeten eine Variante des WCST, in welcher Affen zwei Reize dargeboten wurden, wobei jeder Reiz auf zwei Merkmalsdimensionen verschiedene Ausprägungen annehmen konnte. Die Tiere sollten herausfinden, welches Merkmal relevant war. Sie bekamen bei der Identifikation des relevanten Reizmerkmals eine Belohnung, wobei die gesamte Merkmalsdimension oder nur eine bestimmte Ausprägung relevant sein konnte. Damit war es möglich, Wechsel zwischen und innerhalb der Merkmalsdimensionen

⁸ Diese zeitliche Lücke führt zu einem Problem: Es ist nicht a priori bekannt, auf welchen Reiz in der nahen oder fernen Vergangenheit die Belohnung auf die Handlung erfolgt. Eine Lösung für dieses Problem ist der *temporal differences* Algorithmus (Sutton, 1988). Er beschreibt, dass Reize dann zu salienten Signalen werden, wenn sie eine zeitlich versetzte Belohnung ankündigen, indem eine Belohnung auf vergangene Reize zurückbezogen wird. Eine solche zeitliche Signalverschiebung konnte auch in Tierexperimenten nachgewiesen werden, indem zunächst ein dopaminerges Signal auf die Belohnung erfolgte und nach einigen Durchgängen schon auf den Hinweisreiz, der die Belohnung ankündigte.

nen zu untersuchen. Ferner wurde bei den Tieren selektiv der orbitale oder der laterale PFC läsiert. *Orbitale* PFC-Läsionen führten dazu, dass besonders der Wechsel auf das vormals irrelevante Merkmal *innerhalb* einer Dimension beeinträchtigt wurde. *Laterale* PFC-Läsionen beeinträchtigten besonders den Wechsel *zwischen* den Merkmalsdimensionen.

O'Reilly et al. (2002) zufolge zeigt dieses Ergebnis eine konkret – abstrakt Dichotomie, wobei der orbitale PFC dafür zuständig ist, Ausprägungen einer Merkmalsdimension aufrechtzuerhalten, während der laterale PFC die Merkmalsdimension selbst aufrechterhält. Welche Beeinträchtigung in der Art des Wechsels vorliegt, ist folglich davon abhängig, in welchem Gebiet es zu Läsionen kommt, d.h. je nach Läsionsort können entweder Dimensionen oder Ausprägungen nicht aufrechterhalten werden. In der Simulation von O'Reilly (2002) verstärkte ein PFC-Signal die Repräsentationen des posterioren Kortex. Im Einzelnen konnten separate PFC-Module Ausprägungen einer bestimmten Merkmalsdimension, oder eine ganze Merkmalsdimension verstärken. Auch in dieser Simulation wurde davon ausgegangen, dass ohne das PFC-Signal Lernen nur verlangsamt möglich ist. Das empirische Datenmuster von Dias et al. (1996) wurde dadurch simuliert, dass beim Ausbleiben einer Belohnung ein Erwartungsfehler generiert wurde, woraufhin die Signalstärke vom orbitalen und lateralen PFC zu den posterioren Feldern herabgesetzt wurde.

Zusammengefasst ergeben die Simulationen folgendes Bild. Der Erfolg einer Handlung, beim WCST das Finden der relevanten Dimension, führt zur Erhöhung der Signalschärfe innerhalb des PFCs und damit zu einer aktiven Aufrechterhaltung der aktuell relevanten Reizdimension sowie der Dimensionsausprägung. Wenn der nächste Reiz wahrgenommen wird, verstärkt die im PFC aufrechterhaltene Reizdimension die gleiche Dimension des aktuell wahrgenommenen Reizes im posterioren Kortex. Wenn die Handlung dagegen nicht erfolgreich ist, kommt es zu einem negativen Erwartungsfehler und die Repräsentation des PFC destabilisiert. Die beschriebenen Modelle implizieren, dass Regeln und Reizmerkmale verstärkt repräsentiert werden, deren Beachtung zu einem Erfolg führte.

Es bleibt die Frage offen, ob die Implikationen aus diesen Modellen auch für andere Aufgabenwechselparadigmen gelten. TS und WCST haben gemeinsam, dass ein Wechsel der Aufgabe oder der Merkmalsdimension durch einen Hinweisreiz angekündigt wird. Im Gegensatz zum WCST muss jedoch beim TS die relevante Merkmalsdimension nicht erschlossen werden, sondern wird immer durch einen Hinweisreiz angekündigt. Es scheint plausibel, dass beim klassischen Aufgabenwechselparadigma einzelne Reizmerkmale ver-

stärkt verarbeitet werden⁹. In den Experimenten 2 und 3 der vorliegenden Arbeit wurde unter Verwendung eines modifizierten WCST mit Hilfe von Blickbewegungen untersucht, ob es zu einer Bahnung der zuvor relevanten Merkmalsdimension kommt, wenn kein Hinweisreiz diese ankündigt. Die Blickbewegungsanalyse wurde verwendet, weil sich im Vergleich zum TS das Reizdisplay des WCST durch mehrere Einzelreize zusammensetzt und deshalb Blickbewegungen notwendig sind, um die Aufgabe zu lösen. Ein wechselbedingter Einfluss selektiver Aufmerksamkeit auf die aktive visuelle Verarbeitung wurde meines Wissens noch nicht anhand von Blickbewegungsmessungen überprüft. Im folgenden Kapitel gehe ich auf die Methode der Blickbewegungsmessung ein. Ich werde insbesondere den Zusammenhang zwischen dimensionsbasierter Aufmerksamkeit und Blickbewegungen herausstellen.

2.3 Blickbewegungen

Beim Betrachten einer visuellen Szene wird durch eine Sequenz einzelner Fixationen eine Serie von Ausschnitten extrahiert. Durch die Blicksequenz fallen Ausschnitte der visuellen Szene jeweils auf den Punkt des schärfsten Sehens, die Fovea. Über den Vorgang der fovealen Informationsaufnahme und dessen Neurophysiologie wurden in den letzten Jahren neue Erkenntnisse gewonnen (Liversedge & Findlay, 2000). Im Folgenden werden ausgewählte neurophysiologische Grundlagen, experimentelle Befunde und psychologische Konzepte der Blickbewegungsforschung berichtet. Von besonderer Bedeutung für die vorliegende Arbeit ist, dass der Fixation eine Aufmerksamkeitsallokation vorangeht. Durch das Konzept der Salienz wird der Zusammenhang zwischen Reizmerkmalen und Aufmerksamkeit und Fixation genauer spezifiziert.

2.3.1 Neurophysiologie

Während einer Blickbewegung kommt es im Hirnstamm und umliegenden Regionen zu neuronaler Aktivität. Dort befinden sich *Omnipause-* und *Burstzellen*. Die *Omnipause-*

⁹ Auch Meiran (2000) führte in seiner formal-mathematischen Modellierung zum Aufgabenwechsel Vorbereitungseffekte auf eine perzeptuelle Verstärkung (*S-Set*) der relevanten Reizmerkmale zurück. Ferner lassen die Simulationen von Gilbert und Shallice (2002) sowie Gilbert (2005) zum Task-Switching eine solche Interpretation zu.

zellen unterbrechen ihre tonische Aktivität nur vor und während einer Sakkade. Sie kodieren damit den *Zeitpunkt* einer Sakkade. Die *Burstzellen* kodieren das *Ziel* der Blickbewegung. Beide Zellarten werden durch den Superior Colliculus (SC) innerviert. Der SC hat seinerseits diverse Informationsquellen und bildet ein retinotop organisiertes visuomotorisches Areal. Der rostrale Pol des SC ist an der Generierung von Sakkaden und Fixationen beteiligt; seine Zellen haben die gleichen funktionellen Charakteristika wie die *Omnipause-* und *Burstzellen* (Munoz & Wurtz, 1993a, 1993b). Die so genannten *Build-up-* und *Burstzellen* im SC kodieren das Ziel der Sakkade. Der SC wird seinerseits größtenteils durch das *Frontale Augenfeld* (*frontal eye field*; FEF) und den posterioren parietalen Kortex innerviert.

Findlay und Walker (1999) integrierten diese neurophysiologischen Erkenntnisse und psychologischen Konzepte in ihrem Modell der Sakkadengenerierung. Die Autoren behaupten, dass die Charakteristika von *Omnipause-* und *Burstzellen* deshalb auf mehreren neurophysiologischen Integrationsebenen zu finden sind, weil sie funktionell ein *Wo-* und *Wann-*System bilden. Dieses System programmiert Ort und Zeitpunkt einer Sakkade. Um das Ziel einer Sakkade zu bestimmen, wurde das psychologische Konzept der Salienzkarte verwendet. Es wurde davon ausgegangen, dass das Ziel der Sakkade bestimmt wird, indem in der FEF-Region sämtliche visuellen Merkmalsdimensionen zu einem Wert, der Salienz, integriert werden (Schall et al., 1995; Schall & Thompson, 1999). Ich werde im Abschnitt 2.3.3 näher auf das Salienzkonzept eingehen und einige experimentelle Befunde zu diesem Thema vorstellen. Zunächst stelle ich einige experimentelle Befunde der Blickbewegungsforschung zur visuellen Suche und zum Lesen dar.

2.3.2 Visuelle Suche und Leseforschung.

Beim Paradigma der visuellen Suche muss die Versuchsperson unter mehreren diskreten räumlich getrennten Einzelreizen einen Zielreiz finden, der zuvor definiert wurde. Die Reize haben Ausprägungen auf bestimmten Merkmalsdimensionen, bspw. Farbe oder Form. Derjenige Reiz, der dem zuvor definierten Zielreiz entspricht, wird als Target bezeichnet und die restlichen Reize als Distraktoren. Das Target kann durch eine Konjunktion von Merkmalen definiert sein, bspw. ein rotes Dreieck, oder nur durch ein Merkmal, bspw. rot. Der Basisbefund bestand darin, dass die Reaktionszeit bei einer einfachen Merkmalssuche nicht von der Anzahl der Distraktoren, d.h. der Displaygröße abhing, während die Reaktionszeit einer Konjunktionssuche mit zunehmender Distraktoranzahl anstieg.

Frühe Theorien zur visuellen Suche maßen den Blickbewegungen wenig Bedeutung bei. Treisman und Gelade (1980) behaupteten, dass bei der visuellen Suche bei einer einfachen Merkmalssuche alle Items eines Displays parallel, d.h. gleichzeitig und ohne Blickbewegungen auf zuvor definierte Merkmale hin abgesucht werden. Wurden Blickbewegungen während einer visuellen Suche aufgezeichnet, zeigte sich, dass die Anzahl der Sakkaden bei einer Konjunktionssuche positiv mit der Displaygröße korreliert war (Zelinsky & Sheinberg, 1997). Die Aufmerksamkeit wurde demnach nicht ausschließlich verdeckt (*covert*) ohne Blickbewegungen von Item zu Item verschoben. Nach diesen Befunden kann eine bestimmte Anzahl von Items pro Fixation verarbeitet werden. Ferner werden eher proximale Items, d.h. nahe dem Fixationsort gelegene Items, als distale fixiert (Motter & Belky, 1998). Darüber hinaus bestand eine Besonderheit der Konjunktionssuche darin, dass vor allem die Distraktoren fixiert wurden, die ein Merkmal mit dem Zielreiz teilen (Findlay, 1997). Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Reaktionszeiteffekte von visuellen Suchexperimenten durch die Prozesse der *aktiven* visuellen Suche mit verursacht wurden. So zeigten Zelinsky und Sheinberg, 1997, dass 67% der Varianz der Reaktionszeiteffekte durch die Anzahl der Sakkaden aufgeklärt werden konnte.

Velichkovsky (2002) zufolge besteht zwischen Verarbeitungstiefe und Fixationsdauer ein positiv korrelativer Zusammenhang. Bei einer einfachen figurativen Verarbeitung dauert die Fixation durchschnittlich 200 ms, bei einer semantischen Verarbeitung dagegen durchschnittlich 300 ms und bei einer selbstreferentiellen Verarbeitung bis zu 1000 ms. Ein Anstieg der Fixationsdauer ist auch bei der Betrachtung semantisch doppeldeutiger Worte (wie z.B. Bank) zu beobachten, jedoch nur dann, wenn beide alternativen Bedeutungen etwa gleich dominant sind (Duffy et al., 1988). Der Einfluss der Verarbeitungstiefe auf Parameter von Blickbewegungen zeigt sich auch beim Lesen von Sätzen. Je schwieriger das zu lesende Material ist, desto öfter und länger muss fixiert werden. Ferner ist die Anzahl der Fixationen vom Verständnis der Worte abhängig, denn bei einer anfänglichen Fehlinterpretation eines Wortes muss dieses öfter fixiert werden und es kommt zu regressiven Rücksprüngen des Auges (Refixationen) auf das schon gelesene Material (Just & Carpenter, 1980). Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Dauer und Anzahl der Fixationen durch Verarbeitungstiefe und Schwierigkeit einer Aufgabe beeinflusst werden¹⁰.

¹⁰ Die Fixationsdauer ist darüber hinaus auch von *low-level* Faktoren wie Kontrast und Lumineszenz abhängig (Loftus, 1985). Da diese Faktoren aber nicht Gegenstandsbereich der vorliegenden Arbeit sind, wird hierauf nicht weiter eingegangen.

2.3.3 Der Fixationsort

2.3.3.1 Die Salienzverteilung einer visuellen Szene

Da die Blickbewegungen des Auges nur bestimmte Teilausschnitte aus einer visuellen Gesamtszene extrahieren, ist für die vorliegende Arbeit von Interesse, *welche* Ausschnitte fixiert werden und warum. Theoretische Überlegungen und Modellierungen zu diesem Thema kamen bei statischen Szenen zu folgendem Ergebnis: Das Ziel einer Sakkade wird durch zwei Faktoren bestimmt 1. durch die Merkmalsdimensionen eines Reizes, wie Form, Farbe, Ausrichtung usw. 2. durch Faktoren, die von der Person abhängen, wie Ziele und Intentionen. Im Einzelnen wurde das Ziel einer Sakkade durch die Maxima einer retinotopen Salienzkarte vorhergesagt (Itti & Koch, 2000), wobei die Salienz die gewichtete Summe der visuellen Merkmalsdimensionen eines Reizes bzw. Raumpunktes beschreibt.

Itti und Koch (2001) entwickelten einen Algorithmus zur Berechnung der Salienzverteilung einer visuellen Szene. Ausgangspunkt war eine Idee von Koch und Ullman (1985), nach der in einer visuellen Szene diejenigen Positionen Aufmerksamkeit auf sich ziehen, die sich relativ zu ihren benachbarten Positionen in physikalischen Eigenschaften unterscheiden. Es wurde angenommen, dass Unterschiede in den physikalischen Eigenschaften wie Farbe, Form und Ausrichtung gefiltert werden und dann in separaten Karten repräsentiert werden. Die einzelnen Karten werden anschließend zu einer gesamten Salienzkarte integriert. Es resultiert ein zweidimensionales Abbild der visuellen Szene, auf der jedes Objekt bzw. jeder Raumpunkt einen Salienzwert hat. Die Autoren gingen davon aus, dass diese Salienzkarte die visuelle Verarbeitung wie folgt bestimmt. Zunächst zieht der höchste Punkt auf der Salienzkarte Aufmerksamkeit auf sich und wird verarbeitet. Anschließend reduziert sich der Salienzwert des höchsten Punktes und für ca. 200 ms wird diesem Punkt keine Aufmerksamkeit zugewiesen (diese unterdrückte Aufmerksamkeitsreorientierung wird auch als inhibition of return (IOR) bezeichnet). Dies hat zu Folge, dass sich die Aufmerksamkeit auf den nächst höheren Punkt auf der Salienzkarte richtet. Dieser Vorgang wiederholt sich solange, bis der gesuchte Zielreiz entdeckt wird oder bis alle Stimuli verarbeitet wurden.

In der aktuellen Revision dieser Theorie (Navalpakkam & Itti, 2006a) wird davon ausgegangen, dass die Aufmerksamkeitsverteilung nicht nur durch Eigenschaften des Reizes (*bottom-up*) bestimmt wird, sondern auch durch Vorwissen und Ziele (*top-down-Faktoren*). Die Salienzverteilung einer visuellen Szene ist demnach eine Kombination aus

bottom-up und *top-down* Faktoren. Im Folgenden werde ich auf diesen vermuteten Zusammenhang genauer eingehen.

2.3.3.2 *Top-down* Modulation der Salienzverteilung

Ausgangspunkt war die Theorie der geleiteten Suche (*Guided Search*: GS) von Wolfe et al. (1989). Gleich der Theorie von Itti und Koch (2001) wird bei der GS das Display der visuellen Szene durch eine ortsbasierte Salienzkarte repräsentiert und die Werte auf der Salienzkarte¹¹ leiten die visuelle Suche. Die Theorie der geleiteten Suche wurde entwickelt, um einige Befunde zu erklären, die von der Merkmalsintegrationstheorie [*Feature-integration Theory*: FIT] (Treisman & Gelade, 1980) nicht vorhergesagt wurden. Beispielsweise waren bei einer Konjunktionssuche die Reaktionszeiten schneller, als es unter der Annahme einer seriellen Verarbeitung der Items zu erwarten gewesen wäre (Wolfe et al., 1989).

Wie in der FIT wurde in der GS angenommen, dass die visuelle Suche eines Reizes durch einen präattentiven und einen attentiven Prozess gesteuert wird. Präattentiv wird für jedes Merkmal eine Karte angelegt, die eine räumliche Salienzverteilung dieses Merkmals enthält. Der Salienzwert eines Reizmerkmals ist auf dieser Karte umso größer, je mehr sich der Reiz von allen anderen in diesem Merkmal unterscheidet. Die visuelle Suche wird durch die Ausprägungen auf den Merkmalskarten gelenkt (*guided*), indem hohe Werte mehr Aufmerksamkeit auf sich ziehen als niedrige. Soll ein Reiz gefunden werden, der in zwei oder mehr Reizmerkmalen mit dem Zielreiz übereinstimmt (Konjunktionssuche), werden laut GS nicht alle Reize seriell abgesucht, sondern präferentiell die Reize, welche auf der Salienzkarte hohe Aktivierungen erzeugen. Die Reaktionszeiten sind nach der GS bei einer Konjunktionssuche kürzer, als von einer rein seriellen Suche vorhergesagt, weil nicht jedes Item auf eine Merkmalskonjunktion abgesucht werden muss, sondern nur diejenigen mit einer hohen Aktivierung auf der Salienzkarte. In der GS entspricht jede Merkmalsausprägung einem Kanal (*channel*). Es ist möglich, dass top-down-Prozesse wie Ziele und andere Gedächtnisaktivierungen die stimulusgesteuerte Aufmerksamkeitsverteilung beeinflussen, indem ein Kanal top-down verstärkt wird. Beispielsweise entspricht die Suche nach einer horizontalen Linie in GS einer Verstärkung des horizontalen Kanals, d.h. der horizontale Kanal geht mit einem größeren Gewicht in die Berechnung der Salienzkarte ein.

¹¹ Die Salienzkarte wird in der GS *Hauptkarte der Aktivierungen* genannt.

Zusammengefasst behaupten empirische Arbeiten und Theorien zur Sakkadengenerierung, dass Sakkaden durch die Verteilung der Salienz programmiert werden. Ausgangspunkt ist die Annahme, dass foveal diejenige Position verarbeitet wird, die einen hohen Wert auf der Salienzkarte besitzt. Ein hoher Salienzwert zieht die Aufmerksamkeit auf sich, was wiederum eine Blickbewegung zu dieser Position zur Folge hat. Diese Relation zwischen Aufmerksamkeit und Fixationsort wurde auch als Gummibandmetapher bezeichnet (Liversedge & Findlay, 2000).

Beispielsweise wurde der Blickpfad in der dritten Revision der GS (Wolfe & Gancarz, 1996) durch Salienzwerte wie folgt vorhergesagt. Zunächst wird aus der Kombination der präattentiven Merkmalskarten eine Salienzkarte gebildet. Diese Salienzkarte ist wiederum eine Sakkadenkarte, insofern dass eine Sakkade dann zu einer Position ausgeführt wird, wenn zuvor die Aufmerksamkeit zu diesem Punkt gelenkt wurde. Die Aufmerksamkeit richtet sich immer auf den höchsten Punkt auf der Salienzkarte. Im Einzelnen werden bei der visuellen Suche während einer Fixation 4-5 Items verarbeitet. Danach reduziert sich die Salienz an dieser Position, dort wird die Aufmerksamkeitsreorientierung gehemmt (*inhibition of return*). Anschließend zieht der nächst höhere Gipfel auf der Salienzkarte Aufmerksamkeit auf sich. Im Folgenden werden einige empirische Arbeiten vorgestellt, welche die Vorhersagen von Salienzmodellen untersuchten.

2.3.3.3 Latenz und Wahrscheinlichkeit von Fixationen

Wenn man davon ausgeht, dass hoch saliente Objekte früher fixiert werden als niedrig saliente, ist das Maß der Sakkadenlatenz besonders geeignet, um die Vorhersagen einer salienzgesteuerten Sakkadengenerierung zu untersuchen. Nach Henderson und Hollingworth (1999) fällt die erste Fixation auf die Region der größten Salienz und die Fixationsdauer wird von der Komplexität der Verarbeitung bestimmt. Die Latenz bis zur ersten Fixation (auch Suchzeit genannt, Joos et al., 2003) ist nach Underwood und Foulsham (2006) ein Maß für die Potenz eines Objektes, früh parafoveal Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen.

Mit Hilfe der Suchzeit zeigten Underwood und Foulsham (2006), dass die Salienzverteilung *bottom-up* durch kognitive Faktoren moduliert werden kann. Für eine Gedächtnisaufgabe wurden Bilder natürlicher Szenen betrachtet, anschließend sollten die Objekte aus dieser Szene wieder erkannt werden. Wie vorhergesagt, fielen frühe Fixationen am häufigsten auf das salienteste Objekt. Dieser Befund impliziert, dass die frühe visuelle Verarbeitung ausschließlich durch Merkmale der Stimuli gesteuert wird und durch Modelle der stimulusgesteuerten Salienzverteilung (Itti & Koch, 2000) vorhergesagt werden kann.

Underwood und Foulsham (2006) zeigten jedoch in einem zweiten Telexperiment, dass nicht nur Stimulusmerkmale, sondern auch Ziele und Intentionen der Person frühe Fixationsziele bestimmen können.

Dazu sollte ein niedrig salienter Gegenstand unter hoch salienten Distraktoren gesucht werden. Wenn das niedrig saliente Objekt gesucht werden sollte, war die Wahrscheinlichkeit der ersten Fixation auf niedrig saliente Objekte größer, als die Wahrscheinlichkeit der ersten Fixation auf das hoch saliente Objekt. Ferner wurden vor der ersten Fixation des nicht salienten Zielreizes im Mittel weniger Objekte betrachtet (1.23 Fixationen) als vor der ersten Fixation des salienten Distraktors (2.21 Fixationen). Zusammengefasst zeigen diese Befunde, dass beim unvoreingenommenen Betrachten einer statischen visuellen Szene (d.h. wenn kein bestimmtes Ziel verfolgt wird) die salientesten Stimuli zuerst fixiert werden. Die durch Stimulusmerkmale bestimmte Salienzverteilung verändert sich jedoch, wenn die visuelle Szene intentional nach einem bestimmten Objekt abgesucht werden soll.

Auch wenn das Salienzkonzept hauptsächlich dafür verwendet wurde, die Ergebnisse visueller Suchexperimente vorherzusagen, kann es auch auf das Aufgabenwechselformat bezogen werden. Die folgenden Ausführungen werden insbesondere für die Experimente 1-3 der vorliegenden Arbeit relevant sein. Die Idee besteht darin, dass durch die Instruktion oder eine zuvor ausgeführte Aufgabe die Salienz einer gesamten Merkmalsdimension zunehmen kann.

Nach Steinhauser und Hübner (2007) erhöht sich die Salienz einer irrelevanten Merkmalsdimension eines bivalenten Reizes dann, wenn diese in einer vorherigen Aufgabe relevant war. Eine Interpretation der Wechselkosten besagte, dass Wechselkosten aufgrund eines Reaktionskonflikts entstehen, weil verschiedenen Reizdimensionen unterschiedliche Aufgaben zugeordnet sind, aber nur eine Reizdimension relevant ist. Beide Reizdimensionen rufen jedoch konkurrierende Reaktionstendenzen hervor. Es wurde angenommen, dass zwischen den möglichen Reaktionen auf eine relevante und eine irrelevante Merkmalsdimension dann ein Konflikt entsteht, weil jede Dimension mit einer Aufgabe assoziiert wird und nicht nur spezifische Merkmalsausprägungen. Der relevante Basisbefund bestand darin, dass die empirischen Wechselkosten größer waren, wenn zuvor die aktuell irrelevante Aufgabe ausgeführt wurde, als in Durchgängen, in denen die aktuell irrelevante Dimension nicht beachtet wurde.

Waszak et al. (2003) hingegen behaupteten, dass Reize deshalb eine Tendenz zum Ausführen einer irrelevanten Aufgabe auslösen, weil es in einem vorherigen Durchgang zu einer episodischen Bindung zwischen dem spezifischen Reiz und der Aufgabe kommt. Stein-

hauser und Hübner (2007) konnten jedoch zeigen, dass die erhöhten Wechselkosten von Reizen, deren irrelevante Merkmalsdimension zuvor relevant war, nicht ausschließlich durch eine reizspezifische Bahnung der irrelevanten Aufgabe verursacht werden konnten, sondern dadurch, dass die Salienz der gesamten irrelevanten Merkmalsdimension erhöht wurde. Um dies nachzuweisen, wurden bivalente Reize mit zwei Merkmalsdimensionen (global vs. lokal) und zwei Aufgaben (gerade/ungerade vs. größer/kleiner) dargeboten. In einer Serie von Experimenten sollten hierarchische Reize auf globaler oder lokaler Ebene in Bezug auf eine oder zwei Aufgaben beurteilt werden. Die Komponenten Aufgaben- und Dimensionswechsel wurden getrennt untersucht, indem blockweise einzelne Merkmalsdimensionen oder Aufgaben zusammen oder einzeln relevant waren. Der Reaktionskonflikt durch unterschiedliche Aufgaben wurde ermittelt, indem Reaktionszeiten aus Blöcken gebildet wurden, in denen die Reize mit einer oder zwei Aufgaben bearbeitet wurden. Der Einfluss der Salienz auf den Reaktionskonflikt zeigt sich daran, dass Reaktionszeiten und Fehler nur dann erhöht waren, wenn zwischen den Merkmalsdimensionen (global – lokal) gewechselt wurde, nicht aber beim Wechsel zwischen den Aufgaben. Steinhauser und Hübner (2007) fassten das Ergebnis ihrer Studie in folgendem Satz zusammen: „Wenn die Stärke des Aufgabenkonfliktes von der Salienz eines Distraktors abhängt, dann beginnt die Lösung dieses Konfliktes schon auf der Ebene der Reizselektion. Folglich könnte die selektive visuelle Aufmerksamkeit eine entscheidende Rolle beim Aufgabenwechsel spielen (ff. S.4)“. Meines Wissens ist insbesondere der Einfluss *aktiver* visueller Aufmerksamkeit beim Wechsel von Merkmalsdimensionen relativ unerforscht. In den Experimenten zwei und drei der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss von visueller Aufmerksamkeit beim Wechsel von Merkmalsdimensionen anhand von Blickbewegungsmessungen untersucht. Experimente, die explizit die aktive visuelle Suche beim klassischen Aufgabenwechselparadigma untersuchen, sind mir nicht bekannt¹². Dahingegen gibt es einige Arbeiten mit der Zielstellung, exekutive Kontrollmechanismen mit Hilfe von Blickbewegungen zu untersuchen, die ich im Folgenden kurz vorstellen möchte.

2.3.4 Exekutive Kontrolle und Blickbewegungen

Es wurden verschiedene Paradigmen verwendet, um exekutive Kontrollprozesse mit Hilfe von Blickbewegungen zu untersuchen. Im Folgenden berichte ich von Arbeiten, in denen

¹² Mit Hilfe des Antisakkadeparadigmas wird der Aufgabenwechsel nicht mit manuellen, sondern okkulomotorischen Reaktionen untersucht (siehe bspw. Hunt & Klein, 2002). Die spezifischen Fragestellungen (bspw. der Sonderfall extrem starker Aufgabenasymmetrien) dieses Paradigmas sind jedoch nicht von direktem Interesse für die vorliegende Arbeit und werden deshalb hier nicht vorgestellt.

die Blickbewegungen während der Bearbeitung des WCST bzw. des Tower of London (TOL) erhoben wurden und werde auf eine spezielle Analysemethode der Blickbewegungsdaten eingehen.

Hodgson et al. (2004) verwendeten eine modifizierte Variante des WCST und erhoben die spontanen Blickbewegungen während der Bearbeitung der Aufgabe. Das Reizdisplay bestand aus einem Verbundreiz, wobei in der oberen Bildschirmhälfte drei Referenzreize und in der unteren ein Zielreiz dargeboten wurden. Jeder Einzelreiz bestand aus einem Symbol bestimmter Farbe (die Anzahl wurde konstant gehalten). Ein schriftlicher Hinweisreiz gab an, welche Dimension im Folgenden relevant war. Der Hinweisreiz bezeichnete entweder direkt die Dimension (FARBE, FORM) oder verwies auf die Dimension des vorherigen Durchgangs (GLEICH, VERSCHIEDEN). Die Aufgabe der Versuchsperson bestand darin, auf denjenigen oberen Referenzreiz zu zeigen, der in Bezug auf die relevante Dimension mit dem unteren Zielreiz übereinstimmte.

Ein Wechsel der Dimension führte zu behavioralen Kosten, indem die Reaktionszeit länger war und mehr Fehler gemacht wurden, als bei einer Wiederholung. Die Blickbewegungsdaten spiegelten dieses Muster wider. Bei einem Wechsel war die Sakkadenlatenz länger und es wurde öfter fixiert als bei einer Wiederholung. Darüber hinaus waren bei einem Wechsel die Sakkadentrajektorien in spezifischer Weise abgelenkt. Diese Ablenkung bestand darin, dass die Strecke der Sakkade nicht gerade, sondern gebogen war. Insbesondere war die Sakkade zum Referenzreiz, der auf der relevanten Dimension zum Zielreiz übereinstimmte, in Richtung desjenigen Reizes abgelenkt, der auf der irrelevanten Dimension mit dem Zielreiz übereinstimmte. Die Ergebnisse dieser Studie belegen den Einfluss von zuvor relevanten Merkmalsdimensionen auf die Blickbewegungen. Bei einem Wechsel der Dimension musste mehr Information aus der visuellen Szene extrahiert werden als bei einer Wiederholung. Durch die Ablenkung der Trajektorien wurde deutlich, dass die vormals relevante Dimension im Gedächtnis persistierte und so einen Einfluss auf die aktive visuelle Verarbeitung des aktuellen Reizdisplays hatte.

Ich werde im Folgenden auf die Methode der zeitlichen Analyse von Fixationswahrscheinlichkeiten eingehen, da diese in den anschließend beschriebenen Experimenten zur exekutiven Kontrolle und auch in den Experimenten 2 und 3 der vorliegenden Arbeit verwendet wurde. Der Vorteil der Analyse von Fixationswahrscheinlichkeiten besteht darin, dass hiermit Hypothesen über bestimmte Verarbeitungsphasen und über selektive Aufmerksamkeitsfokussierungen auf bestimmte Reizdimensionen oder bestimmte Objekte überprüft werden können (Abschnitt 2.3.5.2).

2.3.5 Der Zeitliche Verlauf von Fixationswahrscheinlichkeiten

In klassischen Reaktionszeitparadigmen muss auf die angenommenen Prozesse indirekt geschlossen werden. Wenn eine Messgröße jedoch kontinuierlich während der Bearbeitung der Aufgabe erhoben wird, entsteht die Möglichkeit, Vorhersagen über die Prozessdynamik direkter zu untersuchen. Blickbewegungen bieten eine Möglichkeit, den zeitlichen Verlauf der aktiven visuellen Verarbeitung zu untersuchen, weil jede einzelne Fixation zu einem bestimmten Zeitpunkt während des Versuchsdurchgangs stattfindet. Wenn das Blickverhalten über mehrere Durchgänge erhoben wird, kann die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der einzelne Reize über die Zeit fixiert werden. Im Folgenden wird diese Analyseverfahren genauer beschrieben. Anschließend werden zwei empirische Arbeiten vorgestellt, in denen diese Analyseverfahren verwendet wurde.

2.3.5.1 Theoretische Vorbetrachtungen

Der zeitliche Verlauf der Fixationswahrscheinlichkeit kann klären, ob es über die Durchgänge ein konsistentes zeitliches Muster in der aktiven visuellen Verarbeitung gab. Im Einzelnen können folgende Fragen beantwortet werden: 1. Zu welchem Zeitpunkt wurde ein bestimmter Reiz am wahrscheinlichsten fixiert? 2. Wurden verschiedene Reize zu unterschiedlichen Zeitpunkten fixiert? 3. Unterschieden sich die Versuchsbedingungen im zeitlichen Verlauf, d.h. war es in einer Versuchsbedingung innerhalb eines Zeitbereiches wahrscheinlicher, einen bestimmten Reiz zu fixieren, als in einer anderen Versuchsbedingung? Die Wahrscheinlichkeit, einen Reiz zum Zeitpunkt t zu fixieren (P_t), ergibt sich aus dem Quotienten: Anzahl der Durchgänge, in denen der Reiz zu diesem Zeitpunkt fixiert wurde, geteilt durch die Anzahl der zu diesem Zeitpunkt gemessenen Durchgänge¹³. Um den Rechenaufwand der Schätzung der Fixationswahrscheinlichkeiten zu verringern, kann die Fixationswahrscheinlichkeit mit einer Auflösung von Δt ms ermittelt werden¹⁴ (in den Ex-

$$^{13} P(\text{Fix}_{AOI|t}) = \frac{N(\text{Fix}_{AOI|t})}{\sum_{AOI=1}^i N(\text{Fix}_{AOI|t})}$$

AOI (Area of Interest): Festgelegte xy-Bereiche des Reizdisplays, *t*: Zeit ab Beginn der Displaydarbietung, *Fix*: Fixation, *N*: Anzahl der Fixationen, *i* = Anzahl der AOI.

Die Wahrscheinlichkeit, ein bestimmtes AOI zum Zeitpunkt t zu fixieren, $P(\text{Fix}_{AOI|t})$, entspricht dem Quotienten aus Zähler: Anzahl aller Durchgänge, in denen zum Zeitpunkt t dieses AOI fixiert wurde und Nenner: Anzahl aller Durchgänge, in denen zum Zeitpunkt t ein beliebiges AOI fixiert wurde.

¹⁴ Die Analyse von Expresssakkaden mit Fixationsdauern von 40-60 ms war nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit und daher wurden nur Fixationen berücksichtigt, die größer als 90 ms waren. Die Ermittlung der

perimenten 2 und 3 der vorliegenden Arbeit war $\Delta t = 50 \text{ ms}$). Über einen bestimmten Gesamtzeitraum wird für fortlaufende Zeitfenster von Δt ms die Wahrscheinlichkeit ermittelt, mit der ein bestimmter Reiz fixiert wurde. Anders formuliert: es wird für jedes Zeitfenster ermittelt, welche Reize über die Durchgänge fixiert wurden.

Die Fixationswahrscheinlichkeit eines Reizes zum Zeitpunkt t ist dann größer als die Zufallswahrscheinlichkeit, wenn dieser Reiz zu diesem Zeitpunkt über die Durchgänge häufiger fixiert wurde als die anderen Reize. Wenn über die Durchgänge zu allen Zeitpunkten unterschiedliche Reize fixiert wurden, verändert sich die Fixationswahrscheinlichkeit eines Reizes nicht und entspricht der Zufallswahrscheinlichkeit; $P_t = 1/N$, mit $N = \text{Anzahl der Reize}$.

Ein fiktives Beispiel soll dies verdeutlichen. Eine Versuchsperson soll über mehrere Durchgänge einen bestimmten Aufgabentyp lösen und während der Bearbeitung wurden die Blickbewegungen aufgezeichnet. Die Fixationen auf das Reizdisplay wurden in zwei relevante Bereiche (A, B) eingeteilt. Die manuelle Reaktionszeit für die Aufgabe betrug im Mittel 800 ms, mit einer Varianz von 200 ms. Nehmen wir an, dass die Blickbewegungen aller Durchgänge trotz der Unterschiede einem bestimmten Muster folgten: Am wahrscheinlichsten fixiert, wurde zunächst der Bereich A, dann der Bereich B und anschließend wieder der Bereich A. Abbildung 2-1 zeigt den möglichen zeitlichen Verlauf der Fixationswahrscheinlichkeiten beider Reize für einen Gesamtzeitbereich von 1200 ms.

Wie in der Abbildung 2-1 zu sehen ist, steigt bis 200 ms die Wahrscheinlichkeit den Bereich A zu fixieren und nimmt dann bis 600 ms zugunsten der Fixationswahrscheinlichkeit des Bereiches B ab. Im Anschluss daran steigt bis 900 ms die Fixationswahrscheinlichkeit des Bereiches B wieder an.

Weil die Summe der Wahrscheinlichkeiten aller Reize zu jedem beliebigen Zeitpunkt eins ist, ergeben sich folgende Implikationen für einen Anstieg bzw. Abfall der Fixationswahrscheinlichkeit. Wenn die Fixationswahrscheinlichkeit eines Reizes steigt, sinkt die Fixationswahrscheinlichkeit bei mindestens einem anderen Reiz. Gleichzeitiger Anstieg der Fixationswahrscheinlichkeit des einen und Abfall eines anderen Reizes können sich überschneiden (siehe Abbildung 2-1).

Um diesen Verlauf mit einer Varianzanalyse auszuwerten¹⁵, können die Werte der Fixationswahrscheinlichkeiten innerhalb *relevanter Zeitbereiche* gemittelt werden. Ein Zeitbe-

Wahrscheinlichkeiten pro Zeitscheibe ist gegenüber einer Ermittlung pro gemessenen Datenpunkt unproblematisch, weil nur Fixationen einer Mindestdauer von 90 ms untersucht wurden.

¹⁵ Für ein Zeitreihenmodell lagen bei den Experimenten 2 und 3 der vorliegenden Arbeit nicht genügend Datenpunkte vor.

reich wird als relevant definiert, wenn es bei mindestens einem Reiz zu einer Veränderung der Fixationswahrscheinlichkeit kam. Für die Experimente 2 und 3 der vorliegenden Arbeit wurden folgende Kriterien für die Identifikation relevanter Zeitbereiche festgelegt.

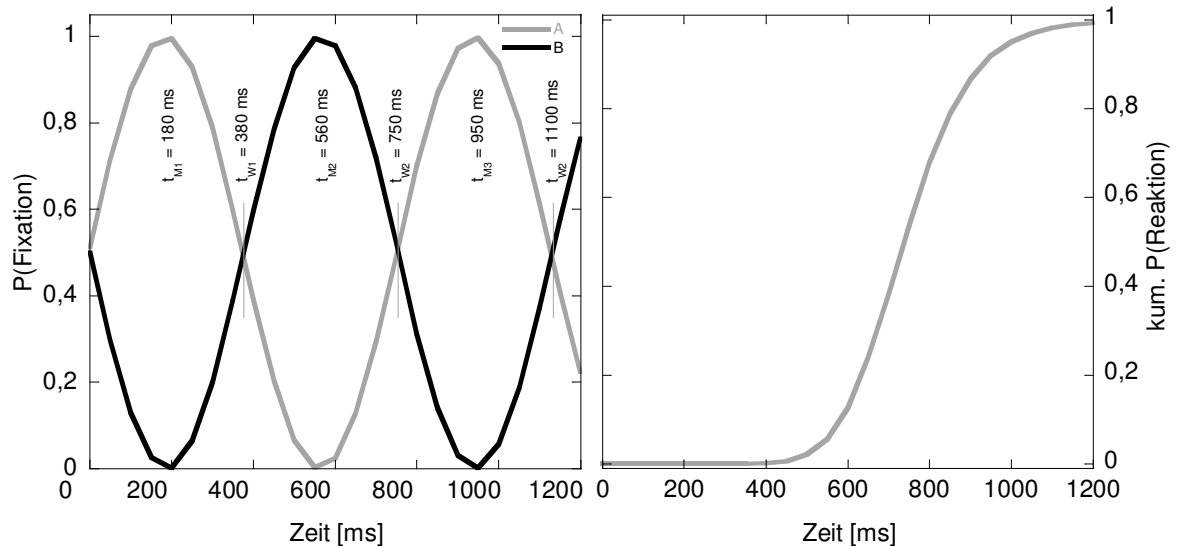


Abbildung 2-1: Links: Fixationswahrscheinlichkeiten von zwei Reizen in Abhängigkeit von der Zeit in Millisekunden und relevante Zeitbereiche durch Wendepunkte (t_{W1} bis t_{W3}) um die Maxima (t_{M1} bis t_{M3}) der Fixationswahrscheinlichkeiten. Rechts: hypothetische kumulative Verteilung der Reaktionen ($\mu = 800$ ms, $\sigma = 200$ ms).

Liegt ein Anstieg einer Fixationswahrscheinlichkeit mit anschließendem Abfall vor, so wird ein Zeitabschnitt, in dem eine Fixation am wahrscheinlichsten auftritt, begrenzt durch die Wendepunkte von Anstieg und Abfall der Fixationswahrscheinlichkeit. Abbildung 2-1 zeigt zeitabhängig drei Maxima (t_{M1} bis t_{M3}) und drei Wendepunkte (t_{W1} bis t_{W3}) der Fixationswahrscheinlichkeiten.

Die gemittelten Werte innerhalb von zwei Wendepunkten erfassen die mittlere Fixationswahrscheinlichkeit des Reizes innerhalb dieses Zeitbereiches. Die relevanten Zeitbereiche können demnach durch die visuelle Identifizierung der approximativen Wendepunkte der Reize festgelegt werden.

Die kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit (siehe Abbildung 2-1, rechte Teilabbildung) in Abhängigkeit von der Zeit visualisiert den prozentualen Anteil von Einzel- zu Gesamtdurchgängen, in denen bis zum Zeitpunkt t mit einem Tastendruck reagiert wurde.

2.3.5.2 Empirische Arbeiten

Hodgson et al. (2004) verwendeten den *Tower of London* (TOL), um Blickbewegungen bei exekutiven Kontrollprozessen zu untersuchen und analysierten insbesondere die zeitliche Dynamik des Blickverhaltens. In der unteren Hälfte des Bildschirms wurde ein vorgegebener Ausgangszustand, in der oberen ein gewünschter Endzustand dargestellt. Ausgangs- und Endzustand bestanden aus Bällen bestimmter Anordnung. Jeder Ball hatte eine andere Farbe und konnte sich an drei horizontalen Positionen befinden. Die Bälle konnten vertikal gestapelt werden, wobei maximal drei Bälle übereinander gestapelt wurden. Die Aufgabe bestand darin, Bälle der Ausgangsstellung in die Endstellung (Zielzustand) zu überführen. Die Bälle durften nicht manuell bewegt werden, d.h. die Aufgabe musste am Bildschirm gelöst werden. Dabei sollte die minimale Anzahl an Zügen gefunden werden, die den Ausgangs- in den Endzustand überführt. Die Aufgabe konnte verschiedene Schwierigkeitsgrade annehmen, je nachdem, ob die Aufgabe in ein, zwei oder drei Zügen gelöst werden konnte. Analysiert wurden die Unterschiede in den Blickstrategien in Abhängigkeit von den Schwierigkeitsgraden (Einzüger, Zweizüger und Dreizüger) und in Bezug auf den Erfolg der Versuchspersonen (erfolgreiche vs. weniger erfolgreiche). Für die Analyse wurden die Durchgänge in 500 ms Zeitfenster unterteilt und für jedes Zeitfenster wurde die Wahrscheinlichkeit ermittelt, mit der Ziel- oder Ausgangszustand fixiert wurde. Die Ergebnisse waren wie folgt.

Mit zunehmender Aufgabenkomplexität kam es zu längeren Fixationen des Ausgangszustandes. Personen, die häufiger Fehler machten, fixierten sowohl häufiger als auch länger Reize, die für die Aufgabe nicht relevant waren. Die Analyse der zeitlichen Entwicklung der Fixationswahrscheinlichkeit spiegelte nach Meinung der Autoren diskrete Phasen beim Lösen der Aufgabe wider. Während einer initialen Einschätzungsphase wurde zunächst der Zielzustand am wahrscheinlichsten fixiert. Anschließend, während einer Lösungs- und Elaborationsphase, stieg die Wahrscheinlichkeit, den Ausgangszustand zu fixieren. Während einer finalen Evaluationsphase stieg die Wahrscheinlichkeit wieder an, den Zielzustand erneut zu fixieren.

Neben der Forschung über exekutive Kontrollmechanismen wurde die Analyse von Fixationswahrscheinlichkeiten vor allem in der Sprachforschung eingesetzt, um Gedächtnisaktivierungen und Aufmerksamkeitsfokussierungen auf bestimmte Objekte zu untersuchen. Wenngleich es sich hier um einen anderen Gegenstandsbereich handelt, verdeutlichen diese Studien die gemeinsame Idee der Analysemethode, dass Gedächtnisaktivierungen be-

stimmter Repräsentationen eine Blickbewegung auf den entsprechenden Gegenstand nach sich ziehen.¹⁶

Im folgenden empirischen Teil der vorliegenden Arbeit wird ein alternatives Paradigma zum freien Aufgabenwechsel vorgestellt.

¹⁶ Der experimentelle Ablauf dieser Studien bestand meist darin, der Versuchsperson gleichzeitig einige Gegenstände zu zeigen, während der Versuchsperson einer dieser dargestellten Gegenstände genannt wurde. Theorien zur Worterkennung sagen vorher, dass beim Hören, mit Beginn der Vokalisation, *alle* Repräsentationen im Gedächtnis aktiviert werden, welche dieser strukturell (im Sinne des Wortstammes) ähnlich sind. Erst mit dem Ende der Vokalisation wird *allein* der Gegenstand des genannten Wortes im Gedächtnis repräsentiert. Diese theoretischen Gedächtnisaktivierungen wurden mit Hilfe der Analyse des zeitlichen Verlaufes der Fixationswahrscheinlichkeiten überprüft. Ausgangspunkt war auch hier der Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeit und Fixationsort. Man ging davon aus, dass dann, wenn eine Repräsentation im Arbeitsgedächtnis aktiviert wird, auch das betreffende Objekt fixiert wird. Beispielsweise zeigten die Ergebnisse der Studie von Magnuson et al. (2003), dass vom Vokalisationsbeginn bis zum Vokalisationsende eines Objektes andere Gegenstände mit ähnlich klingenden Namen mit der gleichen Wahrscheinlichkeit fixiert wurden wie der genannte Gegenstand. Ferner nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des genannten Gegenstandes stetig zu, während die Fixationswahrscheinlichkeiten der anderen (z.B. wortstammähnlichen) Objekte nach Vokalisationsende des genannten Gegenstandes abnahmen. Insgesamt spiegelten die Kurven des zeitlichen Verlaufes der Fixationswahrscheinlichkeit in bemerkenswerter Weise die theoretisch vorhergesagten Gedächtnisaktivierungen wider.

3 Experimentelle Untersuchungen

3.1 Experiment 1

Wir sind fortlaufend mit Änderungen konfrontiert: Wechsel der Arbeitsstelle, des gewohnten Umfeldes, Umzug, neue Steuerbestimmungen etc. Gleichzeitig versuchen wir unsere persönlichen Ziele, wie Studienabschluss, sparen auf den Urlaub, schreiben eines Artikels usw. nicht aus den Augen zu verlieren.

Auch in veränderten Situationen erweist es sich als sinnvoll, bewährte Regeln wieder zu verwenden. Denn die Tendenz, altbewährte Regeln erneut zu verwenden, ist eine plausible Strategie. Wird die Tendenz zur Wiederholung von Altbewährtem jedoch zu rigide, könnte dies ein Mangel an Flexibilität zur Folge haben: neue Wege werden erst gar nicht ausprobiert, weil immer nur Altbewährtes angewandt wird. Eine leichte Tendenz neben altbewährten Strategien auch neue zu verwenden, ermöglicht Flexibilität und das Finden besserer Lösungen für alte Probleme, indem Alternativen exploriert werden (siehe auch Aston-Jones & Cohen, 2005a, 2005b).

Mithilfe des WCST und des Aufgabenwechselfaradigmas kann gezeigt werden, wie gut Menschen mit Momenten des Überganges, wie dem Wechsel eines relevanten Reizaspektes, einer Regel oder Aufgabe, umgehen. Ein Wechsel der Regel bzw. der Aufgabe ist mit einem Anstieg in der Fehlerrate und der Reaktionszeit verbunden. Wie in Kapitel 2 dargestellt, wird bis heute kontrovers diskutiert, was diese Wechselkosten verursacht: bspw. Einstellungsprozesse auf neue Zusammenhänge - oder das Nachwirken der vormals relevanten Zusammenhänge (Monsell & Mizon, 2006).

Wie im Abschnitt 2.1.3 beschrieben, wurde in letzter Zeit am Aufgabenwechselfaradigma kritisiert, dass Wechselkosten und Hinweisreizwechsel konfundiert sind, weil Wechsel und Wiederholungen durch einen Hinweisreiz angezeigt werden. Dass ein Wechsel durch äußere Signale, wie einem Hinweisreiz vorgegeben wird, gilt auch für andere kognitive Kontroll-Paradigmen. Beim WCST ist beispielsweise die Rückmeldung des Experimentators ein Hinweisreiz für den Wechsel der relevanten Merkmalsdimension, d.h. der Sortierregel. Folglich ändert sich bei einem Wechsel der Sortierregel auch die Rückmeldung.

Das Paradigma des freien Aufgabenwechsels von Arrington & Logan (2004, 2005) bietet die Möglichkeit Wechsel und Wiederholungen ohne einen instruktiven Hinweisreiz zu untersuchen. Ein interessanter Befund dieser Arbeiten bestand darin, dass die Versuchs-

personen, die zufällig zwischen zwei Antwortalternativen wählen sollten, nur in etwa 1/3 aller der Fälle die vorherige Aufgabe wechselten, während Versuchspersonen die man bietet, Zufallssequenzen zu generieren, eine leicht erhöhte Wechselrate (Nickerson, 2002) zeigen. Mayr & Bell (2006) zeigten jedoch, dass es problematisch ist dieses Ergebnis als Indikator für eine Perseverationsneigung der Personen zu interpretieren. Die Autoren zeigten, dass die Perseverationsrate sank, wenn bestimmte Reizmerkmale öfter wechselten (für eine detailliertere Diskussion dieser Experimente siehe Abschnitt 2.1.3).

Trotz dieser Befunde ist das spontane Wechseln der Strategie bzw. Aufgabe bisher wenig erforscht und aus methodischen aber vor allem aus theoretischen Gründen interessant. Denn zum einen bietet es die Möglichkeit Wechselkosten ohne einen Hinweisreiz zu untersuchen und zum anderen stellt sich die Frage ob die bekannten Phänomene des Aufgabenwechsels, wie Wechselkosten, Asymmetrieeffekt usw. auch bei einem *freien* Wechsel zu beobachten sind.

Durch diese Überlegungen motiviert wurde von mir ein alternatives Paradigma zum freien Aufgabenwechsel entwickelt. Im Gegensatz zum Paradigma von Arrington & Logan (2004, 2005) sollten die Versuchspersonen nicht versuchen zufällig zwischen verschiedenen Aufgaben zu wechseln, sondern die Versuchspersonen sollten bei gleich bleibender Aufgabe eine Reaktion abgeben, wobei es unvorhersehbar entweder eine oder zwei alternative Antwortmöglichkeiten gab. Das Ziel dieser Experimentalanordnung, war es die Wirkung residualer Aufmerksamkeitseinstellungen aus dem vorherigen Durchgang auf die Verarbeitung des aktuellen Durchgangs zu untersuchen, wobei Wechsel und Wiederholungen ohne Hinweisreiz stattfinden konnten.

Zu diesem Zweck wurde der WCST so modifiziert, dass Reaktionszeit, Fehlerrate und relative Häufigkeiten von Wiederholungen und Wechseln gleichzeitig erhoben werden konnten. Die Aufgabe der Versuchsperson bestand darin, aus drei Referenzreizen denjenigen zu identifizieren, der mit einem Target in einem von drei möglichen Reizmerkmalen übereinstimmt. Von besonderem Interesse war hierbei die Frage, wie sich Reaktionszeiten und Häufigkeiten verändern, wenn die Versuchsperson zwischen zwei alternativen Reizmerkmalen wählen kann. Relevante Reizmerkmale (Übereinstimmungen zwischen Referenz- und Target) und die Anzahl der zum Target übereinstimmenden Referenzreize – im folgenden als *Art der Wahl* bezeichnet wurden dabei randomisiert dargeboten, so dass Ort, Merkmalsdimension und Anzahl der zum Target übereinstimmenden Referenzreiz für die Versuchspersonen nicht vorhersehbar waren. Die *Art der Wahl* untergliederte sich dabei in zwei Bedingungen. *Forcierte* Wahl-Durchgänge bestanden darin, dass ein Referenzreiz mit

dem Target übereinstimmt während bei *freie* Wahl-Durchgängen zwei Referenzreize in unterschiedlichen Merkmalsdimensionen zum Target übereinstimmen.

Weil ein Wiederholungsdurchgang sowohl mit geringerer Rekonfigurationsleistung als auch mit geringerer Interferenz verbunden sein sollte, wurde erwartet, dass *forcierte* und *freie* Wiederholungen zu geringeren Reaktionszeiten als Wechsel führen. Ferner wurde erwartet, dass bei den *freie* Wahl-Durchgängen eine Perseveration, d.h. eine Wiederholung der zum Target übereinstimmenden Merkmalsdimension, wahrscheinlicher sein sollte als ein Wechsel, da die zuvor relevante Merkmalsdimension die Verarbeitung im aktuellen Durchgang bahnen sollte.

Diese Vorhersagen wurden auch durch derzeitige Theorien zum Arbeitsgedächtnis motiviert, die behaupten, dass die Verarbeitung und letztlich die Selektion eines Reizes durch zuvor relevante Reizdimension beeinflusst wird (O'Reilly et al., 2002). Wenn die Selektion einer von zwei Wahlalternativen aber vollständig durch die Restaktivierung der Übereinstimmungsdimension der vorherigen Aufgabe bestimmt wäre, dann würde es zu einer maximalen Perseverationstendenz ($P = 1$) kommen. Es ist jedoch plausibel davon auszugehen, dass Kontrolle gleichzeitig stabil *und* flexibel (Goschke, 2000) sein sollte. Deshalb wurde erwartet, dass die Perseverationstendenz größer als die Zufallswahrscheinlichkeit ($P > .5$), aber kleiner als eins ($P < 1$) sein sollte.

3.1.1 Methode

3.1.1.1 Versuchspersonen

An dieser Studie nahmen 16 Studenten der Technischen Universität Dresden teil (Altersdurchschnitt von 22.3 (0.7), 9 Frauen). Als Vergütung erhielten sie 5 Euro oder eine Versuchspersonenstunde.

3.1.1.2 Apparatur und Stimuli

Das Experiment wurde mit einem IBM-Pentium III Computer und einem 17 Zoll Belinea Monitor mit einer Auflösung von 1024 x 780 dpi durchgeführt. Als Software wurde ein in Delphi geschriebenes Windows-Programm zur Reizdarbietung und Messung von Reaktionszeiten verwendet.

Das Reizmaterial bestand aus farbigen geometrischen Figuren bestimmter Anzahl. Jede geometrische Figur (Kreis, Kreuz, Dreieck, Viereck) war 2° breit und 2° hoch. Bestand ein

Einzelreiz aus mehr als einer Figur, z.B. zwei roten Dreiecken, wurde ein Abstand von 1° zwischen den einzelnen geometrischen Figuren gehalten. Die einzelnen Ausprägungen der Dimension Farbe waren grün (255, 51, 0)¹⁷, rot (51, 204, 51), gelb (255, 255, 0), blau (0, 51, 204). Der Bildschirmhintergrund war weiß. Um jeden Einzelreiz wurde ein Rahmen mit weißer Füllung von 7.6° Breite und 10.8° Höhe gezogen. In der unteren Hälfte des Bildschirms wurde das Target abgebildet, in der oberen die drei Referenzreize. Die drei Referenzreize wurden in der oberen Hälfte des Bildschirms 12° von der mittleren Bildschirmhorizontale entfernt angeordnet. Target und mittlerer Referenzreiz befanden sich in der horizontalen Hälfte des Bildschirms mit einem vertikalen Abstand von 24° . Linker und rechter Referenzreiz waren horizontal 15° vom mittleren entfernt (für eine Darstellung von zwei Beispielreizdisplays siehe Abbildung 3-1).

Das Reizdisplay blieb solange auf dem Monitor, bis eine Antwort gegeben wurde. Als Reaktionstasten dienten die [;] – Taste, die [.] – Taste und [-] – Taste. Die Tasten sollten unter Verwendung des Zeige-, Mittel- und Ringfingers der rechten Hand gedrückt werden. Es wurde keine Fehlerrückmeldung gegeben.

3.1.1.3 Durchführung

Zum Anfang des Experimentes wurden die Versuchspersonen schriftlich über den Ablauf des Experimentes und die Aufgabe instruiert. Die Aufgabe bestand darin, per Tastendruck die räumliche Position des Referenzreizes anzugeben, der auf einer beliebigen Dimension mit dem Target übereinstimmt. Um das Verständnis der Aufgabe sicherzustellen, wurden die Versuchspersonen gebeten, in einem Übungsdurchlauf von 10 Durchgängen die jeweiligen Tasten zu drücken und die Position sowie Dimension der Übereinstimmung dem Testleiter mündlich mitzuteilen.

Das Experiment bestand aus 400 Durchgängen. Nach der Reaktion erschien für 1250 ms ein leeres weißes Reizdisplay und der nächste Versuchsdurchgang wurde gestartet. Die Ausprägungen der Dimensionen der Referenzreize wurden in jedem Durchgang zufällig und disjunkt auf den linken, mittleren und rechten Referenzreiz verteilt. Folglich gab es zwischen den Referenzreizen eines Durchgangs auf keiner Dimension eine Übereinstimmung. Jede dimensionale Ausprägung war nur einmal vorhanden. Für die dimensionale Übereinstimmung des oder der Referenzreize(s) mit dem Target galten folgende Kontingenzen.

¹⁷ Die Rot-Grün-Blau-Werte sind von 0-255 skaliert.

Forcierte Wahl-Durchgänge. In 50 % aller Durchgänge wurden die dimensionalen Ausprägungen des Targets so gewählt, dass es auf einem zufälligen Referenzreiz in Bezug auf eine zufällige Dimension genau eine Übereinstimmung gab. Auf den übrigen Dimensionen des Targets gab es keine Übereinstimmung. Dies soll an einem Beispiel verdeutlicht werden (siehe Abbildung 3-1, links). In der linken Teilabbildung von Abbildung 3-1 sind die Ausprägungen der Referenzreize wie folgt: links: zwei rote Kreise, in der Mitte: ein gelbes Dreieck und rechts: vier grüne Kreuze. Das Target stimmt mit dem rechten Referenzreiz in der Merkmalsdimension Anzahl überein und besteht aus vier blauen Dreiecken.

Freie Wahl-Durchgänge¹⁸. In den restlichen 50% aller Durchgänge gab es zwischen zwei zufällig gewählten Merkmalen des Targets zu zwei zufälligen Referenzreizen jeweils eine Übereinstimmung in Bezug auf ein zufällig gewähltes Merkmal. Gleichzeitig stimmte immer ein Merkmal des Targets mit keinem Referenzreiz überein. Dieser Durchgangstyp wird in der rechten Teilabbildung der Abbildung 3-1, an einem Beispiel verdeutlicht. Die Merkmalsausprägungen der Referenzreize sind hier: links: ein gelbes Dreieck, in der Mitte: drei grüne Kreuze und rechts: vier rote Kreise. Das Target stimmt mit dem linken und mittleren Referenzreiz auf jeweils einer anderen Dimension überein: links – Farbe, Mitte – Anzahl. Da das Target in diesem Beispiel mit dem rechten Referenzreiz nicht übereinstimmt, hat er in der Merkmalsdimension Form die Ausprägung Viereck. Demnach besteht der Einzelreiz Target aus drei gelben Vierecken. Die Art der Wahl wurde für jeden Durchgang zufällig festgelegt, d.h. es war für die Ver-

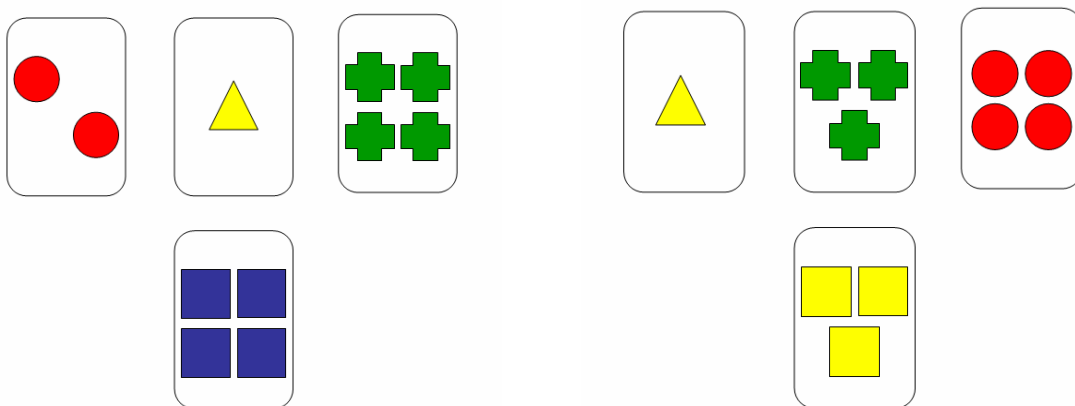


Abbildung 3-1: Beispieldisplays für jede Wahlbedingung. Links: *forcierte* Wahl. Rechts: *freie* Wahl.

Das Target stimmt mit dem linken und mittleren Referenzreiz auf jeweils einer anderen Dimension überein: links – Farbe, Mitte – Anzahl. Da das Target in diesem Beispiel mit dem rechten Referenzreiz nicht übereinstimmt, hat er in der Merkmalsdimension Form die Ausprägung Viereck. Demnach besteht der Einzelreiz Target aus drei gelben Vierecken. Die Art der Wahl wurde für jeden Durchgang zufällig festgelegt, d.h. es war für die Ver-

¹⁸ Die Bezeichnung *freie* Wahl soll hier und im Folgendem lediglich die Art des Durchgangs kennzeichnen, d.h. signalisieren, dass eine Perseverations- und eine Wechselmöglichkeit vorlag. Die Bezeichnung *freie* Wahl soll weder implizieren, dass sich die Versuchsperson bewusst für oder gegen eine Wahlalternative entschieden hat, noch das Gegenteil, d.h. es soll hiermit kein psychischer Prozess, sondern eine Durchgangsart gekennzeichnet werden.

suchsperson unvorhersehbar, ob ein oder zwei Referenzreize mit dem Target übereinstimmen.

Damit stimmte in der Hälfte aller Durchgänge (*forcierte Wahl*) ein Referenzreiz in einem Merkmal mit dem Target überein und die korrekte Antwort war durch die Reizkonfiguration vorgegeben. In der anderen Hälfte der Durchgänge (*freie Wahl*) stimmten zwei Referenzreize auf jeweils einem anderen Merkmal mit dem Target überein und es gab zwei alternative korrekte Antworten.

Übergang. Die Versuchspersonen sollten mittels Tastendruck den Ort (links, Mitte, rechts) des Referenzreizes angeben, der ihrer Meinung nach mit dem Target übereinstimmte. Aus der Reaktion konnte geschlossen werden, ob die Antwort korrekt war und welches Übereinstimmungsmerkmal gewählt wurde. Im fortlaufenden Experiment entstand so zwischen den gewählten Übereinstimmungsdimensionen eine Abfolge. Jeder Durchgang innerhalb dieser Abfolge wurde post hoc als *Wechsel* oder *Wiederholung* (im Folgenden als *Perseveration* bezeichnet) klassifiziert. Um dies an einem Beispiel zu verdeutlichen: In der Abfolge *Farbe, Form, Form*, sind die ersten zwei Durchgänge Wechsel und der letzte Durchgang ist eine Perseveration. Darüber hinaus gibt es in der *freien* Wahlbedingung folgenden Sonderfall: den so genannten *Alternativwechsel*. Nehmen wir an, im vorherigen Durchgang war Farbe die Übereinstimmungsdimension und im aktuellen *freie* Wahl-Durchgang wurden Form und Anzahl als übereinstimmende Dimensionen gezogen. Weder Form noch Anzahl bieten eine Perseverationsmöglichkeit und jede Wahl ist ein Wechsel. Zusammengefasst entstehen damit in beiden Wahlbedingungen die Übergänge *Wechsel* und *Perseveration* sowie bei *freier* Wahl zusätzlich der *Alternativwechsel*.

Die randomisierte Darbietung Position, Merkmalsdimension, Merkmalsausprägung und Art der Wahl beeinflusst die Gesamtwahrscheinlichkeiten für Perseveration und Wechsel wie folgt.

3.1.1.4 Wahrscheinlichkeit einzelner Übergänge

Ziel der randomisierten Reizdarbietung war es, strategische Reaktionen zu verhindern, indem Anzahl, Ort, Art der Wahl, Übereinstimmungsdimension und Übereinstimmungsmerkmal für die Versuchsperson nicht vorhersagbar waren. Im Folgenden wird gezeigt, dass die Kontingenzen des Designs dazu führen, dass beispielsweise die Strategie, jeden *freie* Wahl-Durchgang als Signal für eine Perseveration zu nehmen, über das gesamte Experiment in jedem zweiten Durchgang fehlschlägt. Abbildung 3-2 zeigt die nachstehend hergeleiteten Wahrscheinlichkeiten anhand eines Pfaddiagramms.

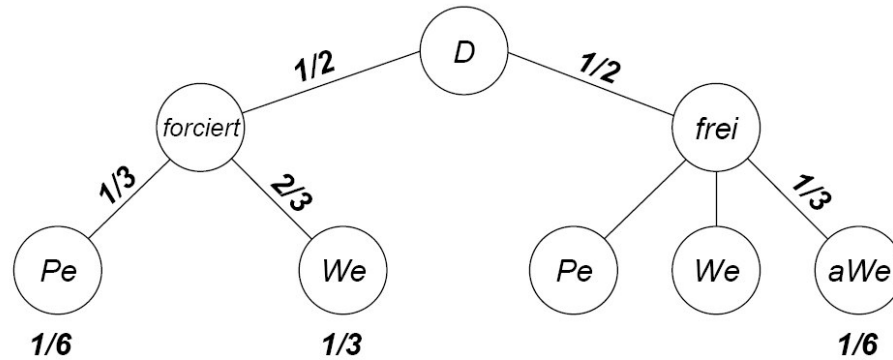


Abbildung 3-2: Pfaddiagramm für die Wahrscheinlichkeiten der Übergänge. D = Durchgang, frei = freie Wahl-Durchgänge, forciert = forcierte Wahl-Durchgänge, We = Wechsel, Pe = Perseveration, aWe = Alternativwechsel.

Die Darbietungswahrscheinlichkeit für einen *forcierten* oder *freien* Wahl-Durchgang ist $P = 1/2$, da die Art der Wahl vor jedem Durchgang per Zufall entschieden wird. Betrachten wir zunächst die Wahrscheinlichkeiten bei *forcierter* und anschließend bei *freier* Wahl.

Die Wahrscheinlichkeit der Übergänge Perseveration und Wechsel ist im Fall der *forcierte* Wahl-Durchgänge unabhängig von der Reaktion und vollständig durch die Reizdarbietung festgelegt. Auf welcher Dimension die Übereinstimmung auch immer zuletzt gewählt wurde, die Wahrscheinlichkeit, dass im nächsten Durchgang eine *forcierte* Wahl gezogen wird, ist $P(\text{forciert}) = 1/2$. Die Wahrscheinlichkeit, bei drei möglichen die gleiche Übereinstimmungsdimension wie im vorherigen Durchgang zu ziehen, ist $P(\text{Pe}) = 1/3$. Für eine *forcierte* Perseveration ist die Gesamtwahrscheinlichkeit $P(\text{Pe} | \text{forciert}) = (1/2 \times 1/3) = 1/6$. Die Gesamtwahrscheinlichkeit für einen *forcierten* Wechsel ist $P(\text{We} | \text{forciert}) = (1/2 \times 2/3) = 1/3$.

Die folgende Indizierung bei den Wahrscheinlichkeitsangaben der *freie* Wahl-Durchgänge bezeichnet den Übergang der alternativen nicht gewählten Übereinstimmungsdimension. Beispielsweise wird die Wahrscheinlichkeit einer Perseveration mit nicht gewählter Wechselalternative als $P(\text{We})_{\text{We}}$ geschrieben.

Bei *freier* Wahl folgt nur die Wahrscheinlichkeit einer Übergangsart durch die Reizdarbietung: die Wahrscheinlichkeit eines Alternativwechsels. Im folgenden Durchgang eine *freie* Wahl zu ziehen, entspricht $P(\text{frei}) = 1/2$ und die Einzelwahrscheinlichkeit, dass keine der beiden Übereinstimmungsdimensionen die gleiche wie im vorherigen Durchgang ist, beträgt $P(\text{We})_{\text{We}} = 1/3$. Damit ist die Gesamtwahrscheinlichkeit eines Alternativwechsels $P(\text{We} | \text{frei})_{\text{We}} = (1/3 \times 1/2) = 1/6$. Die Wahrscheinlichkeiten für Perseveration und Wech-

sel bei *freier* Wahl sind nur empirisch zu bestimmen, da sie vom Verhalten der Probanden abhängen. Unabhängig von der Reaktion der Person sind die addierten Gesamtwahrscheinlichkeiten von *freien* Perseverationen und *freien* Wechseln, $P(We|frei)_{pe} \cap P(Pe|frei)_{we} = (1/2 - 1/6) = 1/3$. Folglich ergibt sich die Einzelwahrscheinlichkeit für Perseveration bei *freier* Wahl aus der Wahrscheinlichkeit der *freie* Wahl-Durchgänge mit Perseverations- und Wechselmöglichkeit (1/3) abzüglich der unbekanntenen Wahrscheinlichkeit für den *freien* Wechsel $P(Pe|frei)_{we} = 1/3 - P(We|frei)_{pe}$.

Dementsprechend ergibt sich die Gesamtwahrscheinlichkeit für den *freien* Wechsel aus der Wahrscheinlichkeit der *freie* Wahl-Durchgänge mit Perseverations- und Wechselmöglichkeit abzüglich der Wahrscheinlichkeit für die *freie* Perseveration, $P(Pe|frei)_{we} = 1/3 - P(Pe|frei)_{pe}$.

Mit Hilfe dieser Gleichungen lassen sich die Gesamtwahrscheinlichkeiten für Perseveration und Wechsel unter bestimmten Tendenzen errechnen: a) maximale Wechseltendenz, b) maximale Perseverationstendenz und c) gleiche Perseverations- und Wechseltendenz. Tabelle 3-1 gibt zeilenweise einen Überblick über die Wahrscheinlichkeiten für die Perseverationstendenzen a-c.

Tabelle 3-1: Wahrscheinlichkeiten verschiedener Durchgangstypen getrennt nach *Übergang*, *Fall* (siehe Text) und *Art der Wahl*. Spaltensummen ergeben sich fallweise.

<i>Ü</i>	<i>Fall</i>	<i>frei</i>	<i>forciert</i>	Σ
<i>Pe</i>	a)	0		1/6
	b)	1/3	1/6	1/2
	c)	1/6		1/3
<i>We</i>	a)	1/3		5/6
	b)	0	1/6*	1/2
	c)	1/6	1/3	2/3
Σ		1/2	1/2	1

Ü = Übergang, *Pe* = Perseveration, *We* = Wechsel, * = Alternativwechsel.

a) Wenn jede Möglichkeit zum Wechseln wahrgenommen wird, ist die Gesamtwahrscheinlichkeit eines Wechsels $P(We) = 1/3 + 1/3 + 1/6 = 5/6$ und die Gesamtwahrscheinlichkeit der Perseveration $P(Pe) = 1/6 + 0 = 1/6$. b) Wenn jede Möglichkeit zum Perseverieren wahrgenommen wird, ist die Gesamtwahrscheinlichkeit des Wechsels $P(We) = 1/3 + 0 + 1/6 = 1/2$ und die Gesamtwahrscheinlichkeit der Perseveration $1/6 + 1/3 = 1/2$. c) Wenn gleich häufig perseveriert und gewechselt wird, ist die Gesamtwahrscheinlichkeit des Wechsels $P(We) = 1/3 + 1/6 + 1/6 = 2/3$ und die Gesamtwahrscheinlichkeit der Perseveration $P(Pe) = 1/6 + 1/6 = 1/3$.

Die Verhältnisse von Perseverations- zu Wechselwahrscheinlichkeiten in den Fällen a, b, c verdeutlichen, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Perseverationsdurchgang nicht größer wird als die Wahrscheinlichkeit für einen Wechseldurchgang. Die Versuchsperson hat damit keinen strategischen Vorteil, wenn sie immer perseveriert, da dies in mindestens jedem zweiten Durchgang fehlschlagen würde¹⁹.

3.1.1.5 Auswertung

In der Bedingung *freie* Wahl wurden die relativen Häufigkeiten für Wechsel und Perseveration berechnet. Die Reaktionszeiten bei *freier* und *forcierter* Wahl wurden separat analysiert, da sie nicht vergleichbar sind: Die Stufen des Faktors Übergang sind ungleich; die Wahrscheinlichkeit, zufällig einen übereinstimmenden Referenzreiz zu finden ist bei *freier* Wahl doppelt so hoch wie bei *forcierter*, weil es zwei übereinstimmende Referenzreize gibt. Für die Berechnung der Reaktionszeiten wurden die Übungsdurchgänge und die Fehler, $P(\text{Fehler}) < 0.01$, ausgeschlossen. Die Analysen wurden mit getrimmten Mittelwerten gerechnet, um die Reaktionszeiten von Ausreißern zu bereinigen. Im Einzelnen gingen nur Reaktionszeiten ein, die zwischen 150 und 3000 ms erfolgten und die innerhalb 3 Standardabweichungen des Mittelwertes einer Person lagen (Ratcliff, 1993). Im Folgenden stelle ich die Wahrscheinlichkeiten für Perseveration und Wechsel bei *freier* Wahl und die Reaktionszeiten vor.

3.1.2 Ergebnisse

Wahrscheinlichkeiten.²⁰ Die Wahrscheinlichkeiten für Wechsel und Perseveration in der *freien Wahl* Bedingung wichen vom Zufall ab und waren in Richtung Perseveration verschoben (siehe Abbildung 3-3, Quadrate, rechte Bezugsachse), $P(\text{Perseveration}) = .68$, $t(15) = -19.56$, $p < .01$. Wenn die Wahl zwischen Wechsel und Perseveration bestand (*freie Wahl*), wurde in etwa 2/3 aller Fälle die gleiche Übereinstimmungsdimension wie im vorherigen Durchgang gewählt. In etwa 1/3 aller Fälle wurde die Dimension der Übereinstimmung gewechselt, obwohl eine Möglichkeit zur Wiederholung bestand.

¹⁹ In einem Kontrollexperiment wurde zusätzlich empirisch überprüft, ob es einen Unterschied macht, wenn unabhängig von der Reaktion der Versuchsperson Perseveration und Wechsel immer gleich wahrscheinlich sind. Die Ergebnisse waren jedoch konsistent mit den Ergebnissen des vorliegenden Experimentes.

²⁰ Grundgesamtheit für die Perseverations- und Wechselwahrscheinlichkeit bildeten die Durchgänge, in denen sowohl eine Perseveration als auch ein Wechsel möglich waren. Die Perseverationswahrscheinlichkeit ergab sich aus dem Quotienten *gewählter Wiederholungen zu möglichen und gewählten Wiederholungen*. Die Wechselwahrscheinlichkeit bildete die Gegenwahrscheinlichkeit.

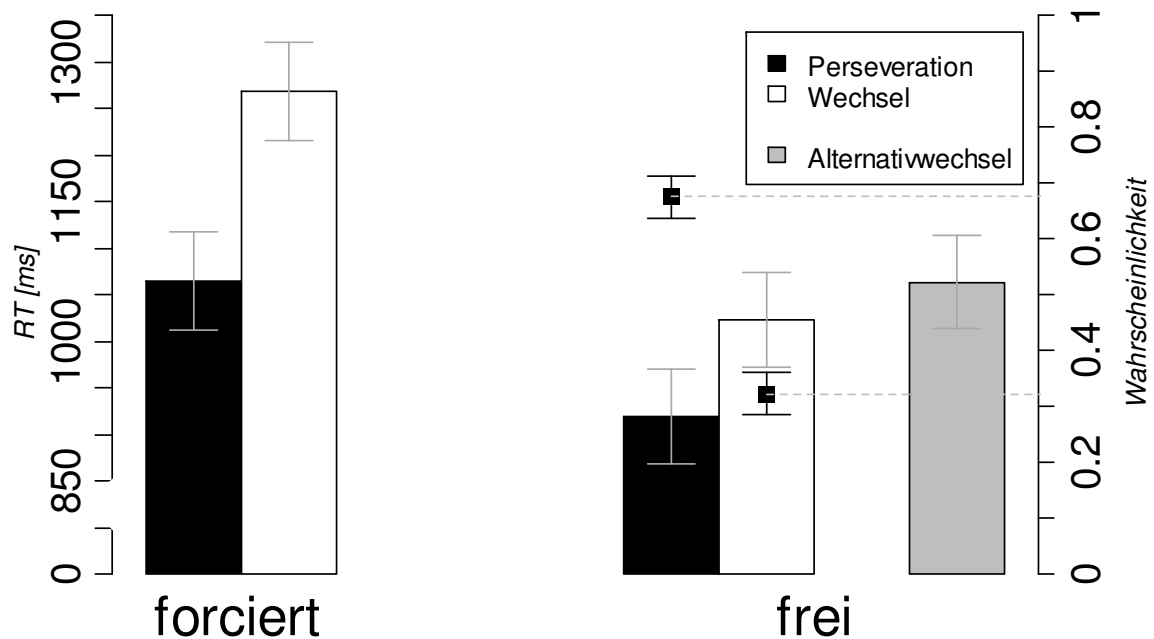


Abbildung 3-3: Reaktionszeiten (Balken, Bezugsachse Links) in Millisekunden und Wahrscheinlichkeiten (Quadrate, Bezugsachse rechts) getrennt nach Wahl und Übergang. Fehlerbalken zeigen die 95% Konfidenzintervalle nach Loftus und Masson (1994).

Reaktionszeiten. Wie in Abbildung 3-3 zu sehen ist, war in beiden Wahlbedingungen die mittlere Reaktionszeit einer Perseveration kürzer als die eines Wechsels. Separate ANOVAs für *freie* und *forcierte* Wahl, mit dem Messwiederholungsfaktor *Übergang* (Perseveration, Wechsel, Alternativwechsel²¹) führten zu hoch signifikanten Effekten des Faktors *Übergang*, sowohl bei den *freie* Wahl-Durchgängen, $\Delta_{We-Pe} = 104$ ms, $F(2, 30) = 20.28$, $MSe = 4404.9$, $p < .001$, $\eta^2 = .57$, als auch bei den *forcierte* Wahl-Durchgängen, $\Delta_{We-Pe} = 204$ ms, $F(1, 15) = 66.49$, $MSe = 5022.1$, $p < .001$, $\eta^2 = .82$. Bei den *freie* Wahl-Durchgängen unterschied sich die mittlere Reaktionszeit eines *Wechsels* nicht signifikant von der des *Alternativwechsels* (aWe), $\Delta_{We-aWe} = -40$ ms, $p > .10$.

Einfluss externer Reizmerkmale. Mayr und Bell (2006) kritisierten, dass die Wechselwahrscheinlichkeit beim Paradigma von Arrington und Logan (2004) nicht durch die Person, sondern durch Eigenschaften der Reize beeinflusst wird. Es wurden deshalb Zusatzanalysen gerechnet, um den Einfluss externer Stimuluseigenschaften auf die Perseverationstendenz zu untersuchen. Dabei handelte es sich um die folgenden Variablen: Dimensionen (Form, Farbe, Anzahl), Positionen (links, Mitte, rechts) sowie Position des vorhergehenden Durchgangs (Wiederholung vs. Wechsel der Übereinstimmungsposition). Die

²¹ Die Faktorstufe Alternativwechsel kommt nur bei den *freie* Wahl-Durchgängen vor, nicht bei den *forcierte* Wahl-Durchgängen.

Analysen zeigten, dass Reaktionszeiten und Wahrscheinlichkeiten von Perseveration und Wechsel nicht von externen Reizmerkmalen abhängig waren (siehe Anhang A).

3.1.3 Diskussion

Das Ziel dieses Experimentes bestand darin, ein alternatives Paradigma zum *freien Aufgabenwechsel* zu entwickeln und zu erproben, welches es ermöglicht, ohne instruierenden Hinweisreiz Reaktionszeit und die Stärke der Tendenz zum *freien* sowie *forcierten* Wechseln und Wiederholungen von Merkmalsdimensionen zu messen.

Die Ergebnisse zeigen, dass es bei *freier* Wahl zu einer mittelstarken Perseverationstendenz und einer schwachen Wechsel tendenz kam. Darüber hinaus entstanden Wechselkosten in den Reaktionszeiten, d.h. eine Perseveration der Übereinstimmungsdimension führte in beiden Wahlbedingungen zu einer kürzeren Reaktionszeit als ein Wechsel. Damit konnte gezeigt werden, dass die Übereinstimmungsdimension aus dem vorherigen Durchgang die *freien* und *forcierten* Wahlen des aktuellen Durchgangs beeinflusst. Dieser Effekt kann nicht durch den Wechsel eines Hinweisreizes oder durch Eigenschaften des Reizmaterials, wie bestimmte Dimensionen, räumliche Positionen, vorherige Übereinstimmungspositionen und spezifische Dimensionsausprägung erklärt werden.

Es ist bemerkenswert, dass sich in einigen Fällen eine schwache Wechsel tendenz gegenüber der stärkeren Perseverationstendenz durchsetzte. Beispielsweise gab es Wechsel von einer Farbübereinstimmung hin zu einer Form - oder Zahlübereinstimmung, obwohl die Übereinstimmung auf der Dimension Farbe hätte beibehalten werden können. Ich werde in der Gesamtdiskussion auf diesen Punkt zurückkommen.

Sowohl der Effekt der Wechselkosten als auch die gemessene Perseverationstendenz stehen im Einklang mit Theorien aus Befunden zu klassischen Aufgabenwechselfaradigmen. Aus dem Blickwinkel der TSI-Theorie (Allport et al., 1994; Wylie & Allport, 2000) scheint es plausibel, dass eine Restaktivierung der Dimension, die im vorherigen Durchgang als übereinstimmende Dimension gewählt wurde, im aktuellen Durchgang wie eine Voraktivierung dieser Dimension wirkt. Dies sollte sich im Falle einer Wiederholung der Übereinstimmungsdimension in positiver Bahnung manifestieren und im Falle eines Wechsels zu Interferenz führen. Die Wahl der Übereinstimmungsdimension des vorherigen Durchganges würde damit proaktiv auf Auswahl und Reaktionszeit der Dimension des aktuellen Durchganges wirken. Diese proaktive Interferenz könnte auch erklären, warum die relativen Häufigkeiten in den *freie* Wahl-Durchgängen in Richtung Perseveration verschoben waren.

3.2 Experiment 2

Im vorliegenden Experiment wurden die Ursachen (des in Experiment 1 vorgestellten Paradigmas) der gemessenen Wechselkosten und der Perseverationstendenz genauer untersucht. Es wurde die Hypothese getestet, dass ein Merkmal einer Dimension dann mehr Aufmerksamkeit auf sich zieht, wenn diese zuvor relevant war. Dazu wurde das Paradigma aus Experiment 1 mit der Messung von Blickbewegungen kombiniert.

Die meisten Theorien zum Aufgabenwechsel führen die erhöhte Reaktionszeit beim Aufgabenwechsel auf einen Reaktionskonflikt zurück (Allport et al., 1994; Meiran, 2000): Bei der aktuellen Aufgabe entsteht ein Konflikt, weil die vorherige Aufgabe noch aktiv ist. Doch welcher Teil der vorherigen Aufgabe ist noch aktiv: Merkmalsdimensionen, Merkmalsausprägungen oder Regeln? Im Paradigma aus Experiment 1 wechselt die relevante Reizdimension und die Aufgabe bleibt gleich (d.h. es soll in jedem Durchgang einer von drei Referenzreizen gefunden werden, der mit einem Target übereinstimmt). Die Ergebnisse aus Experiment 1 können dadurch erklärt werden, dass die Salienz einer Merkmalsdimension zunimmt, wenn sie zum Lösen der vorherigen Aufgabe relevant war.

Steinhauser und Hübner (2007) zeigten, dass nicht nur ein Konflikt zwischen Aufgaben, sondern auch ein salienter Distraktor zu Performanzeinbußen führt. Danach nimmt die Salienz einer Dimension zu, wenn eine ihrer Ausprägungen zuvor relevant war.

Aktuelle Theorien zum Arbeitsgedächtnis (Hazy et al., 2006) behaupten, dass die Enkodierung eines Reizes durch die Gedächtnisaktivierung einer vormals relevanten Aufgabe beeinflusst wird, indem eine vormals relevante Dimension intensiviert verarbeitet wird. Wie im Abschnitt 2.2.3 dargestellt, wird eine Merkmalsdimension im Arbeitsgedächtnis immer dann aufrechterhalten, wenn eine Aufgabe durch deren Beachtung erfolgreich gelöst wurde und es kommt dann zu einer Aktualisierung des Arbeitsgedächtnisinhaltes, wenn der erwartete Erfolg ausbleibt, d.h. wenn die Aufgabe durch die Beachtung der zuvor relevanten Dimension nicht gelöst werden konnte (O'Reilly et al., 2002).

Bezogen auf das Paradigma des vorliegenden Experimentes impliziert dieser Ansatz, dass die Merkmalsdimension aktiv aufrechterhalten wird, auf der eine Übereinstimmung zwischen Target und Referenzreiz gefunden wurde. Wird die vormals relevante Dimension aktiv aufrechterhalten, dann sollte bei einer Perseveration der aktuell übereinstimmende Referenzreiz mehr Aufmerksamkeit auf sich ziehen, als bei einem Wechsel. Um diese

Hypothesen zu untersuchen, wurden während der Bearbeitung der Aufgabe die Blickbewegungen der Probanden aufgezeichnet.

Aktuelle Arbeiten zur aktiven visuellen Verarbeitung belegen, dass verschiedene Blickparameter (siehe Abschnitt 2.3.3.4) wie Fixationen auf einzelne Objekte durch Gedächtnisprozesse und Aufmerksamkeit beeinflusst werden. Beispielsweise fällt die erste Fixation normalerweise am wahrscheinlichsten auf das salienteste Objekt (Underwood & Foulsham, 2006; Underwood et al., 2006). Die Wahrscheinlichkeit, ein niedrig salientes Objekt zu fixieren, steigt jedoch, wenn nach diesem gesucht werden soll (Underwood & Foulsham, 2006).

In Experiment 2 wurde die Hypothese untersucht, dass die Salienz einer Dimension (Form, Farbe oder Anzahl) zunimmt, wenn diese im vorherigen Durchgang relevant war. Das Blickverhalten bei Perseveration und Wechsel der Übereinstimmungsdimension sollte sich gemäß dieser Hypothese wie folgt unterscheiden. Im Gegensatz zum Wechsel befindet sich das übereinstimmende Merkmal bei einer Perseveration im aktuellen Durchgang auf der vormals relevanten Dimension. Wenn alle Merkmalsausprägungen der vormals relevanten Dimension verstärkt verarbeitet werden, sollte der Referenzreiz mit einer dimensional Übereinstimmung bei einer Perseveration mehr *Aufmerksamkeit auf sich ziehen* als beim Wechsel. Deshalb sollte bei einer Perseveration die Wahrscheinlichkeit, den Referenzreiz mit einer dimensional Übereinstimmung zum Target früh zu fixieren, größer sein als bei einem Wechsel. Darüber hinaus sollte die Latenz bis zur ersten Fixation des Referenzreizes mit einer Übereinstimmung zum Target bei einer Perseveration kürzer sein als bei einem Wechsel.

Theorien und empirische Arbeiten zur dimensionsbasierten Aufmerksamkeit besagen, dass der Gesamtbetrag an Gewicht, das einer Objektdimension zugewiesen werden kann, limitiert ist (Müller et al., 1995). Wird einer Dimension ein höheres Gewicht zugewiesen, ist die Verarbeitung anderer Dimensionen beeinträchtigt (Müller & O'Grady, 2000). Wenn wir diese Überlegungen auf das Paradigma der vorliegenden Arbeit anwenden, sollte bei einem Wechsel der Informationsbedarf größer sein als bei einer Perseveration, weil die Wechseldimension in ihrer Verarbeitung beeinträchtigt ist. Wenn die relevante Dimension bei einem Wechsel aufgrund des geringeren Aufmerksamkeitsgewichts, das dieser Dimension zugewiesen wird, schwächer verarbeitet wird als bei einer Perseveration, sollten Target und der zum Target übereinstimmende Referenzreiz während eines Wechsels öfter oder länger fixiert werden als bei einer Perseveration, da mehr Information gesammelt werden muss, um dieses Verarbeitungsdefizit auszugleichen. Darüber hinaus sollten die Blickbe-

wegungen bei *freier* und *forcierter* Wahl ähnlich sein, weil die Ergebnisse aus Experiment 1 nahe legen, dass die Prozesse bei *freier* und *forcierter* Wahl vergleichbar sind. Sind keine Unterschiede zwischen Perseveration und Wechsel in den Augenbewegungen messbar, dann kommt dieser Unterschied entweder durch andere Mechanismen zustande (bspw. durch eine unspezifische motorische Verlangsamung), oder die Aufmerksamkeit wird in diesem Paradigma nicht dimensionsbasiert zugewiesen und beeinflusst damit nicht die *aktive visuelle Verarbeitung*²².

Das Stimulusdisplay wurde für die Blickbewegungsmessung angepasst (siehe Abbildung 3-4). Durchführung und Design der Studie waren ansonsten mit Experiment 1 identisch.

3.2.1 Methode

3.2.1.1 Versuchspersonen

An der folgenden Studie nahmen 22 Studenten der Technischen Universität Dresden teil (Altersdurchschnitt von 22.3 (0.7) Jahren, 13 Frauen). Sie erhielten dafür 5 Euro oder eine Versuchspersonenstunde.

3.2.1.2 Apparatur und Stimuli

Die Reizdarbietung wurde in Delphi unter Verwendung von EyeLink, (SR Research Ltd.) – und Microsoft DirectX 9 – Bibliotheken programmiert. Die Reize wurden mit einem Compaq, Pentium III – Rechner dargeboten. Die manuellen Reaktionen und die Blickbewegungen wurden mit einem Compaq Pentium II – Rechner aufgezeichnet. Als Monitor diente ein 19 Zoll Nokia XS mit einer Bildwiederholungsfrequenz von 100 Hz und einer Auflösung von 1024 x 768 Pixel. Die Versuchspersonen wurden mit einem Abstand von 60 cm zwischen Monitor und Auge positioniert. Die Blickbewegungen wurden mit Hilfe des EyeLink-System (SR Research Ltd.) aufgezeichnet. Die Aufzeichnungsrate hatte eine zeitliche Auflösung von 4 ms (*sampling rate*: 250 Hz) und eine Genauigkeit unter 1°. Aufgezeichnet wurde das dominante rechte Auge. Die Schwellen für die Beschleunigung und Geschwindigkeit für die Klassifizierung der Ereignisse Fixation und Sakkade wurden so gesetzt, dass Sakkaden größer als 0.5° detektiert wurden.

²² Natürlich ist es auch denkbar, dass die Aufmerksamkeit zum Lösen der Aufgabe des vorliegenden Experimentes verdeckt und damit ohne Blickbewegungen zugewiesen wird. Aber wie im Abschnitt 2.3.2 dargestellt, hat die Blickbewegungsforschung beispielsweise bei visuellen Suchparadigmen gezeigt, dass die Displays aktiv visuell verarbeitet werden, d.h. durch die Beteiligung von Blickbewegungen.

Im Gegensatz zum Experiment 1 wurden folgende Änderungen am Reizmaterial vorgenommen: die Größe der Einzelreize wurde verringert, der Farbton bei jeder Farbausprägung konstant gehalten und die Referenzreize wurden entlang einer Kreisbahn um das Target angeordnet (siehe Abbildung 3-4). Jede geometrische Figur (Kreis, Kreuz, Dreieck, Viereck) eines Einzelreizes war 2.5° breit und 2.5° hoch. Bestand ein Einzelreiz aus mehr als einer Figur, z.B. zwei rote Dreiecke, wurde ein Abstand von 0.5° zwischen den einzelnen geometrischen Figuren gehalten. Die Merkmalsausprägungen der Dimension Farbe variierten nur im Farbton; Helligkeit und Sättigung blieben konstant²³. Die einzelnen Ausprägungen der Dimension Farbe waren grün (255, 51, 0)²⁴, rot (51, 204, 51), gelb (255, 255, 0) und blau (0, 51, 204). Der Bildschirmhintergrund war schwarz und um jeden Einzelreiz wurde ein Rahmen mit weißer Füllung von 4.5° Breite und 6.8° Höhe gezogen. Die drei Referenzreize wurden in der oberen Hälfte des Bildschirms entlang einer Kreisbahn mit einem Radius von 19.4° um das Target angeordnet. Target und mittlerer Referenzreiz befanden sich in der horizontalen Hälfte des Bildschirms, mit einem vertikalen Abstand von 19.4° . Linker und rechter Referenzreiz waren horizontal 12.2° vom mittleren entfernt.

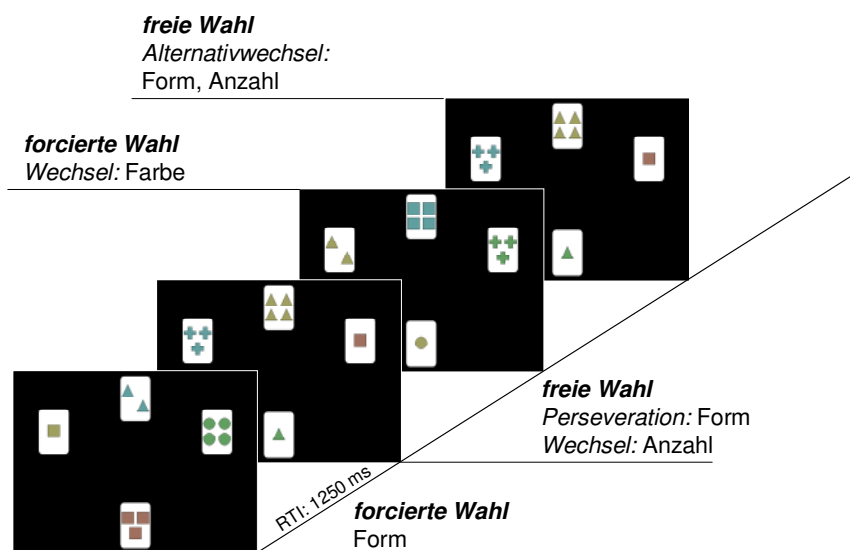


Abbildung 3-4: Beispielabfolge von vier Durchgängen. Die *Art der Wahl* ist Fett und Kursiv beschriftet, der *Übergang* kursiv. RTI (Response Trial Interval) = Zeit zwischen Reaktion und nächstem Durchgang.

Die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Übergänge und alle sonstigen Aspekte des Designs waren identisch mit Experiment 1 (für eine Beispielabfolge von 4 Durchgängen siehe Abbildung 3-4).

²³ Bei einer Skalierung von 0 bis 256 war die Sättigung konstant 60 und die Helligkeit konstant 120.

²⁴ Hinter den Farben steht in Klammern der RGB-Wert mit einem Wertebereich von 0 bis 255.

3.2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse werden in zwei Teilen vorgestellt. Der erste Teil ‚manuelle Reaktionen‘ berichtet die Wahrscheinlichkeiten bei *freier* Wahl und Reaktionszeiten bei *freier* und *forcierter* Wahl. Die Ergebnisse der Blickbewegungsanalyse werden im zweiten Teil ‚Blickbewegungen‘ vorgestellt.

3.2.2.1 Manuelle Reaktionen

Wahrscheinlichkeiten. Bei den *freie* Wahl-Durchgängen kam es zu einer Tendenz, die im vorherigen Durchgang gewählte Dimension der Übereinstimmung zwischen Referenzreiz und Target zu wiederholen, $P(\text{Perseveration}) = .65$, $t(21) = -9.1$, $p < .01$. Wenn die Wahl zwischen zwei zum Target übereinstimmenden Referenzreizen bestand, wurde in etwa 2/3 aller Durchgänge derjenige Referenzreiz gewählt, der zum Target auf der gleichen Dimension wie im vorherigen Durchgang übereinstimmte. In etwa 1/3 aller Durchgänge wurde die Dimension der Übereinstimmung gewechselt, obwohl es eine Möglichkeit zur Wiederholung gab (siehe Abbildung 3-5: schwarze Quadrate, Bezugsachse rechts).

Reaktionszeiten. Abbildung 3-5 zeigt die Reaktionszeiten getrennt nach Übergang und Wahlbedingung. Für die Analyse der Reaktionszeiten wurde für jede Wahlbedingung eine separate ANOVA mit dem Messwiederholungsfaktor *Übergang* gerechnet²⁵. Im Folgenden werden die Einzelergebnisse der jeweiligen ANOVA für *freie* und *forcierte* Wahl-Durchgänge gemeinsam dargestellt. Die Analysen für *freie* und *forcierte* Wahl-Durchgänge wurden signifikant; *freie* Wahl-Durchgänge: $F(2, 42) = 22.72$, $MSe = 5004.4$, $p < .001$, $\eta^2 = .52$; *forcierte* Wahl-Durchgänge: $F(1, 21) = 41.12$, $MSe = 21309.8$, $p < .001$, $\eta^2 = .62$. Eine Perseveration führte zu kürzeren Reaktionszeiten als ein Wechsel (siehe Abbildung 3-5), sowohl bei den *forcierte* ($\Delta_{We-Pe} = 282$ ms) als auch bei den *freie* Wahl-Durchgängen ($\Delta_{We-Pe} = 72$ ms). Geplante Einzelvergleiche für die Übergänge der *freie* Wahl-Durchgänge bestätigten die Unterschiede zwischen Perseveration und Wechsel, $t(21) = 3.98$, $p < .001$, sowie zwischen Wechsel und Alternativwechsel, $\Delta_{We-aWe} = 71$ ms, $T(21) = 3.45$, $p > .05$.

²⁵ Weil bei *freie* Wahl-Durchgängen zwei Referenzreize mit dem Target übereinstimmen und bei *forcierte* nur einer, ist die Wahrscheinlichkeit, bei *freie* Wahl-Durchgängen durch Zufall einen Referenzreiz mit einer Übereinstimmung zum Target zu finden doppelt so groß wie bei *forcierte* Wahl-Durchgängen. Darüber hinaus ist der Faktor Übergang bei *freie* Wahl-Durchgängen dreifach gestuft und bei *forcierte* Wahl-Durchgängen zweifach.

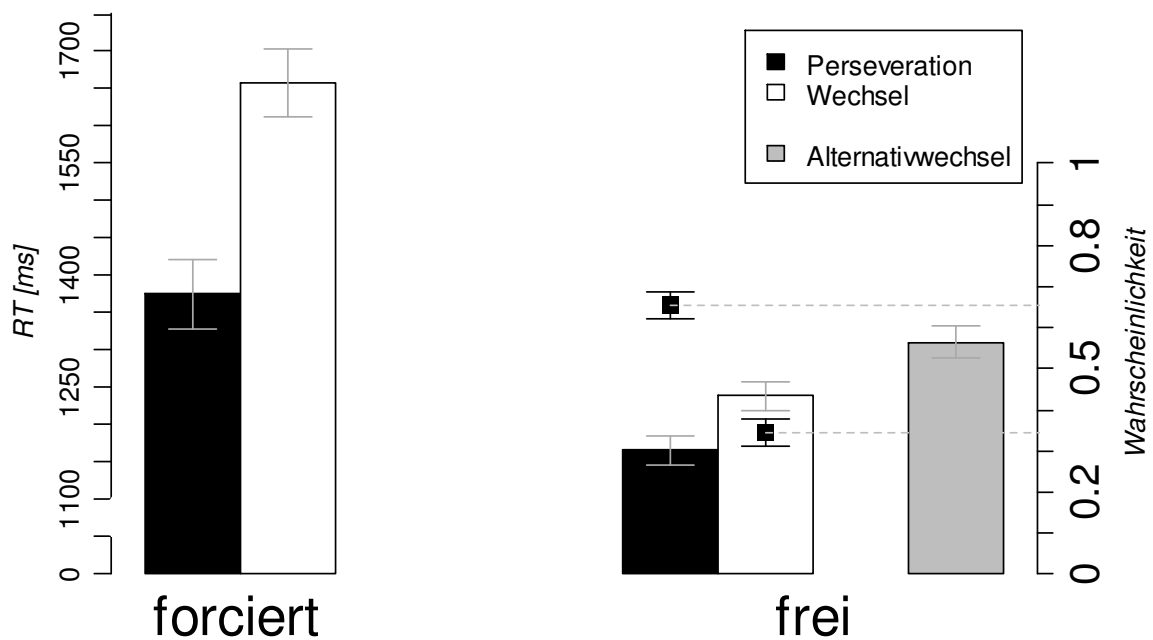


Abbildung 3-5: Reaktionszeiten (Balken, Bezugsachse Links) in Millisekunden und Wahrscheinlichkeiten (Quadrate, Bezugsachse rechts) getrennt nach Wahl und Übergang. Fehlerbalken zeigen die 95% Konfidenzintervalle nach Loftus und Masson (1994).

Externe Stimuluseigenschaften. Die Perseverationswahrscheinlichkeit, Wechseltendenz und Reaktionszeiten waren unabhängig von externen Stimuluseigenschaften (siehe Experiment 1). Die Einzelanalysen befinden sich im Anhang B, Abschnitt 1.

3.2.2.2 Blickbewegungen

Für die Datenreduktion wurden die Fixation post-hoc anhand der Fixationskoordinaten²⁶ fünf verschiedenen Gebieten, *Areas of Interest* (AOI), zugehörig zugeordnet. Im Folgenden wird ein fixierter Referenzreiz als *Distraktor* bezeichnet, wenn er in keiner Merkmalsdimension mit dem Target übereinstimmt²⁷. Da es in den *freie* Wahl-Durchgängen immer zwei Wahlalternativen gab, d.h. zwei Referenzreize, die auf unterschiedlichen Merkmalsdimensionen mit dem Target übereinstimmten, wurde ein Referenzreiz als *gewählter Referenzreiz* markiert, wenn auf diesen durch einen Tastendruck reagiert wurde. Als *alternativer Referenzreiz* wurde derjenige Referenzreiz markiert, der zwar zum Target überein-

²⁶ Die xy-Koordinaten entsprachen der fixierten Bildschirmposition mit 0-1024 x 0-768 Pixeln. Ein Einzelreiz wurde als fixiert betrachtet, wenn sich die xy-Koordinaten der Fixation (mit einer Toleranz von 2°) innerhalb des Begrenzungsrahmens des betreffenden Einzelreizes befanden.

²⁷ Bei *forcierte* Wahl-Durchgängen gab es immer zwei Distraktoren, deren Werte zu einem durchschnittlichen Distraktor – im Folgenden kurz Distraktor – gemittelt wurden.

stimmte, aber auf den nicht mit Tastendruck reagiert wurde. Fixationen in den zentralen Bereich des Bildschirms, 4.5° breit und 6.8° hoch, wurden als *Mitte* markiert²⁸.

Diese Klassifizierung führte zur folgenden Einteilung fixierter Reize: *gewählter Referenzreiz (gR)*, *Distraktor (D)*, *alternativer Referenzreiz (aR)*, *Target (T)* und *Mitte (M)*. Die Abbildung 3-6 verdeutlicht die AOI-Kodierung anhand einer Fixationssequenz eines *forcierte Wahl-Durchgangs*.

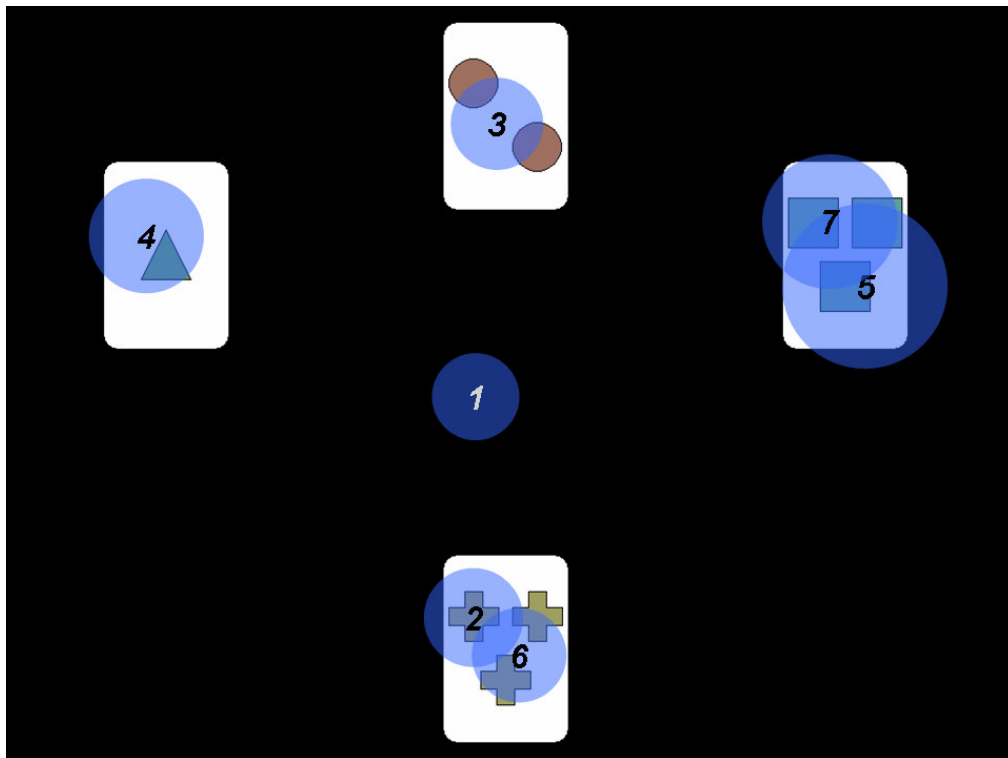


Abbildung 3-6: Sequenz von sieben Fixationen (blaue Kreise) am Beispieldisplay eines *forcierte Wahl-Durchgangs*. Der rechte Referenzreiz stimmt in der Dimension *Anzahl* mit dem Target überein. AOI-Kodierung der Fixationen nummeriert in der Reihenfolge vom Beginn bis zum Ende des Durchgangs (in Klammern: Fixationsdauer in Millisekunden): 1. Mitte (120), 2. Target (180), 3. Distraktor (205), 4. Distraktor (210), 5. gewählter Referenzreiz (310), 6. Target (160), 7. gewählter Referenzreiz (290). Die Kreisgröße im Beispieldisplay ist proportional zur Fixationsdauer.

Die Analyse der Blickbewegungsdaten gliedert sich in folgende Teile: Zunächst werden verschiedene Blickparameter eines durchschnittlichen Versuchsdurchgangs berichtet. Im Einzelnen wird analysiert, welche Reize wie oft und wie lange fixiert wurden (*Fixationsanzahlen* und *Fixationszeiten*) und wie lange es dauerte, bis eine Fixation des Referenzreizes, auf den mit einem Tastendruck reagiert wurde, stattfand sowie wieviel Zeit von dieser Fixation bis zum Tastendruck verging (*Suchzeit*, *Verarbeitungszeit*).

²⁸ Die Mittelposition wurde in die Kodierung aufgenommen, weil explorative Streudiagramme der Fixationskoordinaten aller Durchgänge zeigten, dass diese Region häufig fixiert wurde.

Im letzten Teil (*zeitlicher Verlauf der Fixationswahrscheinlichkeit*) wird der zeitliche Verlauf der Blickbewegungen während eines durchschnittlichen Versuchsdurchgangs analysiert. Hier ist von besonderem Interesse, ob wie vermutet der Referenzreiz, der mit dem Target übereinstimmt, bei einer Perseveration in frühen Zeitbereichen wahrscheinlicher fixiert wurde als bei einem Wechsel. Der besseren Lesbarkeit wegen werden im Folgenden Einzelvergleiche von hypothesenirrelevanten Effekten in den Fußnoten aufgeführt.

3.2.2.2.1 Fixationsanzahlen der Reize

Für die Analyse der Fixationsanzahlen der Reize (durchschnittliche Anzahl der Fixationen eines Reizes in einem mittleren Durchgang) wurde für jede Wahlbedingung eine separate ANOVA mit Messwiederholung gerechnet. Die Messwiederholungsfaktoren waren *Übergang* und *Reiz* (Mitte, gewählter Referenzreiz, Distraktor, Target)²⁹.

Die Analysen führten in beiden Wahlbedingungen zu einem signifikanten Haupteffekt *Reiz*, *freie* Wahl-Durchgänge: $F(4,84) = 61.25$, $MSe = 0.369$, $p < .001$, $\eta^2 = .74$; *forcierte* Wahl-Durchgänge: $F(3,63) = 50.702$, $MSe = 0.51$, $p < .001$, $\eta^2 = .70$. Dieser Haupteffekt wurde in beiden Wahlbedingungen dadurch verursacht, dass das Target (*frei*: 1.73, *forciert*: 2.05) und der gewählte Referenzreiz (*frei*: 1.67, *forciert*: 1.81) durchschnittlich häufiger fixiert wurden als die restlichen Reize (*frei*: 0.63, *forciert*: 0.79)³⁰.

In beiden Wahlbedingungen wurde der Haupteffekt *Übergang* (*freie* Wahl-Durchgänge: $F(2,42) = 23.91$, $MSe = 0.023$, $p < .001$, $\eta^2 = .54$; *forcierte* Wahl-Durchgänge: $F(1,21) = 30.58$, $MSe = 0.067$, $p < .001$, $\eta^2 = .60$) relativiert durch eine signifikante Interaktion zwischen *Übergang* und *Reiz* (*freie* Wahl-Durchgänge: $F(8,168) = 4.24$, $MSe = .014$, $p < .05$, $\eta^2 = .16$; *forcierte* Wahl-Durchgänge: $F(3,63) = 7.14$, $MSe = .029$, $p < .05$, $\eta^2 = .25$). Als Folgetests wurden für jeden Reiz und jede Wahlbedingung eine einfaktorielle ANOVAs mit dem Messwiederholungsfaktor *Übergang* gerechnet, um zu bestimmen, welche Reize in der Fixationsanzahl vom Faktor *Übergang* beeinflusst werden. Tabelle 3-2 zeigt die durchschnittliche Fixationsanzahl getrennt nach *Reiz*, *Art der Wahl* und *Übergang*. Mit Ausnahme der Mitte ergaben die Analysen in beiden Wahlbedingungen, dass die Fixationsanzahlen der Reize wie folgt durch den Faktor *Übergang* beeinflusst wurden.

²⁹ Bei den *freie* Wahl-Durchgängen hat der Faktor *Reiz* eine zusätzliche Stufe: alternativer Referenzreiz.

³⁰ Mit Ausnahme des Vergleichs zwischen Target und gewähltem Referenzreiz wurden die geplanten Folgekontraste zwischen den Reizen signifikant, *freie* Wahl-Durchgänge: $\Delta_{gR-M} = 1.03$, $\Delta_{D-aR} = 0.06$, $F(1,21) = 65.61$, 6.83 , $ps < .05$, $\Delta_{T-gR} = 0.08$, $\Delta_{M-D} < 0.01$, $F_s < 1$; *forcierte* Wahl-Durchgänge: $\Delta_{gR-M} = 0.88$, $\Delta_{D-M} = 0.06$, $F(1,21) = 100.73$, 8.91 , $ps < .05$, $\Delta_{T-gR} = 0.21$, $F(1,21) = 1.90$, $p = .18$.

Tabelle 3-2: Durchschnittliche Fixationsanzahl (\pm Standardabweichungen) getrennt nach *Art der Wahl*(*W*), *Übergang*(*Ü*) und *Reiz*, *Pe* = Perseveration, *We* = Wechsel, *aWe* = Alternativwechsel.

<i>W</i>	<i>Ü</i>	<i>Reize</i>				
		<i>Mitte</i>	<i>gewählter Referenzreiz</i>	<i>Distraktor</i>	<i>alternativer Referenzreiz</i>	<i>Target</i>
<i>frei</i>	<i>Pe</i>	0.63 \pm 0.05	1.56 \pm 0.09	0.58 \pm 0.04	0.52 \pm 0.05	1.61 \pm 0.11
	<i>We</i>	0.64 \pm 0.06	1.71 \pm 0.11	0.62 \pm 0.05	0.68 \pm 0.05	1.78 \pm 0.13
	<i>aWe</i>	0.66 \pm 0.07	1.74 \pm 0.12	0.71 \pm 0.05	0.68 \pm 0.07	1.82 \pm 0.14
<i>forciert</i>	<i>Pe</i>	0.64 \pm 0.06	1.67 \pm 0.14	0.81 \pm 0.06		1.86 \pm 0.13
	<i>We</i>	0.69 \pm 0.06	1.95 \pm 0.15	1.05 \pm 0.08		2.19 \pm 0.15

In der Bedingung *freie* Wahl kam es zu signifikanten Effekten für den *gewählten Referenzreiz*, $F(2, 42) = 11.76, p < .001, MSe = 0.018, \eta^2 = .36$, das *Target*, $F(2, 42) = 20.41, p < .001, MSe = 0.016, \eta^2 = .49$, und den *alternativen Referenzreiz*, $F(2, 42) = 10.69, p < .001, MSe = 0.016, \eta^2 = .33$. Die Folgekontraste zwischen den Stufen des Faktors *Übergang* zeigten, dass diese Reize bei einem Wechsel im Mittel öfter fixiert wurden als bei einer Perseveration, $\Delta = \text{Wechsel} - \text{Perseveration}$, $\Delta_T = 0.16, \Delta_{gR} = 0.16, \Delta_{aR} = 0.15, F(1, 21) = 14.59, 15.77, 13.03, ps < .05$. Die gleichen Reize unterschieden sich jedoch nicht in der Fixationsanzahl von Alternativwechsel und Wechsel, $F_s < 1$.

In der Bedingung *forcierte* Wahl wurden der *gewählte Referenzreiz*, das *Target* und der *Distraktor* bei einem Wechsel im Mittel öfter fixiert als bei einer Perseveration, $\Delta_{gR} = 0.16, \Delta_T = 0.25, \Delta_D = 0.22, F(1, 21) = 13.64, 30.87, 31.33, ps < .05$.

Die Analyse der Fixationsanzahlen der Reize zeigt zusammengefasst, dass in beiden Wahlbedingungen das *Target* und der *gewählte Referenzreiz* bei einem Wechsel im Durchschnitt öfter fixiert wurden als bei einer Perseveration. In der Bedingung *freie* Wahl war zudem die Fixationsanzahl des *alternativen Referenzreizes* bei einem Wechsel größer als bei einer Perseveration, während bei den *forcierte* Wahl-Durchgängen die Fixationsanzahl des *Distraktors* bei einem Wechsel größer als bei einer Perseveration war.

3.2.2.2.2 Fixationszeiten

Für die Analyse der Fixationszeiten wurde für jede Wahlbedingung eine separate zweifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Übergang* und *Reiz* gerechnet.

Die Analysen führten in beiden Wahlbedingungen zu einem signifikanten Haupteffekt *Reiz*, *freie* Wahl: $F(4,84) = 9.28$, $MSe = 4561.6$, $p < .01$, $\eta^2 = .30$; *forcierte* Wahl: $F(4,84) = 8.49$, $MSe = 3360.1$, $p < .01$, $\eta^2 = .28$. Dieser Haupteffekt spiegelt in beiden Wahlbedingungen wider, dass der gewählte Referenzreiz (*frei*: 245 ms, *forciert*: 248 ms) etwa 40 ms länger fixiert wurde als die restlichen Reize, wohingegen das Target (*frei*: 180 ms, *forciert*: 181 ms) etwa 20 ms kürzer fixiert wurde als die restlichen Reize³¹. Es kam in keiner Wahlbedingung zu einem signifikanten Haupteffekt *Übergang* oder zu einer signifikanten Interaktion zwischen *Übergang* und *Reiz*, $F_s < 1$.

3.2.2.2.3 Suchzeit und Verarbeitungszeit

Nachstehend wird der Zusammenhang zwischen Reizdarbietung, erster Fixation des gewählten Referenzreizes und Reaktion analysiert. Die Zeit von der Reizdarbietung bis zur ersten Fixation des gewählten Referenzreizes wird im Folgenden als Suchzeit (S) bezeichnet und die Zeit von dieser ersten Fixation des gewählten Referenzreizes bis zur Reaktion als Verarbeitungszeit (V). Es wurde für jede Wahlbedingung eine separate ANOVA für die Suchzeit und die Verarbeitungszeit mit dem Messwiederholungsfaktor *Übergang* durchgeführt. Tabelle 3-3 zeigt die mittlere Suchzeit sowie die mittlere Verarbeitungszeit, getrennt nach *Übergang* und *Art der Wahl*. Die Analysen führten zu folgenden Ergebnissen.

Freie Wahl-Durchgänge. Die Analyse der Suchzeit führte zu einem signifikanten Ergebnis, $F(2, 42) = 7.16$, $MSe = 3979.3$, $p < .05$, $\eta^2 = .25$. Die Folgekontraste zwischen den Stufen des Faktors *Übergang* zeigten, dass die mittlere Suchzeit bei einer Perseveration kürzer als bei einem Wechsel war, $F(1, 21) = 4.10$, $MSe = 6181.01$, $p < .05$, $\eta^2 = .10$, und dass die mittlere Suchzeit bei einem Wechsel kürzer war als bei einem Alternativwechsel, $F(1, 21)$

³¹ Die geplanten Folgekontraste der Reize ergaben folgendes Bild. Das Target wurde in beiden Wahlbedingungen durchschnittlich kürzer fixiert als die Referenzreize, *freie* Wahl: $\Delta_{T-\varnothing_{gR,aR,M,D}} = -22$ ms, $F(1,21) = 11.22$, $MSe = 959.9$, $p < .05$, $\eta^2 = .34$; *forcierte* Wahl: $\Delta_{T-\varnothing_{gR,M,D}} = -27$ ms; $F(1,21) = 15.85$, $MSe = 1055.8$, $p < .001$, $\eta^2 = .41$. Der gewählte Referenzreiz wurde in beiden Wahlbedingungen länger fixiert als die restlichen Reize, *freie* Wahl: $\Delta_{gR-\varnothing_{T,aR,M,D}} = 43$ ms, $F(1,21) = 27.5$, $MSe = 2357.8$, $p < .001$, $\eta^2 = .56$; *forcierte* Wahl: $\Delta_{gR-\varnothing_{T,M,D}} = 41$ ms; $F(1,21) = 17.14$; $MSe = 3307.3$; $p < .001$; $\eta^2 = .45$. Die Fixationsdauer des Distraktors unterschied sich weder bei *freie* noch bei *forcierte* Wahl von der Fixationsdauer der anderen Reize, *freie* Wahl: $\Delta_{D-\varnothing_{T,aR,M,gR}} = -2$ ms, $F < 1$; *forcierte* Wahl: $\Delta_{gR-\varnothing_{T,aR,M,D}} = 0.1$ ms, $F < 1$.

= 6.12, $MSe = 8343.2$, $p < .05$, $\eta^2 = .16$. Die Analyse der Verarbeitungszeit führte ebenfalls zu einem signifikanten Ergebnis, $F(1, 21) = 8.85$, $MSe = 6683.8$, $p < .001$, $\eta^2 = .29$. Die Folgekontraste zeigten, dass die mittlere Verarbeitungszeit bei einer Perseveration kürzer war als bei einem Wechsel, $F(1, 21) = 12.85$, $MSe = 11845.8$, $p < .05$, $\eta^2 = .38$, wohingegen sich Wechsel und Alternativwechsel nicht signifikant unterschieden, $F < 1$.

Tabelle 3-3: Suchzeit und Verarbeitungszeit in Millisekunden (\pm Standardabweichungen), getrennt nach *Übergang* und *Art der Wahl*. S = Suchzeit, V = Verarbeitungszeit. Der Unterschied (zeilenweise) zwischen den Übergängen wird durch die Differenz Δ angegeben und signifikante Differenzen wurden mit einem Stern (*) markiert.

<i>Übergang</i>	<i>freie Wahl</i>		<i>forcierte Wahl</i>	
	S	V	S	V
<i>Perseveration</i>	619 \pm 21	523 \pm 25	705 \pm 34	641 \pm 36
	$\Delta = 28^*$	$\Delta = 83^*$	$\Delta = 74^*$	$\Delta = 159^*$
<i>Wechsel</i>	647 \pm 33	606 \pm 38	779 \pm 31	799 \pm 55
	$\Delta = 43^*$	$\Delta = 12$		
<i>Alternativwechsel</i>	691 \pm 29	618 \pm 43		

Forcierte Wahl-Durchgänge. Auch in den *forcierte Wahl-Durchgängen* war die mittlere Suchzeit bei einer Perseveration kürzer als bei einem Wechsel, $F(1, 21) = 38.76$, $MSe = 1553.4$, $p < .001$, $\eta^2 = .65$. Zudem zeigte auch die Analyse der Verarbeitungszeit, dass die mittlere Verarbeitungszeit bei einer Perseveration signifikant kürzer war als bei einem Wechsel, $F(1, 21) = 19.79$, $MSe = 13969.2$, $p < .001$, $\eta^2 = .48$.

Zusammengefasst zeigten diese Analysen, dass sowohl die Zeit bis zur ersten Fixation des gewählten Referenzreizes als auch die Zeit von dieser Fixation bis zur manuellen Reaktion bei einer Perseveration kürzer als bei einem Wechsel war.

3.2.2.2.4 Zeitlicher Verlauf der Fixationswahrscheinlichkeit

Im Folgenden wird der zeitliche Verlauf der Fixationen analysiert, d.h. *wann* wurden die einzelnen Reize am wahrscheinlichsten fixiert. Weiterhin wird überprüft, ob es bei einer Perseveration wahrscheinlicher war als bei einem Wechsel, den gewählten Referenzreiz zu fixieren. Zu diesem Zweck wurden die Fixationswahrscheinlichkeiten der einzelnen Reize über die Zeit analysiert (siehe Abschnitt 2.3.5.1).

Innerhalb jeder Versuchsbedingung wurde mit einer Auflösung von 50 ms die relative Häufigkeit in Abhängigkeit von der Bearbeitungszeit ermittelt, mit der eine Fixation auf

einen Reiz stattfand. Ferner wurde die kumulative Verteilung der Reaktionen ermittelt, um deskriptiv die Wahrscheinlichkeit einer Reaktion zu veranschaulichen. Abbildung 3-7 zeigt die Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize (oben) und die kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit (unten) als Funktion der Zeit bei den *freie* Wahl-Durchgängen und Abbildung 3-9 bei den *forcierte* Wahl-Durchgängen. Für die inferenzstatistische Analyse wurden die Fixationswahrscheinlichkeiten innerhalb von fünf Zeitbereichen gemittelt (0 – 200, 250 – 450, 500 – 950, 1000 – 1350 und 1400 – 2000 ms). Mit diesen Werten wurde anschließend für jede Wahlbedingung eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung gerechnet. Die Messwiederholungsfaktoren lauteten *Übergang*, *Reiz* und *Zeit* (1 – 5)³². Zunächst wird die Analyse der *freie* Wahl-Durchgänge und anschließend die Analyse der *forcierte* Wahl-Durchgänge berichtet.

3.2.2.2.4.1 Freie Wahl-Durchgänge

Die Analyse der *freie* Wahl-Durchgänge ergab einen signifikanten Haupteffekt *Reiz*, $F(4,84) = 26.65$, $MSe = 0.142$, $p < .001$, $\eta^2 = .56$. In Übereinstimmung mit der Analyse der Fixationsanzahl der Reize waren die Fixationswahrscheinlichkeiten des gewählten Referenzreizes ($P = .33$), des Targets ($P = .27$) und der Mitte ($P = .22$) am größten und die Fixationswahrscheinlichkeit des Distraktors ($P = .10$) und des abgelehnten Referenzreizes ($P = .08$) am geringsten³³.

Wie in Abbildung 3-7 zu sehen ist, änderten sich die Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize über die Zeit. Die entsprechende Interaktion zwischen *Reiz* und *Zeitbereich* wurde signifikant, $F(12,252) = 27.59$, $MSe = .026$, $p < .001$, $\eta^2 = .56$. Darüber hinaus kam es zu einer signifikanten Dreifachinteraktion von *Reiz*, *Zeitbereich* und *Übergang*, $F(3,672) = 1.81$, $MSe = .004$, $p < .001$, $\eta^2 = .08$. Als Folgetests wurden innerhalb jedes Zeitbereiches eine ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Reiz* und *Übergang* mit Folgekontrasten gerechnet.

³² Für beide Wahlbedingungen wurden die gleichen Analysen gerechnet, mit dem Unterschied, dass es bei den *forcierte* Wahl-Durchgängen für *Reiz* sowie *Übergang* jeweils eine Faktorstufe weniger gab (nur bei den *freie* Wahl-Durchgängen gab es bei dem Faktor *Übergang* die Stufe *Alternativwechsel* und beim Faktor *Reiz* die Faktorstufe *alternativer Referenzreiz*).

³³ Die Unterschiede zwischen den Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize wurden durch geplante Folgekontraste zwischen den Reizen bestätigt, $\Delta_{M-gr} = -.11$, $F(1,21) = 4.20$, $MSe = 0.55$, $p = .53$, $\eta^2 = .17$; $\Delta_{gr-D} = .23$, $F(1,21) = 128.58$, $MSe = 0.09$, $p < .001$, $\eta^2 = .86$; $\Delta_{D-ar} = .02$, $F(1,21) = 8.08$, $MSe = 0.001$, $p < .05$, $\eta^2 = .28$; $\Delta_{ar-T} = -.19$, $F(1,21) = 125.39$, $MSe = 0.006$, $p < .001$, $\eta^2 = .86$.

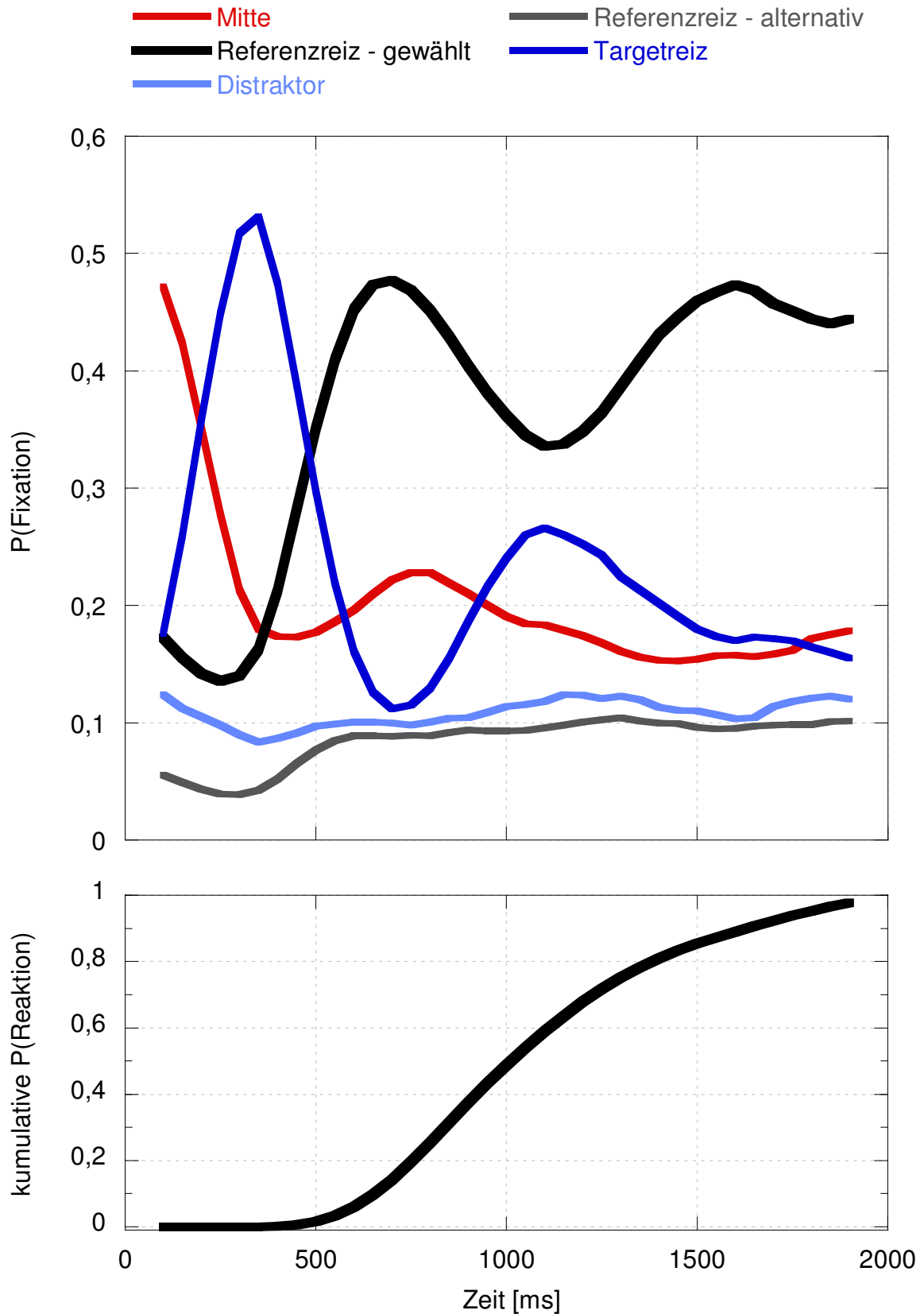


Abbildung 3-7: Oben: Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize in der Bedingung *freie Wahl* als Funktion der Zeit in Millisekunden. Unten: kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit. Die Kurven sind über die Versuchspersonen gemittelt (N = 22).

Im Folgenden wird für jeden Zeitbereich deskriptiv beschrieben, welcher Reiz in jedem Zeitbereich am wahrscheinlichsten fixiert wurde und wie sich die Fixationswahrscheinlichkeiten der einzelnen Reize über die Zeit änderten. Von besonderem Interesse ist hierbei, in welchem Zeitabschnitt die Fixationswahrscheinlichkeiten der einzelnen Reize von der Art des Übergangs moduliert wurden und ob die Wahrscheinlichkeit, den gewählten Referenzreiz zu fixieren, hypothesenkonform bei einer Perseveration größer war als bei einem Wechsel. Die Inferenzstatistiken zu den Unterschieden zwischen den Reizen innerhalb eines Zeitbereiches sowie zwischen den Zeitbereichen jedes Einzelreizes befinden sich im Anhang C, Abschnitt 3.

In den *freie* Wahl-Durchgängen wurde unabhängig von der Art des Übergangs zwischen $0 - 200\text{ ms}$ am wahrscheinlichsten die Mitte oder das Target fixiert (siehe Abbildung 3-7). Im darauf folgenden Zeitbereich, zwischen $250 - 500\text{ ms}$, wurde die Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte geringer. Im Vergleich zum vorherigen Zeitbereich nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets zwischen $250 - 500\text{ ms}$ zu und war größer als die einzelnen Fixationswahrscheinlichkeiten der restlichen Reize.

Im nächsten Zeitbereich, zwischen $500 - 950\text{ ms}$, nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets ab und die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes nahm zu und war größer als die der restlichen Reize. Wichtiger jedoch ist, dass die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes in diesem Zeitbereich von der Art des Übergangs beeinflusst wurde. Die entsprechende Interaktion zwischen *Reiz* und *Übergang* wurde für den Zeitbereich $500 - 950\text{ ms}$ signifikant, $F(8,168) = 4.17$, $MSe = 0.002$, $p < .01$, $\eta^2 = .16$. Als Folgeanalyse wurde für jeden Reiz eine einfaktorielle ANOVA mit dem Messwiederholungsfaktor *Übergang* mit Folgekontrasten gerechnet.

Zu signifikanten Ergebnissen führten die Analysen des gewählten Referenzreizes, $F(1,21) = 5.97$, $MSe = 0.002$, $p < .05$, $\eta^2 = .21$, und des alternativen Referenzreizes, $F(2,42) = 8.08$, $MSe = 0.001$, $p < .01$, $\eta^2 = .28$, während die Analyse des Targets die Signifikanz verfehlte, $F(8,168) = 1.85$, $MSe = 0.003$, $p = .08$, $\eta^2 = .14$.

Die Analysen der Mitte und des Distraktors wurden nicht signifikant, $F_s < 1$. Die Fixationswahrscheinlichkeiten des gewählten und alternativen Referenzreizes wurden wie folgt durch den Faktor *Übergang* beeinflusst.

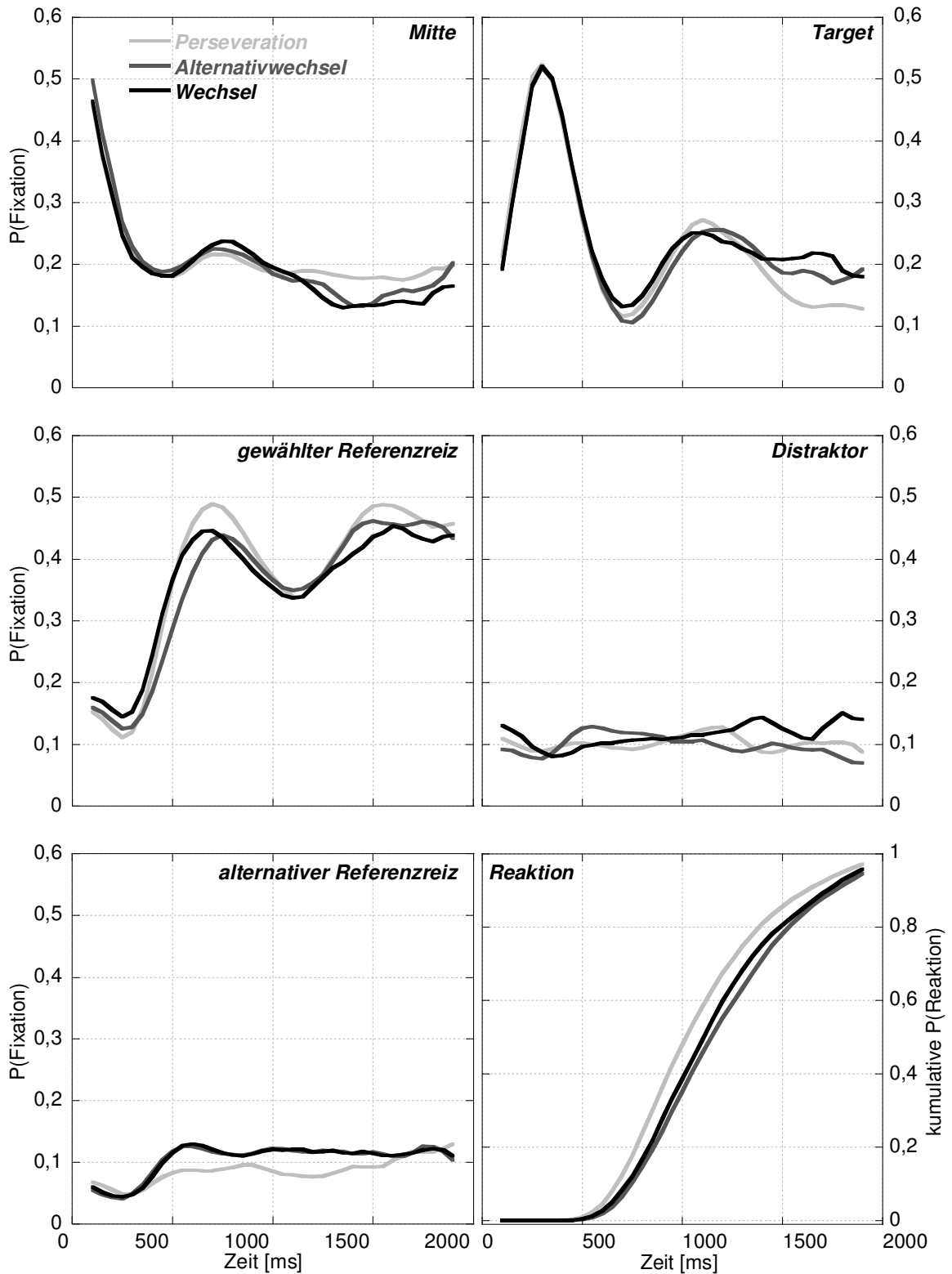


Abbildung 3-8: Jede Teilabbildung zeigt die Fixationswahrscheinlichkeit eines Reizes in der Bedingung *freie Wahl* getrennt nach *Übergang* in Abhängigkeit von der Zeit in Millisekunden. Die Teilabbildung unten rechts zeigt die kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit.

Im Einzelnen war es im Bereich von 550-950 ms während einer Perseveration wahrscheinlicher als bei einem Wechsel, den gewählten Referenzreiz zu fixieren, $\Delta_{Pe-We} = .03$, $F(1,21) = 4.71$, $MSe = 0.004$, $p > .001$, $\eta^2 = .18$, wobei es keinen signifikanten Unterschied zwischen Wechsel und Alternativwechsel gab, $\Delta_{We-aWe} = .02$, $F(1,21) = 1.30$, $MSe = 0.004$, $p > .269$, $\eta^2 = .06$ (siehe Abbildung 3-8, linke Spalte, mittlere Teilabbildung).

Im Gegensatz zum gewählten Referenzreiz war es im Bereich von 550-950 ms während eines Wechsels wahrscheinlicher als bei einer Perseveration, den alternativen Referenzreiz zu fixieren, $\Delta_{Pe-We} = -.05$, $F(1,21) = 5.54$, $MSe = 0.003$, $p < .05$, $\eta^2 = .21$, wobei es zwischen Wechsel und Alternativwechsel keinen signifikanten Unterschied gab, $\Delta_{We-aWe} = .03$, $F < 1$.

Zusammengefasst spiegelt dieser Zusammenhang wider, dass bei *freie* Wahl-Durchgängen die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes im Bereich von 550-950 ms zugunsten der Fixationswahrscheinlichkeit des alternativen Referenzreizes erhöht war³⁴. Im nächsten Zeitbereich, zwischen 1000 – 1350 ms, stieg die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets leicht an, während die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes leicht abnahm, aber immer noch größer war als die der restlichen Reize. Im darauf folgenden Zeitbereich, zwischen 1400 – 2000 ms, stieg die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes an, während die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets geringer wurde.

3.2.2.2.4.2 Forcierte Wahl-Durchgänge

Die Analyse der *forcierte* Wahl-Durchgänge führte zu einem signifikanten Haupteffekt *Reiz*, $F(3,63) = 10.18$, $MSe = 0.104$, $p < .001$, $\eta^2 = .32$. Über alle Zeitbereiche hinweg war die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes ($P = .28$) und des Targets ($P = .26$) am größten, gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte ($P = .22$). Die Wahrscheinlichkeit, einen Distraktor zu fixieren ($P = .12$), war am geringsten³⁵.

Wie in Abbildung 3-9 zu sehen ist, änderte sich die Fixationswahrscheinlichkeit der Reize über die Zeit. Die entsprechende Interaktion zwischen *Reiz* und *Zeitbereich* wurde signifikant, $F(12,252) = 27.59$, $MSe = .026$, $p < .001$, $\eta^2 = .58$.

³⁴ Dieses Ergebnis zeigte sich auch in einer Analyse der Fixationswahrscheinlichkeit als Funktion fortlaufender Zeitquantile, bei der alle Durchgänge auf 1 normiert wurden (siehe Anhang B, Abschnitt 4).

³⁵ Die Unterschiede zwischen den Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize wurden durch die Folgekontraste zwischen den Reizen bestätigt, $\Delta_{gR-D} = .12$, $F(1,21) = 121.32$, $MSe = 0.035$, $p < .001$, $\eta^2 = .85$; $\Delta_{D-T} = -.14$, $F(1,21) = 64.91$, $MSe = 0.545$, $p < .001$, $\eta^2 = .75$; $\Delta_{M-gR} = -.02$, $F < 1$.

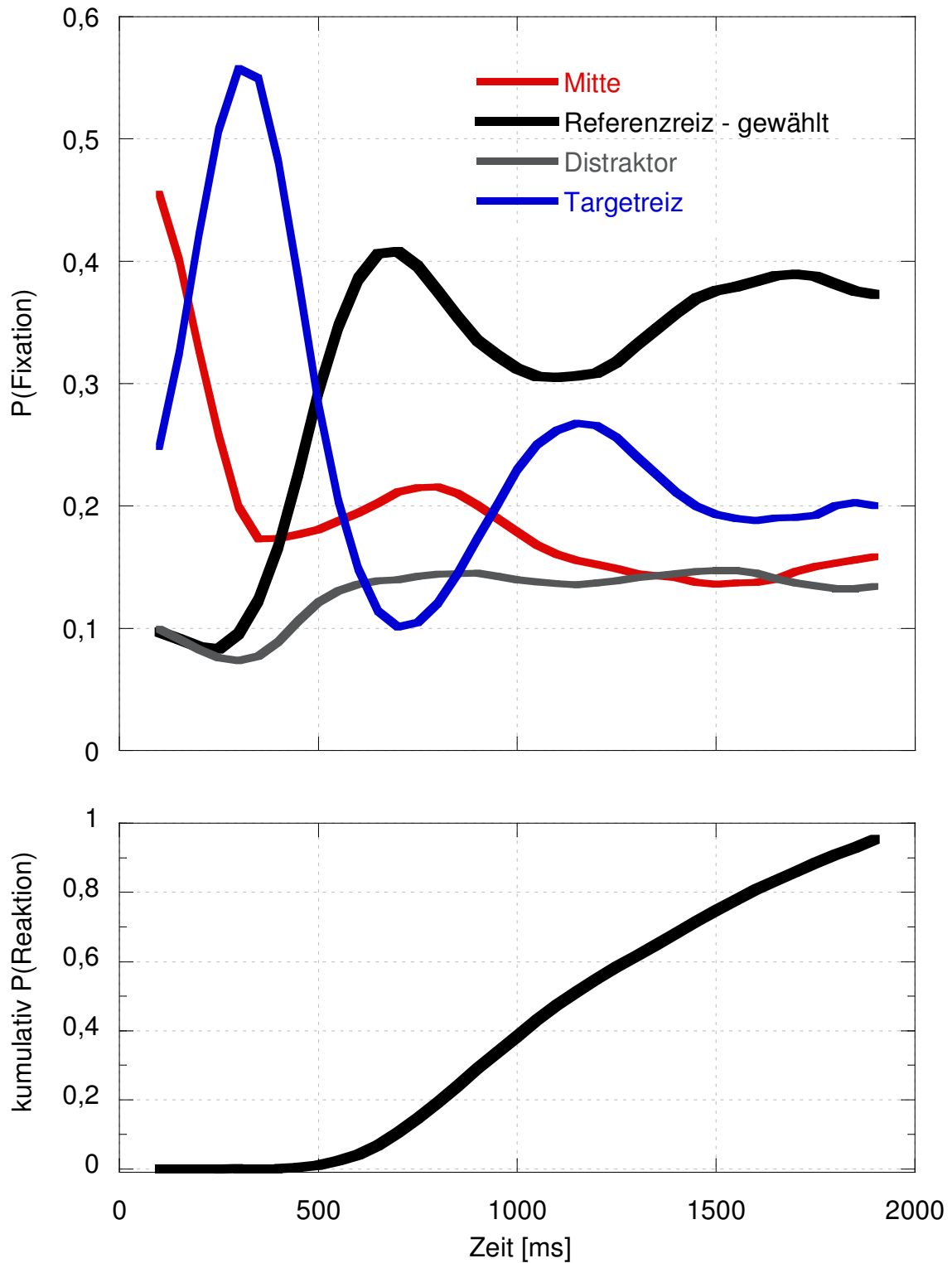


Abbildung 3-9: Oben: Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize in der Bedingung *forcierte* Wahl als Funktion der Zeit in Millisekunden. Unten: kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit als Funktion der Zeit. Die Kurven sind über die Versuchspersonen gemittelt ($N = 22$).

Darüber hinaus kam es zu einer signifikanten Dreifachinteraktion zwischen *Reiz*, *Zeitbereich* und *Übergang*, $F(12,252) = 1.84$, $MSe = .002$, $p < .05$, $\eta^2 = .08$. Als Folgetest wurden die gleichen Analysen wie bei den *freie* Wahl-Durchgängen gerechnet.

Äquivalent mit den *freie* Wahl-Durchgängen wurde in den Durchgängen *forcierte* Wahl unabhängig von der Art des Übergangs zwischen $0 - 200$ ms am wahrscheinlichsten die Mitte oder das Target fixiert (siehe Abbildung 3-9)³⁶. Im darauf folgenden Zeitbereich, zwischen $250 - 500$ ms, nahm die Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte ab und die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets nahm zu und war größer als die Fixationswahrscheinlichkeiten der restlichen Reize. Im darauf folgenden Zeitbereich, zwischen $500 - 950$ ms, nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets ab und die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes nahm zu und war größer als die der restlichen Reize.

Wichtiger jedoch ist, dass die Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize zwischen $500 - 950$ ms von der Art des Übergangs beeinflusst wurde (siehe Abbildung 3-10). Die entsprechende Interaktion zwischen *Reiz* und *Zeitbereich* wurde signifikant, $F(4,84) = 13.75$, $MSe = 0.002$, $p < .001$, $\eta^2 = .39$. Als Folgeanalyse wurde für jeden Reiz eine ANOVA mit dem Messwiederholungsfaktor *Übergang* gerechnet.

Die Analysen ergaben, dass es zwischen $500 - 950$ ms während einer Perseveration wahrscheinlicher war als bei einem Wechsel, den gewählten Referenzreiz zu fixieren (siehe Abbildung 3-10, linke Spalte, mittlere Teilabbildung), $\Delta = -.05$, $F(1,21) = 25.97$, $MSe = 0.002$, $p < .05$, $\eta^2 = .21$. Hingegen war es während eines Wechsels wahrscheinlicher als bei einer Perseveration, den Distraktor zu fixieren (siehe Abbildung 3-10, rechte Spalte, mittlere Teilabbildung), $\Delta = .05$, $F(1,21) = 5.68$, $MSe = 0.001$, $p < .01$, $\eta^2 = .28$. Die Fixation des Targets war bei Perseveration und Wechsel gleich wahrscheinlich, $\Delta < .01$, $F < 1$.

Zusammengefasst war zwischen $550 - 950$ ms bei den *forcierte* Wahl-Durchgängen die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes zugunsten einer verringerten Fixationswahrscheinlichkeit des Distraktors erhöht³⁷.

Im nächsten Zeitbereich, zwischen $1000 - 1350$ ms stieg die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets leicht an, während die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes leicht abnahm, aber immer noch am größten war. Im darauf folgenden Zeitbereich, zwischen $1400 - 2000$ ms, stieg die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes an, während die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets geringer wurde.

³⁶ Die Inferenzstatistiken zu den Unterschieden zwischen den Reizen innerhalb eines Zeitbereiches sowie zwischen den Zeitbereichen jedes Einzelreizes befinden sich im Anhang B, Abschnitt 2.

³⁷ Dieses Ergebnis zeigte sich auch in einer Analyse der Fixationswahrscheinlichkeit als Funktion fortlaufender Zeitquantile, bei der alle Durchgänge auf 1 normiert wurden (siehe Anhang B, Abschnitt 4).

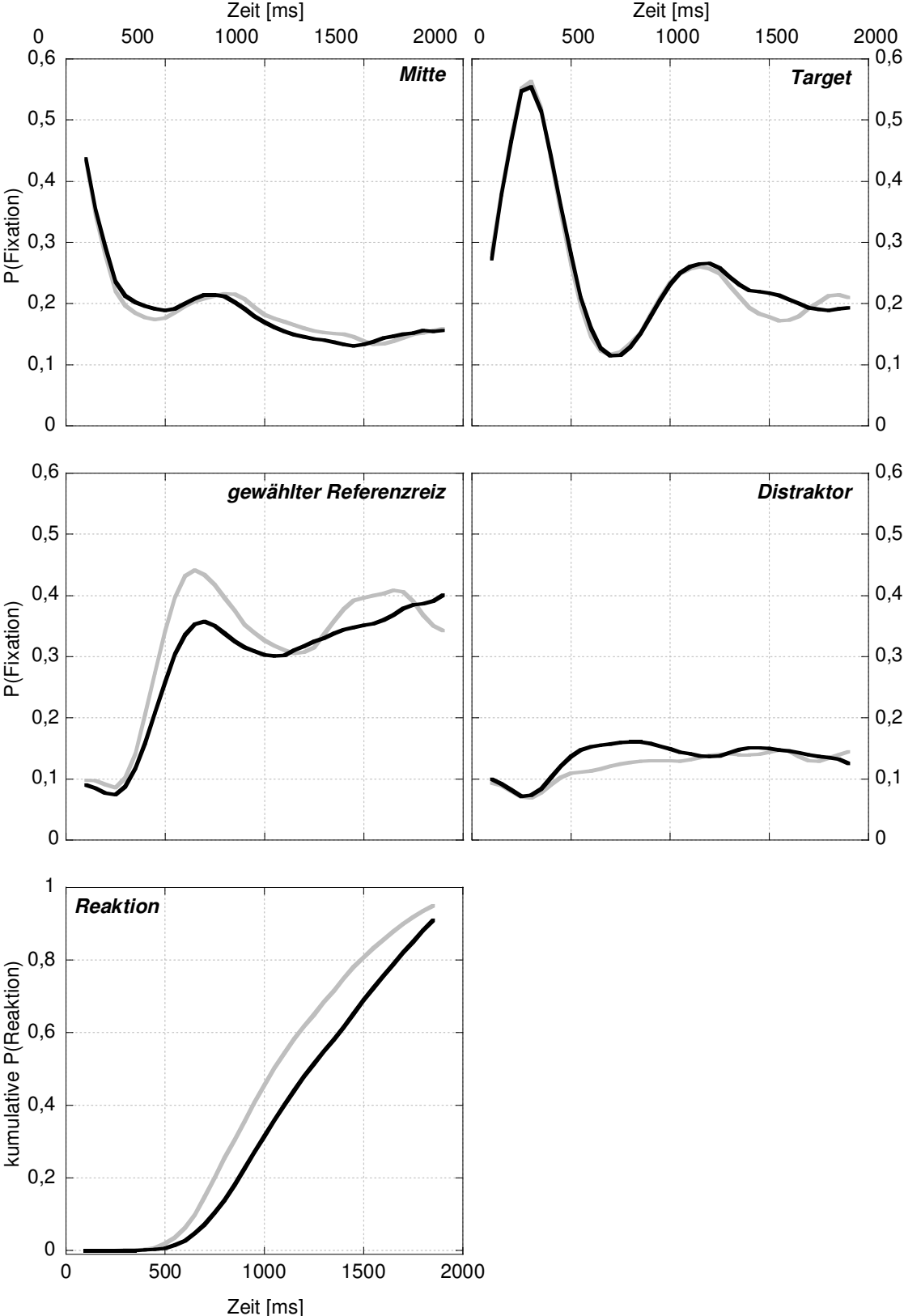


Abbildung 3-10: Jede Teilabbildung zeigt die Fixationswahrscheinlichkeit eines Reizes in der Bedingung *forcierte Wahl* getrennt nach *Übergang* in Abhängigkeit von der Zeit in Millisekunden. Die Teilabbildung unten links zeigt die kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit.

3.2.3 Diskussion

Das Experiment 2 replizierte die Ergebnisse aus Experiment 1. Es konnte erneut gezeigt werden, dass eine starke Perseverationstendenz und eine schwache Wechselbereitschaft entsteht, wenn zwischen zwei alternativen Reizdimensionen gewählt werden kann. Eine Perseveration führte zu kürzeren Reaktionszeiten als ein Wechsel, sowohl bei *freie* als auch bei *forcierte* Wahl-Durchgängen. Diese Ergebnisse sind konsistent mit den Befunden zum freien Aufgabenwechselfaradigma (Arrington & Logan, 2004, 2005; Mayr & Bell, 2006).

Im Vergleich zum freien Aufgabenwechsel von Arrington and Logan (2004) konnte mit dem Paradigma der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, dass selbst dann Wechselkosten entstehen, wenn nur zwischen den Reizdimensionen gewechselt wird und die Aufgabenregel die gleiche bleibt.

Theorien und empirische Arbeiten zum Aufgabenwechsel postulieren zwar Enkodierungs- und Wahrnehmungseffekte (Meiran, 2000; Steinhauser & Hübner, 2007), zeigen diese aber nur indirekt mithilfe von Reaktionszeitmanipulationen. Mit dem Paradigma der vorliegenden Arbeit wurden die Vorhersagen zu Enkodierungs- und Wahrnehmungsprozessen direkter überprüft, indem die Blickbewegungen während der Aufgabenbearbeitung aufgezeichnet wurden. Die Ergebnisse sind konsistent mit der geprüften Hypothese, dass eine intensivierete Enkodierung der vormals relevanten Dimension im aktuellen Durchgang zu Unterschieden zwischen Perseveration und Wechsel im Blickverhalten führt. Im aktuellen Durchgang wurde eine intensivierete Verarbeitung aller Ausprägungen der vormals relevanten Dimension angenommen³⁸.

Die Analyse der zeitlichen Dynamik der Fixationswahrscheinlichkeiten zeigte, dass bis zum Tastendruck verschiedene Phasen aktiver visueller Verarbeitung durchlaufen wurden. Im Einzelnen wurde in einer *initialen Vorbereitungsphase* zwischen 0-200 ms zunächst die Displaymitte am wahrscheinlichsten fixiert³⁹. Anschließend, in einer *Problemstellungsphase* zwischen 250-450 ms, stieg die Wahrscheinlichkeit, das Target foveal zu erfassen. Dann, in einer *Lösungsphase* zwischen 500-950 ms, stieg die Wahrscheinlichkeit, den gewählten Referenzreiz zu fixieren. Dies geschah jedoch in Abhängigkeit zu der vormals relevanten Dimension. Wie vorhergesagt, war in einem frühen Zeitbereich, d.h. gleich nach

³⁸ Die Perseverationstendenz war nicht auf die intensivierete Verarbeitung des speziellen Reizmerkmals zurückzuführen, in dem Target- und Referenzreiz im vorherigen Durchgang übereinstimmten (z.B. die Farbe BLAU), sondern spiegelt eine stärkere Gewichtung der gesamten Reizdimension (z.B. FARBE) wider.

³⁹ Eine anschauliche Darstellung des beschriebenen zeitlichen Musters der Blickbewegungen befindet sich im Anhang B, Abschnitt 3 in Form der dort vorgestellten zeitlich dynamischen Fixationslandschaften.

der Fixation des Targets, sowohl bei *freie* als auch bei *forcierte* Wahl-Durchgängen bei einer Perseveration die Wahrscheinlichkeit, den gewählten Referenzreiz zu fixieren, größer als bei einem Wechsel. Im selben Zeitbereich (550-950 ms) war bei den *freie* Wahl-Durchgängen die Wahrscheinlichkeit, den alternativen Referenzreiz zu fixieren, bei einer Perseveration geringer als bei einem Wechsel, während bei den *forcierte* Wahl-Durchgängen die Wahrscheinlichkeit, den Distraktor zu fixieren, bei einer Perseveration niedriger als bei einem Wechsel war. In Übereinstimmung damit war die Latenz bis zur ersten Fixation des übereinstimmenden Referenzreizes, die Suchzeit, bei einer Perseveration kürzer als beim Wechsel.

Diese Ergebnisse sind konsistent mit der Hypothese, dass derjenige Referenzreiz mit einer dimensional Übereinstimmung zum Target mehr Aufmerksamkeit auf sich zieht, weil alle Ausprägungen der vormals relevanten Dimension im aktuellen Durchgang verstärkt verarbeitet werden. Eine Perseveration führte deshalb zu kürzeren Reaktionszeiten als ein Wechsel, weil sich das Merkmal der aktuellen Übereinstimmung auf der vormals relevanten Dimension befindet und intensiviert verarbeitet wurde.

Nachdem die Fixation des gewählten Referenzreizes am wahrscheinlichsten war und anschließend wieder abnahm, stieg in einer *Evaluationsphase* zwischen 1000 – 1350 die Wahrscheinlichkeit, das Target zu fixieren. Zwischen 1400 – 2000 ms nahm die Wahrscheinlichkeit, den gewählten Referenzreiz zu fixieren, zugunsten einer Targetrefixation ab und stieg später wieder an.

Ferner war die Suche bei einem Wechsel im Vergleich zur Perseveration ineffizienter. Dies zeigte sich auch darin, dass Target und gewählter Referenzreiz bei einem Wechsel öfter fixiert werden mussten als bei einer Perseveration. Diese vermehrte Fixation von Target und gewählttem Referenzreiz bei einem Wechsel zeigt, dass nach einer fovealen Erfassung des gewählten Referenzreizes bei einem Wechsel im Gegensatz zur Perseveration in einigen Durchgängen nicht reagiert, sondern stattdessen das Target refixiert wurde. Diese Interpretation geht konform mit dem Befund in Bezug auf die Verarbeitungszeit. Die Verarbeitungszeit, d.h. die Zeit von der ersten Fixation des gewählten Referenzreizes bis zur Reaktion, war bei einem Wechsel länger als bei einer Perseveration (eine Erwartung hätte sein können, dass nur die Suchzeit bei einem Wechsel länger wird). Dieser Verarbeitungszeitunterschied zwischen Perseveration und Wechsel konnte nicht durch einen Unterschied in der Fixationszeit entstehen, weil die Fixationszeiten bei Perseveration und Wechsel gleich waren.

Darüber hinaus war die Distraktibilität während einer Perseveration geringer als bei einem Wechsel, denn bei Perseveration wurde weniger irrelevante oder alternative Information aufgenommen als bei einem Wechsel. Denn in der *forcierten* Wahl war bei einem Wechsel die Fixationswahrscheinlichkeit des Distraktors und in der *freien* Wahl die des alternativen Referenzreizes größer als bei einer Perseveration.

Die Ergebnisse stützen ferner empirische Befunde und Theorien zum Aufgabenwechsel, nach denen ein Teil der Wechselkosten auf Enkodierungs- und Wahrnehmungseffekte zurückgeht (Meiran, 2000; Steinhauser & Hübner, 2007).

3.3 Experiment 3

Persistenz und Stabilität, sowie die Fähigkeit irrelevante Reize auszublenden, sind wichtige Eigenschaften eines zielorientierten Verhaltens. Beispielsweise wäre es für die Fertigstellung eines Artikels zielförderlich, der eventuellen Versuchung eines Kinobesuches zu widerstehen und stattdessen am Artikel zu schreiben. Falls wir uns doch ablenken lassen, kommt es zu einer Unterbrechung. Wenngleich Ziele bei einer Unterbrechung selten vollständig vergessen werden (Goschke & Kuhl, 1993), wissen wir aus eigener Erfahrung, wie mühselig es sein kann, sie wieder aufzunehmen. Man muss sich erst wieder ‚zurechtfinden‘ und sich erneut alle Zusammenhänge der Aufgabe vergegenwärtigen.

In einer sich ständig ändernden Umwelt ist es neben Stabilität und Persistenz auch notwendig, flexibel zu sein. Nach einer Währungsunion ist es beispielsweise wichtig, sich schnell mit den neuen Beträgen zurechtzufinden, um nicht immer alles in die alte Währung umrechnen zu müssen. Gleichzeitig wenig ablenkbar *und* flexibel zu sein, scheint jedoch widersprüchlich. Dennoch können viele Phänomene aus dem Bereich der kognitiven Kontrolle als die Folge einer Anpassung an diese antagonistischen Anforderungen betrachtet werden (Aston-Jones & Cohen, 2005b; Goschke, 2000).

Die Ergebnisse aus Paradigmen zur Untersuchung kognitiver Kontrollprozesse, wie dem Aufgabenwechselfaradigma (Logan, 2003; Monsell, 2003) und dem WCST (Anderson et al., 1991; Stuss et al., 2000) zeigen, dass wir uns nach einem Wechsel der Aufgabe bzw. der Merkmalsdimension nicht vollständig von den zuvor gültigen Zusammenhängen lösen können (siehe Abschnitte 2.1 und 2.2)

Inwiefern wir unsere Aufmerksamkeit auf Relevantes richten und dabei Irrelevantes ausblenden können, wird besonders durch den Wechsel zwischen Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeit deutlich. Mit Hilfe dieses Paradigmas zeigten bspw. Meuter und Allport (1999) ‚dass es schwerer ist, von einer schwierigen zur leichten Aufgabe zu wechseln als umgekehrt (siehe Abschnitt 2.1.1.3). Dieser Befund galt lange als Beleg für die Theorie der Aufgabenträgheit, nach der eine zuvor ausgeführte Aufgabe nur langsam ihre Wirkung auf aktuelle Aufgaben verliert.

Folgende Studien zeigen jedoch, dass es sich bei den so genannten asymmetrischen Wechselkosten nicht um ein allgemeingültiges Phänomen handelt. Yeung und Monsell (2003) war es möglich, den asymmetrischen Wechselkosteneffekt experimentell umzukehren, indem sie den Beginn der Reizdarbietung beider Aufgabenkomponenten variierten.

Ferner zeigten Gilbert und Shallice (2002) auf computationaler Ebene, welche Parametermanipulationen die Richtung dieses Effektes beeinflussen. Es bedarf jedoch zusätzlicher empirischer Arbeiten mit alternativen Paradigmen, um die Mechanismen dieses Phänomens vollständig zu verstehen und umfassend zu beschreiben.

In den bisherigen Arbeiten zum Asymmetrieeffekt wurde meines Wissens ausschließlich das klassische Aufgabenwechselfparadigma verwendet und es wurde bislang keine Arbeit zum Asymmetrieeffekt unter Verwendung des freien Aufgabenwechselfparadigmas veröffentlicht (Arrington & Logan, 2004, 2005; Mayr & Bell, 2006; siehe Kapitel 2.1.3).

Das Anliegen dieses Experimentes ist die Untersuchung der Faktoren, die bestimmen, inwiefern wir bei einer Wahl zwischen alternativen relevanten Reizmerkmalen irrelevante ausblenden können. Zu diesem Zweck wurde das Paradigma aus Experiment 1 und 2 wie folgt erweitert. Wie in den vorangehenden Experimenten enthielt jeder Einzelreiz verschiedene Ausprägungen einzelner Merkmalsdimensionen. Im Gegensatz zu den vorangehenden Experimenten wurden den Einzelreizen drei weitere Merkmalsdimensionen hinzugefügt, so dass jeder Einzelreiz sechs Merkmalsausprägungen verschiedener Merkmalsdimensionen enthielt. Die Versuchspersonen konnten auch in diesem Experiment *frei, d.h. ohne Instruktion*, zwischen jeweils zwei relevanten Merkmalen wählen, d.h. es stimmten zwei Referenzreize auf unterschiedlichen Merkmalsdimensionen mit dem Target überein. Gleichzeitig wurde jedoch vorgegeben, innerhalb welcher von zwei zuvor definierten *Klassen* von relevanten Merkmalsdimensionen die Übereinstimmung zwischen Target und Referenzreiz gesucht werden sollte. Je nach Instruktion sollte entweder auf Merkmale der Klasse *Symbole* (Form, Farbe, Anzahl) oder auf Merkmale der Klasse *Hintergrund* (Textur, Ecke, Balken) reagiert werden.

Wie Voruntersuchungen zeigten, waren die Reaktionszeiten auf die Merkmale der Klasse *Hintergrund* fast doppelt so lange wie die Reaktionszeiten auf die Merkmale der Klasse *Symbole*. Dieser Unterschied in der Aufgabenschwierigkeit war der Ausgangspunkt für die Manipulation der Reaktionskompatibilität zu der irrelevanten Merkmalsklasse.

Aus der Literatur zum Aufgabenwechsel ist bekannt, dass die Wechselkosten durch die Reaktionsinkompatibilität beeinflusst werden. Im Einzelnen kommt es bei Reaktionsinkompatibilität, d.h. wenn ein relevantes Reizmerkmal mit einer anderen Reaktion assoziiert ist als ein irrelevantes, zu größeren Wechselkosten als bei Kompatibilität, also wenn beide Reizmerkmale die gleiche Reaktion verlangen (Meiran, 2000).

Um solche wechselbezogenen Interferenzeffekte bei *freier* Wahl-Durchgängen zu untersuchen, wurden im vorliegenden Experiment die Ausprägungen der Merkmalsdimensionen

so zugewiesen, dass verschiedene Stufen von Reaktionskompatibilität zwischen den Merkmalsklassen entstanden. Ein kompatibler Durchgang lag vor, wenn ein Referenzreiz zum Target in einem relevanten und irrelevanten Merkmal übereinstimmte. Ein inkompatibler Durchgang entstand, wenn ein Referenzreiz in keinem relevanten, aber in einem irrelevanten Merkmal zum Target übereinstimmte.

Wenn ein kompatibler Durchgang vorlag, konnte einer von zwei zum Target übereinstimmenden Referenzreizen gewählt werden. Diese Manipulation ermöglichte es Kompatibilitätseffekte, insbesondere die Ablenkbarkeit durch irrelevante Merkmalsausprägungen, während eines *freien* Wechsels zu untersuchen.

Die Hypothesen zu den Ergebnissen leiten sich aus dem theoretischen Ansatz der Kontrolldilemmata (Goschke, 2000) ab. Dieser Ansatz postuliert einen inversen Zusammenhang zwischen Stabilität und Flexibilität und damit einen inversen Zusammenhang zwischen Stabilität und Ablenkbarkeit. Dreisbach und Goschke (2004) zeigten empirisch, dass eine erhöhte Flexibilität mit verstärkter Distraktibilität einhergeht. Im Gegensatz zu diesen Befunden ist es aber auch denkbar, dass die Anforderungen Flexibilität und Stabilität nicht komplementär sind, sondern gleichzeitig erfüllt werden können. Das Flow-Erlebnis zeichnet sich beispielsweise durch eine hohe Flexibilität und Stabilität aus (Csikszentmihalyi & LeFevre, 1989).

In diesem Experiment wird daher die spezifische Hypothese getestet, dass speziell der Moment des Wechsels durch stärkere Ablenkbarkeit als der Moment der Wiederholung gekennzeichnet ist.

Ausgangspunkt war, dass die Merkmale der leichten Merkmalsklasse (Symbole) einen stärkeren Einfluss auf die Verarbeitung der Merkmale der schwierigeren Merkmalsklasse (*Hintergrund*) haben sollten als umgekehrt. Ist ein *freier* Wechsel durch stärkere Ablenkbarkeit gekennzeichnet als eine *freie* Wiederholung, sollte dies folgenden Einfluss auf die manuellen Reaktionen haben. Die Kosten eines Wechsels der Merkmalsdimension sollten von der Kompatibilität in Abhängigkeit von der Schwierigkeit der Merkmalsklasse beeinflusst werden. Im Einzelnen sollten bei der schwierigen Merkmalsklasse (*Hintergrund*) die irrelevanten Merkmale der leichten Klasse (*Symbole*) wechselspezifisch stärker die Aufmerksamkeit auf sich lenken als umgekehrt. Dieser Zusammenhang sollte sich darin zeigen, dass die Wechselkosten bei reaktionsinkompatiblen Durchgängen am größten wären. Ferner sollte sich der Einfluss der Merkmale der leichten Klasse auf die Verarbeitung der Merkmale der schwierigen Klasse wie folgt in den Fehlerhäufigkeiten widerspiegeln. Es wurde erwartet, dass generell bei inkompatiblen Durchgängen mehr Fehler gemacht wer-

den als bei kompatiblen. Fehler bei inkompatiblen Durchgängen sollten dadurch gekennzeichnet sein, dass es nicht gelingt, eine Reaktion auf die irrelevanten Reizmerkmale zu unterbinden. Diese Handlungsfehler wären die *richtigen* Reaktionen *in Bezug* auf die *falsche (irrelevante)* Merkmalsklasse.

Während des Experimentes wurden die Blickbewegungen aufgezeichnet, um die aufgestellten Hypothesen anhand von Blickbewegungsparametern eingehender zu untersuchen. Es wurde erwartet, dass die in Experiment 2 anhand der Blickbewegungen aufgezeigten Phasen der aktiven visuellen Verarbeitung sowie die Unterschiede in der aktiven visuellen Verarbeitung bei Perseveration und Wechsel sich auch in diesem Experiment zeigen sollten. Neben dieser Replikation wurden mit dem dritten Experiment in Bezug auf die Blickbewegungen folgende Vorhersagen getestet.

Der Einfluss ablenkender Reize sollte bei einem *freien* Wechsel des Reizmerkmals größer sein als bei einer Wiederholung. Im Einzelnen sollten während der Bearbeitung der schwierigen Aufgabe (Hintergrund) die ablenkenden Merkmale der irrelevanten leichten Aufgabe (Symbole) öfter fixiert werden als während der Bearbeitung der leichten Aufgabe. Dieser Zusammenhang sollte sich während eines Wechsels bei reaktionsinkompatiblen Durchgängen intensivieren. Die vermutete Wechselwirkung zwischen Aufgabenschwierigkeit, Kompatibilität und Wechselkosten sollte dadurch zustande kommen, dass der Reiz, der in Bezug auf die irrelevante Merkmalsklasse eine Übereinstimmung zum Target enthält, wechselspezifisch Aufmerksamkeit auf sich zieht und folglich mit größerer Wahrscheinlichkeit fixiert werden sollte.

Die Fähigkeit, Irrelevantes auszublenden, sollte sich ferner daran zeigen, dass trotz des ablenkenden Einflusses der irrelevanten Aufgabe in einem Großteil der Fälle die Aufgabe richtig ausgeführt wird. Erwartet wurde deshalb, dass in den meisten Fällen auch bei einer fovealen Erfassung irrelevanter Reizmerkmale die richtige Reaktion erfolgen sollte. Falls es in einigen Fällen nicht gelingen würde, eine Reaktion auf irrelevante Reizmerkmale zu inhibieren, sollten bei diesen Fehlern die Fixationszeiten auf das irrelevante Reizmerkmal am längsten sein (in Experiment 2 wurde gezeigt, dass bei korrekten Reaktionen die mittlere Fixationszeit auf den gewählten Referenzreiz am längsten war).

3.3.1 Methode

3.3.1.1 Versuchspersonen

An dieser Studie nahmen 47 Studenten der Technischen Universität Dresden teil (der Altersdurchschnitt war 22.6 (0.8), 27 Frauen). Als Vergütung erhielten sie 5 Euro oder eine Versuchspersonenstunde.

3.3.1.2 Apparatur und Stimuli

In diesem Experiment wurde das Paradigma aus Experiment 1 und 2 erweitert, indem zur weißen Fläche der Umrandung jedes Einzelreizes (siehe Experiment 2) Merkmalsausprägungen von jeweils drei weiteren Merkmalsdimensionen ergänzt wurden. Die neue Klasse Reizdimensionen, im Folgenden als *Hintergrund* bezeichnet, bestand im Einzelnen aus den Dimensionen Balken, Ecke und Textur (siehe Abbildung 3-11). Jede Merkmalsdimension konnte eine von vier Ausprägungen annehmen. Die Merkmalsdimension Textur bestand darin, dass die weiße Fläche des Rahmens mit karierten, diagonalen, horizontalen oder vertikalen Linien gefüllt war. Die Liniendicke war 0.03° und der Abstand zur nächsten Linie betrug 0.18° . Die Merkmalsdimension Balken bestand darin, dass ein Teil der Textur (1.5°) von einem weißen Balken links, rechts, oben oder unten verdeckt wurde. Die Ausprägungen der Merkmalsdimension Ecke bestanden darin, dass rechts oben, links oben, rechts unten oder links unten eine quadratische Ecke (0.7°) von der weißen Umrahmung fehlte. Jeder Einzelreiz konnte drei Ausprägungen von zwei Merkmalsklassen annehmen. Ein Einzelreiz konnte in $4^6 = 64$ möglichen Merkmalskombinationen an vier verschiedenen Positionen dargeboten werden.

3.3.1.3 Durchführung

Analog zu den vorherigen Experimenten bestand die Aufgabe der Versuchsperson darin, so schnell wie möglich einen der drei Referenzreize zu finden, der mit dem Target in einem Merkmal übereinstimmte. Ein schriftlicher Hinweisreiz (*Symbole* bzw. *Hintergrund*) gab an, welche Merkmalsklasse relevant war. Es wurde ein *alternating runs* Paradigma (Rogers & Monsell, 1995) verwendet, um zwischen den Merkmalsklassen zu wechseln. Während eines Durchlaufes (*run*) von jeweils acht Durchgängen (siehe Abbildung 3-11), sollte die Übereinstimmung zwischen Referenzreiz und Target nur innerhalb der jeweils

relevanten Merkmalsklasse gesucht werden. Nach jedem Durchlauf kündigte ein Hinweisreiz den Wechsel der Merkmalsklasse an. Die ersten vier Durchgänge innerhalb eines Durchlaufes waren *freie* Wahl-Durchgänge und die restlichen vier Durchgänge waren *forcierte* Wahl-Durchgänge (siehe Experiment 1). Im Unterschied zu den vorherigen Experimenten gab es bei den *freie* Wahl-Durchgängen keine Übergangsart Alternativwechsel. Ferner wurde bei den *forcierte* Wahl-Durchgängen die Übereinstimmungsdimension im Durchgang 5 jedes Durchlaufes zufällig festgelegt und bis Ende des Durchlaufes beibehalten⁴⁰. Ansonsten war die Zuweisung von Dimensionen und Ausprägungen auf die Einzelreize mit den vorhergehenden Experimenten identisch.

Um den ablenkenden Einfluss einer im vorherigen Durchlauf relevanten, aber aktuell zu ignorierenden Merkmalsdimension zu manipulieren, wurden die Ausprägungen der irrelevanten Merkmalsklasse in folgender Weise auf die Einzelreize zugewiesen. Die Ausprägungen der Einzelreize waren in jedem Durchgang dergestalt, dass die Reaktion in Hinblick auf die Übereinstimmung zwischen den Merkmalen von Referenzreiz und Target der irrelevanten und der relevanten Merkmalsklasse entweder durchgehend kompatibel bzw. inkompatibel waren. Bei einem inkompatiblen Durchgang stimmt immer der Distraktor in einem Merkmal einer irrelevanten Dimension mit dem Target überein, d.h. die Reaktion ist in Bezug auf beide Merkmalsklassen inkompatibel. Bei einem kompatiblen Durchgang hingegen stimmt ein zufällig gewählter Referenzreiz sowohl in einem Merkmal einer relevanten als auch in einer irrelevanten Dimension mit dem Target überein, d.h. die Reaktion ist in Bezug auf beide Merkmalsklassen kompatibel. Vor jedem ersten Durchgang eines Durchlaufes wurde zufällig gewählt, welche Ausprägung die Kompatibilität der folgenden vier Durchgänge durchgehend haben würde. Die Ausprägung der Kompatibilität in den Durchgängen fünf bis acht jedes Durchlaufes wurde vor jedem Durchgang zufällig gewählt. Zum besseren Verständnis werde ich diese Manipulation der Kompatibilität anhand zweier Beispieldurchläufe beschreiben.

Abbildung 3-11 zeigt jeweils einen Durchlauf der Merkmalsklasse *Symbole* und einen Durchlauf der Merkmalsklasse *Hintergrund*. In diesem Beispiel war zunächst die Merkmalsklasse *Symbole* relevant. In den letzten vier Durchgängen des Durchlaufes der Merkmalsklasse *Symbole* stimmten Target und Referenzreiz ausschließlich in Bezug auf die *Form* überein. Im folgenden Durchlauf wurde zur Merkmalsklasse *Hintergrund* gewechselt. Die unteren Teilabbildungen in Abbildung 3-11 zeigen Beispieldisplays für die möglichen Kompatibilitätsstufen. In Bezug auf die relevante Merkmalsklasse (also Hinter-

⁴⁰ Diese Vorgehensweise hatte das Ziel, ein möglichst starkes *task-set* aufzubauen, d.h. die ablenkende Wirkung dieser Dimension sollte im nächsten Durchlauf möglichst stark sein.

grund) stimmt sowohl im inkompatiblen (Abbildung 3-11, unten links) als auch im kompatiblen (Abbildung 3-11, unten rechts) Beispieldisplay das Target mit dem mittleren Referenzreiz im Merkmal *Ecke* und mit dem rechten Referenzreiz im Merkmal *Textur* überein.

Im inkompatiblen Beispiel (Abbildung 3-11, unten links) stimmt der Distraktor (rechter Referenzreiz) mit dem Target in Bezug auf die irrelevante Merkmalsdimension *Form* überein. Im kompatiblen Beispiel (Abbildung 3-11, unten rechts) stimmt der mittlere Referenzreiz in Bezug auf die relevante Merkmalsdimension *Ecke* und in Bezug auf die irrelevante Merkmalsdimension *Form* mit dem Target überein⁴¹.

In Abhängigkeit von der Reaktion der Versuchsperson werden kompatible Durchgänge in zwei Klassen eingeteilt. Reagiert die Versuchsperson auf den Referenzreiz, der in Bezug auf beide Merkmalsklassen mit dem Target übereinstimmt, wird dieser kompatible Durchgang im Folgenden als *gewählt kompatibel* (comp⁺) bezeichnet. Reagiert die Versuchsperson nicht auf den Referenzreiz, der in Bezug auf beide Merkmalsklassen mit dem Target übereinstimmt, sondern nur in Bezug auf die relevante, wird der Durchgang im Folgenden als *abgelehnt kompatibel* (comp⁻) bezeichnet.

Die Versuchspersonen absolvierten zu Beginn des Experimentes 30 Übungsdurchgänge, um das Verständnis der Aufgabe sicherzustellen. In diesen Durchgängen mussten die jeweiligen Tasten gedrückt werden. Zusätzlich sollten dem Testleiter Position und Merkmal der Übereinstimmung des gewählten Referenzreizes mitgeteilt werden. In den ersten 15 Durchgängen wurde eine der beiden Merkmalsklassen zufällig gewählt und trainiert. In den folgenden 15 Durchgängen wurde die andere trainiert. Für das Training wurden nur die Symbole ohne die Hintergrundmanipulation bzw. nur der Hintergrund ohne die Symbole dargeboten.

Das Experiment bestand aus 120 Durchläufen von jeweils 8 Durchgängen, in denen immer nur eine Merkmalsklasse relevant war. Analysiert wurden die manuellen Reaktionen und die Blickbewegungen der ersten vier Durchgänge aller Durchläufe.

Zusammengefasst setzt sich das Design aus folgenden Faktoren zusammen: *Merkmalsklasse* (Symbole, Hintergrund), *Intra-Set-Übergang* (Perseveration vs. Wechsel der Merkmalsdimension), *Inter-Set-Übergang* (Wechsel vs. Wiederholung der Merkmalsklasse) sowie *Kompatibilität* (inc, comp+, comp-).

Berichtet werden zunächst die Ergebnisse der manuellen Reaktionen (3.3.2.1) und anschließend die Ergebnisse der Blickbewegungen (3.3.2.3).

⁴¹ Unabhängig von der Kompatibilität war die Merkmalsdimension der irrelevanten Übereinstimmung (im Beispiel Form) während des vorhergehenden Durchlaufes in den Durchgängen fünf bis acht relevant.

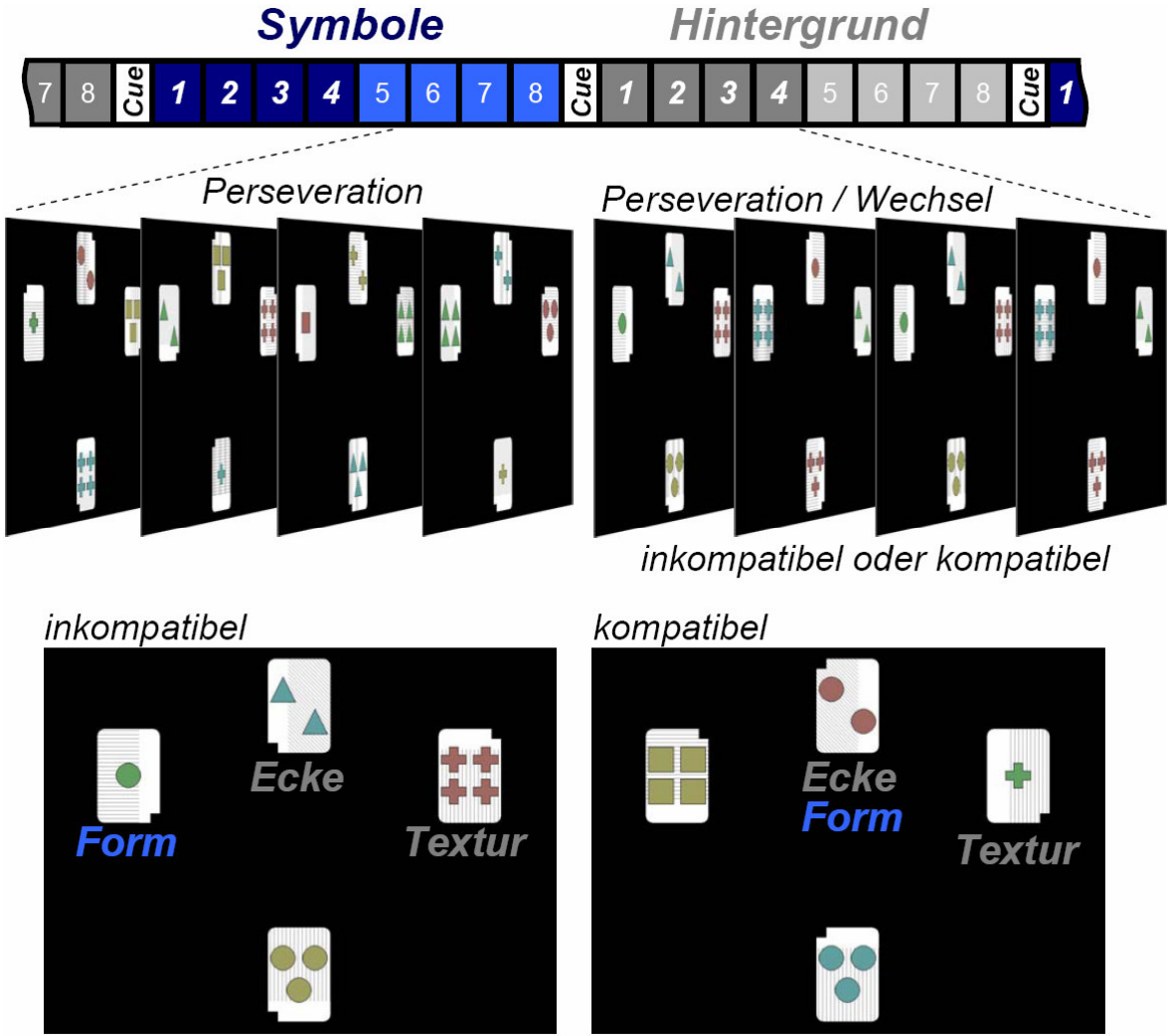
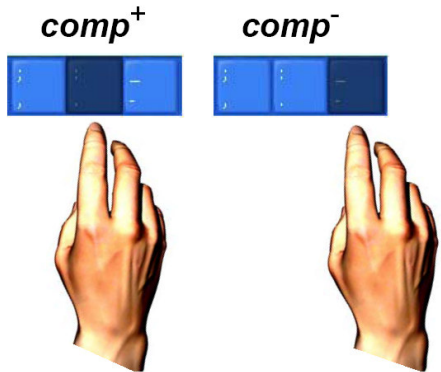


Abbildung 3-11: Oben: Darstellung eines Durchlaufes *Symbole* gefolgt von einem Durchlauf *Hintergrund*. In den ersten vier Durchgängen jedes Durchlaufes besteht die Wahl zwischen Perseveration und Wechsel innerhalb der relevanten Merkmalsklasse. In den darauf folgenden vier Durchgängen kann nur perseveriert werden (beim Durchlauf *Symbole* kann in diesem Beispiel während der Durchgänge 5-8 nur auf Form reagiert werden). Unten: Zwei Beispieldisplays zur Veranschaulichung der Kompatibilität anhand eines Durchlaufes *Hintergrund*. Im inkompatiblen Beispieldisplay (links) stimmen Ecke und Textur mit dem Target überein (übereinstimmende Merkmale wurden zur Veranschaulichung unter die Referenzreize geschrieben). Der Distraktor stimmt im selben Beispieldisplay in der irrelevanten Form mit dem Target überein. Im kompatiblen Beispieldisplay (rechts) stimmen Ecke und Textur mit dem Target überein, während der mittlere Referenzreiz zusätzlich in der irrelevanten Form übereinstimmt. Im Gegensatz zu inkompatiblen Durchgängen (inc) bestimmt die Reaktion der Versuchsperson die Bezeichnung der Kompatibilität wie folgt: Der kompatible Durchgang (rechtes Beispieldisplay) wird als *angenommen kompatibel* ($comp^+$) bezeichnet, wenn der gewählte Referenzreiz (siehe Tastendruck unten) in einem relevanten und irrelevanten Merkmal mit dem Target übereinstimmt (hier der mittlere Referenzreiz). Der Durchgang wird als *abgelehnt kompatibel* ($comp^-$) bezeichnet, wenn der gewählte Referenzreiz nur in einem relevanten Merkmal mit dem Target übereinstimmt (hier der rechte Referenzreiz).



3.3.2 Ergebnisse

3.3.2.1 Manuelle Reaktionen

3.3.2.1.1 Wahrscheinlichkeiten

Um die Wahrscheinlichkeiten von Perseveration und Wechsel der Merkmalsdimension zu analysieren, wurde mit den entsprechenden relativen Häufigkeiten eine dreifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Merkmalsklasse* (Symbole, Hintergrund), *Intra-Set-Übergang* (Perseveration, Wechsel), und *Kompatibilität* (comp+, comp-, inc) gerechnet.

In Übereinstimmung mit den vorherigen Experimenten spiegelt ein signifikanter Haupteffekt *Intra-Set-Übergang*, $F(1, 46) = 75.5$, $MSe = 0.035$, $p < .001$, $\eta^2 = .67$, die Tendenz wider, die gleiche Übereinstimmungsdimension wie im vorhergehenden Durchgang zu wählen, ($P = .65$). Eine Interaktion zwischen *Intra-Set-Übergang* und *Merkmalsklasse*, $F(1, 46) = 30.86$, $MSe = 0.010$, $p < .001$, $\eta^2 = .40$, zeigt, dass die Perseverationstendenz der Merkmalsklasse *Symbole* ($P = .60$) geringer war als bei der Merkmalsklasse *Hintergrund* ($P = .70$). Eine signifikante Interaktion zwischen *Kompatibilität* und *Merkmalsklasse*, $F(1, 46) = 12.95$, $MSe = 0.011$, $p < .001$, $\eta^2 = .22$, zeigt, dass die Wahl des Merkmals von der Kompatibilität bei den Klassen unterschiedlich beeinflusst wurde. Separate Analysen der Kompatibilität für jede *Merkmalsklasse* ergaben, dass die Kompatibilität nur bei der Klasse *Hintergrund* einen Einfluss auf die Wahl des Merkmals hatte, $F(1, 46) = 27.33$, $MSe = 0.177$, $p < .001$, $\eta^2 = .27$, nicht aber bei der Klasse *Symbole*, $F < 1$. Im Einzelnen waren bei der Merkmalsklasse *Hintergrund* *angenommen kompatible Wahlen* ($P = .59$) häufiger als *abgelehnt kompatible Wahlen* ($P = .50$), $t(47) = 4.37$, $SD = .112$, $p < .001$ ⁴². Weitere Interaktionen zwischen den Faktoren *Kompatibilität*, *Merkmalsklasse* und *Intra-Set-Übergang* wurden nicht signifikant, alle $ps > .10$.

3.3.2.1.2 Fehler

Die Fehlerhäufigkeiten wurden durch eine dreifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Merkmalsklasse*, *Durchgang* (1, 2, 3, 4) und *Kompatibilität* analysiert. Ein

⁴² Auch im ersten Durchgang nach dem Wechsel der Merkmalsklasse war die Wahrscheinlichkeit einer *angenommen kompatiblen Wahl* ($P = .56$) bei der Merkmalsklasse *Hintergrund* signifikant größer als die Zufallswahrscheinlichkeit, während sich bei der Merkmalsklasse *Symbole* die relative Häufigkeit *angenommen kompatibler Wahlen* ($P = .54$) nicht signifikant von der Zufallswahrscheinlichkeit unterschied., $p > .10$.

signifikanter Haupteffekt *Merkmalsklasse* $F(1, 46) = 18.42, p < .001, MSe = 260.8, \eta^2 = .29$ zeigt, dass bei der Klasse Hintergrund (8%) mehr Fehler gemacht wurden als bei den Symbolen (3%). Ein signifikanter Haupteffekt *Kompatibilität*, $F(1, 46) = 60.18, p < .001, MSe = 234.8, \eta^2 = .57$, ist dadurch bedingt, dass bei kompatiblen Durchgängen (1%) weniger Fehler gemacht wurden als bei inkompatiblen (9%). Wie in Tabelle 3-4 zu sehen ist, war dieser Unterschied zwischen inkompatiblen und kompatiblen Durchgängen hypothesenkonform bei der Merkmalsklasse *Hintergrund* ($\Delta = 13\%$) größer als bei der Merkmalsklasse *Symbole* ($\Delta = 4\%$). Die entsprechende Interaktion zwischen *Kompatibilität* und *Merkmalsklasse* wurde signifikant, $F(1, 46) = 13.2, p < .001, MSe = 275.3, \eta^2 = .23$. Der Faktor Durchgang wurde weder als Haupteffekt noch als Interaktion signifikant, alle $ps > .10$. Wie eine zusätzliche Analyse der Fehler der Durchgänge 5-8 eines Durchlaufes bestätigte, waren die Fehler bei inkompatiblen Durchgängen nicht dadurch gekennzeichnet, dass die Übereinstimmung nicht gefunden wurde, sondern dadurch, dass fälschlicherweise auf eine irrelevante Merkmalsdimension reagiert wurde (siehe Anhang C, Abschnitt 2).

3.3.2.2 Reaktionszeiten

Um die Reaktionszeiten bei Perseveration und Wechsel der Merkmalsdimension zu analysieren, wurden die Reaktionszeiten jeder Versuchsperson gemittelt⁴³ und mit einer vierfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung analysiert. Die Messwiederholungsfaktoren waren *Intra-Set-Übergang*, *Merkmalsklasse*, *Durchgang* (2. bis 4. Durchgang nach dem Wechsel der Merkmalsklasse) und *Kompatibilität*. Die Analyse führte zu folgenden Ergebnissen.

Ein signifikanter Haupteffekt *Merkmalsklasse*, $F(1, 46) = 194.49, p < .001, MSe = 548428.4, \eta^2 = .81$, spiegelt wider, dass die Reaktionszeiten auf die Merkmalsklasse *Symbole* (1041 ms) kürzer waren als die Reaktionszeiten auf die Merkmalsklasse *Hintergrund* (1887 ms). In Replikation der Ergebnisse der vorangehenden Experimente zeigt ein signifikanter Haupteffekt *Intra-Set-Übergang*, $F(1, 46) = 194.49, p < .001, MSe = 548428.4, \eta^2 = .81$, dass es zu Dimensions-Wechselkosten kam. Eine Perseveration (1213 ms) führte zu kürzeren Reaktionszeiten als ein Wechsel (1715 ms). Wie eine signifikante Interaktion zwischen *Intra-Set-Übergang* und *Merkmalsklasse*, $F(1, 46) = 89.13, p < .001, MSe =$

⁴³ Die Reaktionszeitbereinigung erfolgte nach den gleichen Kriterien wie in den Experimenten 1 und 2.

428809.5, $\eta^2 = .61$, jedoch belegt, waren die Wechselkosten bei der Klasse Hintergrund ($\Delta = 803$ ms) größer als bei der Klasse Symbole ($\Delta = 183$ ms).

Ein signifikanter Haupteffekt *Kompatibilität*, $F(2, 92) = 12.49$, $p < .001$, $MSe = 447762.4$, $\eta^2 = .21$, wird durch eine signifikante Interaktion zwischen *Merkmalsklasse* und *Kompatibilität*, $F(1, 92) = 28.9$, $p < .001$, $MSe = 441110.7$, $\eta^2 = .38$, relativiert. Nur bei der Merkmalsklasse *Hintergrund* kam es zu einem signifikanten Effekt *Kompatibilität*, $F(2, 92) = 26.90$, $p < .001$, $MSe = 653602.2$, $\eta^2 = .36$, nicht aber bei der Merkmalsklasse *Symbole*, $F < 1$. Im Einzelnen waren die Reaktionszeiten in angenommen kompatiblen Durchgängen (1601 ms), also wenn derjenige Referenzreiz gewählt wurde, der sowohl in einer relevanten als auch in einer irrelevanten Merkmalsdimension mit dem Target übereinstimmte, kürzer als die Reaktionszeiten inkompatibler Durchgänge (2005 ms), also wenn der Distraktor in einer irrelevanten Merkmalsdimension mit dem Target übereinstimmte, $\Delta = 404$ ms, $F(1, 46) = 35.03$, $p < .001$, $MSe = 7712026.7$, $\eta^2 = .43$. Inkompatible Durchgänge unterschieden sich in ihren Reaktionszeiten nicht von abgelehnt kompatiblen Wahlen, $\Delta = 54$ ms, $F < 1$.

Wie vermutet, hatte die Kompatibilität je nach Merkmalsklasse einen unterschiedlich starken Einfluss auf die Wechselkosten (siehe Tabelle 3-4). Im Einzelnen kam es zu einer signifikanten Interaktion zwischen *Intra-Set-Übergang* und *Kompatibilität*, $F(2, 92) = 10.17$, $p < .001$, $MSe = 367409.7$, $\eta^2 = .18$, welche durch eine signifikante Dreifachinteraktion zwischen *Intra-Set-Übergang*, *Merkmalsklasse* und *Kompatibilität*, $F(2, 92) = 18.12$, $p < .001$, $MSe = 365465.9$, $\eta^2 = .36$, relativiert wurde.

Die unterschiedliche Auswirkung der *Kompatibilität* auf die Wechselkosten der Merkmalsdimension wurde genauer analysiert, indem für jede Merkmalsklasse separate ANOVAs mit den Messwiederholungsfaktoren *Kompatibilität* und *Intra-Set-Übergang* gerechnet wurden.

Es zeigte sich, dass die Interaktion zwischen *Kompatibilität* und *Intra-Set-Übergang* jedoch nur bei der Merkmalsklasse Hintergrund signifikant war, $F(1, 46) = 21.25$, $p < .001$, $MSe = 241090.5$, $\eta^2 = .31$, nicht aber bei der Merkmalsklasse *Symbole*, $F(1, 46) = 1.29$, $p = .28$, $MSe = 111331.9$, $\eta^2 = .03$. Wie in Abbildung 3-12 zu sehen ist, waren bei der Merkmalsklasse Hintergrund die Dimensionswechselkosten inkompatibler Durchgänge größer als die Dimensionswechselkosten angenommen kompatibler Wahlen, $\Delta_{comp^+ - \Delta_{inc}} = -725$ ms $F(1, 46) = 22.37$, $p < .001$, $MSe = 644693.4$, $\eta^2 = .33$. Ferner unterschieden sich die Wechselkosten inkompatibler Durchgänge nicht signifikant von den abgelehnt kompatiblen Wahlen, $\Delta_{inc - \Delta_{comp^-}} = -171$ ms $F(1, 46) = 1.13$, $p = .29$, $MSe = 50983.2$, $\eta^2 =$

.33. Der Faktor *Durchgang* wurde weder als Haupteffekt, noch in einer Interaktion signifikant, $ps > .10$.

Tabelle 3-4: Reaktionszeiten in Millisekunden und Fehler in Prozent mit den jeweiligen Standardabweichungen getrennt nach *Kompatibilität*, *Merkmalsklasse* und *Intra-Set-Übergang*. Komp = Kompatibilität, comp⁺ = angenommen kompatibel, comp⁻ = abgelehnt kompatibel, inc = inkompatibel, Pe = Perseveration, We = Wechsel

Komp	Symbole			Hintergrund		
	RT [ms]		Fehler [%]	RT [ms]		Fehler [%]
	Pe	We		Pe	We	
comp ⁺	964 ± 44	1232 ± 66	0.4 ± 0.1	1412 ± 34	1789 ± 80	1.0 ± 0.2
comp ⁻	955 ± 53	1112 ± 47		1540 ± 41	2471 ± 103	
inc	903 ± 28	1081 ± 43	4.6 ± 0.7	1505 ± 31	2607 ± 105	14.0 ± 2.3

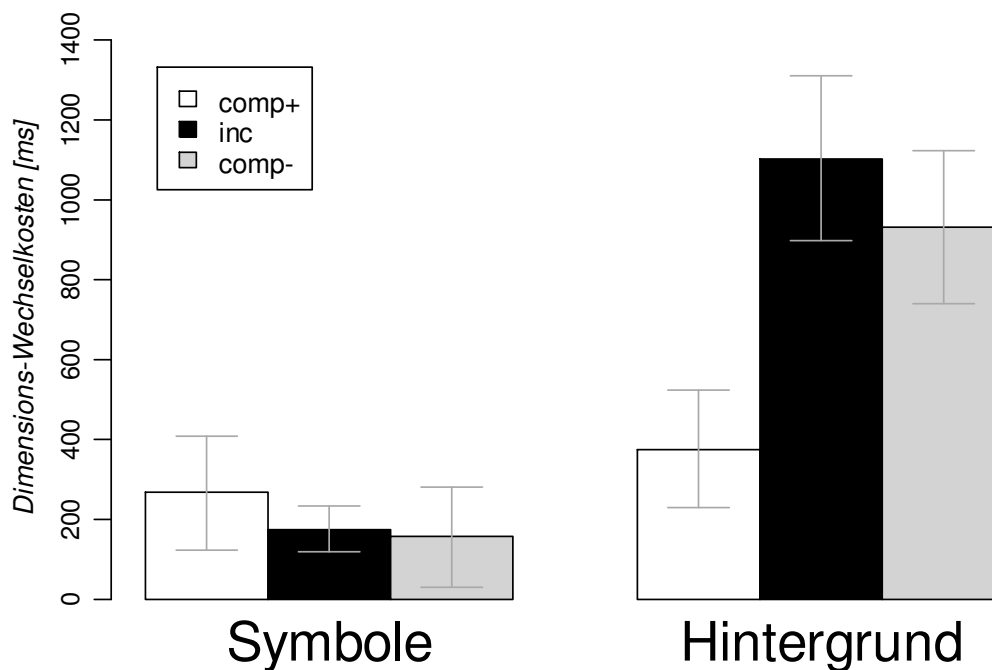


Abbildung 3-12: Dimensions-Wechselkosten in Millisekunden, getrennt nach *Merkmalsklasse* und *Kompatibilität*. Die Fehlerbalken zeigen die 95% Konfidenzintervalle des Mittelwertes. comp+ = angenommen kompatibel, inc = inkompatibel, comp- = abgelehnt kompatibel

Um den Einfluss des Wechsels der *gesamten* Merkmalsklasse auf die Reaktionszeiten zu analysieren, wurde der erste Durchgang nach dem Wechsel der Merkmalsklasse mit den Durchgängen zwei bis vier in einer dreifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung analysiert. Die Messwiederholungsfaktoren waren *Merkmalsklasse*, *Durchgang* (1 bis 4) und *Kompatibilität*. Die Analyse führte zu folgenden Ergebnissen.

Ein signifikanter Haupteffekt *Durchgang*, $F(3, 138) = 411.5$, $p < .001$, $MSe = 562317.05$, $\eta^2 = .89$, zeigt, dass es zu Wechselkosten kam. Die mittleren Reaktionszeiten nach dem Wechsel der Merkmalsklasse ($RT_1 = 1568$ ms) waren länger als in den Wiederholungsdurchgängen (RT_2 bis RT_4 : 1448, 1452 und 1491 ms), wobei sich die Wiederholungsdurchgänge nicht signifikant unterschieden, $\Delta RT_{1-2} = 120$ ms, $F(1, 46) = 9.00$, $p < .005$, $MSe = 75617.92$, $\eta^2 = .16$, $\Delta RT_{2-3} = 4$ ms, $p = .81$, $\Delta RT_{3-4} = -39$ ms, $p = .21$). Es kam zu keiner signifikanten Interaktion zweiter oder dritter Ordnung mit dem Faktor *Durchgang*, $ps > .20$ ⁴⁴.

Konsistent mit den Ergebnissen zu den Dimensionswechselkosten kam es zu einem signifikanten Haupteffekt *Merkmalsklasse*, $F(1, 46) = 411.5$, $p < .001$, $MSe = 234167.6$, $\eta^2 = .29$. Dieser Effekt zeigt, dass die mittlere Reaktionszeit für die Merkmalsklasse *Symbole* (1054 ms) kürzer war als die der Merkmalsklasse *Hintergrund* (1926 ms). Der Einfluss des Faktors *Kompatibilität* zeigte sich in einem signifikanten Haupteffekt, $F(2, 92) = 31.34$, $p < .001$, $MSe = 289617.5$, $\eta^2 = .40$, der durch eine signifikante Interaktion mit dem Faktor *Merkmalsklasse* relativiert wurde, $F(2, 92) = 43.12$; $p < .001$, $MSe = 190385.73$, $\eta^2 = .48$. Die Interaktionsfolgekontraste zeigten, dass der Unterschied zwischen angenommen kompatiblen Wahlen (1631 ms) und inkompatiblen Durchgängen (2062 ms) bei der Merkmalsklasse *Hintergrund* ($\Delta = -431$ ms) signifikant größer war als der Unterschied zwischen angenommen kompatiblen Wahlen (1098 ms) und inkompatiblen Durchgängen (1057 ms) bei der Merkmalsklasse *Symbole* ($\Delta = 41$ ms). Die Differenz von inkompatiblen und abgelehnt kompatiblen Durchgängen unterschied sich nicht signifikant zwischen den Merkmalsklassen: $\Delta_S - \Delta_H = -24$ ms, $F(1, 46) = 1.36$, $p = .25$, $MSe = 178983.54$, $\eta^2 = .03$.

Zusammenfassung der Ergebnisse zu den manuellen Reaktionen. Die Bearbeitung der Merkmalsklasse *Hintergrund* führte zu längeren Reaktionszeiten und mehr Fehlern als die Bearbeitung der Merkmalsklasse *Symbole*. Im Vergleich zur Wiederholung führte sowohl der Wechsel der relevanten Merkmalsklasse als auch der Wechsel der übereinstimmenden Merkmalsdimension zu einer Verlängerung der Reaktionszeit. Ferner waren die Merkmalsdimensions-Wechselkosten bei der Klasse *Hintergrund* größer als bei der Klasse *Symbole*.

⁴⁴ Um mögliche Asymmetrieffekte der Kosten eines Wechsels zwischen den Merkmalsklassen eingehender zu analysieren, wurde die Differenz aus Merkmalsklassen-Wechseldurchgängen und den gemittelten Merkmalsklassen-Wiederholungsdurchgängen gebildet. Erstaunlicher Weise unterschieden sich die Merkmalsklassen *Symbole* und *Hintergrund* nicht in den Merkmalsklassen-Wechselkosten. Die entsprechende zweifaktorielle ANOVA der Merkmalsklassen-Wechselkosten mit den Messwiederholungsfaktoren *Merkmalsklasse* und *Kompatibilität* führte zu keinem signifikanten Ergebnis, $ps > .10$.

In beiden Merkmalsklassen traten bei inkompatiblen Durchgängen mehr Fehler auf als bei kompatiblen Durchgängen, wobei auch dieser Effekt bei der Merkmalsklasse Hintergrund ausgeprägter war als bei der Merkmalsklasse Symbole.

Die Reaktionszeit hingegen wurde nur bei der Merkmalsklasse Hintergrund von der Kompatibilität beeinflusst. Im Einzelnen führten bei der Merkmalsklasse Hintergrund angenommen kompatible Wahlen zu kürzeren Reaktionszeiten als abgelehnt kompatible Wahlen und inkompatible Durchgänge. In Übereinstimmung mit meinen Annahmen waren die Dimensions-Wechselkosten inkompatibler Durchgänge und abgelehnt kompatibler Wahlen größer als die Wechselkosten angenommen kompatibler Durchgänge. Anders formuliert: Der Effekt der Inkompatibilität war bei der Merkmalsklasse Hintergrund besonders stark bei einem Wechsel der Merkmalsdimension ausgeprägt.

3.3.2.3 Blickbewegungen

3.3.2.3.1 Fixationsanzahl

Die durchschnittliche Fixationsanzahl eines mittleren Versuchsdurchganges wurde mit einer fünffaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung analysiert. Die Messwiederholungsfaktoren waren *Intra-Set-Übergang*, *Merkmalsklasse*, *Kompatibilität* und *Reiz*. Die Analyse führte zu folgenden Ergebnissen.

Ein signifikanter Haupteffekt *Merkmalsklasse*, $F(1, 46) = 334.85$, $p < 0.001$, $MSe = 0.83$, $\eta^2 = .84$, zeigt, dass die über alle Reize gemittelte durchschnittliche Fixationsanzahl bei der Merkmalsklasse *Symbole* (0.98) geringer war, als bei der Merkmalsklasse *Hintergrund* (1.62). Ein signifikanter Haupteffekt *Reiz* spiegelt wider, dass die einzelnen Reize verschieden häufig fixiert wurden, $F(4, 184) = 66.66$, $p < 0.001$, $MSe = 2.170$, $\eta^2 = .60$. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus Experiment 2 wurden das Target (2.23) und der gewählte Referenzreiz (1.92) am häufigsten fixiert. Seltener fixiert wurden der Distraktor (1.63), der alternative Referenzreiz (1.58) und die Mitte (1.46)⁴⁵.

Eine signifikante Interaktion zwischen *Merkmalsklasse* und *Reiz*, $F(4, 184) = 96.51$, $p < 0.001$, $MSe = 0.67$, $\eta^2 = .67$ spiegelt wider, dass sich die Merkmalsklassen in der durchschnittlichen Fixationsanzahl der Reize voneinander unterschieden. Im Gegensatz zu den

⁴⁵ $\Delta_{T-gR} = 0.30$, $\Delta_{gR-D} = 0.29$, $\Delta_{D-ar} = 0.05$, $\Delta_{ar-M} = 0.08$, $F_s(1, 46) = 87.16, 20.69, 23.02, 42.95$, $ps < .001$, $MSe's = 0.11, 0.05, 0.04, 0.04$; $\eta^2s = .65, .31, .33, .48$

restlichen Reizen war der Unterschied zwischen den Fixationsanzahlen von Target und gewähltem Referenzreiz bei der Klasse *Hintergrund* größer als bei der Klasse *Symbole*⁴⁶.

Ein signifikanter Haupteffekt *Intra-Set-Übergang*, $F(1, 46) = 114.71, p < .001, MSe = .59, \eta^2 = .73$, zeigt, dass sich die Dimensionswechselkosten auch in der durchschnittlichen Fixationsanzahl eines Reizes widerspiegeln. Wie bei den Reaktionszeiten wird dieser Effekt jedoch relativiert durch eine signifikante Interaktion zwischen *Intra-Set-Übergang* und *Merkmalsklasse*, $F(1, 46) = 71.88, p < .001, MSe = 1.24, \eta^2 = .60$. Ferner zeigt eine signifikante Vierfachinteraktion zwischen *Kompatibilität*, *Intra-Set-Übergang*, *Reiz* und *Merkmalsklasse*, $F(8, 368) = 3.49, p < .001, MSe = 0.47, \eta^2 = .07$, dass die Reize in Abhängigkeit von der Merkmalsklasse und der Kompatibilität bei einem Dimensionswechsel unterschiedlich häufig fixiert wurden.

Separate Folgeanalysen für jede Merkmalsklasse klärten, ob die Dreifachinteraktion zwischen *Kompatibilität*, *Intra-Set-Übergang* und *Reiz* statistisch bedeutsam war. Zunächst wird die Analyse der Merkmalsklasse *Symbole*, anschließend die Analyse der Merkmalsklasse *Hintergrund* berichtet.

Die Analyse der Merkmalsklasse *Symbole* zeigte, dass die Dreifachinteraktion zwischen *Kompatibilität*, *Intra-Set-Übergang* und *Reiz* nicht signifikant wurde, $F < 1$. Eine signifikante Interaktion zwischen *Reiz* und *Intra-Set-Übergang*, $F(4, 184) = 5.01, p < .05, MSe = 0.12, \eta^2 = .10$, zeigt jedoch, dass es zu unterschiedlichen Wechselkosten in Bezug auf die Fixationsanzahlen der einzelnen Reize kam. Als Folgeanalysen wurde für jeden Reiz eine ANOVA mit dem Messwiederholungsfaktor *Intra-Set-Übergang* gerechnet.

Tabelle 3-5: Mittlere Fixationsanzahl und Standardabweichungen bei der Merkmalsklasse *Symbole*, getrennt nach *Übergang* und *Reiz*. *Pe* = Perseveration, *We* = Wechsel

<i>Übergang</i>	<i>Reiz</i>				
	<i>Target</i>	<i>gewählter Referenzreiz.</i>	<i>alternativer Referenzreiz</i>	<i>Distraktor</i>	<i>Mitte</i>
<i>Pe</i>	1.47 ± 0.06	1.33 ± 0.05	0.52 ± 0.05	0.57 ± 0.04	0.73 ± 0.04
<i>We</i>	1.61 ± 0.07	1.58 ± 0.06	0.63 ± 0.04	0.61 ± 0.06	0.76 ± 0.05

Die Analysen ergaben, dass bei einem Wechsel das Target, der gewählte - und der alternative Referenzreiz im Durchschnitt öfter fixiert wurden als bei einer Perseveration, $\Delta_T =$

⁴⁶ $H = \text{Hintergrund}, S = \text{Symbole}, H\Delta_{T-gR} - S\Delta_{T-gR} = 0.50, F(1, 46) = 52.06, p < .001; H\Delta_{g-D} - S\Delta_{g-D} = 0.35, H\Delta_{D-aR} - S\Delta_{D-aR} = 0.030, H\Delta_{aR-M} - S\Delta_{aR-M} = 0.16, F_S < 1$

0.14, $\Delta_{gR} = 0.25$, $\Delta_{aR} = -0.10$, $F(1,46) = 8.33, 33.22, 9.76$, $ps < .05$, (siehe Tabelle 3-5), die Analysen der Mitte und des Distraktors wurden nicht signifikant, $F_s < 1$.

Die Analyse der Merkmalsklasse *Symbole* ergab eine signifikante Dreifachinteraktion zwischen *Kompatibilität*, *Intra-Set-Übergang* und *Reiz*, $F(8, 368) = 1.98$, $p < .05$, $MSe = 0.34$, $\eta^2 = .15$. Diese spiegelt wider, dass die Dimensions-Wechselkosten in Bezug auf die durchschnittliche Fixationsanzahl eines Reizes von der Kompatibilität beeinflusst wurden. Die Interaktionsfolgekontraste führten zu folgenden Ergebnissen. In Übereinstimmung mit der Hypothese, dass der ablenkende Einfluss der Merkmalsdimensionen der leichten Klasse (*Symbole*) bei einem Wechsel besonders stark sein sollte, wurden bei inkompatiblen Durchgängen der Distraktor und das Target während eines Dimensionswechsels im Mittel öfter fixiert als bei angenommen kompatiblen Wahlen (siehe Tabelle 3-6).

Die entsprechenden Interaktionsfolgekontraste⁴⁷ führten zu signifikanten Ergebnissen bei den Vergleichen zwischen Distraktor ($\Delta_{inc} - \Delta_{comp+} = -0.45$) und gewähltem Referenzreiz ($\Delta_{inc} - \Delta_{comp+} = -0.13$), $F(2, 47) = 4.52$, $p < .05$, $MSe = 1.84$, $\eta^2 = .09$, sowie zwischen Target ($\Delta_{inc} - \Delta_{comp+} = -0.57$) und gewähltem Referenzreiz, $F(2, 47) = 7.33$, $p < .05$, $MSe = 1.32$, $\eta^2 = .14$.

Im Gegensatz zu allen anderen Reizen hing die Fixationsanzahl der Mitte weder von der Kompatibilität, dem Dimensionswechsel noch von deren Wechselwirkung ab⁴⁸.

Für die Analyse des Wechsels der gesamten Merkmalsklasse wurde eine vierfaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Merkmalsklasse*, *Durchgang* (1 vs. Mittel aus 2-4), *Kompatibilität* und *Reiz* durchgeführt. Ein signifikanter Haupteffekt *Durchgang*, $F(1, 46) = 29.85$, $p < .001$, $MSe = 0.83$, $\eta^2 = .48$, zeigt, dass die mittlere Fixationsanzahl während des ersten Durchganges nach dem Wechsel der Merkmalsklasse (2.00) größer war als bei Wiederholungsdurchgängen (1.77). Es kam zu keinen weiteren signifikanten Interaktionen des Faktors *Durchgang* mit anderen Faktoren, $F_s < 1$.

⁴⁷ Die Interaktionsfolgekontraste vergleichen zwischen den Reizen die Differenz der Fixationsanzahlen der Dimensions-Wechselkosten inkompatibler Durchgänge und abgelehnt kompatibler Wahlen.

⁴⁸ Dieser Zusammenhang zeigt sich darin, dass die Kontraste der Kompatibilitätsstufen zwischen der Mitte und dem alternativen Referenzreiz signifikant wurden, *inc vs. comp⁺*: $F(2, 47) = 5.03$, $p < .05$, $MSe = 1.84$, $\eta^2 = .09$; *inc vs. comp⁻*: $F(2, 47) = 4.47$, $p < .05$, $MSe = 1.88$, $\eta^2 = .09$. Ferner führten Folgeanalysen in Form von für jeden Reiz durchgeführten ANOVAs mit den Messwiederholungsfaktoren *Kompatibilität* und *Intra-Set-Übergang*, mit Ausnahme der Mitte bei allen Reizen zu jeweils signifikanten Haupteffekten *Kompatibilität*, $F_s(2, 94) \geq 3.38$, $p < .05$, $MSe_s \geq 0.45$, $\eta^2_s \geq .08$, *Intra-Set-Übergang*, $F(1, 47) \geq 36.67$, $p < .05$, $MSe \geq 0.50$, $\eta^2 \geq .44$, und einer signifikanten Interaktion, $F(2, 94) \geq 7.34$, $p < .05$, $MSe \geq 0.65$, $\eta^2 \geq .15$. Anschließend Einzelvergleiche von Perseveration und Wechsel wurden mit Ausnahme der Mitte für alle Reize auf jeder Kompatibilitätsstufe signifikant, *Target*: $\Delta_{comp+} = 0.36$, $\Delta_{comp-} = 0.91$, $\Delta_{inc} = 0.94$, $F(1,46) = 9.61, 17.46, 93.51$, $ps < .05$; *gewählter Referenzreiz*: $\Delta_{comp+} = 0.32$, $\Delta_{comp-} = 0.74$, $\Delta_{inc} = 0.45$, $F(1,46) = 10.05, 16.65, 14.62$, $ps < .05$; *Distraktor*: $\Delta_{comp+} = 0.18$, $\Delta_{comp-} = 0.44$, $\Delta_{inc} = 0.72$, $F(1,46) = 4.52, 17.26, 44.19$, $ps < .05$; *alternativer Referenzreiz*: $\Delta_{comp+} = 0.37$, $\Delta_{comp-} = 0.48$, $\Delta_{inc} = 0.82$, $F(1,46) = 19.35, 15.43, 28.18$, $ps < .05$).

Tabelle 3-6: Mittlere Fixationsanzahlen (\pm Standardabweichungen) getrennt nach *Reiz*, *Kompatibilität* (*Komp*) und *Intra-Set-Übergang*(\dot{U}), für die Merkmalsklasse Hintergrund. $comp^+$ =angenommen kompatibel, $comp^-$ =abgelehnt kompatibel, inc =inkompatibel, Pe = Perseveration, We = Wechsel

<i>Komp</i>	\dot{U}	<i>Reize</i>				
		<i>Target</i>	<i>gewählter Referenzreiz</i>	<i>alternativer Referenzreiz</i>	<i>Distraktor</i>	<i>Mitte</i>
$comp^+$	<i>Pe</i>	2.35 \pm 0.12	1.92 \pm 0.06	0.80 \pm 0.04	0.88 \pm 0.04	0.73 \pm 0.05
	<i>We</i>	2.72 \pm 0.14	2.25 \pm 0.13	1.20 \pm 0.09	1.08 \pm 0.09	0.79 \pm 0.07
$comp^-$	<i>Pe</i>	2.45 \pm 0.12	1.95 \pm 0.07	0.96 \pm 0.05	0.87 \pm 0.04	0.73 \pm 0.04
	<i>We</i>	3.35 \pm 0.23	2.69 \pm 0.20	1.45 \pm 0.13	1.31 \pm 0.12	0.93 \pm 0.11
<i>inc</i>	<i>Pe</i>	2.49 \pm 0.10	1.94 \pm 0.06	0.91 \pm 0.04	0.97 \pm 0.04	0.73 \pm 0.04
	<i>We</i>	3.44 \pm 0.16	2.39 \pm 0.13	1.73 \pm 0.16	1.70 \pm 0.13	0.81 \pm 0.07

Zusammenfassend konnte die aufgestellte Hypothese bestätigt werden, dass der Distraktor besonders dann fixiert werden sollte, wenn er zum Target eine Übereinstimmung in Bezug auf eine irrelevante Merkmalsdimension enthält und es zu einem Dimensionswechsel kommt. Im Einzelnen wurde der Distraktor während eines Dimensionswechsels inkompatibler Durchgänge öfter fixiert als bei einem Dimensionswechsel angenommen kompatibler Wahlen. Ferner wurde das Target bei *inkompatiblen Durchgängen* und *kompatiblen Wahlen* während eines Wechsels öfter fixiert als bei einer Perseveration.

3.3.2.3.2 Fixationszeiten

Für jede Versuchsperson wurden die durchschnittlichen Fixationszeiten eines mittleren Versuchsdurchganges ermittelt und mit einer fünffaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung analysiert. Die Messwiederholungsfaktoren waren *Intra-Set-Übergang*, *Merkmalsklasse*, *Kompatibilität* und *Reiz*. Ein signifikanter Haupteffekt *Merkmalsklasse*, $F(1,46) = 12.88$, $MSe = 35001.0$, $p < .01$, $\eta^2 = .21$, zeigt, dass die mittlere Fixationszeit eines Reizes bei der Merkmalsklasse *Symbole* (188 ms) kürzer war als bei der Merkmalsklasse *Hintergrund* (203 ms). Konsistent mit den Ergebnissen aus Experiment 2 spiegelt ein signifikanter Haupteffekt *Reiz*, $F(4,184) = 74.00$, $MSe = 7739.9$, $p < .001$, $\eta^2 = .64$, wider, dass der gewählte Referenzreiz (251 ms) länger fixiert wurde als die restlichen Reize, $T = 188$, $aR =$

183, D = 181 und M = 172 ms⁴⁹. Alle weiteren Effekte und Interaktionen wurden nicht signifikant, $F_s < 1$.

Für die Analyse des Wechsels der gesamten Merkmalsklasse wurden die durchschnittlichen Fixationszeiten gemittelt und mit den Fixationszeiten des ersten Durchganges verglichen. Gerechnet wurde eine vierfaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Merkmalsklasse*, *Durchgang* (1 vs. 2 bis 4 gemittelt), *Kompatibilität* und *Reiz*. Die Analyse ergab, dass die Fixationszeiten der Reize nicht durch den Wechsel der Merkmalsklasse beeinflusst wurden. Der Faktor *Durchgang* wurde weder als Haupteffekt noch in einer Interaktion signifikant, $F_s < 1$.

Im Folgenden werden die Fixationszeiten bei Fehlern inkompatibler Durchgänge analysiert. Hiermit wird die Hypothese überprüft, dass bei diesen Fehlern fälschlicherweise auf die irrelevante Merkmalsklasse reagiert wurde und dass diese Fehler nicht dadurch zustande kamen, dass die Versuchsperson sich ‚vertippte‘ oder dass sie die Übereinstimmung nicht erkannte. Die Fixationszeiten Fehler bei inkompatiblen Durchgängen wurden durch eine zweifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Merkmalsklasse* und *Reiz* analysiert. Ein signifikanter Haupteffekt *Reiz*, $F(1, 46) = 13.5$, $MSe = 1290.1$, $p < .001$, $\eta^2 = .27$, bestätigt diese Vermutung: im Gegensatz zu korrekten Durchgängen wurde bei Fehlern inkompatibler Durchgänge der Distraktor (250 ms) länger fixiert als die restlichen Reize (196 ms), möglicher Perseverationsreiz (P): 210 ms, möglicher Wechselreiz (W): 183 ms, Mitte: 190 ms, Target: 203 ms. $\Delta_{P-D} = -41$ ms, $F(1, 46) = 26.97$, $MSe = 2852.91$, $p < .001$, $\eta^2 = .37$, $\Delta_{D-W} = 26$ ms, $F(1, 46) = 30.62$, $MSe = 1099.10$, $p < .001$, $\eta^2 = .40$, $\Delta_{W-T} = -8$ ms, $F(1, 46) = 2.84$, $MSe = 1315.52$, $p = .09$, $\eta^2 = .06$, $\Delta_{T-M} = 19$ ms, $F(1, 46) = 11.69$, $MSe = 1468.89$, $p < .001$, $\eta^2 = .20$. Die Interaktion zwischen *Merkmalsklasse* und *Reiz* wurde nicht signifikant, $F < 1$.

3.3.2.3.3 Suchzeit und Verarbeitungszeit

Suchzeit (S) und Verarbeitungszeit (V) (siehe Experiment 2) wurden für jede Merkmalsklasse mit separaten zweifaktoriellen ANOVAs mit den Messwiederholungsfaktoren *Intra-Set-Übergang* und *Kompatibilität* analysiert. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analyse der Merkmalsklasse *Symbole* (Sy), anschließend die Ergebnisse der Merkmalsklasse *Hintergrund* (Hi) berichtet.

⁴⁹ $\Delta_{gR-T} = 65$ ms, $F(1, 46) = 71.16$, $p < .001$, $MSe = 2654.07$, $\eta^2 = .60$, $\Delta_{T-aR} = 5$ ms, $\Delta_{aR-D} = 1$ ms, $\Delta_{D-M} = 9$ ms, $F_s < 1$.

Symbole. Tabelle 3-7 zeigt die Suchzeit und die Verarbeitungszeit, getrennt nach *Intra-Set-Übergang*.

Tabelle 3-7: Verarbeitungszeit und Suchzeit (\pm Standardabweichungen) in Millisekunden für die Merkmalsklasse Symbole, getrennt nach *Intra-Set-Übergang*.

<i>Zeitanteil</i>	<i>Perseveration</i>	<i>Wechsel</i>
<i>Suchzeit</i>	512 \pm 21	535 \pm 25
<i>Verarbeitungszeit</i>	568 \pm 34	716 \pm 32

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen zu Experiment 2 spiegelt ein signifikanter Haupteffekt *Intra-Set-Übergang* für die *Suchzeit*, $F(1,46) = 4.52$, $MSe = 21061.8$, $p < .001$, $\eta^2 = .09$, wider, dass es bei einem Dimensionswechsel länger dauerte als bei einer Perseveration, bis der gewählte Referenzreiz fixiert wurde. Ferner zeigt ein signifikanter Haupteffekt *Intra-Set-Übergang* für die *Verarbeitungszeit*, $F(1,46) = 28.11$, $MSe = 164171.8$, $p < .001$, $\eta^2 = .39$, dass die Zeit von der ersten Fixation bis zum Tastendruck bei einer Perseveration kürzer war als bei einem Dimensionswechsel. Die Kompatibilität hatte keinen Einfluss auf die Zeitanteile, alle Haupteffekte und Interaktionen waren nicht signifikant, $F_s < 1$.

Hintergrund. Die Analysen der Verarbeitungszeit und der Suchzeit der Merkmalsklasse Hintergrund führten jeweils zu signifikanten Haupteffekten für *Intra-Set-Übergang* und *Kompatibilität* [V]. *Intra-Set-Übergang*: $F(1,46) = 150.77$, $MSe = 659789.8$, $p < .001$, $\eta^2 = .76$, *Kompatibilität*: $F(2,92) = 5.33$, $MSe = 561773.7$, $p < .001$, $\eta^2 = .10$; [S] *Intra-Set-Übergang*: $F(1,46) = 17.12$, $MSe = 102384.71$, $p < .001$, $\eta^2 = .27$, *Kompatibilität*: $F(2,92) = 27.57$, $MSe = 129704.6$, $p < .001$, $\eta^2 = .38$].

Bei einer Perseveration der Übereinstimmungsdimension war sowohl die Suchzeit ($S = 779$ ms) als auch die Verarbeitungszeit ($V = 913$ ms) kürzer als bei einem Wechsel, ($S = 870$ ms, $V = 1599$ ms). Darüber hinaus waren Suchzeit und Verarbeitungszeit bei angenommen kompatiblen Durchgängen kürzer ($S_{comp+} = 713$ ms, $V_{comp+} = 1138$ ms) als bei inkompatiblen und abgelehnt kompatiblen Durchgängen ($S_{inc} = 939$ ms, $V_{inc} = 1329$ ms, $S_{comp-} = 823$ ms, $V_{comp-} = 1302$ ms). Ferner kam es sowohl bei der Suchzeit als auch bei der Verarbeitungszeit zu jeweils einer signifikanten Interaktion zwischen *Kompatibilität* und *Intra-Set-Übergang* (Suchzeit: $F(2,92) = 18.33$, $MSe = 112168.7$, $p < .001$, $\eta^2 = .25$, Verarbeitungszeit: $F(2,92) = 5.06$, $MSe = 500626.4$, $p < .001$, $\eta^2 = .10$).

Tabelle 3-8: Zeitanteile (Z): Verarbeitungszeit (V) und Suchzeit (S) in Millisekunden für die Merkmalsklasse Hintergrund, getrennt nach getrennt nach *Intra-Set-Übergang* und *Kompatibilität* (\pm Standardabweichungen). $comp^+$ = angenommen kompatibel, $comp^-$ = abgelehnt kompatibel, *inc* = inkompatibel, *Pe* = Perseveration, *We* = Wechsel

Z	$comp^+$		$comp^-$		<i>inc</i>	
	<i>Pe</i>	<i>We</i>	<i>Pe</i>	<i>We</i>	<i>Pe</i>	<i>We</i>
S	696 \pm 17	732 \pm 28	811 \pm 23	835 \pm 26	797 \pm 19	1082 \pm 55
V	904 \pm 43	1373 \pm 74	893 \pm 31	1712 \pm 105	945 \pm 37	1713 \pm 90

Im Einzelnen war der Suchzeitunterschied zwischen Wechsel und Perseveration bei inkompatiblen Durchgängen signifikant größer als bei angenommen kompatiblen Wahlen (siehe Tabelle 3-8, $\Delta_{inc} - \Delta_{comp+} = 261$ ms, $F(1,46) = 24.64$, $MSe = 197009.4$, $p < .05$, $\eta^2 = .14$, $\Delta_{(comp+)} - \Delta_{comp-} = 12$ ms, $F < 1$). In Bezug auf die Verarbeitungszeit war bei inkompatiblen Durchgängen und abgelehnt kompatiblen Wahlen der Unterschied zwischen Dimensionswechsel und Perseveration signifikant größer als bei angenommen kompatiblen Wahlen, $\Delta_{inc} - \Delta_{comp+} = 300$ ms, $F(1,46) = 7.54$, $MSe = 146602.8$, $p < .001$, $\eta^2 = .35$, $\Delta_{(comp-)} - \Delta_{comp+} = 351$ ms, $F(1,46) = 9.25$, $MSe = 817128.5$, $p < .001$, $\eta^2 = .17$).

Für die Analyse des Einflusses des Wechsels der gesamten Merkmalsklasse auf die Verarbeitungs- und Suchzeit wurde für jeden Zeitanteil und für jede Merkmalsklasse eine zweifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Durchgang* (1. Durchgang vs. Durchschnitt aus den Durchgängen 2-4) und *Kompatibilität* gerechnet. Bei der Bearbeitung beider Merkmalsklassen ergaben sich für die Verarbeitungszeit jeweils ein signifikanter Haupteffekt *Durchgang* (Symbole: $F(1,46) = 4.61$, $MSe = 270360.2$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$; *Hintergrund*: $F(1,46) = 12.86$, $MSe = 300314.4$, $p < .001$, $\eta^2 = .21$). Dieser Effekt bestand darin, dass die Verarbeitungszeit derjenigen Durchgänge, in denen die Merkmalsklasse gewechselt wurde ($V_{Sy} = 781$ ms, $V_{Hi} = 1545$ ms), länger war als die Verarbeitungszeit in Durchgängen, in denen die Merkmalsklasse wiederholt wurde ($V_{Sy} = 649$ ms, $V_{Hi} = 1314$ ms).

Die Suchzeit führte nur bei der Merkmalsklasse Hintergrund zu einem signifikanten Haupteffekt, $F(1,46) = 9.63$, $MSe = 100242.6$, $p < .001$, $\eta^2 = .17$. Dieser zeigte sich darin, dass die Durchgänge, in denen die Merkmalsklasse gewechselt wurde zu einer längeren Suchzeit (S = 1004 ms) führten, als die Durchgänge, in denen die Merkmalsklasse wiederholt wurde (S = 889 ms). Darüber hinaus kam es bei der Merkmalsklasse Hintergrund bei

beiden Maßen zu einem Haupteffekt Kompatibilität ($S: F(2,92) = 13.49, MSe = 59269.9, p < .001, \eta^2 = .22; V: F(2,92) = 11.33, MSe = 241916.1, p < .001, \eta^2 = .19$). Dieser Effekt bestand darin, dass angenommen kompatible Durchgänge zu kürzeren Such- und Verarbeitungszeiten ($S = 889$ ms, $V = 1242$ ms) führten als abgelehnt kompatible ($S = 955$ ms, $V = 1473$ ms) oder inkompatible Durchgänge ($S = 1033$ ms, $V = 1572$ ms). In keiner Analyse wurde die Interaktion von *Durchgang* und *Kompatibilität* signifikant, alle $F_s < 1$.

Die Analysen beider Zeitanteile zusammenfassend, spiegeln sich sowohl in der *Suchzeit* als auch in der *Verarbeitungszeit* Wechselkostenanteile wieder. Wie bei den Reaktionszeiten hingen Verarbeitungszeit und Suchzeit bei der Merkmalsklasse Hintergrund richtungsgleich von der Kompatibilität ab.

3.3.2.3.4 Zeitlicher Verlauf der Fixationswahrscheinlichkeit

Für die inferenzstatistische Analyse des zeitlichen Verlaufes wurden die Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize innerhalb bestimmter Zeitbereiche gemittelt (siehe Experiment 2). Aufgrund der Reaktionszeitunterschiede zwischen den Merkmalsklassen wurden für die Merkmalsklasse Symbole fünf und für die Merkmalsklasse Hintergrund sechs fortlaufende Zeitbereiche gebildet (0 - 200, 200 - 400, 400 - 800, 800 - 1400, 1400 - 2000, 2000 - 3000 ms). Mit den so ermittelten Werten wurde eine fünffaktorielle ANOVA für jede Merkmalsklasse mit den Messwiederholungsfaktoren *Intra-Set-Wechsel*, *Zeitbereich* (1 bis 5 bzw. 6)⁵⁰, *Kompatibilität* und *Reiz* durchgeführt. Für die Analyse des Wechsels der Merkmalsklasse wurde der erste Durchgang nach dem Wechsel mit dem Mittel aus den Durchgängen zwei bis vier verglichen⁵¹. Im Einzelnen wurde für jede Merkmalsklasse eine vierfaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Inter-Set-Wechsel*, *Zeitbereich* (1 bis 5 bzw 6), *Kompatibilität* und *Reiz* gerechnet. Berichtet werden im Folgenden die Analyse der Merkmalsklasse Symbole und anschließend die Analyse der Merkmalsklasse Hintergrund.

3.3.2.2.4.1 Symbole

In Übereinstimmung mit der Analyse der Fixationsanzahl spiegelt ein signifikanter Haupteffekt *Reiz*, $F(4,184) = 105.19, MSe = 0.210, p < .001, \eta^2 = .69$, die unterschiedlichen

⁵⁰ Bei der Merkmalsklasse Hintergrund wurde ein weiterer Zeitbereich (2000 - 3000 ms) betrachtet, *Zeitbereiche* (1 bis 6).

⁵¹ Analysen mit dem Vergleich zwischen erstem und zweitem sowie zwischen zweitem und viertem Durchgang nach dem Wechsel führten zu gleichen Ergebnissen.

Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize. Im Einzelnen waren die Fixationswahrscheinlichkeiten des gewählten Referenzreizes ($P = .30$) und des Targets ($P = .28$) am größten. Geringer als diese waren die Fixationswahrscheinlichkeiten der Mitte ($P = .16$), des Distraktors ($P = .12$) und des abgelehnten Referenzreizes ($P = .12$)⁵².

Wie in Abbildung 3-13 zu sehen ist, änderten sich die Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize über die Zeit. Die entsprechende Interaktion zwischen *Reiz* und *Zeitbereich* wurde signifikant, $F(16,736) = 79.70$, $MSe = .271$, $p < .001$, $\eta^2 = .63$. Die Analyse des Wechsels der Merkmalsklasse zeigte, dass die Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize über die Zeit durch den Wechsel der Merkmalsklasse beeinflusst wurde.

Die entsprechende Interaktion zwischen *Reiz*, *Zeitbereich* und *Inter-Set-Wechsel* wurde signifikant, $F(16,736) = 2.50$, $MSe = .028$, $p < .001$, $\eta^2 = .52$. Die anschließenden Folgeanalysen klären, in welcher Weise die Fixationswahrscheinlichkeiten der einzelnen Reize innerhalb jedes Zeitabschnittes vom Wechsel der Merkmalsdimension bzw. der Merkmalsklasse beeinflusst wurden. Zu diesem Zweck wurden für jeden Zeitbereich separate ANOVAs mit den Messwiederholungsfaktoren *Reiz* und *Intra-Set-Übergang* sowie *Reiz* und *Inter-Set-Übergang* gerechnet. Hierbei waren folgende Hypothesen von besonderem Interesse. Die Wahrscheinlichkeit, den gewählten Referenzreiz zu fixieren, sollte bei einer Perseveration größer sein als bei einem Wechsel (siehe Experiment 2). Ferner sollte dieser Zusammenhang bei der Merkmalsklasse Hintergrund während inkompatibler Durchgänge ausgeprägter sein als bei angenommen kompatiblen Durchgängen. Ich werde im Folgenden zunächst auf das generelle Muster des zeitlichen Verlaufes der Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize eingehen und im Anschluss daran den Einfluss des Wechsels der Dimension bzw. der Merkmalsklasse beschreiben (im Anhang C, Abschnitt 3 befinden sich detaillierte Inferenzstatistiken über die Unterschiede zwischen den Reizen innerhalb jedes Zeitbereiches und zwischen den verschiedenen Zeitbereichen eines Reizes). Tabelle 3-9 fasst die Inferenzstatistiken innerhalb jedes Zeitbereiches zusammen (nicht aufgelistet sind Effekte, die in keinem Zeitbereich signifikant wurden, $ps > .10$).

In jedem Zeitbereich kam es zu einem signifikanten Haupteffekt *Reiz*, welcher die Unterschiede zwischen den Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize innerhalb jedes Zeitbereiches widerspiegelt.

⁵² Geplante Folgekontraste bestätigten die beschriebenen Unterschiede zwischen den Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize, $\Delta_{T-gR} = 0.02$, $F < 1$; $\Delta_{gR-M} = .16$, $F(1,46) = 123.73$, $MSe = 0.006$, $p < .001$, $\eta^2 = .72$; $\Delta_{M-D} < .01$, $F < 1$; $\Delta_{D-aR} < 0.01$, $F < 1$.

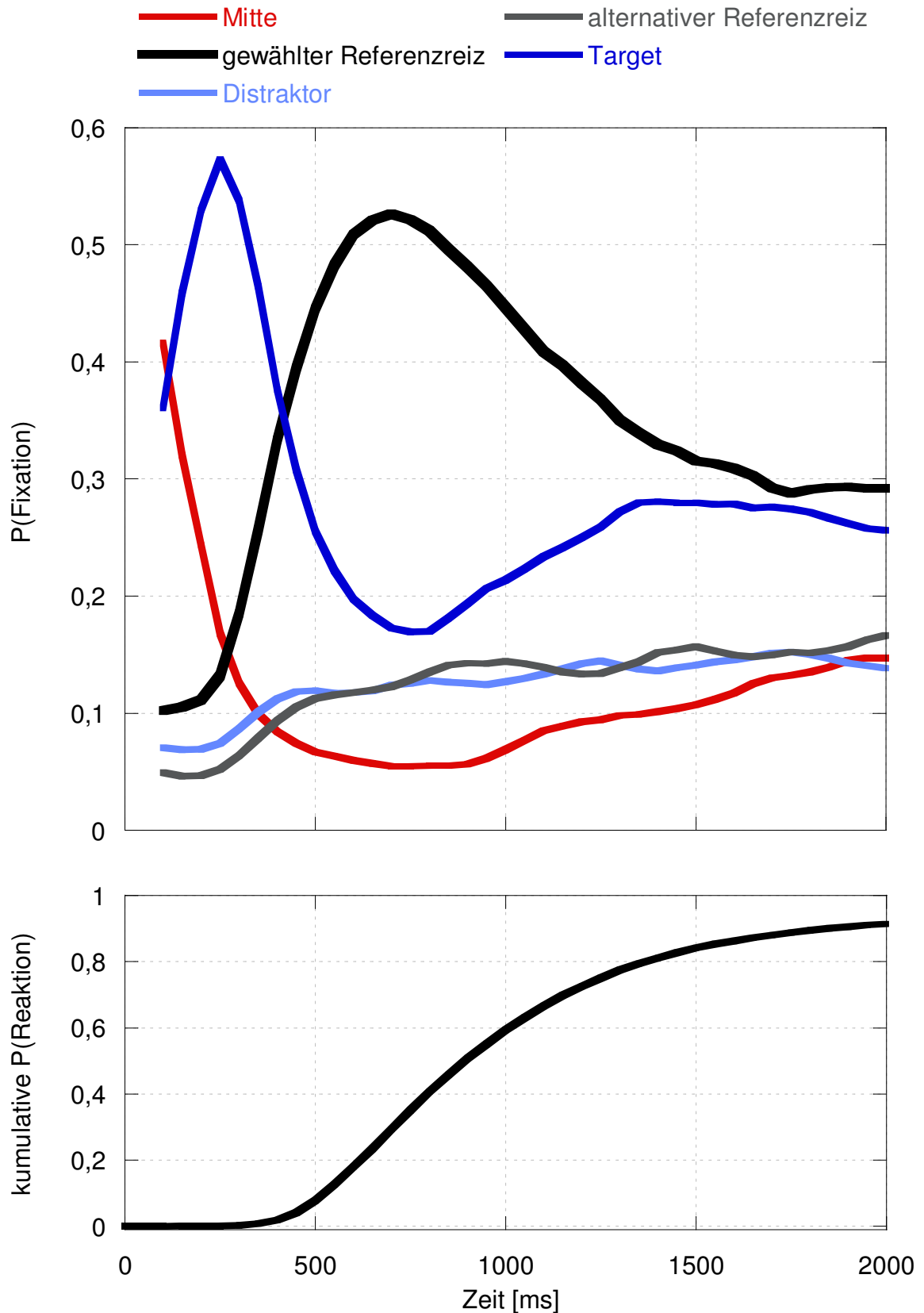


Abbildung 3-13: Oben: Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize bei der Merkmalsklasse Symbole als Funktion der Zeit in Millisekunden. Unten: kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit als Funktion der Zeit. Die Kurven sind über die Versuchspersonen gemittelt ($N = 47$).

Wie in Abbildung 3-13 zu sehen, waren zwischen 0 – 200 ms die Fixationswahrscheinlichkeiten der Mitte und des Targets am größten. Im darauf folgenden Zeitbereich, zwischen 250 – 500 ms, stieg die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets an und wurde größer als die der restlichen Reize. Im Anschluss daran, zwischen 550 – 950 ms, verringerte sich die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets. Die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes nahm zu und wurde größer als die der restlichen Reize. Im darauf folgenden Zeitbereich, zwischen 1000 – 1400 ms, nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes ab und die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets wieder zu. Dieser Trend setzte sich im nächsten Zeitbereich zwischen 1450 – 2000 ms fort.

Wechsel der Merkmalsdimension. Zwischen 550 – 950 ms und zwischen 1000 – 1400 ms wurde die Fixationswahrscheinlichkeit der Reize zusätzlich vom Wechsel der Merkmalsdimension beeinflusst, die entsprechenden Interaktionen zwischen *Inter-Set-Wechsel* und *Zeit* wurden in diesen Zeitbereichen signifikant (siehe Tabelle 3-9).

Innerhalb beider Zeitbereiche wurden für jeden Reiz Folgeanalysen in Form einer einfaktoriellen ANOVA mit dem Messwiederholungsfaktor *Intra-Set-Übergang* gerechnet. Diese Analysen führten zu folgenden Ergebnissen.

Tabelle 3-9: Zusammenfassung der ANOVAs innerhalb der Zeitbereiche, *R* = Reiz, *K* = Kompatibilität, *W_D* = Wechsel der Merkmalsdimension, *W_K* = Wechsel der Merkmalsklasse, ** = $p < .01$, * = $p < .05$

Effekt	Statistik	Zeitbereiche in ms				
		0 – 200	250 – 500	550 – 950	1000 – 1400	1450 – 2000
<i>R</i>	<i>F</i> (4,184)	52.53*	187.46**	161.71**	76,350**	37.57**
	<i>MSe</i>	0.163	0.066	0.060	0.064	0.050
<i>R x K</i>	<i>F</i> (2,92)	0.81	1.69	1,57	0.75	0.92
	<i>Mse</i>	0.023	0.011	0.010	0.018	0.028
<i>R x W_D</i>	<i>F</i> (4,184)	1.11	1.64	8.62*	3.98*	0.299
	<i>Mse</i>	0.017	0.014	0.016	0.024	0.029
<i>R x K x W_D</i>	<i>F</i> (8,368)	1.70	1.01	1,22	0.82	1.02
	<i>Mse</i>	0.011	0.018	0.009	0.023	0.029
<i>R x W_K</i>	<i>F</i> (4, 184)	0.75	1.53	12.19**	13.51**	2.78*
	<i>Mse</i>	0.016	0.013	0.011	0.013	0.031

Während der Zeitbereiche 550 – 950 ms und 1000 – 1400 ms war es bei einer Perseveration wahrscheinlicher als bei einem Wechsel, den gewählten Referenzreiz zu fixieren (siehe Abbildung 3-14, linke obere Teilgraphik), $\Delta_{550-950\text{ ms}} = -.04$, $F(1,46) = 7.58$, $Mse = 0.016$, $p > .001$, $\eta^2 = .14$, $\Delta_{1000-1400\text{ ms}} = -.07$, $F(1,46) = 11.096$, $Mse = 0.035$, $p > .001$, η^2

= .19. Während der Zeitbereiche $550 - 950 \text{ ms}$ und $1000 - 1400 \text{ ms}$ war es bei einem Wechsel wahrscheinlicher als bei einer Perseveration, den alternativen Referenzreiz zu fixieren (siehe Abbildung 3-14, linke mittlere Teilgraphik), $\Delta_{550 - 950 \text{ ms}} = .03$, $F(1,46) = 11.44$, $Mse = 0.005$, $p < .05$, $\eta^2 = .19$, $\Delta_{1000 - 1400 \text{ ms}} = .05$, $F(1,46) = 9.27$, $Mse = 0.016$, $p < .05$, $\eta^2 = .16$. Die Fixationswahrscheinlichkeiten der restlichen Reize wurden nicht vom Wechsel der Merkmalsdimension beeinflusst, alle $ps < .20$.

Wechsel der Merkmalsklasse. Zwischen $550 - 950 \text{ ms}$ wurde die Fixationswahrscheinlichkeit der Reize vom Wechsel der Merkmalsklasse beeinflusst (siehe Tabelle 3-9). Als Folgeanalysen wurden für jeden Reiz eine einfaktorielle ANOVA mit dem Messwiederholungsfaktor *Inter-Set-Übergang* (Wechsel, Wiederholung) gerechnet.

Im Einzelnen war es zwischen $550 - 950 \text{ ms}$ während einer Wiederholung der Merkmalsklasse wahrscheinlicher als bei einem Wechsel, den gewählten Referenzreiz zu fixieren (Abbildung 3-15, oben rechts), $\Delta = -.05$, $F(1,46) = 12.29$, $Mse = 0.016$, $p < .05$, $\eta^2 = .21$.

Während eines Wechsels der Merkmalsklasse war es zwischen $550 - 950 \text{ ms}$ wahrscheinlicher als bei einer Wiederholung, das Target zu fixieren (Abbildung 3-14, rechte mittlere Teilabbildung), $\Delta = .07$, $F(1,46) = 29.73$, $Mse = 0.011$, $p < .0015$, $\eta^2 = .39$.

3.3.2.2.4.2 Hintergrund

Die Analyse der Merkmalsklasse *Hintergrund* führte zu folgenden Ergebnissen. In Übereinstimmung mit der Analyse der Anzahl der Fixationen zeigte ein signifikanter Haupteffekt *Reiz*, $F(4,184) = 248.31$, $Mse = 0.145$, $p < .001$, $\eta^2 = .84$, dass die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets ($P = .36$) am größten war, gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes ($P = .28$). Geringer waren die Fixationswahrscheinlichkeiten des Distraktors ($P = .13$), des abgelehnten Referenzreizes ($P = .13$) und der Mitte ($P = .11$)⁵³.

Wie in Abbildung 3-15 zu sehen ist, änderte sich die Fixationswahrscheinlichkeit der Reize über die Zeit. Die entsprechende Interaktion zwischen *Reiz* und *Zeitbereich* wurde signifikant, $F(20,920) = 5.66$, $Mse = .247$, $p < .001$, $\eta^2 = .72$.

⁵³ Bis auf den Vergleich zwischen Distraktor und abgelehnten Referenzreiz wurden alle Folgekontraste signifikant, $\Delta_{T-gR} = 0.07$, $\Delta_{gR-D} = .15$, $\Delta_{aR-M} = 0.02$, $F(1,46) = 30.67$, 403.69 , 5.60 , $\Delta_{D-aR} < .01$, $F < 1$.

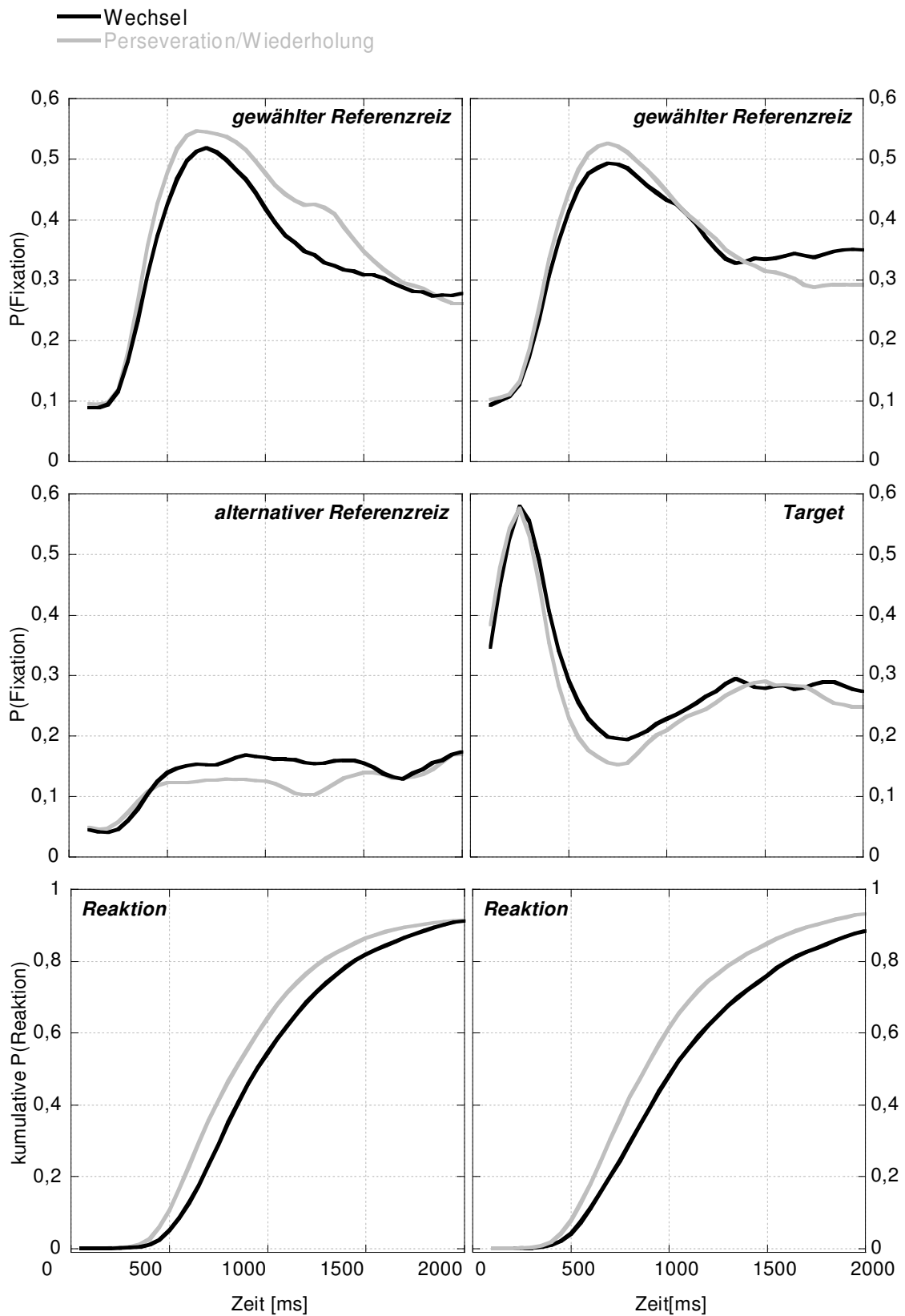


Abbildung 3-14: Fixationswahrscheinlichkeiten einzelner Reize und kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit (Teilabbildung unten) für die Merkmalsklasse *Symbole* als Funktion der Zeit in Millisekunden. Linke Spalte: *Wechsel der Merkmalsdimension*. Rechte Spalte: *Wechsel der Merkmalsklasse*. Die Kurven sind über die Versuchspersonen gemittelt ($N = 47$).

Im Einzelnen waren zwischen $0 - 200\text{ ms}$ die Fixationswahrscheinlichkeiten der Mitte und des Targets am größten. Im darauf folgenden Zeitbereich, zwischen $250 - 500\text{ ms}$, stieg die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets an und wurde größer als die der restlichen Reize. Im Anschluss daran, zwischen $550 - 950\text{ ms}$, verringerte sich die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets und die Fixationswahrscheinlichkeiten des Distraktors, des alternativen Referenzreizes und des gewählten Referenzreizes, wobei die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes am größten war. Im darauf folgenden Zeitbereich, zwischen $1000 - 1400\text{ ms}$, nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes weiter zu, während die Fixationswahrscheinlichkeiten der restlichen Reize abnahmen. Dieser Trend setzte sich im nächsten Zeitbereich fort: Zwischen $1450 - 2000\text{ ms}$ nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes ab und die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets nahm wieder zu.

Im darauf folgenden Zeitbereich, zwischen $2000 - 3000\text{ ms}$ nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets erneut ab und die des gewählten Referenzreizes wieder zu (für die inferenzstatistische Analyse siehe Anhang C).

Wichtiger war jedoch, dass in Übereinstimmung mit meinen Hypothesen die Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize über die Zeit vom Wechsel der Merkmalsdimension in Abhängigkeit von der Kompatibilität beeinflusst wurden. Signifikant wurde sowohl die Dreifachinteraktion von *Reiz*, *Zeitbereich* und *Intra-Set-Übergang*, $F(20,920) = 9.68$, $Mse = .033$, $p < .001$, $\eta^2 = .18$, als auch die Vierfachinteraktion von *Reiz*, *Zeitbereich*, *Intra-Set-Übergang* und *Kompatibilität*, $F(40,1840) = 1.60$, $Mse = .035$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$. Die Analyse des Wechsels der Merkmalsklasse zeigte ferner, dass die Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize über die Zeit durch den Wechsel der Merkmalsklasse beeinflusst wurden. Die entsprechende Interaktion zwischen *Reiz*, *Zeitbereich* und *Inter-Set-Wechsel* wurde signifikant, $F(20,920) = 6.30$, $Mse = .029$, $p < .001$, $\eta^2 = .12$.

Analog zur Analyse der Merkmalsklasse Symbole wurden weitere Folgeanalysen gerechnet, deren Ergebnisse Tabelle 3-10 zusammenfasst.

Dimensionswechsel und Kompatibilität. Wie in Tabelle 3-10 zu sehen ist, kam es in den Zeitbereichen $550 - 950\text{ ms}$ sowie $1000 - 1400\text{ ms}$ zu signifikanten Interaktionen zwischen *Reiz* und *Kompatibilität* sowie zwischen *Reiz* und *Intra-Set-Übergang*. Darüber hinaus kam es innerhalb der Zeitbereiches von $550 - 950\text{ ms}$ zu einer signifikanten Dreifachinteraktion zwischen *Kompatibilität*, *Reiz* und *Intra-Set-Übergang*.

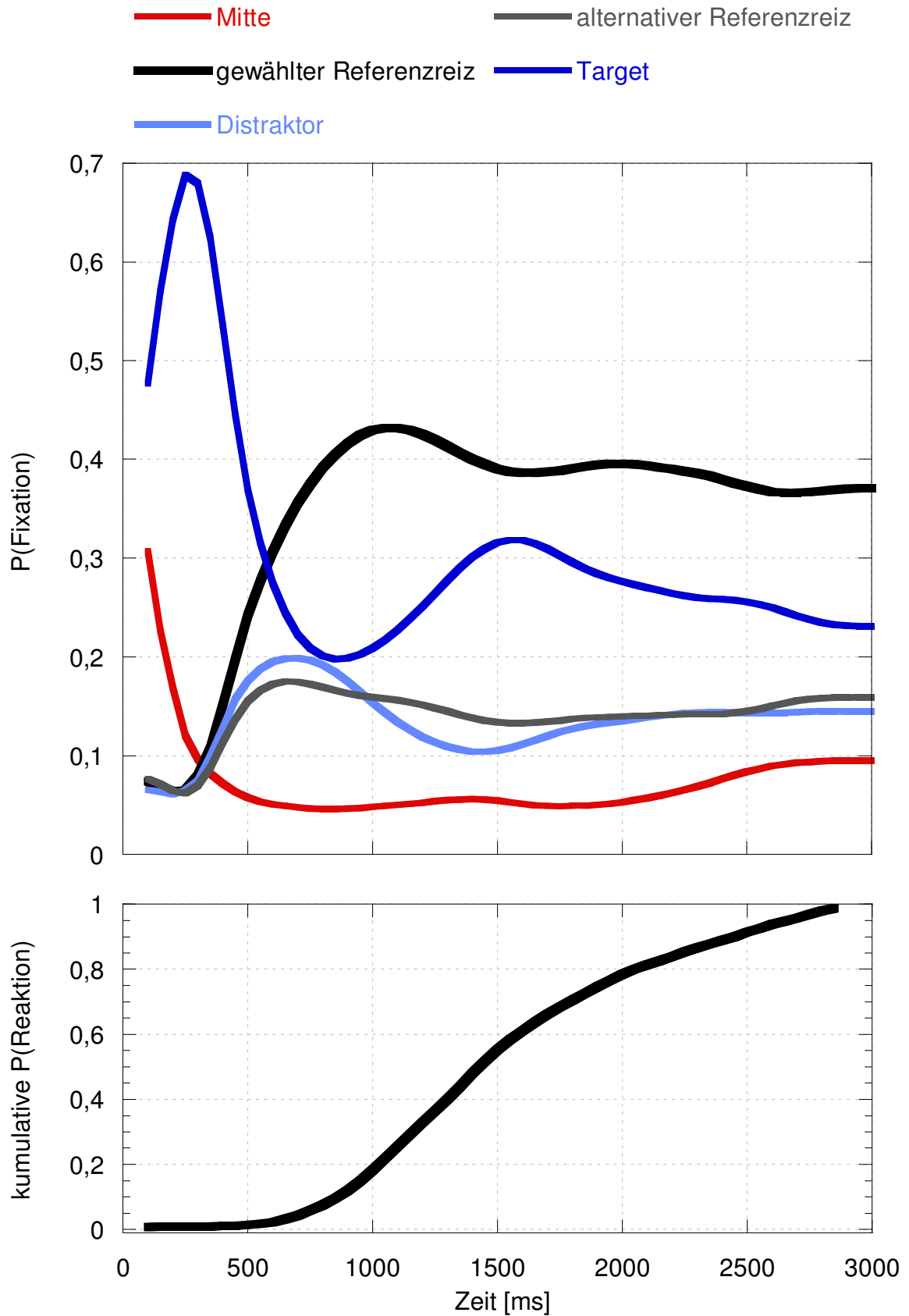


Abbildung 3-15: Oben: Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize bei der Merkmalsklasse Hintergrund als Funktion der Zeit in Millisekunden. Unten: kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit als Funktion der Zeit. Die Kurven sind über die Versuchspersonen gemittelt (N = 47).

Als Folgeanalysen wurden innerhalb dieser Zeitbereiche für jeden Reiz eine zweifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Kompatibilität* und *Intra-Set-Übergang* mit Folgekontrasten gerechnet, um zu klären, welche Reize in ihren Fixationswahrscheinlichkeiten von der Kompatibilität und dem Wechsel der Merkmalsdimension beeinflusst wurden (siehe Tabelle 3-11).

Tabelle 3-10: Zusammenfassung der ANOVAs innerhalb der Zeitbereiche.

Effekt	Statistik	Zeitbereiche in ms					
		0 – 200	250 – 500	550 – 950	1000 – 1400	1450 – 2000	2000 – 3000
R	<i>F</i> (4, 184)	62.71*	420.79*	71.42**	163.23**	37.57**	162.62**
	<i>MSe</i>	0.355	0.156	0.069	0.040	0.050	0.04
R x K	<i>F</i> (2, 92)	2.02	0.83	8.62**	2.75**	0.92	0.705
	<i>MSe</i>	0.021	0.010	0.016	0.018	0.028	0.022
R x <i>W_D</i>	<i>F</i> (4, 184)	1.12	0.79	2.324*	36.07**	0.299	1.87
	<i>MSe</i>	0.017	0.011	0.016	0.027	0.029	0.022
R x K x <i>W_D</i>	<i>F</i> (8, 368)	0.71	1.31	2.58*	1.21	1.02	1.33
	<i>MSe</i>	0.019	0.011	0.018	0.014	0.029	0.190
R x <i>W_K</i>	<i>F</i> (4, 184)	0.76	0.45	0.56	13.51**	2.78*	0.89
	<i>MSe</i>	0.011	0.012	0.010	0.013	0.031	0.016

R = Reiz, K = Kompatibilität, *W_D* = Wechsel der Merkmalsdimension, *W_K* = Wechsel der Merkmalsklasse, ** = $p < .01$, * = $p < .05$

In beiden Zeitbereichen (550 – 950 ms, 1000 – 1400 ms) führten die Analysen des gewählten Referenzreizes und des Distraktors zu einem signifikanten Haupteffekt *Kompatibilität*. Die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes (siehe Abbildung 3-16, oben links) war bei *angenommen kompatiblen* Wahlen größer als bei *inkompatiblen* Durchgängen oder *abgelehnt kompatiblen* Wahlen (550 – 950 ms: inc - comp⁺ = .10, *F*(1,46) = 28.34, *MSe* = 0.016, $p > .001$, $\eta^2 = .38$, inc-comp⁻ = -.02, $F < 1$; 1000 – 1400 ms: inc-comp⁺ = -.06, *F*(1,46) = 28.34, *MSe* = 0.016, $p > .001$, $\eta^2 = .38$, inc-comp⁻ < .01, $F < 1$).

Die Fixationswahrscheinlichkeit des Distraktors (siehe Abbildung 3-16, unten links) war bei *inkompatiblen* Durchgängen größer als bei *angenommen kompatiblen* oder *abgelehnt kompatiblen* Wahlen (550 – 950 ms : inc-comp⁺ = -.07, *F*(1,46) = 28.34, *MSe* = 0.016, $p > .001$, $\eta^2 = .38$, comp⁺-comp⁻ = .02, $F < 1$; 1000 – 1400 ms: comp⁺-inc = -.03, *F*(1,46) = 4.32, *MSe* = 0.008, $p > .001$, $\eta^2 = .09$, inc-comp⁻ < .01, $F < 1$). Die Fixationswahrscheinlichkeit des alternativen Referenzreizes (siehe Abbildung 3-16, oben rechts) war zwischen 550 und 950 ms bei einem *abgelehnt kompatiblen* Wahlen größer als bei einem *angenom-*

men kompatiblen Wahlen oder inkompatiblen Durchgang ($\text{comp}^- - \text{comp}^+ = .05$, $F(1,46) = 10.41$, $MSe = 0.008$, $p > .05$, $\eta^2 = .19$, $\text{comp}^+ - \text{inc} = .01$, $F < 1$).

Tabelle 3-11: Zusammenfassung der ANOVAs für die Reize in den Zeitbereichen 550 – 950 ms und 1000 – 1400 ms.

Reiz	Statistik	550 – 950 ms			1000 – 1400 ms		
		T_M	K	$T_M \times K$	T_M	K	$T_M \times K$
	<i>df</i>	1,46	2,92	2,92	1,46	2,92	2,92
Target	<i>F</i>	0.40	1.8	1.55	1.66	0.42	1.57
	<i>MSe</i>	0.014	0.012	0.013	0.020	0.019	0.014
gewählter Referenzreiz	<i>F</i>	0.70	14.79**	3.18**	67.15**	5.21**	.40
	<i>MSe</i>	0.016	0.021	0.015	0.031	0.027	0.016
alternativer Referenzreiz	<i>F</i>	3.44**	7.78**	0.64	39.07**	1.19	1.16
	<i>MSe</i>	0.013	0.012	0.011	0.013	0.013	0.012
Distraktor	<i>F</i>	0.01	9.15**	5.02**	0.01	2.96*	2.15
	<i>MSe</i>	0.016	0.016	0.011	0.017	0.009	0.008
Mitte	<i>F</i>	0.33	0.45	0.46	0.01	0.97	2.15
	<i>MSe</i>	0.006	0.004	0.004	0.017	0.010	0.008

$R = \text{Reiz}$, $K = \text{Kompatibilität}$, $T_M = \text{Wechsel der Merkmalsdimension}$, $T_K = \text{Wechsel der Merkmalsklasse}$, ** = $p < .01$, * = $p < .05$

Die Analysen des gewählten Referenzreizes und des Distraktors führten im Zeitbereich 550 – 950 ms zu einer signifikanten Interaktion zwischen *Kompatibilität* und *Intra-Set-Übergang*.

Die Teilabbildungen der Abbildung 3-17 zeigen für jede Kompatibilitätsstufe den zeitlichen Verlauf der Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes (durchgezogene Linie) und des Distraktors (gestrichelte Linie), getrennt nach Perseveration (graue Linie) und Wechsel (schwarze Linie) der Merkmalsdimension.

Im Vergleich zu *angenommen kompatiblen* und *abgelehnt kompatiblen* Durchgängen war die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes bei *inkompatiblen* Durchgängen während eines Dimensionswechsels geringer als bei einer Perseveration ($\text{comp}^+ - \text{inc} = -.08$, $F(1,46) = 5.26$, $MSe = 0.051$, $p > .001$, $\eta^2 = .10$, $\text{inc} - \text{comp}^- = -.01$, $F(1,46) = 3.02$, $MSe = 0.062$, $p = .10$, $\eta^2 = .05$).

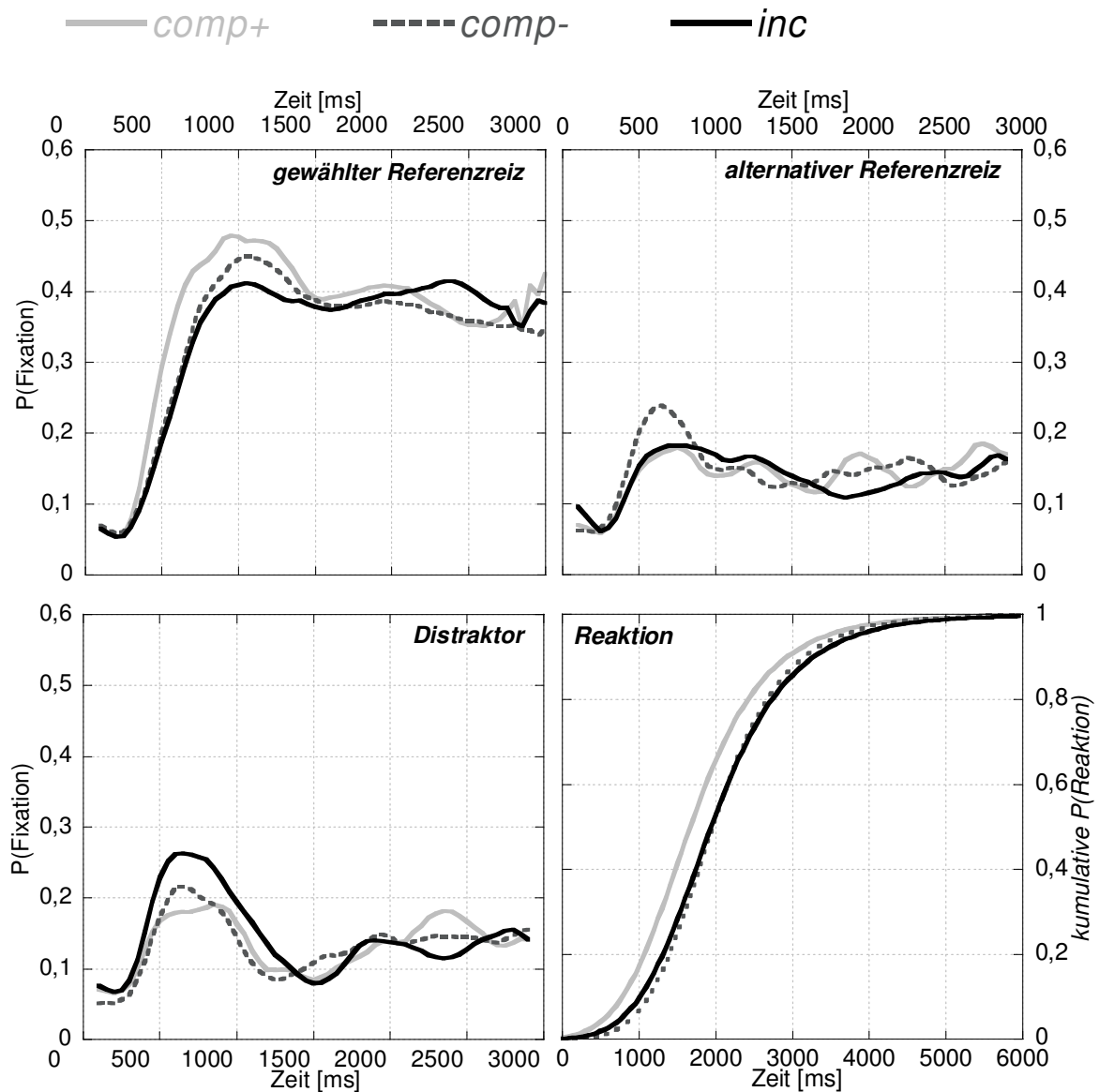


Abbildung 3-16: Fixationswahrscheinlichkeiten einzelner Reize und kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit (unten rechts) getrennt nach der Kompatibilität als Funktion der Zeit in Millisekunden, bei der Merkmalsklasse Hintergrund. Die Kurven sind über die Versuchspersonen gemittelt (N = 47).

Zwischen 550 – 950 ms war ferner bei *inkompatiblen* Durchgängen, im Gegensatz zu *angenommen* und *abgelehnt* kompatiblen Wahlen, die Fixationswahrscheinlichkeit des Distraktors bei einer Perseveration geringer als bei einem Wechsel (siehe Abbildung 3-17), ($\Delta_{(comp+)} - \Delta_{inc} = -.09$, $F(1,46) = 12.62$, $MSe = 0.039$, $p > .001$, $\eta^2 = .21$, $\Delta_{inc} - \Delta_{comp-} = -.03$, $F(1,46) = 2.06$, $MSe = 0.016$, $p = .16$, $\eta^2 = .05$). Die Fixationswahrscheinlichkeit des alternativen Referenzreizes war unabhängig von der Kompatibilität bei einem Wechsel größer als bei einer Perseveration, sowohl zwischen 550 – 950 ms ($\Delta = -.05$) als auch zwischen 1000 – 1400 ms ($\Delta = -.03$).

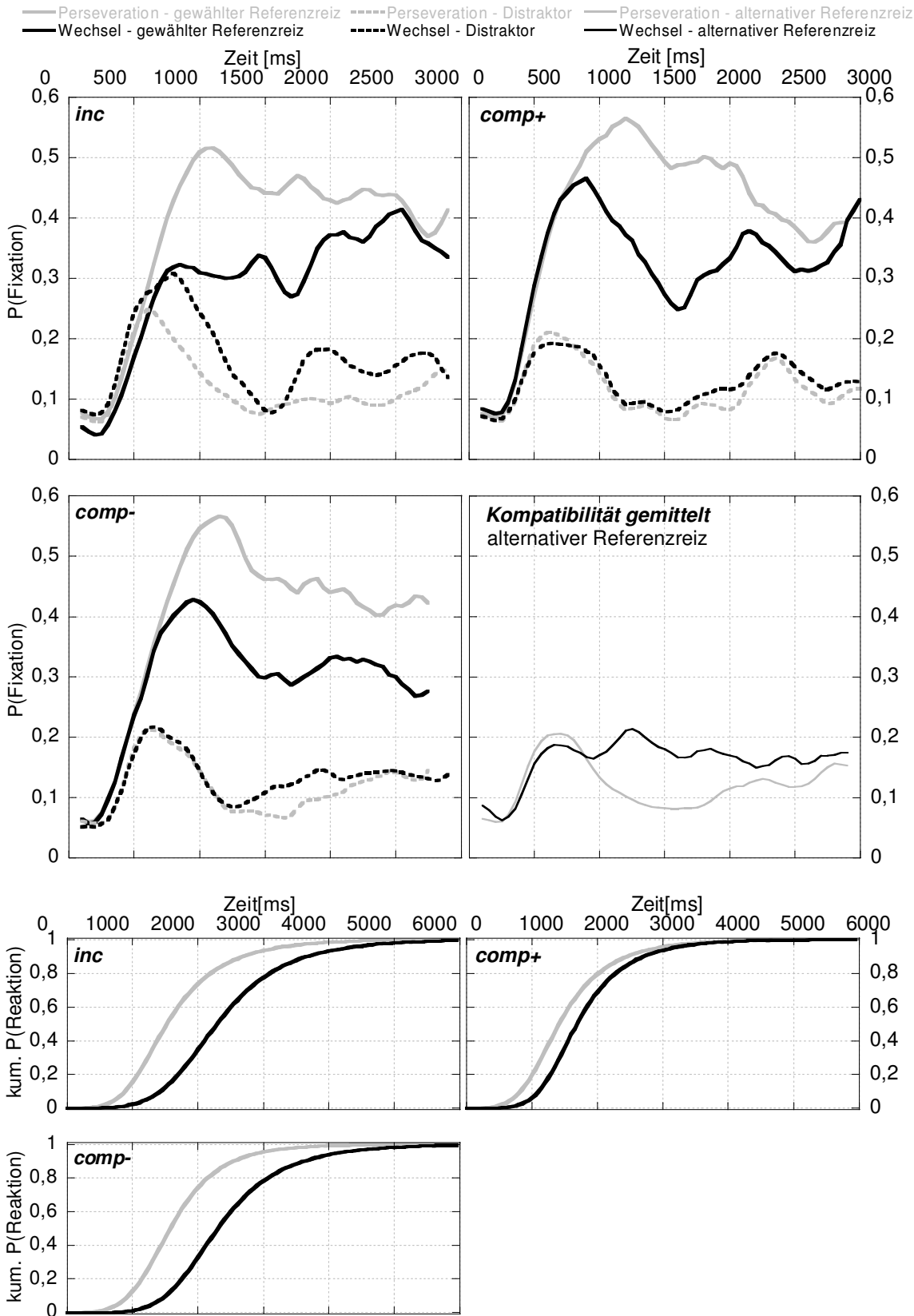


Abbildung 3-17: Oben: Fixationswahrscheinlichkeiten des gewählten Referenzreizes (breite durchgezogene Linie) und des Distraktors (gestrichelte Linie), getrennt nach Perseveration (graue Linie) und Wechsel (schwarze Linie) und Kompatibilität (*comp+* = angenommen kompatible Wahlen, *comp-* = abgelehnt kompatible Wahlen, *inc* = inkompatible Durchgänge) sowie (untere Teilabbildungen) kumulative Reaktionswahrscheinlichkeiten. Die Kurven sind über die Versuchspersonen gemittelt (N = 47).

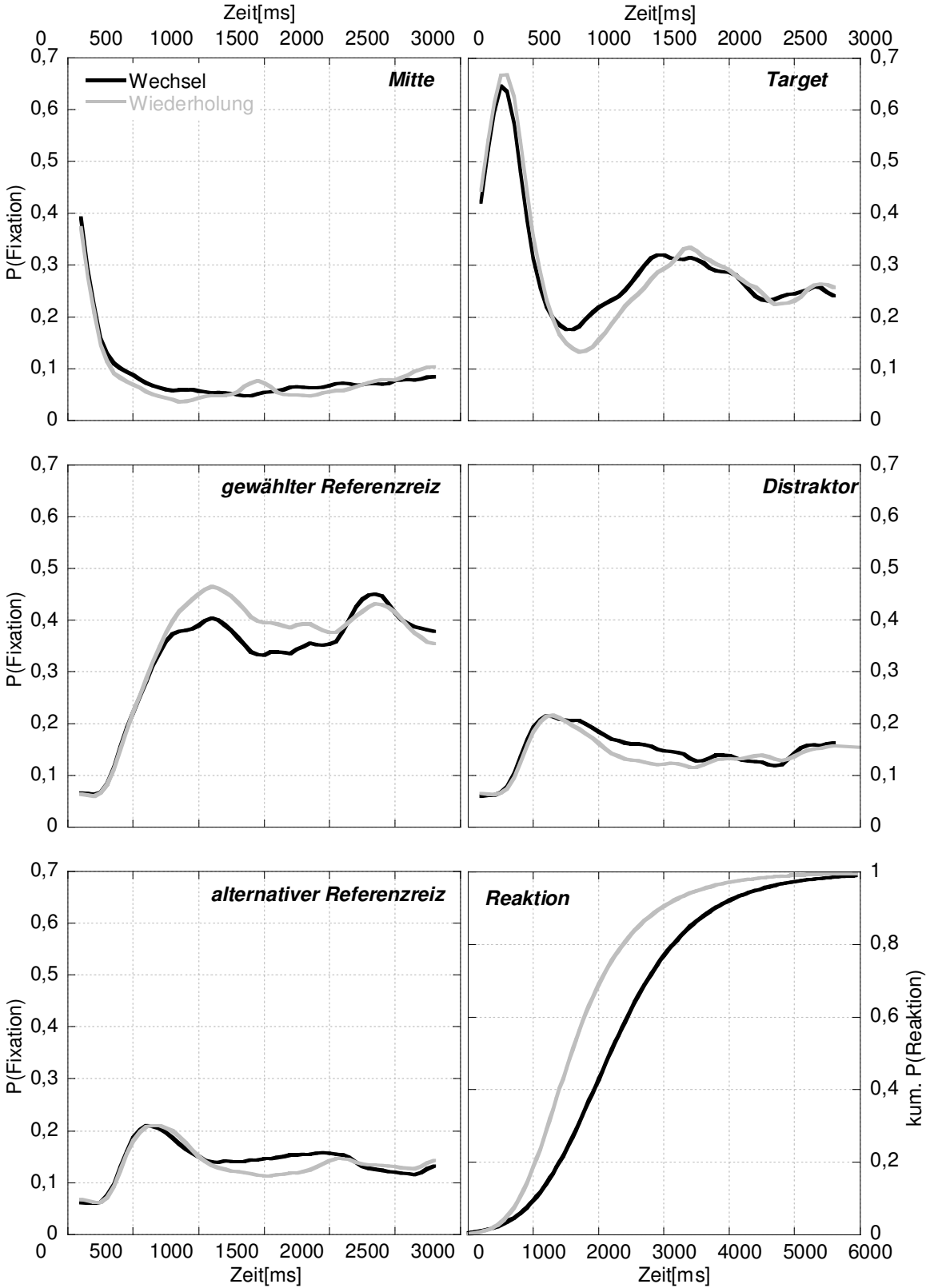


Abbildung 3-18: Fixationswahrscheinlichkeiten einzelner Reize und kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit (unten rechts), getrennt nach *Inter-Set-Wechsel* als Funktion der Zeit in Millisekunden, bei der Merkmalsklasse Hintergrund. Die Kurven sind über die Versuchspersonen gemittelt (N = 47).

Wechsel der Merkmalsklasse. In den Zeitbereichen *1000 – 1400 ms* und *1450 – 2000 ms* wurden die Fixationswahrscheinlichkeiten durch den Wechsel der Merkmalsklasse beeinflusst, die entsprechenden Interaktionen zwischen *Inter-Set-Wechsel* und *Zeit* wurden in diesen Zeitbereichen signifikant (siehe Tabelle 3-10). Als Folgetests wurden für jeden Reiz eine ANOVA mit dem Messwiederholungsfaktor *Inter-Set-Übergang* gerechnet.

Die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes (Abbildung 3-18, rechte Spalte, erste Zeile) war in beiden Zeitbereichen während der Wiederholung der Merkmalsklasse größer als bei einem Wechsel (*1000 – 1400 ms*: $\Delta = -.09$, $F(1,46) = 12.29$, $MSe = 0.016$, $p < .05$, $\eta^2 = .21$; *1450 – 2000 ms*: $\Delta = -.06$, $F(1,46) = 7.35$, $MSe = 0.025$, $p < .05$, $\eta^2 = .13$). Im Zeitbereich von *1000 – 14000 ms* waren die Fixationswahrscheinlichkeiten des Targets während eines Wechsels der Merkmalsklasse größer als bei einer Wiederholung. Im Zeitbereich von *1450 – 2000 ms* waren die Fixationswahrscheinlichkeiten des alternativen Referenzreizes und des Distraktors während eines Wechsels der Merkmalsklasse größer als bei einer Wiederholung, $\Delta_{aR} = .04$, $F(1,46) = 14.42$, $MSe = 0.009$, $p < .009$, $\eta^2 = .24$, $\Delta_D = .02$, $F(1,46) = 3.98$, $MSe = 0.012$, $p < .05$, $\eta^2 = .10$).

3.3.3 Diskussion

Die Ergebnisse von Experiment 3 replizieren und erweitern die Ergebnisse der Experimente 1 und 2. Sowohl bei der Bearbeitung der Merkmalsklasse Symbole als auch bei der Merkmalsklasse Hintergrund bestand eine Tendenz, die zuvor gewählte Übereinstimmungsdimension zu wiederholen. Diese Perseverationen hatten zudem kürzere Reaktionszeiten als die Dimensionswechsel. Damit konnte auch für eine andere Merkmalsklasse als in den Experimenten 1 und 2 gezeigt werden, dass sich in der verwendeten Aufgabe eine Perseverationstendenz in Bezug auf die jeweils gewählte Übereinstimmungsdimension und Wechselkosten in den Reaktionszeiten ergeben, wenn zwischen zwei Referenzreizen gewählt werden kann, die in unterschiedlichen Dimensionen mit dem Targetreiz übereinstimmen.

Trotz diverser Unterschiede in der spezifischen Methodik stehen diese Ergebnisse in Einklang mit Resultaten aus Experimenten zum freien Aufgabenwechselfparadigma (Arrington & Logan, 2004, 2005; Mayr & Bell, 2006).

Die Blickbewegungsdaten zeigten darüber hinaus, dass bei einer Perseveration die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes während einer Lösungsphase (zwischen 550 – 950 ms, siehe auch Experiment 2) höher war als bei einem Wechsel der

Merkmalsdimension. Gleichzeitig war die Fixationswahrscheinlichkeit des alternativen Referenzreizes geringer als bei einem Wechsel (vgl. Experiment 2). Damit konnte wiederholt gezeigt werden, dass derjenige von zwei mit dem Targetreiz übereinstimmenden Referenzreizen früh Aufmerksamkeit auf sich zieht, der in Bezug auf die *zuvor* relevante Merkmalsdimension eine Übereinstimmung zum Target enthält (siehe Exp. 2).

Bei der Merkmalsklasse Hintergrund waren die Dimensions-Wechselkosten und die Perseverationswahrscheinlichkeit größer als bei der Merkmalsklasse Symbole. Dieser Unterschied in den Perseverationswahrscheinlichkeiten kann nicht durch den Einfluss der Kompatibilität zustande kommen, da diese Faktoren nicht interagierten. Es scheint jedoch plausibel, dass der Unterschied in der Perseverationswahrscheinlichkeit dadurch entsteht, weil die Aufgabe Hintergrund einen höheren Schwierigkeitsgrad aufwies als die Aufgabe Symbole. Sowohl Reaktionszeiten als auch durchschnittliche Fixationszeiten deuten darauf hin, dass eine Übereinstimmung zwischen Target und Referenzreiz in Bezug auf die Merkmale der Klasse Hintergrund schwieriger zu entdecken war als bei der Klasse Symbole. Es ist denkbar, dass es bei der schwierigen Aufgabe zu einer erhöhten Perseverationstendenz kam, weil der Wechsel zwischen den Merkmalsdimensionen der Klasse Hintergrund aufwendiger ist als der Wechsel zwischen den Merkmalsdimensionen der Klasse Symbole. Der Anstieg der Perseverationswahrscheinlichkeit der Merkmalsklasse Hintergrund im Vergleich zu den Symbolen kann auch nicht durch Stimuluswechsel erklärt werden, da für beide Merkmalsklassen die Darbietungswahrscheinlichkeiten für Reizwechsel und Wiederholung gleich waren. Dieses Ergebnis erweitert möglicherweise die Befunde von Mayr und Bell (2006), nach denen externe Faktoren wie Stimuluswechsel die Perseverationswahrscheinlichkeit beeinflussen, um einen weiteren Faktor, die Aufgabenschwierigkeit. Wenn man die von Mayr und Bell (2006) verwendeten Aufgaben gemäß ihrer Schwierigkeit unterscheidet, könnte möglicherweise ein Teil der Varianz zwischen den Perseverationswahrscheinlichkeiten der Aufgaben diesem Faktor zugeschrieben werden. Um diese Möglichkeit zu prüfen, bedarf es jedoch weiterer Experimente.

Die unterschiedliche Aufgabenschwierigkeit hatte einen *stroopartigen* Interferenzeffekt zur Folge: Die schwierige Aufgabe (Hintergrund) wurde von der leichten (Symbole) beeinflusst, aber nicht umgekehrt. Bei der Aufgabe Hintergrund bestand eine leichte Tendenz, den zur Aufgabe Symbole kompatiblen Referenzreiz zu wählen. Darüber hinaus erfolgte bei der Aufgabe Hintergrund eine schnellere Reaktion, wenn der gewählte Referenzreiz gleichzeitig eine Übereinstimmung in Bezug auf die Merkmalsklasse Symbole enthielt (*angenommen kompatible* Wahlen). Im Gegensatz dazu führte das Vorhandensein einer reakt-

tionsinkompatiblen Übereinstimmung zur Verlängerung der Reaktionszeit und zu einem Anstieg der Fehlerrate.

Eine zentrale Vorhersage dieses Experimentes, der Moment des Wechsels sei durch eine erhöhte Distraktibilität gekennzeichnet (Dreisbach & Goschke, 2004; Goschke, 2000), konnte bestätigt werden. In Durchgängen, in denen die schwierige Merkmalsklasse relevant war, war die Distraktibilität bei einem Wechsel der übereinstimmenden Merkmalsdimension größer als bei einer Perseveration. Dies zeigte sich darin, dass bei der schwierigen Merkmalsklasse der Kompatibilitätseffekt bei einem Dimensionswechsel signifikant größer als in Perseverationsdurchgängen war.

Anhand der Blickbewegungsdaten konnte gezeigt werden, dass die Reaktionszeitverlängerung bei inkompatiblen Durchgängen damit einherging, dass die Merkmale der irrelevanten Merkmalsklasse (Symbole) während eines Wechsels öfter betrachtet wurden als bei einer Perseveration. Darüber hinaus waren auch die Wechselkosten abgelehnt kompatibler Wahlen größer als die Wechselkosten angenommen kompatibler Wahlen. Dieser Effekt ging damit einher, dass der gewählte Referenzreiz und das Target bei einem Wechsel öfter fixiert wurden als bei einer Perseveration.

Abgelehnt kompatible und inkompatible Durchgänge hatten inhaltlich eins gemeinsam: neben dem gewählten Referenzreiz gab es noch einen anderen Referenzreiz, der ein zum Target übereinstimmendes Merkmal enthielt. Im Falle einer abgelehnt kompatiblen Wahl hätte der in einem irrelevanten Merkmal übereinstimmende Referenzreiz gewählt werden können und im Falle des inkompatiblen Durchganges wäre die Wahl dieses Reizes ein Fehler gewesen. Dass bei inkompatiblen Durchgängen die meisten Fehler gemacht wurden, spricht für die Ablenkung durch das übereinstimmende Merkmal der irrelevanten Klasse.

Im Vergleich zu angenommen kompatiblen Durchgängen war bei der Merkmalsklasse Hintergrund die durchschnittliche Anzahl der Fixationen eines Reizes bei abgelehnt kompatiblen und inkompatiblen Durchgängen erhöht. Darüber hinaus wurde bei inkompatiblen Durchgängen der Distraktor bei einem Wechsel im Mittel häufiger fixiert als bei einer Perseveration.

Im Gegensatz zu angenommen kompatiblen Durchgängen verging während eines Dimensionswechsels der Klasse Hintergrund bei inkompatiblen und abgelehnt kompatiblen Durchgängen nicht nur mehr Zeit zum Finden des gewählten Referenzreizes (*Suchzeit*), sondern auch mehr Zeit vom Finden des gewählten Referenzreizes bis zum Tastendruck (*Verarbeitungszeit*).

Der zeitliche Verlauf der Fixationswahrscheinlichkeit ergab ein detailliertes Bild der Abfolge der Blickbewegungen und konnte die Zeitbereiche, in denen die Effekte entstehen, genauer eingrenzen. Bei angenommen kompatiblen Wahlen der Klasse Hintergrund war die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes zwischen *500–1000 ms* größer als bei inkompatiblen Durchgängen oder abgelehnt kompatiblen Wahlen. Im gleichen Zeitbereich wurde bei inkompatiblen Durchgängen der Distraktor, der eine Übereinstimmung zum Target in Bezug auf die irrelevante Klasse Symbole enthielt, mit größerer Wahrscheinlichkeit fixiert als bei angenommen kompatiblen oder abgelehnt kompatiblen Wahlen. Der Anstieg der Fixationswahrscheinlichkeit des Distraktors bei inkompatiblen Durchgängen zeigt, dass in einigen Durchgängen ein Referenzreiz betrachtet wurde, dessen Merkmale für die aktuelle Aufgabe nicht relevant waren.

Bei der Bearbeitung der Klasse Hintergrund wurde dieser Effekt zwischen *500–1000 ms* während eines Merkmalswechsels intensiviert: Im Gegensatz zu abgelehnt und angenommen kompatiblen Wahlen wurde der Distraktor während inkompatibler Dimensionswechsel mit größerer Wahrscheinlichkeit fixiert als bei Perseverationen. Dies zeigte, dass bei einem Dimensionsswechsel der Klasse Hintergrund die Merkmale der Klasse Symbole mehr Aufmerksamkeit auf sich zogen als bei einer Perseveration⁵⁴.

Diese erhöhte Distraktibilität während inkompatibler Durchgänge spiegelt sich nicht nur in einer Verlängerung der Reaktionszeit und einem Anstieg der Wechselkosten, sondern auch in einem Anstieg der Fehlerrate. Wie vorhergesagt, wurde bei Fehlern fälschlicherweise auf eine irrelevante Übereinstimmung zwischen Target und Distraktor reagiert, wobei dieser Effekt bei der Merkmalsklasse Hintergrund häufiger vorkam als bei der Merkmalsklasse Symbole. Ferner kam es im Vergleich zu korrekten Durchgängen zu einer intensivierten fovealen Informationsaufnahme des irrelevanten Merkmals, was daran zu erkennen ist, dass bei korrekten Reaktionen die mittleren Fixationszeiten auf den gewählten Referenzreiz am längsten waren, wohingegen bei Fehlern der Distraktor am längsten fixiert wurde (siehe auch Experiment 2). Diese Fixationszeitverteilung auf die Reize bei Fehlern zeigt, dass auf eine Übereinstimmung der irrelevanten Merkmalsklasse reagiert wurde.

Ein interessantes Ergebnis des Experimentes besteht darin, dass es nicht zu asymmetrischen Kosten beim Wechsel zwischen den Merkmalsklassen kam. Die Theorie der Aufgabenträgheit behauptet, dass der Wechsel von einer schweren zur leichten Aufgabe zeitin-

⁵⁴ Dieser Zusammenhang zeigte sich auch in einer Analyse der Fixationswahrscheinlichkeit als Funktion fortlaufender Zeitquantile, bei der alle Durchgänge auf 1 normiert wurden (siehe Anhang B, Abschnitt 4).

tensiver sein sollte als der Wechsel von einer leichten zu einer schweren Aufgabe (Meuter & Allport, 1999; Wylie & Allport, 2000).

Die Ergebnisse dieses Experimentes zeigen zwar, dass eine Wiederholung der Merkmalsklasse im Vergleich zu einem Wechsel zu einer Verkürzung der Reaktionszeiten führte, aber diese Wechselkosten unterschieden sich nicht zwischen den Merkmalsklassen. In Übereinstimmung mit anderen Arbeiten zu dieser Thematik zeigt dieses Ergebnis, dass ein Wechsel von schwer zu leicht nicht notwendig aufwendiger ist als ein Wechsel von leicht zu schwer (Gilbert & Shallice, 2002; Yeung & Monsell, 2003). Die Wechselkosten hatten sogar, wenngleich nicht signifikant – so doch deskriptiv, eher die Tendenz, dass der Wechsel von leicht zu schwer zu längeren Reaktionszeiten führte als der Wechsel von schwer zu leicht.

4 Generelle Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurden Situationen untersucht, in denen kein Hinweisreiz vorgab, welche Reizmerkmale bzw. Merkmalsdimensionen relevant sind. Gleichzeitig gab es eine Möglichkeit zur Wiederholung bzw. zum Wechsel der zuvor relevanten Merkmalsdimension. Damit konnte das Problem vermieden werden, dass es bei einem Aufgabenwechsel immer zu einem Hinweisreizwechsel kommt (Logan und Bundesen, 2003). Ferner konnten durch das Paradigma der vorliegenden Arbeit gleichzeitig die Reaktionszeiten und die Tendenz, die vormals relevante Aufgabe zu wiederholen, d.h. die Perseverationswahrscheinlichkeit, erhoben werden.

Zeitgleich mit den ersten Pilotstudien der in dieser Arbeit vorgestellten Experimente erschien die erste Veröffentlichung von Arrington und Logan (2004) mit einer ähnlichen Zielsetzung (siehe Abschnitt 2.1.3). Zum jetzigen Zeitpunkt bleibt eine Antwort von Arrington und Logan auf die Kritik von Mayr & Bell, 2006, dass die Wechselwahrscheinlichkeit von exogenen Faktoren, wie dem Wechsel des Reizmaterials abhängt aus. Damit bleibt die Frage offen, ob sich dieses Paradigma bewährt. Da die veröffentlichten Arbeiten zum freiwilligen Aufgabenwechsel dasselbe Paradigma verwenden, fehlen Befunde mit alternativen Paradigmen. Das in dieser Arbeit vorgestellte Paradigma diente ebenfalls dazu, Perseverationstendenzen unter Bedingungen zu untersuchen, unter denen eine Reizvorlage mehr als eine mögliche korrekte Reaktionsalternative beinhaltet. Dennoch unterschied sich das in dieser Arbeit vorgestellte Paradigma aber in einigen wichtigen Aspekten vom freien Aufgabenwechselfaradigma (Arrington und Logan, 2004, 2005). Im Paradigma der vorliegenden Arbeit sollten die Versuchspersonen keinen Zufallsprozess imitieren, sondern unter drei Referenzreizen denjenigen finden, der in einem Merkmal unterschiedlicher Merkmalsdimensionen zu einem gleichzeitig dargebotenen Target übereinstimmte. In der Bedingung *forcierte* Wahl gab es unter drei Referenzreizen nur einen, der mit dem Target übereinstimmte, während in der Bedingung *freie* Wahl zwei Referenzreize übereinstimmten, wobei ein Reiz eine Wiederholung und der andere einen Wechsel der Merkmalsdimension des vorherigen Durchganges darstellte. Die im Einzelnen aufgestellten Hypothesen wurden mittels manueller Reaktionen (Experiment 1) und Blickbewegungen (Experiment 2 und 3) überprüft.

4.1 Zusammenfassung der zentralen experimentelle Befunde

Im ersten Experiment der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, dass Wechselkosten auch dann entstanden, wenn kein Hinweisreiz den Wechsel oder die Wiederholung der Übereinstimmungsdimension anzeigte. Darüber hinaus wurde in 2/3 aller *freie* Wahl-Durchgänge perseveriert, d.h. es wurde die gleiche Übereinstimmungsdimension wie im vorherigen Durchgang gewählt, obwohl ein Wechsel möglich gewesen wäre.

Anhand des zweiten Experimentes konnten die Prozesse dieses Basisbefundes genauer spezifiziert werden. Es wurde gezeigt, dass die Perseverationstendenz und die Wechselkosten mit einer intensivierten Enkodierung der zuvor relevanten Merkmalsdimension einhergingen. Mit Hilfe von Blickbewegungsmessungen wurde gezeigt, dass derjenige von zwei zum Target übereinstimmenden Referenzreizen, bei dem die Übereinstimmung auf der gleichen Merkmalsdimension wie im vorausgehenden Durchgang lag, früher die Aufmerksamkeit auf sich lenkte als der Referenzreiz, auf dem die zum Target übereinstimmende Merkmalsdimension wechselte. Ferner war die Zeit zur Verarbeitung der Übereinstimmung, d.h. die Zeit von der ersten Fixation des übereinstimmenden Referenzreizes bis zum Tastendruck, bei einer Perseveration kürzer als bei einem Wechsel.

Mittels des dritten Experimentes wurden Unterschiede in der Abschirmungsdynamik gegenüber irrelevanten Reizen bei Perseveration und Wechsel untersucht. Im Gegensatz zu den Experimenten 1 und 2 enthielten die Reize im Experiment 3 nicht drei, sondern sechs Merkmalsdimensionen, wobei jeweils drei Merkmalsdimensionen die relevante Merkmalsklasse darstellten. Ein instruktiver Hinweisreiz gab an, welche Merkmalsklasse beachtet werden sollte. Eine wichtige Manipulation bestand darin, dass die Übereinstimmung zwischen Target und Referenzreiz in Bezug auf die relevante und irrelevante Merkmalsklasse kompatibel oder inkompatibel sein konnte. Bei einem kompatiblen Durchgang stimmte einer der Referenzreize in einem irrelevanten und einem relevanten Merkmal mit dem Target überein. In einem inkompatiblen Durchgang stimmte einer der beiden Referenzreize nur in einem *irrelevanten* Merkmal mit dem Target überein. Im Vergleich zur Merkmalsklasse *Hintergrund* (Ecke, Schraffur, Balken) kam es zu kürzeren Reaktionszeiten, wenn die Übereinstimmung zwischen Target und Referenzreiz innerhalb der Merkmalsklasse *Symbole* (Form, Farbe, Anzahl) gesucht werden sollte. Darüber hinaus waren die Kosten eines Merkmalswechsels innerhalb der Klasse Hintergrund größer als innerhalb der Klasse Symbole. Ein Merkmalswechsel innerhalb der Klasse Hintergrund ging mit einer erhöhten Distraktibilität einher. Dies zeigte sich im Einzelnen darin, dass *inkompatible* Durchgänge bei

der Merkmalsklasse Hintergrund zu größeren Merkmalswechselkosten führten als *angenommen kompatible* Durchgänge, in denen der durch Tastendruck gewählte Referenzreiz sowohl in einem relevanten, als auch in einem irrelevanten Merkmal mit dem Target übereinstimmte.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Experimente detaillierter diskutiert und Theorien zur dimensionsbasierten Aufmerksamkeit sowie zum Aufgabenwechsel einbezogen.

4.2 Aufrechterhaltung von Merkmalsdimensionen

Eine aktuelle Frage zu der Auflösung von Top-Down Signalen besteht darin, ob tatsächlich ganze Merkmalsdimensionen (Farbe) oder nur einzelne Ausprägungen (rot) aufrechterhalten werden. Blickbewegungsexperimente von Navalpakkam und Itti (2006b) deuten darauf hin, dass dies keine ‚entweder-oder-Frage‘ sein muss, sondern sowohl Merkmalsdimensionen als auch bestimmte Ausprägungen die aktive visuelle Verarbeitung beeinflussen.

Experiment 1 zeigte, dass die gesamte Merkmalsdimension des vorherigen Durchganges und nicht nur eine spezifische Ausprägung aufrechterhalten wurde. Wie die Zusatzanalysen verdeutlichten, war die Wahrscheinlichkeit einer Perseveration selbst dann größer als die eines Wechsels, wenn die Merkmalsdimension wiederholt wurde aber die Merkmalsausprägung wechselte. In Übereinstimmung dazu waren auch die Reaktionszeiten einer Perseveration bei einem Wechsel der Merkmalsausprägung kleiner als die Reaktionszeit eines Wechsels der gesamten Merkmalsdimension. Perseverationstendenz und Wechselkosten müssen deshalb als dimensionsspezifisch betrachtet werden und können nicht durch die Aufrechterhaltung einer spezifischen Merkmalsausprägung oder durch eine assoziative Bindung zwischen Merkmalsausprägung und Aufgabe (Waszak et al., 2003) erklärt werden.

4.3 Mögliche Ursachen der Perseverationstendenz

Paradigmen, die dem WCST entlehnt sind, beziehen sich entweder auf Prozesse zur dynamischen Arbeitsgedächtnisaktualisierung- und Aufrechterhaltung (O'Reilly et al., 2002), oder auf Theorien zum Aufgabenwechsel (bspw. interpretierten Konishi et al. (2005) die Ergebnisse ihrer fMRT-Studie zum WCST als Inhibition der proaktiven Interferenz). Das in der vorliegenden Arbeit vorgestellte Paradigma enthält jedoch nicht nur Elemente des klassischen WCST, sondern auch Gemeinsamkeiten mit einer visuellen Suchaufgabe, auf die ich im Folgenden eingehen werde.

Wie bei der visuellen Suche wurde in den Experimenten der vorliegenden Arbeit ein Item (das Target) vorgegeben, jedoch sollte im Gegensatz zur visuellen Suche ein Referenzreiz gefunden werden, der in einem unbekanntem Merkmal mit dem Target übereinstimmte. Folglich wurde indirekt nach dem Merkmal der Übereinstimmung gesucht. In einigen Varianten der visuellen Suche soll ein Reiz gefunden werden, der in einem oder mehreren vorgegebenen Merkmalen mit einem Target übereinstimmt (Treisman & Gelade, 1980). Im *odd-one-out* Paradigma (Müller, 2000) soll ein Reiz (*sinleton*) gesucht werden, der in einem unbekanntem Merkmal von allen anderen Reizen abweicht. Die Reaktionszeiten für die Suche des *sinletons* sind beim Wechsel des abweichenden Merkmals länger als bei einer Wiederholung.

Der Dimensionsgewichtungsansatz (Müller, 2000) behauptet, dass dieses Ergebnis entsteht, weil die Merkmalsdimensionen eines Reizes mit variablen Gewichtungen verarbeitet werden, wobei eine Wiederholung einer Merkmalsdimension dessen relative Gewichtung erhöht. In einer fMRT-Studie zum *odd-one-out*-Paradigma zeigten Weidner et al. (2002), dass ein endogener, d.h. selbstinitiiertes Wechsel zwischen Merkmalsdimensionen mit einer frontomedialen Aktivierung einherging. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit Befunden von Rogers et al. (2000), die anhand einer PET-Studie beim WCST zeigten, dass es im Vergleich zu einem Wechsel der Ausprägung einer Merkmalsdimension zu einer anterioren frontomedialen Aktivierung kam. Den Autoren zufolge regulieren die anterioren frontomedialen Regionen die occipito-temporale Verarbeitung dergestalt, dass irrelevante Merkmale herausgefiltert werden und/oder relevante verstärkt werden.

Aufgrund dieser Ergebnisse scheint es plausibel, dass die Ergebnisse aus Experiment 1 durch eine Modulation in der Repräsentationsstärke der Reizdimension und damit verbunden eine Erhöhung der Salienz der Merkmalsausprägungen dieser Dimension verursacht wurden. Zuvor relevante Merkmalsdimensionen wurden intensiviert, d.h. mit einem höheren Gewicht verarbeitet und beeinflussten so die Enkodierung der Reize im aktuellen Durchgang.

Es scheint jedoch plausibel, dass es sich hierbei eher um einen passiven als um einen aktiven Prozess handelte. Nach Wolfe et al. (2003) bewirkt eine Wiederholung ein *top-down*-Signal impliziter Natur, wohingegen Instruktionen oder Intentionen ein explizites *top-down*-Signal verursachen. Mit Hilfe der visuellen Suche wurde gezeigt, dass es bei einer unangekündigten Wiederholung der relevanten Merkmalsdimension zu einer Reaktionszeitverkürzung kommt. Weil die Versuchspersonen in Experiment 1 sich aller Wahrscheinlichkeit nach nicht bewusst vornahmten, das gewählte Übereinstimmungsmerkmal im Folgedurch-

gang zu wiederholen, sind die Ergebnisse eher durch ein implizites als durch ein explizites *top-down*-Signal verursacht.

4.4 Mögliche Ursachen der Wechseltendenz

Es ist bemerkenswert, dass trotz vorhandener Perseverationsmöglichkeit in ca. 1/3 aller *freie* Wahl-Durchgänge gewechselt wurde, obwohl die Möglichkeit zur Perseveration bestand. Wie im Theorieteil dargelegt, wurde am freien Aufgabenwechselfaradigma von Arrington und Logan (2004, 2005) kritisiert, dass die Wahrscheinlichkeit eines Aufgabenwechsels durch den Wechsel der Merkmalsausprägung des Reizes (externaler Faktor) erhöht wurde (Mayr & Bell, 2006). Wenngleich die Ergebnisse der Experimente der vorliegenden Arbeit darauf hindeuten, dass kein externaler Faktor die Perseverations- und Wechseltendenz beeinflusste, benötigen wir mehr Studien, um auszuschließen, dass ein Wechsel bei *freie* Wahl-Durchgängen nicht durch solche externalen *Störfaktoren* hervorgerufen wurde. Experiment 1 zeigte, dass es bei den *freie* Wahl-Durchgängen selten vorkam und mit Kosten verbunden war, eine vormals erfolgreiche Lösung zugunsten einer anderen zu ändern. Im Folgenden werde ich begründen, warum die geringe Wechseltendenz und die dominante Perseverationswahrscheinlichkeit als Manifestation eines adaptiven Mechanismus interpretiert werden können.

Dass es nützlich ist, eine einmal gewählte erfolgreiche Strategie beizubehalten, ist selbstevident. Wäre eine Perseverationstendenz aber maximal, würde es nicht zu spontanen Abweichungen von einer Strategie kommen. Seltene spontane Abweichungen von einer erfolgreichen Strategie können jedoch adaptiv wirken, da eine geringe Wechseltendenz dazu führen kann, gewohnte Handlungen zu ändern und Aufmerksamkeit auf andere Dinge zu richten. Eine geringe Wechseltendenz könnte dazu dienen, Flexibilität sicherzustellen. Ferner bietet ein spontanes Abweichen von einer Strategie die Möglichkeit, alternative Handlungsmöglichkeiten zu erkunden, die sich beispielsweise erst während der Problemsituation ergeben. Ein seltenes Abweichen von einer erfolgreichen Strategie wäre mit geringen Kosten und hohem Nutzen verbunden, indem es die Anzahl der Lernerfahrungen vergrößert.

Nach Goschke (1996) erweitert eine Exploration alternativer Handlungsmöglichkeiten das mentale Modell der Welt, während die Anwendung von Altbewährtem eine Handlungselektion aufgrund bestehender Modelle darstellt. Ein ähnliches Konzept wurde von Aston-Jones und Cohen (2005a, 2005b) vorgestellt. In ihrer Theorie der noradrenergen Neuromodulation gehen die Autoren davon aus, dass Handlungsoptimierung durch die

Balance der Anwendung von altbewährten (*exploitation*) und die Erkundung neuer (*exploration*) Strategien besteht. Die Autoren behaupten, dass es zu einer tonischen Ausschüttung von Noradrenalin kommt, wenn eine Handlung zuvor mit Belohnung verbunden war und diese wiederholt ausbleibt, oder die Handlung zu unerwarteten negativen Konsequenzen führt. Aston-Jones und Cohen (2005a, 2005b) vermuten, dass die dadurch ausgelöste noradrenerge Neuromodulation das Signal-Rausch-Verhältnis herabsetzt, so dass neue Reize oder Distraktoren, die zuvor ignoriert wurden, aber möglicherweise alternative Handlungsoptionen signalisieren, den attentionalen Filter mit höherer Wahrscheinlichkeit passieren. Dieser Mechanismus würde dazu führen, dass neue Handlungsalternativen erkundet werden, indem zuvor irrelevante Reize verstärkt Aufmerksamkeit auf sich ziehen.

Neben diesen Überlegungen zu möglichen Ursachen für eine Wechseltendenz ist es instruktiv, die relativ geringe Wechseltendenz der Experimente 1-3 mit Situationen in Beziehung zu setzen, in denen es zum spontanen Alternieren zwischen verschiedenen Repräsentationen kommt.

So kommt es beim längeren Betrachten eines Necker-Würfels zu einem Wechsel der räumlichen Interpretation: die Vorderseite wird als Hinterseite und die Hinterseite als Vorderseite wahrgenommen. Eine Erklärung dieses Phänomens bieten Simulationen mit neuronalen Netzen (McClelland & Rummelhardt, 1986). Beide räumliche Interpretationen werden einen Eingabevektor repräsentiert, der den mehrdeutigen Würfel darstellt. Durch die Konnektivität zwischen den und innerhalb der Repräsentationen sowie ein zusätzliches Rauschen, wechseln die Repräsentationen von Zeit zu Zeit (das Netz wechselt den Attraktor), wobei die Wechselrate von der Intensität des Rauschens abhängig ist.

Empirisch orientierte Studien zu diesem Phänomen kommen zu dem Schluss, dass die neuronalen Regionen, die das Perzept aufrechterhalten, ermüden und so einen Perzeptwechsel verursachen (Toppino & Long, 1987).

Auch Theorien zum Aufgabenwechsel diskutieren Zerfalls- und Ermüdungsprozesse. Ausgangspunkt ist, dass die Reaktionszeit zunimmt, wenn die Anzahl der Durchgänge während eines Durchlaufes eines *alternating runs* Paradigmas steigt. Altman und Gray (2002) behaupten, dass dieses Phänomen entsteht, weil die Repräsentationsstärke der Aufgabe mit der Zeit abnimmt.

Wenngleich es sich um verschiedene Phänomene handelt, so gehen doch all diese Erklärungen davon aus, dass die Signalstärke einer Repräsentation abnimmt, wodurch eine neue Repräsentation aktiviert werden kann. Beziehen wir diese Überlegungen auf die Ergebnisse von Experiment 1, so scheint es plausibel, dass die Merkmalsdimension dann auf-

rechterhalten wurde, wenn eine Übereinstimmung zwischen Target und Referenzreiz erkannt wurde. Die Stärke dieser Repräsentation scheint jedoch nicht konstant, sondern variabel. Sie wird wahrscheinlich durch Zerfallsprozesse, zufälliges Rauschen und andere unspezifische Faktoren beeinflusst. Infolgedessen befand sich das kognitive System in Durchgängen, in denen eine Perseverations- und Wechselmöglichkeit dargeboten wurde, meist in einem Zustand, in dem die vormals relevante Merkmalsdimension aktiv aufrechterhalten wurde. Von Zeit zu Zeit (*freier* Wechsel) befand sich das System durch Rauschen oder andere Faktoren jedoch in einem Zustand, in dem die Repräsentation der vormals relevanten Merkmalsdimension abgeschwächt oder zerfallen war. Betrachten wir die Salienz aller Merkmalsdimensionen, kann dieser Moment durch eine Veränderung der Salienzverteilung der Merkmalsdimensionen interpretiert werden.

Wenn man davon ausgeht, dass die Aktivierung der Merkmalsdimensionsrepräsentationen in diesen Durchgängen in einen a priori-Zustand, wie er vor dem Experiment vorlag, zurückgegangen wäre, könnte man annehmen, dass das salienteste Merkmal am intensivsten enkodiert wird. Wenn dem so wäre, müssten die Wechsel zu der Merkmalsdimension Farbe häufiger sein als die Wechsel zu den anderen Merkmalsdimensionen, da Farbe die geringsten Reaktionszeiten hatte und so vermutlich a priori am salientesten war. Die Wechsel traten jedoch zu jedem Merkmal gleichhäufig auf, was darauf hin deutet, dass die Repräsentation der zuvor gewählten Merkmalsdimension und damit deren Salienz zufällig variierte oder durch andere unspezifische Faktoren beeinflusst wurde.

4.5 Die zuvor relevante Merkmalsdimension beeinflusst die aktive visuelle Verarbeitung

Experiment 2 hatte zwei Anliegen: die Ergebnisse aus Experiment 1 sollten repliziert werden und es wurde die Hypothese getestet, dass derjenige Referenzreiz mehr Aufmerksamkeit auf sich zieht, auf dem die zum Target übereinstimmende Merkmalsdimension wiederholt wird.

Die Blickbewegungsdaten deuteten auf diskrete Phasen der visuellen Verarbeitung hin, wie sie beispielsweise fürs Problemlösen (Hodgson et al., 2000) berichtet wurden. Im Einzelnen wurde während der Reizdarbietung in einer *initialen Vorbereitungsphase* zunächst die Mitte fixiert. In einer anschließenden *Problemstellungsphase* stieg die Wahrscheinlichkeit, das Target zu fixieren. Dann, in einer *Lösungsphase*, wurde der gewählte Referenzreiz am wahrscheinlichsten fixiert, wobei zeitgleich die ersten Reaktionen abgegeben wurden. Sofern noch nicht reagiert wurde, kam es in einer *Evaluationsphase* zu einem Anstieg der

Fixationswahrscheinlichkeit des Targets und im Anschluss daran stieg wieder die Wahrscheinlichkeit, den gewählten Referenzreiz zu fixieren⁵⁵.

Wichtiger jedoch ist, dass die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes während der ersten Zunahme dieser Fixationswahrscheinlichkeit bei einer Perseveration größer war als bei einem Wechsel. Bei einer *forcierten* Wahl ging dies mit einer Verringerung der Fixationswahrscheinlichkeit des Distraktors einher und bei einer *freien* Wahl mit einer Verringerung der Fixationswahrscheinlichkeit des alternativen Referenzreizes. Dies erklärt, warum die durchschnittliche Zeit bis zur ersten Fixation des gewählten Referenzreizes bei den Wechseldurchgängen länger war als bei den Perseverationsdurchgängen, denn jede Fixation eines Reizes, die nicht zu einer Reaktion führte (d.h. Distraktor und alternativer Referenzreiz), verlängerte die Reaktionszeit um die durchschnittliche Fixationszeit dieser Reize (ca. 200 ms). Selbst wenn solche Fixationen nicht in jedem Durchgang stattfanden, erhöhten sie den Mittelwert der Reaktionszeitverteilung. Dieser Befund deutet darauf hin, dass die Sakkade unter Einbeziehung der vormals relevanten Merkmalsdimension programmiert wurde (eine Diskussion von Theorien, die dieses Ergebnis vorhersagen, wird weiter unten ausgeführt).

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen eines Blickbewegungsexperimentes zum WCST von Golding et al. (2001) mussten bei einem Wechsel Target und Referenzreiz öfter fixiert werden als bei einer Perseveration. Dieses Muster könnte dadurch erklärt werden, dass ein Referenzreiz, der mit dem Target auf einer im Vergleich zum vorherigen Durchgang anderen Merkmalsdimension übereinstimmte, öfter durch Fixationen zwischen Target und Referenzreiz verifiziert werden musste als ein Referenzreiz, auf dem sich die Übereinstimmungsdimension wiederholte. Diese Interpretation würde auch erklären, warum nach der ersten Fixation des gewählten Referenzreizes beim Wechsel mehr Zeit bis zum Tastendruck verging als bei einer Perseveration. Dieses Ergebnis ist von theoretischer Bedeutung für das Verständnis der Mechanismen des Aufmerksamkeitswechsels, insofern es zeigt, dass nicht nur die Suche nach einem passenden Referenzreiz, sondern auch die Verifikation der Übereinstimmung eines gefundenen Referenzreizes mit dem Target durch die vormals relevante und perseverierende Reizdimension beeinflusst wurde.

Der Unterschied zwischen Perseveration und Wechsel ging damit auf Effekte der Enkodierung und Übereinstimmungssuche zurück: Die Reize wurden auf der vormals relevanten

⁵⁵ Eine anschauliche Darstellung des zeitlichen Verlaufes der Fixationen befindet sich im Anhang B, Abschnitt 3. Ausgehend von der Visualisierungstechnik der *fixationmaps* (Wooding, 2002; Wooding et al., 2002) wurde eine Abfolge von Fixationslandschaften zu den Zeitbereichen der fünf oben aufgeführten Phasen der aktiven visuellen Verarbeitung erstellt.

Merkmalsdimension intensiviert *enkodiert* und die *Übereinstimmung* wurde intensiviert auf der vormals relevanten Dimension gesucht. Durchgänge *forcierter* und *freier* Perseveration führten infolgedessen zu einem effizienteren Blickverhalten als die entsprechenden Wechseldurchgänge, weil bei einer Perseveration der gewählte Referenzreiz früher gefunden wurde und bei einer Fixation auf diesen Reiz die Übereinstimmung zum Target schneller erkannt wurde als bei einem Wechsel. Diese Ergebnisse zeigen, dass die aktive visuelle Verarbeitung durch den Wechsel bzw. die Wiederholung von relevanten Merkmalsdimensionen beeinflusst wird und demonstrieren den Nutzen von Blickbewegungsmessungen für die Erforschung von Prozessen zum Aufgabenwechsel. Insbesondere die Dekomposition der Wechselkosten in die beiden Teilprozesse der visuellen Suchzeit und der Verarbeitungszeit wäre aufgrund von Reaktionszeitdaten allein nicht ohne weiteres möglich gewesen.

4.6 Der Einfluss dimensionsbasierter Aufmerksamkeit auf die aktive visuelle Verarbeitung

Sowohl die manuellen Reaktionen der Experimente 1 und 2 als auch die Blickbewegungsdaten der Experimente 2 und 3 stimmen mit dimensionsbasierten Theorien der visuellen Aufmerksamkeit (Müller et al., 1995; Wolfe et al., 2003) überein. Die Vorhersagen dieser Theorien wurden meist mithilfe von visuellen Suchexperimenten überprüft. Sowohl im *singleton-* oder *odd-one-out-*Paradigma der visuellen Suche als auch im Paradigma der vorliegenden Arbeit spielt die Wirkung einer zuvor relevanten Merkmalsdimension eine Rolle. Im Paradigma der vorliegenden Arbeit musste ein Referenzreiz gefunden werden, der in einer unbekanntem Merkmalsdimension mit einem simultan dargebotenen Target übereinstimmte. Beim *singleton-*Paradigma muss nach einem Reiz gesucht werden, der in einer unbekanntem Merkmalsdimension von allen anderen Reizen abweicht.

Dimensionsbasierte Theorien der Aufmerksamkeit postulieren einen Zusammenhang zwischen Salienz bzw. Gewichtung einer Dimension und vorheriger Relevanz sowie deren Einfluss auf die visuelle Verarbeitung.

Die Theorie der gesteuerten Suche (Wolfe et al., 1989; Wolfe & Gancarz, 1996) besagt, dass die Salienz von Objekten zunimmt, wenn sie dem Zielreiz in einem Merkmal ähneln. Darüber hinaus steigt die Salienz einer Merkmalsdimension, wenn diese zuvor relevant war (Müller & O'Grady, 2000; Wolfe et al., 2003). Im Salienzmodell von Itti und Koch (2000) wurde behauptet, dass die Salienzverteilung einer visuellen Szene die aktive visuelle Verarbeitung und damit den Blickpfad bestimmt. Hiernach werden die Objekte solan-

ge in einer durch ihre Salienz bestimmten Reihenfolge abgesucht, bis das Zielobjekt gefunden wurde (siehe Abschnitt 2.3.3.1).

Experiment 2 der vorliegenden Arbeit zeigte, dass die Fixationswahrscheinlichkeit eines Reizes zunahm, wenn sich die gesuchte Übereinstimmung auf einer vorher relevanten Merkmalsdimension befand. Dieses Ergebnis kann damit erklärt werden, dass die relative Gewichtung (im Sinne eines impliziten *top-down*-Signals, siehe Wolfe, 2003) einer Merkmalsdimension zunahm, wenn diese zuvor relevant war. Müllers Dimensionsgewichtungsansatz könnte auch erklären, warum bei einem Wechsel Target und Referenzreiz öfter fixiert wurden als bei einer Perseveration. Nach dieser Theorie werden vormals nicht relevante Merkmale in ihrer Gewichtung herabgesetzt (Müller & O'Grady, 2000). Diese Herabsetzung könnte eine Refixation des gewählten Referenzreizes und des Targets zur Folge haben, denn auf beiden Reizen müsste in Bezug auf die Merkmale der vormals irrelevanten Dimensionen bei einem Wechsel mehr Information gesammelt werden als bei einer Perseveration. Die wechselbedingten Refixationen deuten möglicherweise darauf hin, dass es bei einem Wechsel länger dauerte als bei einer Perseveration, die Repräsentation des Übereinstimmungsmerkmals aufzubauen. In der Leseforschung wurden Refixationen von schon gelesenen Material beobachtet, wenn der Satz schwer war oder vorher gelesenes Material falsch interpretiert wurde (Duffy et al., 1988). In diesem Sinne ist es denkbar, dass die Übereinstimmung zum Target bei der ersten Fixation des gewählten Referenzreizes während eines Wechsels verstärkt oder ausschließlich auf der falschen Merkmalsdimension gesucht wurde. Demzufolge wäre bei einem Wechsel während der ersten Fixation des gewählten Referenzreizes nicht hinreichend Information über das Übereinstimmungsmerkmal aufgenommen worden.

Anstelle der empirisch gemessenen Blickbewegungen hätten die Versuchspersonen jeden Reiz nur einmal fixieren können, um dann die Übereinstimmung im Gedächtnis zu suchen. Die gemessenen Daten stehen jedoch in Übereinstimmung mit einer Studie von Ballard et al. (1995), in der gezeigt wurde, dass Blickbewegungen eingesetzt werden, um das Gedächtnis zu entlasten. Eine interessante Frage in diesem Zusammenhang ist, in welcher Form Fixationen zum Aufbau einer Repräsentation beitragen. Wenngleich aktuelle Tierstudien darauf hindeuten, dass Repräsentationen zwischen den Fixationen aufrechterhalten und mit jeder neuen Fixation komplettiert werden (Khayat et al., 2004), bleibt die Frage nach der transakkadischen Integration anhand der Daten der Experimente 2 und 3 offen. Möglich ist, dass die Repräsentation der Übereinstimmungsdimension entweder mit

jeder Fixation kontinuierlich erweitert wurde oder im Sinne einer ‚just-in-time‘-strategy, (Ballard et al. 1995) erst mit der Fixation vor der Reaktion aufgebaut wurde.

4.7 Die Dynamik der Abschirmung

Mit dem Experiment 3 wurde die *Dynamik der Abschirmung* vor irrelevanten Reizmerkmalen bei Perseveration und Wechsel untersucht. Im Gegensatz zu den vorhergehenden Experimenten unterschieden sich die Reize nicht in drei, sondern in sechs Merkmalsdimensionen, wobei drei Merkmalsdimensionen jeweils eine Merkmalsklasse bildeten (Symbole und Hintergrund). Ein instruktiver Hinweisreiz gab an, welche Merkmalsklasse beachtet werden sollte. Es war einfacher, den zum Target übereinstimmenden Referenzreiz innerhalb der Merkmalsklasse Symbole zu finden als innerhalb der Merkmalsklasse Hintergrund. Im Einzelnen brauchten die Versuchspersonen für die Suche innerhalb der Klasse Hintergrund (Schraffur, Ecke, Balken) doppelt so lange wie innerhalb der Klasse Symbole (Form, Farbe, Anzahl).

Dieser Reaktionszeitunterschied zeigt, dass die Merkmalsdimensionen der Klasse Symbole leichter zu verarbeiten waren und/oder stärker die Aufmerksamkeit auf sich zogen als die Merkmalsdimensionen der Klasse Hintergrund. Dies spiegelte sich auch in einem asymmetrischen *stroopartigen* Interferenzeffekt: Sollten die Probanden eine Übereinstimmung zwischen Target und Referenzreiz in Bezug auf die Merkmalsklasse Hintergrund suchen, wurden sie stärker durch die irrelevanten Symbole abgelenkt als im umgekehrten Fall.

Dieser *stroopartige* Einfluss der Merkmale der Klasse Symbole war bei einem Wechsel innerhalb der Merkmalsklasse Hintergrund ausgeprägter als bei einer Perseveration.

Mit Hilfe der Blickbewegungsmessungen konnte gezeigt werden, dass es sich dabei nicht um eine manuelle Verzögerung, sondern um einen Aufmerksamkeitseffekt handelte. In Durchgängen, in denen die Merkmalsdimension gewechselt wurde, kam es bei der Klasse Hintergrund mit höherer Wahrscheinlichkeit zu einer Fixation eines Referenzreizes, der in einem irrelevanten Merkmal mit dem Target übereinstimmte. Dieser Befund spiegelt wider, dass die Dimensionswechselkosten anstiegen, weil die Merkmalsdimensionen der Klasse Symbole, die vormals relevant waren, aktuell aber irrelevant, verstärkt Aufmerksamkeit auf sich lenkten. Das System wurde also im Moment des Wechsels anfälliger für irrelevante Informationen.

Wenngleich der Einfluss der Kompatibilität auf die Wechselkosten sowohl empirisch erforscht, als auch theoretisch beschrieben wurde (siehe Goschke, 2000; Meiran, 2000),

können diese Ansätze den Befund aus Experiment 3 nicht erklären. So fallen die Reaktionszeitkosten reaktionsinkompatibler Reize beim Wechseln höher aus als die Wechselkosten reaktionskompatibler Reize. Dieser Effekt wurde damit erklärt, dass ein vormals relevantes Task-Set perseveriert, was während einer Aufgabenwiederholung hilft und bei einem Aufgabenwechsel schadet, d.h. es kommt bei einem Wechsel mit inkompatiblen Reizen zur Aktivierung konkurrierender Reaktionstendenzen. Aus der Perspektive der TSI (siehe Abschnitt 2.1.1) sollte es aber im Experiment 3 der vorliegenden Arbeit bei einer Perseveration der Merkmalsdimension zur gleichen proaktiven Interferenz durch Merkmale der aktuell irrelevanten Merkmalsklasse kommen wie bei einem Wechsel. Auch aus dem Blickwinkel von Rekonfigurationsansätzen (siehe Abschnitt 2.1.2) sollte sich der Rekonfigurationsaufwand von inkongruenten und kongruenten Wechseln nicht unterscheiden. Die Ergebnisse sprechen stattdessen für die hier vorgestellte Hypothese, dass das kognitive System bei einem Wechsel generell anfälliger für interferierende Informationen (hier irrelevante Merkmale) wird.

Aus der Perspektive des Kontrolldilemmata-Ansatzes (Goschke, 2000) scheint diese Interpretation plausibel. In diesem Ansatz wurde behauptet, dass Distraktibilität und Stabilität invers zusammenhängen, d.h. je stärker die Abschirmung eines aktuellen Ziels oder Task-Sets ist und je stärker die Aufmerksamkeit auf die aktuell relevante Reizdimension fokussiert wird, desto weniger ablenkbar sollte das kognitive System sein. Je schwächer umgekehrt die Abschirmung ist, desto ablenkbarer sollte ein System sein. Nach dieser Argumentation wäre die *stroopartige* Interferenz während eines Merkmalsdimensionswechsels größer als bei einer Perseveration, weil sich Wechseldurchgänge im Vergleich zu Perseverationsdurchgängen durch eine schwächere Abschirmung gegenüber Distraktoren und irrelevanten Merkmalen auszeichnen.

Diese Interpretation wirft ein neues Licht auf die Ergebnisse eines Telexperimentes der klassischen Arbeit von Allport (1994, Experiment 4) zum Aufgabenwechsel. Hier sollten die Versuchspersonen auf Zahlengruppen und farbige Wörter eine von zwei möglichen Aufgaben ausführen. Die Aufgaben unterschieden sich in der Dominanz, d.h. es war leichter Worte zu lesen und Ziffern zu nennen als Wortfarben zu nennen und die Anzahl der Zahlengruppe zu nennen. Mit den Zahlengruppen oder den farbigen Wörtern wurde blockweise eine dominante (Wörter lesen/Ziffern nennen) oder nicht dominante Aufgabe (Farbe nennen/Gruppenanzahl nennen) ausgeführt. Die Reaktionszeiten der Blöcke, in denen zwischen den Aufgaben gewechselt wurde, waren erhöht, wenn im Block zuvor die aktuell relevante Merkmalsdimension irrelevant war. In Übereinstimmung mit der Hypothese der

Aufgabenträgheit war dieser Effekt bei der dominanten Aufgabe ausgeprägter als bei der nichtdominanten (siehe Abschnitt 2.1.1.3). Blöcke, in denen nur eine Aufgabe ausgeführt wurde, unterschieden sich jedoch nicht in den Reaktionszeiten, unabhängig davon, ob in diesen Blöcken die relevanten Merkmalsdimensionen zuvor irrelevant waren oder nicht. Scheinbar regte nur der Wechsel zwischen den relevanten Merkmalsdimensionen eine Reaktivierung der aktuell irrelevanten Merkmalsdimensionen an.

Aus der theoretischen Perspektive der vorliegenden Arbeit, kann dieser Befund (Allport (1994, Experiment 4) auch so interpretiert werden, dass die Distraktibilität gegenüber irrelevanten Informationen während eines Wechsels größer war als bei einer Wiederholung, d.h. die Versuchspersonen waren im Moment des Wechsels besonders störanfällig für ablenkende Reizmerkmale.

Ein weiteres Ergebnis des Experimentes 3 betraf die Debatte über die asymmetrischen Wechselkosten (siehe Abschnitt 2.1.1.3). Hier war der Wechsel zwischen den Merkmalsklassen von besonderem Interesse. In der Theorie der Aufgabenträgheit wurde behauptet, dass ein Wechsel von einer schweren zu einer leichten Aufgabe zu größeren Wechselkosten führt als ein Wechsel in die Gegenrichtung. In einigen Bereichen, wie dem bilingualen Wechsel zwischen der Muttersprache und einer Fremdsprache konnte diese Vorhersage bestätigt werden (Meuter & Allport, 1994). Dennoch zeigten aktuelle Arbeiten (Yeung & Monsell, 2003), dass diese Wechselkostenasymmetrie nicht in allen Bereichen zu finden ist. In Übereinstimmung mit diesen Befunden zeigte Experiment 3 der vorliegenden Arbeit, dass sich die Kosten des Wechsels von der Klasse Hintergrund auf die Klasse Symbole nicht von den Kosten des Wechsels der Klasse Symbole auf die Klasse Hintergrund unterschieden, wenngleich sich beide Klassen in den absoluten Reaktionszeiten stark unterschieden. Auch Gilbert und Shallice (2002) zeigten mit Hilfe einer neuronalen Netz-Simulation, dass die Wechselkostenasymmetrie nicht die Regel, sondern ein besonderer Fall ist, der von spezifischen Randbedingungen abhängt.

4.7.1 Erhöhte Distraktibilität beim Dimensionswechsel

An dieser Stelle möchte ich einige Überlegungen zu möglichen Detailprozessen diskutieren. Wenngleich diese Überlegungen spekulativ sind, können sie durch Folgeexperimente überprüft werden. Ich argumentierte bei der Diskussion zu den Experimenten 1 und 2, dass die Wechselkosten und die Perseverationstendenz dadurch erklärt werden könnten, dass die Salienz einer Merkmalsdimension erhöht wird, wenn auf dieser im vorherigen Durchgang eine Übereinstimmung zwischen Referenzreiz und Target gefunden wurde. Im Ein-

zelen wurde angenommen, dass aufgrund dieser Salienzhöhung das Übereinstimmungsmerkmal im Falle einer Perseveration früher als bei einem Wechsel gefunden wird. Ich argumentierte ferner, dass ein Wechsel durch andere Prozesse gekennzeichnet ist als eine Perseveration. Darüber hinaus scheint die Salienzverteilung der Merkmale durch zufälliges Rauschen und/oder spontane Zerfallsprozesse beeinflusst zu werden, weil in ca. 1/3 aller Fälle gewechselt wurde, obwohl eine Perseverationsmöglichkeit vorhanden war (*freie Wahl-Durchgänge*).

Im Gegensatz zu den Experimenten 1 und 2 der vorliegenden Arbeit sollte im Experiment 3 jeweils eine Klasse aus drei Merkmalsdimensionen beachtet werden und alle acht Durchgänge wurde die relevante Klasse durch einen Hinweisreiz angekündigt. Meiran (2000) zufolge zeichnet sich eine Rekonfiguration bei einem instruierten Wechsel dadurch aus, dass diejenigen perzeptuellen Merkmale eines mehrdimensionalen Reizes intensiviert verarbeitet werden, die für die aktuelle Aufgabe durch eine vorangestellte Instruktion als relevant markiert wurden. Nach dieser Theorie wird ein Merkmal intensiviert verarbeitet, weil ein Hinweisreiz die relevanten Merkmale bahnt. Bezogen auf das Experiment 3 der vorliegenden Arbeit, würde dies bedeuten, dass die Übereinstimmung in den meisten Fällen korrekt innerhalb der vorgegebenen Merkmalsklasse gesucht wurde, weil alle relevanten Merkmale intensiver als die irrelevanten verarbeitet wurden. In den Experimenten 1, 2 und 3 bahnte in diesem Sinne die zuvor gefundene Übereinstimmung die Verarbeitung der Merkmale im aktuellen Durchgang.

Eines der Hauptergebnisse des dritten Experimentes bestand darin, dass bei einem Dimensionswechsel der Klasse Hintergrund die Merkmale der Klasse Symbole bei der Suche eines zum Target übereinstimmenden Referenzreizes mehr als bei einer Perseveration ablenkten. Ich ging davon aus, dass die Übereinstimmungsdimension des vorherigen Durchgangs in variabler Stärke aktiv aufrechterhalten wurde, was dazu führte, dass eine Übereinstimmung in nur 1/3 aller Durchgänge auf der wechselnden Merkmalsdimension gefunden wurde, obwohl eine Perseverationsmöglichkeit existierte. So scheint es plausibel, dass in Wechseldurchgängen die Repräsentationsstärke der Perseverationsdimension während oder vor dem Durchgang abnahm.

In diesen Durchgängen setzte sich das Merkmal der wechselnden Dimension gegenüber der Perseverationsdimension durch. Anderenfalls wäre es im Experiment 3 in den Durchgängen 2 bis 4 eines Durchlaufes zu einer vollständigen Perseveration ($P = 1$) gekommen und in den Experimenten 1 und 2 wären die Übereinstimmungen zwischen Target und Referenzreiz bei *forcierten* Wechseldurchgängen nicht gefunden worden bzw. die Fehler-

raten dieser Durchgänge oder deren Reaktionszeiten wären extrem hoch, was nicht der Fall war.

Es ist denkbar, dass mit Beginn oder im Verlauf eines Wechseldurchganges die Repräsentationsstärke der Übereinstimmungsdimension des vorherigen Durchganges abnahm. Wenn wir uns die Stärke der Salienzwerte der Merkmalsdimensionen als eine Hierarchie vorstellen, könnte die Folge davon sein, dass in Wechseldurchgängen diese Hierarchie bei der relevanten Klasse flacher wäre als in Perseverationsdurchgängen. Ausgehend von diesen Überlegungen könnte der wechselabhängige Kompatibilitätsunterschied zwischen den Klassen Symbole und Hintergrund durch zwei Faktoren erklärt werden. A) Es gab zwischen den Merkmalsklassen a priori einen Salienzunterschied, was daran zu sehen ist, dass die Übereinstimmung zwischen Referenzreiz und Target schneller innerhalb der Klasse Symbole als innerhalb der Klasse Hintergrund gefunden wurde. B) Wechseldurchgänge gingen damit einher, dass die Salienzhierarchie zwischen den Merkmalsdimensionen flacher war als in Perseverationsdurchgängen.

Bei der Klasse Hintergrund würde eine in Wechseldurchgängen verringerte Repräsentationsstärke der vorherigen Übereinstimmungsdimension dazu führen, dass die Merkmale der Klasse Symbole relativ zu den Perseverationsdurchgängen mehr Aufmerksamkeit auf sich zogen. Dieser Zusammenhang könnte erklären, wieso die Merkmale der Klasse Symbole während eines Dimensionswechsels der Klasse Hintergrund häufiger betrachtet wurden als bei einer Perseveration. Es kam deshalb nicht bei der Merkmalsklasse Symbole, aber bei der Merkmalsklasse Hintergrund zu einer wechselspezifisch verstärkten *stroopartigen* Interferenz, weil die Merkmalsdimensionen der Klasse Symbole a priori leichter zu verarbeiten waren. Wären die Merkmalsdimensionen der Klassen in der Salienz ähnlicher, würde bei beiden eine *stroopartig* wechselspezifisch verstärkte Interferenz auftreten. Diese Erklärung ist zwar spekulativ, könnte aber leicht mit einem Experiment überprüft werden, indem man gleich saliente Merkmalsklassen verwendet⁵⁶.

Darüber hinaus könnte der wechselbedingte Kompatibilitätseffekt des Experimentes 3 durch einen zusätzlichen Mechanismus mitbedingt sein. Es ist denkbar, dass in den Wech-

⁵⁶ Eine Alternativerklärung besteht darin, dass sich der Moment des Wechsels nicht durch eine verstärkte Ablenkbarkeit kennzeichnet, sondern dass umgekehrt eine Ablenkung einen Wechsel auslöst. Diese Erklärung kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, aber gegen sie spricht, dass sich die Wechselwahrscheinlichkeit der Durchgänge mit größerem Ablenkungspotential (*inkompatible Durchgänge*) nicht von der Wechselwahrscheinlichkeit der Durchgänge mit geringem Ablenkungspotential (*angenommen kompatible Wahlen*) unterschied.

seldurchgängen die Repräsentation einer gesamten Merkmalsklasse abnahm. Dies könnte bspw. dadurch geschehen, dass die Versuchspersonen in einigen Durchgängen vergaßen, ob sie auf den Hintergrund oder auf die Symbole reagieren sollten. Wenn die relevante Merkmalsklasse vergessen wurde, aber nicht, dass eine Übereinstimmung gefunden werden muss, dann sollte die Betrachtung eines zum Target übereinstimmenden Referenzreizes zu einer Reaktion führen, unabhängig davon, ob das betrachtete Merkmal aktuell relevant ist oder nicht.

Für diese Erklärung spricht, dass bei der Merkmalsklasse Hintergrund in 14% aller Durchgänge fälschlicherweise auf ein Merkmal der Klasse Symbole reagiert wurde. Dennoch wäre es erklärungsbedürftig warum die Versuchspersonen in den meisten Durchgängen der Tendenz widerstanden, auf eine fixierte irrelevante Übereinstimmung zwischen Distraktor und Target zu reagieren. Genau dieser Befund deutet darauf hin, dass es sich hierbei nicht um ein alles oder nichts Prinzip – im Sinne von vergessen oder erinnern – handeln kann, sondern um einen graduellen Prozess, der darin besteht, dass die Repräsentationsstärke der relevanten Merkmalsklasse variierte.

Eine andere Frage besteht darin, ob der wechselbedingte Inkompatibilitätseffekt entweder durch die Aufrechterhaltung der vormals relevanten Merkmalsdimensionen und/oder der gesamten Merkmalsklasse zu Stande kam. Wir können davon ausgehen, dass eine Merkmalsklasse (Symbole, Hintergrund) abstrakter ist als eine Merkmalsdimension (bspw. Form oder Textur). Tierstudien und Simulationen zum WCST legen nahe, dass verschiedene Abstraktionsgrade getrennt repräsentiert werden. So zeigten Dias et al. (1996) mit Hilfe einer WCST-Variante, dass Wechsel zwischen Ausprägungen innerhalb einer Merkmalsdimension durch orbitofrontale Läsionen beeinträchtigt wurden und der Wechsel zwischen ganzen Merkmalsdimensionen durch dorsolaterale Läsionen. O'Reilly (2002) zur Folge, werden durch diese PFC-Regionen unterschiedliche Abstraktionsgrade repräsentiert (siehe Abschnitt 2.2.3). Ob der wechselbedingte Inkompatibilitätseffekt des dritten Experimentes der vorliegenden Arbeit durch die Aufrechterhaltung einer vormals relevanten Merkmalsdimensionen oder der gesamten Merkmalsklasse zu Stande kam, könnte aber leicht durch ein weiteres Experiment entschieden werden.

Bei einem Wechsel zu einer Merkmalsklasse B könnten kompatible und inkompatible Reize dargeboten werden, die in einem Merkmal der zuvor relevanten Klasse A mit dem Target übereinstimmen. In einer 1.Bedingung sollte dieses Merkmal zuvor ein Übereinstimmungsmerkmal gewesen sein und in einer 2.Bedingung sollte dieses Merkmal nie zuvor ein Übereinstimmungsmerkmal gewesen sein. Wenn die gesamte

Merkmalsklasse aufrechterhalten wurde, sollten sich beide Bedingungen 1 und 2 nicht unterscheiden.

4.8 Simulation

Ich werde im Folgenden eine konnektionistische Architektur vorstellen, deren Ziel es war aufzuzeigen, dass eine dimensionsbasierte Modulation der Reizrepräsentation hinreichend ist, das Muster der manuellen Reaktionen von Experiment 1 und 2 zu modellieren. Als Simulationssoftware wurde PDP++ und das Programmpaket Leabra++ (O'Reilly et al., 1995) verwendet.

Simuliert wurden im Einzelnen die Reaktionszeiten und Häufigkeiten von jeweils 400 Durchgängen 22 künstlicher *Versuchspersonen*. Die Reizdarbietung, d.h. die Zuweisung von Merkmalsdimensionen und Dimensionsausprägungen der Einzelreize war identisch mit Experiment 1 und 2, so dass Übereinstimmungsort, Art der Wahl (*frei vs. forciert*) dem Netz randomisiert dargeboten wurden (für Details der Reizdarbietung siehe Experiment 1).

Es handelt sich bei dem vorliegenden Modell um ein sogenanntes *simplified model*, d.h. die angenommenen kognitiven Komponenten und Prozesse, wie bspw. das Arbeitsgedächtnis und dessen Dynamik, wurden stark vereinfacht durch einige wenige Neurone repräsentiert. Ferner wurde vereinfacht davon ausgegangen, dass eine frühe visuelle Verarbeitung bereits stattgefunden hat. Dargeboten wurden demzufolge nur die binärkodierte Dimensionsausprägungen der Reize (beispielsweise repräsentierte der Binärvektor 001 100 010 ein grünes Dreieck). Ähnlich wie die im Abschnitt 2.2.3 besprochenen neuronalen Netze zum WCST (und dessen Varianten), besteht das vorliegende Modell aus einer Ein- und Ausgabeschicht sowie dazwischen liegenden Verarbeitungsschichten, sog. *hidden layers* (siehe Abbildung 4-1). Ich werde im Folgenden die Netzarchitektur und insbesondere die Projektionen zwischen den und innerhalb der Schichten genauer beschreiben.

4.8.1 Architektur

Das Modell besteht aus 9 Schichten (siehe Abbildung 4-1), wobei jede Schicht einen bestimmten Schritt in der angenommenen Verarbeitungshierarchie darstellt. Die vorgestellte Netzarchitektur besteht aus folgenden *feed-forward* und *feed-backward* Projektion zwischen den Schichten.

Feed-forward. Die Eingabeschichten (*iReference*, *iTarget*) enthalten in jedem Durchgang die Informationen über das Reizdisplay in Form eines Eingabevektors. Im Einzelnen

steht jedes Neuron der Eingabeschicht für eine Dimensionsausprägung (4) einer Merkmalsdimension (3) jedes Referenzreizes (3). Repräsentiert werden die drei Referenzreize in einer gemeinsamen (*iReference* = 36 Neurone) und das Target in einer separaten Schicht (*iTarget* = 12 Neurone). Die Aktivierungen der Eingabeschicht werden in jedem Durchgang durch den Eingabevektor festgelegt und unterliegen keiner Dynamik (*hard-clamped*). Die Inputschichten (*iReference*, *iTarget*) projizieren zu strukturgleichen Repräsentationsschichten (*rReference*, *rTarget*), die jedoch einer Aktivierungsdynamik unterliegen, auf die ich weiter unten genauer eingehen werde. Die Repräsentationsschichten projizieren weiter zu einer *Match*-Schicht, welche eine detaillierte Repräsentation einer gefundenen Übereinstimmung zum Target enthält, d.h. jedes Neuron reagiert sensitiv auf eine bestimmte Dimensionsausprägung (4) einer Merkmalsdimension (3) eines Referenzreizes (3), *Match*-Schicht = 36 Neurone. Die *Match*-Schicht projiziert weiter zu einer *Dim*-Schicht, welche eine abstraktere Repräsentation der Übereinstimmungsdimension enthält, d.h. die Übereinstimmungsdimension wird unabhängig vom Ort und der Merkmalsausprägung repräsentiert. Die *Dim*-Schicht projiziert zu einer *PFC*-Schicht⁵⁷, welche strukturgleich mit dieser ist, jedoch eine andere Aktivierungsdynamik besitzt. Im Unterschied zur *Dim*-Schicht kann die *PFC*-Schicht erst am Ende eines Durchganges in ihrer Aktivierung beeinflusst werden. Die *Match*-Schicht projiziert ferner zur Ausgabeschicht (*Response*). Die Ausgabeschicht repräsentiert den Ort desjenigen Referenzreizes, der zum Target übereinstimmend identifiziert wurde. Die *Response*-Schicht besteht aus drei Neuronen, welche die räumlichen Positionen (links, Mitte, rechts) der gefundenen Übereinstimmung zum Target repräsentieren, d.h. die Übereinstimmungsposition wird unabhängig von der Dimension und der Merkmalsausprägung repräsentiert.

Feed-backward. Der Einfluss räumlicher Aufmerksamkeit wurde durch eine *Eye*-Schicht implementiert. Mit Hilfe dieser Schicht wurde ein serielles Absuchen der Reize im Sinne von Fixationen auf den entsprechenden Einzelreiz simuliert. Jedes Neuron dieser Schicht repräsentiert eine Position im oberen Reizdisplay, d.h. einen Referenzreiz. Die *Eye*-Schicht moduliert die Aktivierungen der Repräsentationsschichten. Ferner werden Aktivierungen der Repräsentationsschichten durch den Einfluss dimensionsbasierter Aufmerksamkeit in Form einer feed-backward Projektion der *PFC*-Schicht moduliert.

⁵⁷ Die Bezeichnung *PFC*-Schicht soll andeuten, dass mit dieser Schicht einige Funktionseigenschaften des präfrontalen Kortex, wie die aktive Aufrechterhaltung von Repräsentationen, simuliert wurden.

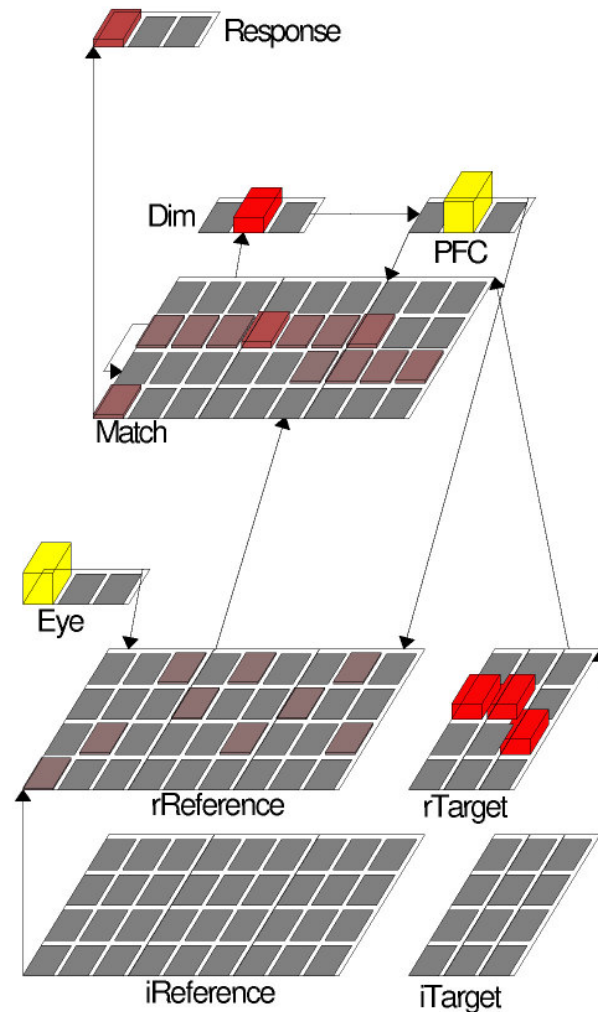


Abbildung 4-1: Neuronales Netz zur Modellierung der manuellen Reaktionen mit Eingabeschichten (*iReference*, *iTarget*), Ausgabeschicht (*Response*) und dazwischen liegenden verdeckten Schichten (*rReference*, *rTarget*, *Eye*, *Match*, *Dim*, *PFC*), für Details siehe Text.

4.8.2 Durchgänge und Versuchspersonen

Jeder simulierte Durchgang bestand aus einer Abfolge von Iterationen (cycles)⁵⁸ bis zu einem zuvor festgelegten Abbruchkriterium. Das Abbruchkriterium für einen Durchgang bestand darin, dass die resultierenden Aktivierungen iterativ so oft durch das Netz propagiert wurden, bis ein Neuron in der Ausgabeschicht (*Response*) überschwellig⁵⁹ aktiviert wurde.

⁵⁸ Eine Iteration (*cycle*) umfasst einen Berechnungsschritt, in dem alle eingehenden Aktivierungen eines Neurons gewichtet und aufsummiert werden und anschließend durch eine sigmoide Aktivierungsfunktion in eine resultierende Aktivierung umgewandelt werden (für eine detailliertere Einführung siehe (O'Reilly et al., 1995)).

⁵⁹ Die Aktivierung konnte Werte von 0 bis 1 annehmen und die Schwelle wurde auf $act > .5$ gesetzt.

Die Unterschiede zwischen den simulierten *Versuchspersonen* wurden modelliert, indem die Gewichte der weiter unten beschriebenen Projektionen (d.h. der rezeptiven Felder der Neurone) für jede Versuchsperson mit einer Zufallsvarianz neu zugewiesen wurden⁶⁰.

4.8.3 Rezeptive Felder und Aktivierungsdynamik

Die im Folgenden beschriebene Netzarchitektur ist vor allem eine Umsetzung der Idee, dass die Reizrepräsentation durch dimensionsbasierte Aufmerksamkeit moduliert werden kann, d.h. eine zuvor relevante Merkmalsdimension bahnt die Verarbeitung der Reize in einem aktuellen Durchgang. In der vorliegenden Simulation ist dieser Mechanismus so implementiert, dass einzelne Neurone einer *PFC*-Schicht die Merkmalsdimension aufrechterhalten, auf der zuvor zwischen Referenzreiz und Target eine Übereinstimmung gefunden wurde.

Die *PFC-Schicht* erhält am Ende jedes Durchganges eine Kopie der Aktivierung der strukturgleichen *Dim*-Schicht, welche mit einer *Match*-Schicht verbunden ist. Entsprechend der Aufgabeninstruktion, dass nur ein Referenzreiz gefunden werden sollte, der in einer Merkmalsdimension mit dem Target übereinstimmt, konnte durch laterale Inhibition innerhalb der *Match*-Schicht nur ein Neuron aktiv werden⁶¹, selbst wenn es gleichzeitig zwei Antwortalternativen gab. Die Neurone der *Dim*-Schicht bildeten mit den Neuronen der *Match*-Schicht derart rezeptive Felder⁶², dass die *Dim*-Schicht eine Repräsentation einer gefundenen Übereinstimmungsdimension enthielt, welche räumlich und in Bezug auf die Dimensionsausprägung invariant war.

Die *Match-Schicht* erhielt eingehende Projektionen aus den Repräsentationsschichten der Reize (*rReference*, *rTarget*), welche eine eins-zu-eins Kopie der Eingabeschichten darstellten.

Die *Match-Schicht* entsprach Amos` (2000) Idee des *Feature-Matching-Modul* (siehe Abschnitt 2.2.3). Ein Neuron der *Match-Schicht* wurde dann überschwellig aktiv, wenn ein Referenzreiz in einer Merkmalsdimension mit dem Target übereinstimmte. Jedes Neuron der *Match-Schicht* bildete mit den Neuronen der Repräsentationsschichten der Reize dergestalt rezeptive Felder, dass ein gleichzeitiges Vorhandensein einer spezifischen Ausprägung einer Merkmalsdimension von Referenzreiz und Target ein bestimmtes Neuron akti-

⁶⁰ Die rezeptiven Felder der Neurone wurden *per Hand* zugewiesen. Die Gewichtsstärke $w(i,j)$ betrug 0.5 und die Zufallsvarianz $\text{var}(w_{i,j})$ betrug 0.025, wobei diese Zufallsvarianz jede Epoche, d.h. bei simulierten Versuchsperson, erneut zu den Gewichten addiert wurde.

⁶¹ k-Winner-Takes-all: kWTA, mit $k=1$

vierten. Die *Match*-Schicht führte ausgehende Projektionen zur *Response*-Schicht, deren receptive Felder so ausgebildet waren, dass deren Neurone durch die räumliche Position einer Übereinstimmung in der *Match*-Schicht aktiviert wurden. Die Repräsentation des Übereinstimmungsortes in der *Response*-Schicht war invariant gegenüber der Merkmalsdimension und der Dimensionsausprägung.

Die Repräsentationsschichten (rReference, rTarget) sind auf konzeptioneller Ebene der Idee der Merkmalskarten der *Feature Integration Theory* von Treisman und Gelade, (1980) bzw. den Merkmalskanälen (*channels*) der *Guided Search* von Wolfe (2001) entlehnt. Auf physiologischer Ebene entsprechen die Repräsentationsschichten am ehesten höheren visuellen Arealen, bspw. V4. Im Gegensatz zu den Eingabeschichten wurden die Aktivierungen der Repräsentationsschichten der Reize durch räumliche und dimensionsbasierte Aufmerksamkeit wie folgt moduliert. Wie die Ergebnisse aus den Experimenten 1 und 2 zeigten, kam es zu einer bahnbildenden Beeinflussung durch die vormals relevante Merkmalsdimension. In der vorliegenden Simulation bildete die *PFC*-Schicht zu den Repräsentationsschichten der Reize dergestalt receptive Felder, dass eine Aktivierung eines *PFC*-Neurons alle Dimensionsausprägungen der entsprechenden Merkmalsdimension voraktivierten. Wenn in der *PFC*-Schicht beispielsweise das Farb-Neuron aktiv war, dann hatten alle Farben in den Repräsentationsschichten der Reize einen relativen Aktivationsvorteil gegenüber allen Form- und Anzahl-Neuronen. Darüber hinaus wurde die Repräsentationsschicht der Referenzreize (rReference) über die eingehenden Projektionen einer *Eye*-Schicht durch räumliche Aufmerksamkeit moduliert.

In der *Eye*-Schicht wurde während eines Durchganges über 30 Iterationszyklen (das simuliert in etwa die Dauer einer Fixation) zufällig ein Links, Mitte oder Rechts –Neuron aktiviert. Wie im Abschnitt 2.3.3 beschrieben, wurde in einigen Modellen davon ausgegangen, dass ein einmal fixierter Reiz durch einen IOR-Mechanismus an Salienz verliert, wodurch ein anderer Reiz Aufmerksamkeit auf sich ziehen kann. Dieser Logik folgend konnte nach 30 Iterationszyklen das zuvor aktive Neuron der *Eye*-Schicht für die nächsten 30 Iterationszyklen nicht mehr aktiv werden und es wurde zufällig ein anderes Neuron der *Eye*-Schicht aktiviert⁶³.

⁶³ In vorab getesteten Architekturen, in denen alle Reize ohne räumliche Aufmerksamkeit verarbeitet wurden, führten diese zwar zu vorhersagekonformen Unterschieden zwischen Perseveration und Wechsel in Häufigkeiten und Reaktionszeiten, aber anders als bei den Humandaten (Experiment 1 und 2) führten die *forcierte* Wahl-Durchgänge im Mittel zu kürzeren Reaktionszeiten als die *freie* Wahl-Durchgänge. Dieser Widerspruch konnte durch die Einbeziehung von räumlicher Aufmerksamkeit gelöst werden. Denn im Gegensatz zu den *forcierte* Wahl-Durchgängen stimmen bei *freie* Wahl-Durchgängen immer zwei verschiedene Referenzreize mit dem Target überein. Ohne räumliche Aufmerksamkeit führt das zu einem Reaktionskonflikt und mit räumlicher Aufmerksamkeit entsteht kein Konflikt. Das zufällige *Betrachten* einer räumlichen

Zusammengefasst wurden die Aktivationen der Reizrepräsentationsschichten durch räumliche und dimensionsbasierte Aufmerksamkeit beeinflusst. Diese räumlich und dimensionsbasierte Modulation der Einzelreizrepräsentationsschichten steht in Übereinstimmung mit der ‚competition-bias‘-Hypothese (Desimone, 1998). Diese besagt, dass Objekte und deren Merkmalsdimensionen im visuellen System im Wettstreit darum stehen, repräsentiert zu werden. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass die Feuerrate farbsensitiver Neurone in V4 schon vor der Reizdarbietung steigt, wenn nach einem farbigen Reiz gesucht werden sollte.

Für einen gesamten Simulationsdurchgang bedeutet dies, dass die Referenzreize sukzessiv solange auf eine Übereinstimmung abgesucht werden, bis in der *Match*-Schicht ein überschwelliges Signal entsteht, das ausreichend ist, um ein Neuron in der *Match*-Schicht zu aktivieren. Während der Fokussierung eines Referenzreizes werden parallel die Dimensionsausprägungen der drei Merkmalsdimensionen verarbeitet, wobei jedoch durch den Einfluss der *PFC*-Schicht die Merkmalsdimensionen unterschiedlich gewichtet werden. Ein überschwelliges Signal in der *Response*-Schicht bricht diesen seriellen Suchvorgang ab.

4.8.4 Simulationsergebnisse

Mit den zugewiesenen rezeptiven Feldern konnte das Netz die Position des zum Target übereinstimmenden Referenzreizes korrekt identifizieren (Fehler < 1%). Das qualitative Muster der mittleren Reaktionszeiten (operationalisiert als Zahl der cycles bis zum Abbruch der Suche) und relativen Häufigkeiten aus den Experimenten 1 und 2 konnte durch sorgfältig ausgewählte Modellparameter repliziert werden.

Wechselkosten und Perseverationstendenz waren im Einzelnen eine Funktion der Projektionsstärke zwischen *PFC* und Referenzreizrepräsentationen, d.h. mit steigender Projektionsstärke nahmen die Wechselkosten und die Perseverationswahrscheinlichkeit zu. In Übereinstimmung mit meinen Annahmen war eine mittlere Projektionsstärke zwischen *PFC* und Referenzreizrepräsentationen entscheidend, um qualitative Muster der Ergebnisse der Experimente 1 und 2 zu reproduzieren⁶⁴.

Position erwies sich als hinreichend, um die Unterschiede zwischen den Wahlbedingungen zu simulieren. Um jedoch Missverständnissen vorzubeugen: Die vorliegende Simulation hat das Ziel, lediglich die Basiseffekte der Reaktionszeiten und Wahrscheinlichkeiten zu simulieren und nicht die Blickbewegungsergebnisse.

⁶⁴ Der relative Skalierungsparameter der Gewichte zwischen *PFC* und Referenzreizrepräsentation betrug $s_{avg} = 0.1$.

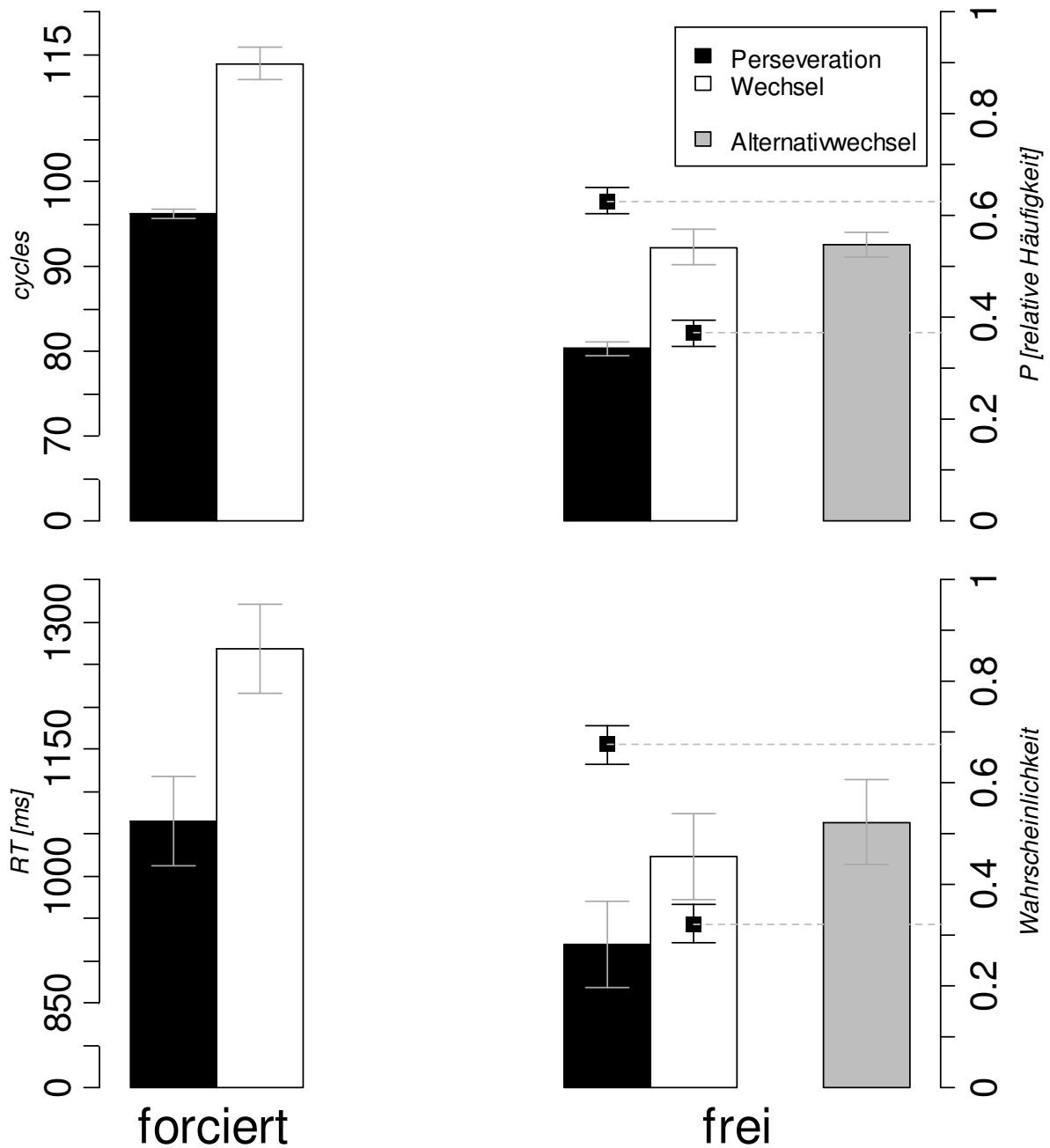


Abbildung 4-2: Oben: Simulation, unten: Humandaten Experiment 1. Durchschnittliche Anzahl der *cycles* bzw. der mittleren Reaktionszeit (Balken, Bezugsachse links) und Wahrscheinlichkeiten bei *freie* Wahl-Durchgängen (Quadrate, Bezugsachse rechts) getrennt nach *Art der Wahl* und *Übergang*. Fehlerbalken zeigen die 95% Konfidenzintervalle nach Loftus und Masson (1994).

Wie Abbildung 4-2 zeigt, spiegeln die Ergebnisse der Simulation (obere Teilabbildung) das Datenmuster von Häufigkeiten und Reaktionszeiten der Humandaten (untere Teilabbildung) wider. In ca. 2/3 aller Fälle wurde vom Netz die gleiche Übereinstimmungsdimension wie im vorherigen Durchgang gewählt, $P(\text{Pe}) = .67$, $t(21) = 18.86$, $p < .001$.

In beiden Wahlbedingungen war die mittlere Anzahl der *cycles* bei einer Perseveration geringer als bei einem Wechsel, *freie* Wahl: $F(2, 42) = 144.33$, $MSe = 11.21$, $p < .001$,

forcierte Wahl, $F(1, 21) = 288.37$, $MSe = 11.87$, $p < .001$. Bei *freie* Wahl unterschied sich die mittlere Anzahl der *cycles* beim *Wechsel* nicht signifikant von der des *Alternativwechsels*, $\Delta_{We-aWe} = -0.26$ ms, $p > .80$, wenngleich der Unterschied zwischen diesen beiden Bedingungen geringer war als in den Humandaten der Experimente 1 und 2⁶⁵.

4.9 Ausblick

Bevor ich auf mögliche Folgeexperimente eingehe, möchte ich die Hauptbefunde der vorliegenden Arbeit kurz zusammenfassen. Das in dieser Arbeit vorgestellte Paradigma ermöglichte es, Situationen zu untersuchen in denen die Versuchspersonen entweder zwei oder nur eine Reaktionsalternative zur Auswahl hatten. Die Ergebnisse zeigten, dass es auch dann zu Wechselkosten kam, wenn sowohl eine Perseveration als auch ein Wechsel der zuvor gewählten Merkmalsdimension (der Übereinstimmung zwischen Target und Referenzreiz) möglich waren. Damit konnte gezeigt werden, dass Wechselkosten auch in einem Paradigma ohne Hinweisreize entstehen. Ferner haben Aufmerksamkeitseinstellungen aus vorherigen Durchgängen einen bahrenden Effekt auf den Selektionsprozeß von verschiedenen Antwortalternativen. Die Ergebnisse erweitern damit nicht nur den Gültigkeitsbereich der Theorie der Aufgabenträgheit (siehe Abschnitt 2.1.1) um Situationen, in denen zwischen einer zuvor relevanten und nicht relevanten Merkmalsdimension gewählt werden kann, sondern spiegeln meiner Meinung nach zwei zentrale Organisationsprinzipien des kognitiven Systems wieder. Zum einen wurde eine zuvor erfolgreiche Strategie (die zuvor relevante Übereinstimmungsdimension) in ca. 2/3 aller Durchgänge *stabil* erneut angewandt und zum anderen wurde in ca. 1/3 aller Durchgänge mit zwei Reaktionsalternativen *flexibel* auf eine zuvor nicht relevante Übereinstimmungsdimension gewechselt.

Die Simulation (siehe Abschnitt 4.8) unterstützte die Hypothese, dass die in den Experimenten 1-3 gemessene Perseverationstendenz und die Wechselkosten durch eine intensivierte Enkodierung der zuvor relevanten Übereinstimmungsdimension hinreichend erklärt werden kann.

Die Blickbewegungsanalysen der Experimente 2 und 3 halfen, die Mikrostruktur des verwendeten Paradigmas aufzuklären. Sie zeigten, dass derjenige Referenzreiz verstärkt die Aufmerksamkeit auf sich lenkte, der eine Übereinstimmung zum Target in Bezug auf die zuvor relevante Merkmalsdimension enthielt.

⁶⁵ Im Einzelnen war der Unterschied zwischen den Bedingungen *aWe* und *We* im Experiment 1 nicht signifikant und in Experiment 2 signifikant.

Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass Aufmerksamkeitseinstellungen aus einem vorangehenden Durchgang schon auf einer frühen perzeptuellen Ebene die aktive visuelle Verarbeitung beeinflussen. Mit Hilfe der Blickbewegungsdaten gelang es ferner, die Wechselkosten in Such- und Verarbeitungszeit zu dekomponieren. Bei einer Perseveration war nicht nur die Zeit bis zur ersten Fixation des gewählten Referenzreizes sondern auch die Zeit *von* dieser Fixation bis zur Reaktion kürzer als bei einem Wechsel.

Mit dem Experiment 3 wurde die Dynamik der Abschirmung gegenüber irrelevanten Reizmerkmalen während Perseveration und Wechsel untersucht. Dabei zeigte sich, dass der Moment des Wechsels einer Merkmalsdimension durch eine geringere Abschirmung charakterisiert war als eine Wiederholung. Dies war insbesondere dann der Fall, wenn die irrelevanten Reizmerkmale, die intentional ausgeblendet werden sollen, einer leichten, d.h. einfach zu verarbeitenden Klasse von Merkmalsdimensionen angehörten. Neben den Reaktionszeiten wurde auch die aktive visuelle Verarbeitung durch die unterschiedliche Dynamik von Aufrechterhaltung und Abschirmung bei Perseveration und Wechsel beeinflusst, indem die irrelevanten Reize während eines Wechsels verstärkt die Aufmerksamkeit auf sich lenkten und fixiert wurden.

Die Ergebnisse demonstrieren, dass die Verwendung eines Aufgabenwechselfaradigmas mit zwei gleichzeitig richtigen Antwortalternativen einen wertvollen Beitrag zum Verständnis von wechselbezogenen Prozessen leisten kann. Die Analyse der Blickbewegungen öffnete hierbei ein Fenster in die Prozessdynamik während eines Durchgangs und erwies sich dadurch als besonders nützlich.

Es bedarf natürlich weiterer Studien, um die Allgemeingültigkeit bzw. Generalisierbarkeit der Ergebnisse dieser Arbeit zu untersuchen. Ich möchte deshalb nachstehend mögliche Folgeexperimente skizzieren.

Im verwendeten Paradigma dieser Arbeit blieb die Zuordnung von Tastendruck und Reizkonstellation konstant, d.h. jeder Tastendruck zeigte an, welche der Referenzreize eine Übereinstimmung mit dem Target hatte. Im menschlichen Alltag wechseln jedoch nicht nur Reizmerkmale sondern auch Regeln oder beides. Bei dem freien Aufgabenwechselfaradigma von Arrington und Logan (2004, 2005) blieb der Reiz (Ziffern) konstant und es sollte frei zwischen zwei Aufgaben gewählt werden. Die explizite Analyse der Aufgabenkomponenten (Merkmale, Regeln oder beides) ist nicht nur für die ökologische Validität und die Generalisierbarkeit von Interesse sondern auch aus theoretischen Überlegungen heraus.

Hübner et al (2001) argumentierten, dass der zu leistende Aufwand der attentionalen Kontrolle eines Wechsels umso größer sein sollte, je mehr Aufgabenkomponenten wechseln. Um diesen Überlegungen gerecht zu werden, könnte man das Paradigma der vorliegenden Arbeit so erweitern, dass nicht nur zwischen Reizmerkmalen sondern auch zwischen Regeln gewechselt werden kann. Beispielsweise könnten Reaktionen der linken Hand, wie bisher, die Position anzeigen an der sich ein Referenzreiz befindet, der mit dem Target in einem Merkmal übereinstimmt. Mit der rechten Hand könnte auf die Merkmalsdimension reagiert werden, welche zwischen Referenzreiz und Target übereinstimmt, indem jede Taste einer Merkmalsdimension zugeordnet wird. Der Wechsel zwischen den Regeln könnte *frei* oder *forciert* erfolgen. Mit diesem Experimentalaufbau könnten folgende Vorhersagen getestet werden. Ein Wechsel von Merkmal und Regel sollte aufwendiger sein als ein Wechsel von nur einer Aufgabenkomponente.

Mayr und Bell (2006) zufolge fördert ein Reizwechsel einen *freien* Regelwechsel. Wenn die Beziehung zwischen Reiz- und Regelwechsel bidirektional ist, könnte ein Regelwechsel mit einem Merkmalswechsel einhergehen. Anders formuliert: die Perseverationswahrscheinlichkeit sollte sinken, wenn die Regel gewechselt wird. Eine weitere Frage in diesem Zusammenhang wäre, ob es zu Aufmerksamkeitseffekten kommt, wenn nur die Regel und nicht das Merkmal gewechselt wird. Bei hinreichend langem Vorbereitungsintervall würde ich erwarten, dass ein Wechsel der Regel nicht dazu führt, dass die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes sinkt, wie es in den Experimenten 2 und 3 bei einem Dimensionswechsel der Fall war. Im Gegensatz dazu sollte bei kurzem Vorbereitungsintervall die Aktivierung der Regel noch nicht vollständig abgeschlossen sein, wenn das Reizdisplay erscheint. Die Fixation des gewählten Referenzreizes sollte in diesem Fall verzögert erfolgen, was dazu führen würde, dass die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes bei einem Regelwechsel geringer wäre als bei einer Regelwiederholung.

Jedoch auch andere Erweiterungen des Paradigmas wären von Interesse. Bei den Forschungsfragen zum Aufgabenwechselfparadigma wurden Zustände der Person wie Emotionen und Stress wenig erforscht. So zeigten Dreisbach und Goschke (2004), dass Wechselkosten durch positiven Affekt verringert werden können. Steinhäuser et al. (2007) zeigten, dass sich Versuchspersonen nicht mehr effektiv auf eine Aufgabe vorbereiten können, wenn sie zuvor eine stressinduzierende Aufgabe bearbeiten mussten. Wie die Auswirkungen von Stress und Emotionen auf die Wahl zwischen einer Perseverations – und Wechselmöglichkeit wären, wurde meines Wissens bisher nicht untersucht.

Ein von mir durchgeführtes Pilotexperiment (Mayer & Goschke, 2005) zeigte, dass beim Vorhandensein einer Perseverations- und Wechselmöglichkeit die Wechselkosten unter negativem Affekt größer waren als unter positivem oder neutralem Affekt. Wenngleich dieses Ergebnis vor dem Hintergrund, dass negativer Affekt zu Performanzeinbußen führt, plausibel scheint, bedarf es jedoch zusätzlicher Experimente, um die genauen Mechanismen besser zu verstehen.

Eine andere Frage wird von der vorliegenden Arbeit offen gelassen, nämlich ob *bestimmte* Reize *insbesondere* während eines freien Wechsels ablenken. Anders formuliert: Können wir uns gegen bestimmte Reize besser oder schlechter abschirmen, wenn wir einen Wechsel trotz Perseverationsmöglichkeit vollziehen? Aktuelle Arbeiten zu emotionalen Einflüssen beim Aufgabenwechsel haben gezeigt, dass zuvor dargebotene affektive Reize Fehlerrate und Kosten eines Aufgabenwechsels verändern (Dreisbach, & Goschke, 2004, Dreisbach, 2006). Der theoretische Hintergrund dieser Arbeiten bestand darin, dass angenommen wurde, dass Menschen unter positivem Affekt flexibler und kreativer wären.

Man kann jedoch auch umgekehrt fragen, ob affektive Reize während eines Wechsels besonders ablenken. Um diese Hypothese genauer zu untersuchen bzw. zu widerlegen, würde sich das Paradigma der vorliegenden Arbeit eignen. Während der Reizdarbietung könnte in der Bildschirmmitte ein Bild mit affektivem Gehalt gezeigt werden. Wenn es richtig ist, dass affektive Reize besonders bei einem Wechsel ablenken, sollten die Wechselkosten bei affektiven Bildern größer sein als bei neutralen Bildern und dieser Effekt sollte darauf zurückgehen, dass der affektive Reiz öfter und/oder länger fixiert würde.

Literaturverzeichnis

- Allport, D. A., Styles, E. A., & Hsieh, S. (1994). Shifting intentional set: exploring the dynamic control of tasks. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and Performance XV: Conscious and Nonconscious Information Processing* (pp. 421–452): MIT Press.
- Altmann, E. M., & Gray, W. D. (2002). Forgetting to remember: the functional relationship of decay and interference. *Psychol Sci*, *13*(1), 27-33.
- Amos, A. (2000). A computational model of information processing in the frontal cortex and basal ganglia. *J Cogn Neurosci*, *12*(3), 505-519.
- Anderson, S. W., Damasio, H., Jones, R. D., & Tranel, D. (1991). Wisconsin Card Sorting Test performance as a measure of frontal lobe damage. *J Clin Exp Neuropsychol*, *13*(6), 909-922.
- Arrington, C. M., & Logan, G. D. (2004). The cost of a voluntary task switch. *Psychol Sci*, *15*(9), 610-615.
- Arrington, C. M., & Logan, G. D. (2005). Voluntary task switching: chasing the elusive homunculus. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, *31*(4), 683-702.
- Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005a). Adaptive gain and the role of the locus coeruleus-norepinephrine system in optimal performance. *J Comp Neurol*, *493*(1), 99-110.
- Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005b). An integrative theory of locus coeruleus-norepinephrine function: adaptive gain and optimal performance. *Annu Rev Neurosci*, *28*, 403-450.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control of short-term memory. *Sci Am*, *225*(2), 82-90.
- Ballard, D. H., Hayhoe, M. M., & Pelz, J. B. (1995). Memory representations in natural tasks. *J Cogn Neurosci*, *7*(1), 66-88.
- Cohen, J. D., & Servan-Schreiber, D. (1993). A theory of dopamine function and its role in cognitive deficits in schizophrenia. *Schizophr Bull*, *19*(1), 85-104.
- Csikszentmihalyi, M., & LeFevre, J. (1989). Optimal experience in work and leisure. *J Pers Soc Psychol*, *56*(5), 815-822.
- Desimone, R. (1998). Visual attention mediated by biased competition in extrastriate visual cortex. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *353*(1373), 1245-1255.
- Dias, R., Robbins, T. W., & Roberts, A. C. (1996). Primate analogue of the Wisconsin Card Sorting Test: effects of excitotoxic lesions of the prefrontal cortex in the marmoset. *Behav Neurosci*, *110*(5), 872-886.
- Dreisbach, G., & Goschke, T. (2004). How positive affect modulates cognitive control: reduced perseveration at the cost of increased distractibility. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, *30*(2), 343-353.
- Dreisbach, G., Haider, H., & Kluwe, R. H. (2002). Preparatory processes in the task-switching paradigm: evidence from the use of probability cues. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, *28*(3), 468-483.
- Duffy, S. A., Morris, R. K., & Rayner, K. (1988). Lexical ambiguity and fixation times in reading. *Journal of Memory and Language*, *27*, 429-446.
- Findlay, J. M. (1997). Saccade target selection during visual search. *Vision Res*, *37*(5), 617-631.

- Findlay, J. M., & Walker, R. (1999). A model of saccade generation based on parallel processing and competitive inhibition. *Behav Brain Sci*, 22(4), 661-674; discussion 674-721.
- Forstmann, B. U., Brass, M., Koch, I., & von Cramon, D. Y. (2006). Voluntary selection of task sets revealed by functional magnetic resonance imaging. *J Cogn Neurosci*, 18(3), 388-398.
- Fuster, J. M. (1997). *The Prefrontal Cortex: Anatomy, physiology, and neuropsychology of the Frontal Lobe*. New York and Philadelphia: Lippincott-Raven.
- Gilbert, S. J. (2005). Does task-set reconfiguration create cognitive slack? *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 31(1), 92-100.
- Gilbert, S. J., & Shallice, T. (2002). Task switching: a PDP model. *Cognit Psychol*, 44(3), 297-337.
- Golding, C., Hodgson, T. L., & Kennard, C. (2001). Eye movements and set inhibition during a card sorting task. *J cogn Neurosci, (suppl.)*, 48.
- Goldman-Rakic, P. S. (1990). Cellular and circuit basis of working memory in prefrontal cortex of nonhuman primates. *Prog Brain Res*, 85, 325-335; discussion 335-326.
- Goschke, T. (1996). Gedächtnis und Emotion: Affektive Bedingungen des Einprägens, Behaltens und Vergessens. . In *Enzyklopädie der Psychologie Serie II, Band 4: Gedächtnis* (pp. 605-694). Göttingen: Hogrefe.
- Goschke, T. (2000). Involuntary persistence and intentional reconfiguration in task-set switching. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes* (pp. 331-355). Cambridge, MA: MIT Press.
- Goschke, T., & Kuhl, J. (1993). Representation of intentions: Persisting activation in memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 1211-1122.
- Hazy, T. E., Frank, M. J., & O'Reilly, R. C. (2006). Banishing the homunculus: making working memory work. *Neuroscience*, 139(1), 105-118.
- Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (1999). High-level scene perception. *Annu Rev Psychol*, 50, 243-271.
- Hodgson, T. L., Bajwa, A., Owen, A. M., & Kennard, C. (2000). The strategic control of gaze direction in the Tower-of-London task. *J Cogn Neurosci*, 12(5), 894-907.
- Hodgson, T. L., Golding, C., Molyva, D., Rosenthal, C. R., & Kennard, C. (2004). Reflexive, symbolic, and affective contributions to eye movements during task switching: response selection. *J Cogn Neurosci*, 16(2), 318-330.
- Hübner, R., Futterer, T., & Steinhauser, M. (2001). On attentional control as a source of residual shift costs: evidence from two-component task shifts. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 27(3), 640-653.
- Hunt, A. R., & Klein, R. M. (2002). Eliminating the cost of task set reconfiguration. *Mem Cognit*, 30(4), 529-539.
- Itti, L., & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Res*, 40(10-12), 1489-1506.
- Jersild, A. T. (1927). Mental set and shift. *Archives Psychol.*, 89.
- Joos, M., Rötting, M., & Velichkovsky, B. M. (2003). Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden und innovative Anwendungen. In T. Herrmann, S. Deutsch & G. Rickheit (Eds.), *Handbuch der Psycholinguistik*. Berlin/NY: De Gruyter.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: from eye fixations to comprehension. *Psychol Rev*, 87(4), 329-354.
- Khayat, P. S., Spekrijse, H., & Roelfsema, P. R. (2004). Correlates of transsaccadic integration in the primary visual cortex of the monkey. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 101(34), 12712-12717.

- Koch, C., & Ullman, S. (1985). Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry. *Hum Neurobiol*, 4(4), 219-227.
- Konishi, S., Chikazoe, J., Jimura, K., Tomoki Asari, & Miyashita, Y. (2005). Neural mechanism in anterior prefrontal cortex for inhibition of prolonged set interference. *PNAS*, 12(35), 12584-12588.
- Lhermitte, F. (1983). 'Utilization behaviour' and its relation to lesions of the frontal lobes. *Brain*, 106 (Pt 2), 237-255.
- Liversedge, S. P., & Findlay, J. M. (2000). Saccadic eye movements and cognition. *Trends Cogn Sci*, 4(1), 6-14.
- Loftus, G. R. (1985). Picture perception: effect of luminance level on available information and information extraction rate. *J. Exp. Psychol*, 114, 342-356.
- Loftus, G. R., & Masson, M. E. J. (1994). Using confidence intervals in within-subject designs. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 476-490.
- Logan, G. D. (2003). Executive control of thought and action: in search of the wild homunculus. *Current Directions in Psychological Science*, 12(2), 45-48(44).
- Logan, G. D., & Bundesen, C. (2003). Clever homunculus: is there an endogenous act of control in the explicit task-cuing procedure? *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 29(3), 575-599.
- Logan, G. D., & Bundesen, C. (2004). Very clever homunculus: compound stimulus strategies for the explicit task-cuing procedure. *Psychon Bull Rev*, 11(5), 832-840.
- Magnuson, J. S., Dahan, D., Allopenna, P. D., Tanenhaus, M. K., & Aslin, R. N. (1998). Using an artificial lexicon and eye movements to examine the development and microstructure of lexical dynamics. In M. A. Gernsbacher & S. J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Magnuson, J. S., Tanenhaus, M. K., Aslin, R. N., & Dahan, D. (2003). The time course of spoken word learning and recognition: studies with artificial lexicons. *J Exp Psychol Gen*, 132(2), 202-227.
- Mayer, R., & Goschke, T. (2005). Affective modulation of cognitive control in a dynamic categorization task. *Proceedings of 14th congress of the European Society for Cognitive Psychology*.
- Mayr, U., & Bell, T. (2006). On how to be unpredictable: evidence from the voluntary task-switching paradigm. *Psychol Sci*, 17(9), 774-780.
- McClelland, J. L., & Rumelhardt, D. E. (1986). *Parallel distributed processing (PDP) models: Explorations in the microstructure of cognition, Vol 2: Applications*. Cambridge MA: MIT Press.
- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 1423-1442.
- Meiran, N. (2000). Modeling cognitive control in task-switching. *Psychol Res*, 63(3-4), 234-249.
- Meuter, R. F. I., & Allport, A. (1999a). Bilingual language-switching in naming: asymmetrical costs of language selection. *J. Mem. Lang.*, 40, 25-40
- Milner, B. (1963). Effects of different brain lesions on card sorting. *Arch. Neurol.*, 9, 90-100.
- Monchi, O., Petrides, M., Petre, V., Worsley, K., & Dagher, A. (2001). Wisconsin Card Sorting revisited: distinct neural circuits participating in different stages of the task identified by event-related functional magnetic resonance imaging. *J Neurosci*, 21(19), 7733-7741.
- Monsell, S., & Mizon, G. A. (2006). Can the task-cuing paradigm measure an endogenous task-set reconfiguration process? *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 32(3), 493-516.

- Motter, B. C., & Belky, E. J. (1998). The zone of focal attention during active visual search. *Vision Res*, 38(7), 1007-1022.
- Müller, H. J., Heller, D., & Ziegler, J. (1995). Visual search for singleton feature targets within and across feature dimensions. *Percept Psychophys*, 57(1), 1-17.
- Müller, H. J., & O'Grady, R. B. (2000). Dimension-based visual attention modulates dual-judgment accuracy in Duncan's (1984) one- versus two-object report paradigm. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 26(4), 1332-1351.
- Munoz, D. P., & Wurtz, R. H. (1993a). Fixation cells in monkey superior colliculus. I. Characteristics of cell discharge. *J Neurophysiol*, 70(2), 559-575.
- Munoz, D. P., & Wurtz, R. H. (1993b). Fixation cells in monkey superior colliculus. II. Reversible activation and deactivation. *J Neurophysiol*, 70(2), 576-589.
- Navalpakkam, V., & Itti, L. (2006a). Combining bottom-up and top-down attentional influences. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 19, 1-8.
- Navalpakkam, V., & Itti, L. (2006b). Top-down attention selection is fine grained. *J Vis*, 6(11), 1180-1193.
- Nickerson, R. S. (2002). The production and perception of randomness. *Psychol Rev*, 109(2), 330-357.
- O'Reilly, R. C., Dawson, C. K., & McClelland, J. L. (1995). PDP++ Neural Network Simulator Software: Carnegie Mellon University.
- O'Reilly, R. C., Noelle, D. C., Braver, T. S., & Cohen, J. D. (2002). Prefrontal cortex and dynamic categorization tasks: representational organization and neuromodulatory control. *Cereb Cortex*, 12(3), 246-257.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Ratcliff, R. (1993). Methods for dealing with reaction time outliers. *Psychol Bull*, 114(3), 510-532.
- Rogers, R. D., Andrews, T. C., Grasby, P. M., Brooks, D. J., & Robbins, T. W. (2000). Contrasting cortical and subcortical activations produced by attentional-set shifting and reversal learning in humans. *J Cogn Neurosci*, 12(1), 142-162.
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). The costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *J. Exp. Psychol. Gen.*, 124, 207-231.
- Rougier, N. P., Noelle, D. C., Braver, T. S., Cohen, J. D., & O'Reilly, R. C. (2005). Prefrontal cortex and flexible cognitive control: rules without symbols. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 102(20), 7338-7343.
- Rougier, N. P., & O'Reilly, R. C. (2002). Learning representations in a gated prefrontal cortex model of dynamic task switching. *Cognitive Science*, 26(4), 503-520.
- Rubinstein, J. S., Meyer, D. E., & Evans, J. E. (2001). Executive control of cognitive processes in task switching. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 27(4), 763-797.
- Schall, J. D., Hanes, D. P., Thompson, K. G., & King, D. J. (1995). Saccade target selection in frontal eye field of macaque. I. Visual and premovement activation. *J Neurosci*, 15(10), 6905-6918.
- Schall, J. D., & Thompson, K. G. (1999). Neural selection and control of visually guided eye movements. *Annu Rev Neurosci*, 22, 241-259.
- Schultz, W. (1986). Responses of midbrain dopamine neurons to behavioral trigger stimuli in the monkey. *J. Neurophysiol*, 56, 1439-1462.
- Spector, A., & Biederman, I. (1976). Mental Set and Mental Shift Revisited. *The American Journal of Psychology*, 89(4), 669-679.
- Steinhauser, M., & Hübner, R. (2007). Automatic activation of task-related representations in task shifting. *Mem Cognit*, 35(1), 138-155.

- Steinhauser, M., Maier, M., & Hübner, R. (2007). Cognitive Control Under Stress: How Stress Affects Strategies of Task-Set Reconfiguration. *Psychological Science*, 18(6), 540-545.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of inference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Stuss, D. T., Levine, B., Alexander, M. P., Hong, J., Palumbo, C., Hamer, L., et al. (2000). Wisconsin Card Sorting Test performance in patients with focal frontal and posterior brain damage: effects of lesion location and test structure on separable cognitive processes. *Neuropsychologia*, 38(4), 388-402.
- Sutton, R. S. (1988). Learning to predict by the methods of temporal differences. *Machine Learning*, 3(1), 9-44.
- Toppino, T. C., & Long, G. M. (1987). Selective adaptation with reversible figures: don't change that channel. *Percept Psychophys*, 42(1), 37-48.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognit Psychol*, 12(1), 97-136.
- Underwood, G., & Foulsham, T. (2006). Visual saliency and semantic incongruency influence eye movements when inspecting pictures. *Q J Exp Psychol (Colchester)*, 59(11), 1931-1949.
- Underwood, G., Foulsham, T., van Loon, E., Humphreys, L., & Bloyce, J. (2006). Eye movements during scene inspection: A test of the saliency map hypothesis. *European Journal Of Cognitive Psychology*, 18(3), 321-342.
- Velichkovsky, B. M. (2002). Level of processing: validating the concept. In M. Naveh-Benjamin, M. Moscovitch & L. Roediger III (Eds.), *Perspectives on human memory and cognitive aging: essays in honour of Fergus Craik* (pp. 38-73). Philadelphia: Psychology Press.
- Velichkovsky, B. M., Pomplun, M., & Rieser, J. (1996). Attention and communication: Eyemovement based research paradigms. In W. H. Zangenmeister, H. S. Stiehl & C. Freksa (Eds.), *Visual attention and cognition*. Amsterdam: Elsevier.
- Walton, M. E., Devlin, J. T., & Rushworth, M. F. (2004). Interactions between decision making and performance monitoring within prefrontal cortex. *Nat Neurosci*, 7(11), 1259-1265.
- Waszak, F., Hommel, B., & Allport, A. (2003). Task-switching and long-term priming: role of episodic stimulus-task bindings in task-shift costs. *Cognit Psychol*, 46(4), 361-413.
- Weidner, R., Pollmann, S., Müller, H. J., & von Cramon, D. Y. (2002). Top-down controlled visual dimension weighting: an event-related fMRI study. *Cereb Cortex*, 12(3), 318-328.
- Wolfe, J. M. (2001). Guided Search 4.0: A Guided Search model that does not require memory for rejected distractors. *Journal of Vision, Abstracts of the 2001 VSS Meeting*.
- Wolfe, J. M., Butcher, S. J., Lee, C., & Hyle, M. (2003). Changing your mind: on the contributions of top-down and bottom-up guidance in visual search for feature singletons. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 29(2), 483-502.
- Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: an alternative to the feature integration model for visual search. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 15(3), 419-433.
- Wolfe, J. M., & Gancarz, G. (1996). Guided Search 3.0: A model of visual search catches up with Jay Enoch 40 years later. In V. Lakshminarayanan (Ed.), *Basic and clinical applications of vision science* (pp. 189-192). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.

- Wooding, D. S. (2002). Eye movements of large populations: II. Deriving regions of interest, coverage, and similarity using fixation maps. *Behav Res Methods Instrum Comput*, 34(4), 518-528.
- Wooding, D. S., Mugglestone, M. D., Purdy, K. J., & Gale, A. G. (2002). Eye movements of large populations: I. Implementation and performance of an autonomous public eye tracker. *Behav Res Methods Instrum Comput*, 34(4), 509-517.
- Wylie, G., & Allport, A. (2000). Task switching and the measurement of "switch costs". *Psychol Res*, 63(3-4), 212-233.
- Yeung, N., & Monsell, S. (2003). Switching between tasks of unequal familiarity: the role of stimulus-attribute and response-set selection. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 29(2), 455-469.
- Zelinsky, G. J., & Sheinberg, D. L. (1997). Eye movements during parallel-serial visual search. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 23(1), 244-262.

Abbildungsverzeichnis

Theoretische Vorbetrachtungen

2-1: Fixationswahrscheinlichkeiten	38
------------------------------------	----

Experiment 1

3-1: Beispieldisplays für <i>freie</i> und <i>forcierte</i> Wahl-Durchgänge	45
3-2: Pfaddiagramm mit den Wahrscheinlichkeiten der Übergänge	47
3-3: Reaktionszeiten und Wahrscheinlichkeiten, getrennt nach <i>Art der Wahl</i> und <i>Übergang</i>	50

Experiment 2

3-4: Beispielabfolge von vier Durchgängen	555
3-5: Reaktionszeiten und Wahrscheinlichkeiten, getrennt nach <i>Art der Wahl</i> und <i>Übergang</i>	577
3-6: AOI-Kodierung der Fixationen	588
3-7: Oben: Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize und kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit als Funktion der Zeit (<i>freie</i> Wahl-Durchgänge)	64
3-8: Fixationswahrscheinlichkeiten der Einzelreize, getrennt nach Perseveration und Wechsel als Funktion der Zeit (<i>freie</i> Wahl-Durchgänge)	66
3-9: Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize und kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit als Funktion der Zeit (<i>forcierte</i> Wahl-Durchgänge)	68
3-10: Fixationswahrscheinlichkeiten der Einzelreize, getrennt nach Übergang in Abhängigkeit von der Zeit in Millisekunden (<i>forcierte</i> Wahl-Durchgänge)	70

Experiment 3

3-11: Beispielabfolge der Durchläufe Symbole und Hintergrund	81
3-12: Dimensions-Wechselkosten, getrennt nach <i>Merkmalsklasse</i> und <i>Kompatibilität</i>	85
3-13: Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize (Klasse Symbole) und kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit als Funktion der Zeit	96
3-14: Fixationswahrscheinlichkeiten einzelner Reize (Klasse Symbole) für den Wechsel der Merkmalsdimension und der Merkmalsklasse	99
3-15: Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize (Klasse Hintergrund) und kumulative Reaktionswahrscheinlichkeit als Funktion der Zeit	101
3-16: Fixationswahrscheinlichkeiten der Einzelreize, getrennt nach <i>Kompatibilität</i> als Funktion der Zeit in Millisekunden (Klasse Hintergrund)	104
3-17: Fixationswahrscheinlichkeiten der Einzelreize, getrennt nach <i>Perseveration</i> , <i>Wechsel</i> und <i>Kompatibilität</i> (Klasse Hintergrund)	105
3-18: Fixationswahrscheinlichkeiten der Einzelreize, getrennt nach <i>Inter-Set-Wechsel</i> als Funktion der Zeit in Millisekunden (Klasse Hintergrund)	106

Generelle Diskussion

4-1: Neuronales Netz (Architektur)	130
4-2: Cycles und Wahrscheinlichkeiten, getrennt nach <i>Art der Wahl</i> und <i>Übergang</i>	130

Anhang

B-1: Dynamische Fixationslandschaften (Experiment 2, <i>forcierte</i> Wahl-Durchgänge)	1666
B-2: Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize als Funktion standardisierter Zeit (Experiment 2, <i>freie</i> Wahl-Durchgänge)	166
B-3: Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize als Funktion standardisierter Zeit (Experiment 2, <i>forcierte</i> Wahl-Durchgänge)	166

Tabellenverzeichnis

Experiment 1

- 3-1:** A priori Gesamtwahrscheinlichkeiten für Perseveration und Wechsel bei drei theoretischen Perseverationstendenzen, getrennt nach *Übergang* und *Wahl* _____ 48

Experiment 2

- 3-2:** Durchschnittliche Fixationsanzahl, getrennt nach *Wahl*, *Übergang* und *Reiz* _____ 620
- 3-3:** Suchzeit und Verarbeitungszeit, getrennt nach *Übergang* und *Wahl* _____ 62

Experiment 3

- 3-4:** Reaktionszeiten und Fehler, getrennt nach *Kompatibilität*, *Merkmalsklasse* und *Intra-Set-Übergang* _____ 85
- 3-5:** Mittlere Anzahl der Fixationen, getrennt nach *Übergang* und *Reiz*, Merkmalsklasse Symbole _____ 88
- 3-6:** Mittlere Fixationsanzahlen, getrennt nach *Reiz*, *Kompatibilität* und *Intra-Set-Übergang*, Merkmalsklasse Hintergrund _____ 90
- 3-7:** Verarbeitungszeit und Suchzeit, getrennt nach *Intra-Set-Übergang*, Merkmalsklasse Symbole _____ 92
- 3-8:** Verarbeitungszeit und Suchzeit in Millisekunden, getrennt nach *Intra-Set-Übergang* und *Kompatibilität*, Merkmalsklasse Hintergrund _____ 93
- 3-9:** Zusammenfassung der ANOVAs innerhalb der Zeitbereiche, Merkmalsklasse Symbole _____ 97
- 3-10:** Zusammenfassung der ANOVAs innerhalb der Zeitbereiche, getrennt nach Merkmalsklasse Hintergrund _____ 102
- 3-11:** Zusammenfassung der ANOVAs für die Reize in den Zeitbereichen 550 – 950 ms und 1000 – 1400 ms, getrennt nach Merkmalsklasse Hintergrund _____ 103

Abkürzungsverzeichnis

(Abkürzungen sind alphabetisch geordnet)

AOI	Area of Interest
aR	alternativer Referenzreiz
aWe	Alternativwechsel
BG	Basalganglien
comp-	abgelehnt kompatible Wahlen
comp+	angenommen kompatible Wahlen
CSI	cue-stimulus-interval
CTI	cue-trial-interval
D	Distraktor
FIT	Feature-integration Theory
Fix	Fixation
GP	Globus Pallidus
gR	gewählter Referenzreiz
GS	Guided Search
Hi	Merkmalsklasse Hintergrund
inc	inkompatible Durchgänge
IOR	inhibition of return
L	linker Referenzreiz
M	Mitte
P	peripherer Referenzreiz
Pe	Perseveration
PFC	präfrontaler Kortex
R	rechter Referenzreiz
raW	räumlicher Alternativwechsel
RT	Reaktionszeit
RTI	response-trial-interval
rW	räumliche Wiederholung
S	Suchzeit
SC	Superior Colliculus
SN	Substantia Nigra

Sy	Merkmalsklasse Symbole
T	Target
TOL	Tower of London
TS	task-switching (Aufgabenwechsel)
TSI	task-set-inertia (Aufgabenträgheit)
TSR	task-set-reconfiguration
Ü	Übergang
V	Verarbeitungszeit
WCST	Wisconsin Card Sorting Test
We	Wechsel

Anhang

A Experiment 1: Zusatzanalysen

1 Externe Stimuluseigenschaften

Die nachstehenden Analysen zeigen, dass die Perseverationstendenz und die Wechselkosten nicht von externen Stimuluseigenschaften abhängen. Zu diesem Zweck wird zunächst für die Wahrscheinlichkeiten (1.1) und anschließend für die Reaktionszeiten (1.2) der Einfluss folgender Faktoren analysiert: 1. Merkmalsdimensionen, 2. Dimensionsausprägungen, 3. Bahnung des Ortes und 4. Räumlich-sequenzielle Strategien.

1.1 Wahrscheinlichkeiten

1.1.1 Einfluss einzelner Merkmalsdimensionen

Im Folgenden wird analysiert, ob die Perseverationstendenz für jede Merkmalsdimension (Form, Farbe, Anzahl) galt. Die *freie* Wahl-Durchgänge bildeten die Datenbasis für die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten. Um die Perseverationswahrscheinlichkeit einer Dimension zu errechnen, wurden nicht gewählte Perseverationsmöglichkeiten dieser Dimension ermittelt. Bspw. ergibt sich die Wahrscheinlichkeit, auf die Farbe zu perseverieren, aus der Anzahl aller Durchgänge mit Farbperseverationen geteilt durch die Anzahl aller möglichen Farbperseverationen. Die Durchgänge aller möglichen Perseverationen einer Dimension setzten sich aus drei Arten von Durchgängen zusammen (am Beispiel Farbe): nicht gewählte mögliche Farbperseveration mit: 1. Wechsel auf Form und 2. Wechsel auf Anzahl sowie 3. gewählte Perseverationen auf Farbe.

Mit den so errechneten Wahrscheinlichkeiten wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Übergang* (Wechsel, Perseveration) und *Dimension* (Farbe, Form, Anzahl) durchgeführt. Es ergaben sich signifikante Haupteffekte für *Übergang*, $P(\text{Perseveration}) = .68$, $F(1, 15) = 119.71$, $p < .001$, $MSe = 0.012$, $\eta^2 = .89$ und *Dimension*, $F(2, 30) = 71.51$, $p < .001$, $MSe = 0.028$, $\eta^2 = .82$. Zwischen *Dimension* und *Übergang* bestand keine Interaktion, $F < 1$.

Übereinstimmungen in Bezug auf die Farbe ($P = .78$) wurden häufiger gewählt als Übereinstimmungen in Bezug auf Form ($P = .34$) oder Anzahl ($P = .34$), $\Delta_{\text{Farbe}-\emptyset(\text{Form, Anzahl}) =$

.43, $F(1, 15) = 89.58$, $p < .001$, $MSe = 0.033$, $\eta^2 = .86$, wobei sich letztere nicht unterscheiden, $\Delta_{\text{Form-Anzahl}} = .002$, $F < 1$. Diese Tendenz, eine Farbübereinstimmung zu wählen, erklärt jedoch nicht den Unterschied zwischen Perseveration und Wechsel. Auch wenn die relativen Häufigkeiten unter Ausschluss aller Durchgänge mit Farbübereinstimmung berechnet wurden, blieb die Perseverationstendenz erhalten⁶⁶.

1.2.2 Einfluss einzelner Dimensionsausprägungen

In 1/4 aller Durchgänge, in denen sowohl perseveriert als auch gewechselt werden konnte, bestand die Möglichkeit, die Merkmalsausprägung zu wiederholen. Es ist daher denkbar, dass die Perseverationstendenz durch die Möglichkeit verursacht wurde, die Merkmalsausprägung zu wiederholen. Die folgende Analyse vergleicht die Perseverationswahrscheinlichkeit von Durchgängen, in denen die Merkmalsdimension und die Ausprägung wiederholt wurde, mit der Perseverationswahrscheinlichkeit von Durchgängen, in denen die Dimension wiederholt, aber die Ausprägung gewechselt wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit, die Dimension zu wiederholen und die Ausprägung zu wechseln, nicht signifikant verschieden war von der Wahrscheinlichkeit, Ausprägung und Dimension zu wiederholen, $P(\text{Perseveration/ Ausprägungswiederholung}) = .68$, $P(\text{Perseveration/Ausprägungswechsel}) = .67$, $\Delta P = .01$, $SD = .08$, $t(15) = 0.05$, $p > .90$.

1.1.3 Bahnung des Ortes durch die vorherige Antwort

Der Effekt eines räumlichen Hinweisreizes (*spatial cue*) besteht darin, dass ein Reiz, der valide die Position des darauf folgenden Reizes anzeigt, die Reaktionszeit verkürzt (Posner, 1980). Unter der Bedingung, dass die Position der Übereinstimmung des vorhergehenden Durchganges wie ein räumlicher Hinweisreiz wirkt, kann folgende Vorhersage abgeleitet werden. Wenn sich ein übereinstimmender Referenzreiz an der gleichen Position wie der im vorherigen Durchgang gewählte Referenzreiz befindet, dann sollte dieser mit größerer Wahrscheinlichkeit gewählt werden als der auf einer anderen Position alternativ übereinstimmende Referenzreiz. Wenn die Wiederholung der räumlichen Position der Übereinstimmung einen Einfluss auf die Reaktion hat, besteht die Möglichkeit, dass die

⁶⁶ Wenn die Perseverationstendenz ausschließlich auf die Salienz der Farbe zurückginge, sollte sich die Perseverationswahrscheinlichkeit bei einer Analyse unter Ausschluss aller Durchgänge mit einer Farbübereinstimmung nicht von .5 unterscheiden. Diese Analyse zeigte jedoch, dass die Perseverationstendenz auch unter Ausschluss aller Durchgänge mit einer Übereinstimmung auf der Dimension Farbe signifikant von .5 abwich, $P(\text{Form}) = .63$, $t(14) = 3.79$, $SD = .14$, $p < .01$; $P(\text{Anzahl}) = .61$, $t(14) = 2.31$, $SD = .17$, $p < .05$.

Perseverationstendenz mit diesem Faktor interagiert. Um diese Frage zu beantworten, wurde die Grundgesamtheit aller Durchgänge analysiert, bei denen eine der zwei Antwortalternativen die räumliche Position der Übereinstimmung wiederholte.

Für die statistische Analyse wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Übergang* und *räumlicher Hinweisreiz* (Wiederholung vs. Wechsel der Position) gerechnet. Die Analyse führte zu signifikanten Haupteffekten für *räumlicher Hinweisreiz*, $F(2, 15) = 271.9$, $MSe = 0.004$, $p < 001$, $\eta^2 = .95$ und *Übergang*, $F(2, 15) = 15.21$, $MSe = 0.029$, $p < 001$, $\eta^2 = .50$, aber zu keiner Interaktion beider Faktoren, $F < 1$.

Ungeachtet der Übereinstimmungsdimension des vorherigen Durchganges bestand eine leichte Tendenz ($P = .57$), den Referenzreiz zu wählen, der die Übereinstimmungsposition wiederholte.

1.1.4 Räumlich-sequenzielle Strategien

Es ist denkbar, dass die Versuchspersonen bei dieser Art von Aufgabe eine räumlich-sequenzielle Suchstrategie verwendeten. Beispielsweise könnten die Referenzreize in Leserichtung auf eine Übereinstimmung abgesehen worden sein. Das entspräche einer links-Mitte-rechts Suchstrategie. Wenn eine solche Strategie verwendet wurde, sollten die relativen Häufigkeiten in Bezug auf die zwei Wahlalternativen in Relation zur Suchsequenz stehen. Die relative Häufigkeit, die dimensionale Übereinstimmung auf einer Position zu wählen, ergibt sich aus den Fällen der angenommenen und abgelehnten Antwortmöglichkeiten in Bezug auf die räumliche Position. Für die statistische Analyse wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Übergang* und *räumliche Position* (links, Mitte, rechts) durchgeführt.

Die Analyse führte zu signifikanten Haupteffekten für *räumliche Position*, $F(2, 15) = 271.9$, $MSe = 0.004$, $p < .001$, $\eta^2 = .95$ und *Übergang*, $F(2, 15) = 15.21$, $MSe = 0.029$, $p < .001$, $\eta^2 = .50$. Die Interaktion zwischen beiden Faktoren wurde nicht signifikant, $F < 1$.

Kontraste zwischen den Stufen des Faktors *räumliche Position* zeigten, dass die mittlere Position bevorzugt wurde, wenn zwischen einem mittleren oder einem peripheren (links, rechts) Referenzreiz gewählt werden konnte, $\Delta_{M-P} = .20$, $F(1, 15) = 56.30$, $p < .001$, $MSe = 0.011$, $\eta^2 = .79$. Die rechte Position wurde bevorzugt, wenn zwischen linkem (L) und rechtem (R) Referenzreiz gewählt werden konnte, $\Delta_{R-L} = .08$, $F(1, 15) = 4.75$, $p < .05$, $MSe = 0.016$, $\eta^2 = .24$. Dieser Positionseffekt hatte jedoch keinen Einfluss auf Perseveration und Wechsel, d.h. auf jeder Position war eine Perseveration wahrscheinlicher als ein Wechsel.

1.2 Reaktionszeiten

1.2.1 Einfluss einzelner Merkmalsdimensionen

Die folgende Analyse soll klären, ob für jede Dimension Wechselkosten vorhanden waren. Zu diesem Zweck wurde pro Wahlbedingung eine zweifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Übergang* und *Dimension* durchgeführt. In beiden Wahlbedingungen kam es zu einem signifikanten Haupteffekt *Übergang*, *freie* Wahl-Durchgänge: $F(2, 30) = 23.83$, $MSe = 23741.9$, $p < .001$, $\eta^2 = .63$, *forcierte* Wahl-Durchgänge: $F(2, 30) = 25.86$, $MSe = 129691.1$, $p < .001$, $\eta^2 = .37$. Dieser Haupteffekt entspricht der obigen Analyse der Reaktionszeiten und wird deshalb nicht weiter erläutert (siehe Abschnitt 3.1). Darüber hinaus kam es in beiden Wahlbedingungen zu einem signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Dimension*, *freie* Wahl: $F(2, 30) = 25.45$, $MSe = 37265.722$, $p < .001$, $\eta^2 = .62$, *forciert*: $F(2, 30) = 25.68$, $MSe = 58817.454$, $p < .001$, $\eta^2 = .63$. Die Interaktion zwischen *Dimension* und *Übergang* wurde in keiner Wahlbedingung signifikant, $F_s < 1$.

Um den Haupteffekt *Dimension* weiter zu spezifizieren, wurden Kontraste zwischen den Faktorstufen gerechnet. In beiden Wahlbedingungen war die Reaktionszeit auf Farbe kürzer als auf Form und Anzahl; *freie* Wahl-Durchgänge: $\Delta_{\text{Farbe}-\emptyset(\text{Form, Anzahl})} = 238$ ms, $F(1, 15) = 35.71$, $MSe = 25514.9$, $p < .001$, $\eta^2 = .70$; *forcierte* Wahl-Durchgänge: $\Delta_{\text{Farbe}-\emptyset(\text{Form, Anzahl})} = 378$ ms, $F(1, 15) = 37.69$, $MSe = 60524.6$, $p < .001$, $\eta^2 = .72$. In keiner Wahlbedingung bestand ein Unterschied zwischen der Reaktionszeit auf Farbe und Form, $F_s < 1$. Zusammengefasst wurde eine Übereinstimmung in Bezug auf die Dimension Farbe schneller erkannt als eine Übereinstimmung in Bezug auf Form und Anzahl. Dieser Effekt war jedoch unabhängig von Perseveration und Wechsel.

1.2.2 Einfluss einzelner Dimensionsausprägungen

Im Folgenden wird analysiert, ob auch die Durchgänge mit Dimensionswiederholungen aber Ausprägungswechseln zu kürzeren Reaktionszeiten führten als die Durchgänge mit Dimensionswechseln. Wenn der Unterschied zwischen Wechsel und Perseveration durch Wechsel der Merkmalsausprägung nicht durch den Wechsel der Merkmalsdimension zustande kam, sollten hier keine Wechselkosten entstehen.

Zu diesem Zweck wurde für jede Wahlbedingung eine einfaktorielle ANOVA mit dem Messwiederholungsfaktor *Übergang* (Dimensionsperseveration mit Merkmalswechsel, Di-

mensionswechsel) gerechnet. Sowohl bei *freie* als auch bei *forcierte* Wahl-Durchgängen waren die Reaktionszeiten für eine Dimensionsperseveration mit Ausprägungswechsel kürzer als für den Wechsel, *freie* Wahl-Durchgänge: 917 vs. 1035 ms, $F(1, 15) = 8.26$, $MSe = 4564.39$, $p < .001$, $\eta^2 = .64$; *forcierte* Wahl-Durchgänge: 1135 vs. 1376 ms, $F(1, 15) = 27.25$, $MSe = 24191.16$, $p < .001$, $\eta^2 = .64$. Darüber hinaus gab es in keiner Wahlbedingung einen signifikanten Unterschied zwischen Perseverationen mit Ausprägungswechsel vs. Ausprägungswiederholung, *forciert*: 1135 vs. 1125 ms, $F < 1$; *frei*: 917 vs. 955, $F < 1$.

1.2.3 Bahnung des Ortes durch die vorherige Antwort

Bei den *freie* Wahl-Durchgängen war es möglich, die räumliche Position zu wiederholen (räumliche Wiederholung) oder zu wechseln (räumlicher Wechsel). Darüber hinaus konnte es vorkommen, dass beide Übereinstimmungsdimensionen einen Wechsel der räumlichen Position beinhalteten. Dieser Fall wird im Folgenden als räumlicher Alternativwechsel bezeichnet. Nach dieser Kategorisierung wurde pro Wahlbedingung eine zweifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Übergang* und *räumlicher Hinweisreiz* (*forcierte* Wahl-Durchgänge: räumliche Wiederholung, räumlicher Wechsel, *freie* Wahl-Durchgänge: räumliche Wiederholung, räumlicher Wechsel, räumlicher Alternativwechsel) durchgeführt.

In beiden Wahlbedingungen kam es zu einem signifikanten Haupteffekt *Übergang*, *freie* Wahl-Durchgänge: $F(2, 30) = 24.30$, $MSe = 13410.0$, $p < .001$, $\eta^2 = .62$; *forciert*: $F(1, 15) = 88.49$, $MSe = 11801.6$, $p < .001$, $\eta^2 = .85$. Dieser Effekt spiegelt die Zusammenhänge wider, die in der Analyse der Reaktionszeiten berichtet wurden.

Bei den *freie* Wahl-Durchgängen ergab die Analyse einen signifikanten Haupteffekt *räumlicher Hinweisreiz*, $F(2, 15) = 4.68$, $MSe = 10591.3$, $p < .05$, $\eta^2 = .24$, bei *forcierte* Wahl-Durchgängen wurde dieser Haupteffekt nicht signifikant, $F < 1$. Um den Effekt *räumlicher Hinweisreiz* für *freie* Wahl-Durchgänge genauer zu spezifizieren, wurden zwischen den Faktorstufen Kontraste gerechnet. Signifikant wurde nur der Kontrast zwischen räumlicher Wiederholung (rW) und räumlichem Alternativwechsel (raW), $\Delta_{raW-rW} = 54$ ms, $F(1, 15) = 6.94$, $MSe = 6854.1$, $p < .05$, $\eta^2 = .72$. Die Kontraste zwischen räumlichem Alternativwechsel und räumlichem Wechsel sowie zwischen räumlicher Wiederholung und räumlichem Alternativwechsel und räumlichem Wechsel (gemittelt) wurden nicht signifikant, $F_s < 1$. In keiner Wahlbedingung wurde die Interaktion zwischen räumlichem Hinweisreiz und *Übergang* signifikant, $F_s < 1$.

Zusammengefasst kam es bei den *freie* Wahl-Durchgängen, in denen die räumliche Position der Übereinstimmung wiederholt wurde, im Vergleich zu Durchgängen, in denen die räumliche Position gewechselt werden musste, zu einer Verkürzung der Reaktionszeit. Unabhängig von der räumlichen Position des vorherigen Durchganges war bei *forcierte* und *freie* Wahl-Durchgängen die Reaktionszeit bei Perseveration kürzer als beim Wechsel.

1.2.4 Räumliche Position der Übereinstimmung

Wie bei den relativen Häufigkeiten sollte eine verwendete Suchstrategie eine Ordnung zwischen den Reaktionszeiten der einzelnen räumlichen Positionen herstellen. Für jede Wahlbedingung wurde mit den Reaktionszeiten eine zweifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Übergang* und *räumliche Position* (links, Mitte, rechts) durchgeführt.

Die Analysen ergaben für beide Wahlbedingungen einen signifikanten Haupteffekt *räumliche Position*, *freie* Wahl-Durchgänge: $F(2, 30) = 7.4$, $MSe = 25149.9$, $p < .01$, $\eta^2 = .33$; *forciert* $F(2, 30) = 21.98$, $MSe = 14579.6$, $p < .001$, $\eta^2 = .59$. Als Folgetests wurden Kontraste zwischen den Stufen des Faktors *räumliche Position* durchgeführt. Der Kontrast zwischen Mitte (M) und den gemittelten peripheren Position (P) wurde signifikant; *frei*: $\Delta_{M-P} = 108$ ms, $F(1, 15) = 12.94$, $MSe = 14372.3$, $p < .05$, $\eta^2 = .46$; *forciert*: $\Delta_{M-P} = 171$ ms; $F(1, 15) = 42.78$, $MSe = 10954.7$, $p < .05$, $\eta^2 = .74$. Linke und rechte Position unterschieden sich in keiner Wahlbedingung signifikant voneinander, $F_s < 1$.

Zusammengefasst kam es auf allen räumlichen Positionen zu Wechselkosten, wenngleich die Reaktionszeit bei einer Übereinstimmung auf der mittleren Position kürzer als auf den peripheren Positionen war.

B Experiment 2: Zusatzanalysen

1 Externe Stimuluseigenschaften

1.1 Wahrscheinlichkeiten

1.1.1 Einfluss einzelner Merkmalsdimensionen

Für die Analyse der Perseverationswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Faktor *Dimension* wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Übergang* und *Dimension* (Farbe, Form, Anzahl) gerechnet (siehe Experiment 1). Die Haupteffekte *Übergang*, $F(2, 42) = 82.51$, $p < .001$, $MSe = .014$, $\eta^2 = .87$, und *Dimension*, $F(2, 42) = 15.19$, $p < .001$, $MSe = .063$, $\eta^2 = .45$ wurden signifikant und die Interaktion wurde nicht signifikant, $F_s < 1$.

Bestand auf zwei Dimensionen eine Übereinstimmung zum Target, wurde Farbe am häufigsten gewählt ($P = .63$), gefolgt von Form ($P = .49$) und Anzahl ($P = .39$). Geplante Folgekontraste bestätigten die Unterschiede zwischen den Dimensionen, $\Delta_{\text{Farbe-Form}} = .14$, $F(1, 21) = 9.98$, $p < .05$, $MSe = 0.051$, $\eta^2 = .32$; $\Delta_{\text{Form-Anzahl}} = .10$, $F(1, 21) = 7.19$, $p < .05$, $MSe = 0.019$, $\eta^2 = .25$.

Die Tendenz, bestimmte Dimensionen zu wählen, erklärt jedoch nicht die Perseverationstendenz, denn für jede Dimension war eine Perseveration wahrscheinlicher als ein Wechsel.

1.1.2 Einfluss einzelner Dimensionsausprägungen

Die folgende Analyse vergleicht die Perseverationswahrscheinlichkeit von Durchgängen, in denen Dimension und Ausprägung wiederholt wurde, mit der Perseverationswahrscheinlichkeit von Durchgängen, in denen die Dimension wiederholt, aber die Ausprägung gewechselt wurde. Die Analysen (vergleiche Experiment 1) zeigten, dass sich die Wahrscheinlichkeit, die Dimension zu wiederholen und die Ausprägung zu wechseln, nicht signifikant unterschied von der Wahrscheinlichkeit, Ausprägung und Dimension zu wiederholen, $P(\text{Perseveration}|\text{Ausprägungswiederholung}) = .65$, $P(\text{Perseveration}|\text{Ausprägungswechsel}) = .68$, $\Delta P = .03$, $SD = .12484$, $t(21) = 1.16$, $p = .26$.

1.1.3 Bahnung des Ortes durch die vorherige Antwort

Um den Einfluss einer möglichen räumlichen Bahnung durch die vorherige Antwort auf die Perseverationswahrscheinlichkeit zu analysieren (vergleiche Experiment 1), wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Übergang* (Perseveration, Wechsel, Alternativwechsel) und *räumlicher Hinweisreiz* (Wiederholung vs. Wechsel der Position) durchgeführt. Die Analyse führte zu signifikanten Haupteffekten für *räumlicher Hinweisreiz*, $F(1, 21) = 73.91$, $MSe = 0.026$, $p < .001$, $\eta^2 = .67$ und *Übergang*, $F(2, 42) = 43.21$, $MSe = 0.026$, $p < .001$, $\eta^2 = .50$. Die Interaktion wurde nicht signifikant, $F < 1$.

Im Einzelnen war die Wahrscheinlichkeit, den Referenzreiz zu wählen, der die Position der Übereinstimmung wiederholt ($P = .59$) größer als die Wahrscheinlichkeit, den Referenzreiz zu wählen, der die Position der Übereinstimmung wechselte ($P = .41$). Diese Tendenz bestand jedoch unabhängig von Perseveration und Wechsel.

1.1.4 Räumlich-sequenzielle Strategien

Für die Analyse von räumlich-sequenziellen Strategien (vergleiche Experiment 1) wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Übergang* (Wechsel, Perseveration, Alternativwechsel) und *räumliche Position* (links, Mitte, rechts) gerechnet. Die Analyse ergab signifikante Haupteffekte für *räumliche Position*, $F(2, 42) = 17.19$, $p < .001$, $MSe = .063$, $\eta^2 = .45$, und *Übergang*, $F(2, 42) = 31.54$, $MSe = 0.029$, $p < .001$, $\eta^2 = .50$. Die Interaktion wurde nicht signifikant, $F(2, 42) = 1.61$, $MSe = 0.005$, $p = .21$, $\eta^2 = .07$. Geplante Folgekontraste zeigten, dass der mittlere Referenzreiz ($P = .63$) bevorzugt wurde, wenn eine Wahl zwischen mittlerem (M) oder einem peripheren Referenzreiz (P) bestand, $\Delta_{M-P} = -.16$, $F(1, 21) = 56.30$, $p < .001$, $MSe = 0.023$, $\eta^2 = .53$. Der rechte Referenzreiz ($P = .55$) wurde bevorzugt, wenn eine Wahl zwischen linkem (L) oder rechtem (R) Referenzreiz bestand, $\Delta_{R-L} = .08$, $F(1, 21) = 8.07$, $p < .05$, $MSe = 0.016$, $\eta^2 = .27$. Die Perseverationstendenz war jedoch unabhängig von der räumlichen Position.

1.2 Reaktionszeiten

1.2.1 Einfluss einzelner Merkmalsdimensionen

Für jede Wahlbedingung wurde eine ANOVA gerechnet, um den Einfluss der *Dimensionen* auf die Reaktionszeiten in Abhängigkeit vom *Übergang* zu analysieren (siehe Experi-

ment 1). Die Messwiederholungsfaktoren waren *Übergang* und *Dimension*. Die Analysen führten in beiden Wahlbedingungen zu signifikanten Haupteffekten für *Dimension*, *freie* Wahl-Durchgänge: $F(2, 42) = 9.88$, $MSe = 33775.9$, $p < .001$, $\eta^2 = .32$; *forcierte* Wahl-Durchgänge: $F(1, 42) = 11.01$, $MSe = 49252.1$, $p < .001$, $\eta^2 = .34$, und *Übergang*, *freie* Wahl-Durchgänge: $F(2, 42) = 19.45$, $MSe = 15686.2$, $p < .001$, $\eta^2 = .48$; *forcierte* Wahl-Durchgänge: $F(1, 21) = 40.63$, $MSe = 51069.7$, $p < .001$, $\eta^2 = .59$. In keiner der Wahlbedingungen wurde die Interaktion zwischen *Dimension* und *Übergang* signifikant, $ps > .10$.

In beiden Wahlbedingungen waren die Reaktionszeiten bei einer Übereinstimmung auf Farbe am kürzesten, gefolgt von Form und Anzahl (mittlere Reaktionszeiten auf Farbe, Form und Anzahl, *freie* Wahl-Durchgänge: 1194, 1278 und 1328 ms; *forcierte* Wahl-Durchgänge: 1420, 1514 und 1641 ms). Geplante Folgekontraste zwischen den Stufen des Faktors *Dimension* bestätigten die Unterschiede zwischen den Reaktionszeiten der Dimensionen, *freie* Wahl-Durchgänge: $\Delta_{Farbe-Form} = 82$ ms, $F(1, 21) = 9.98$, $p < .05$, $MSe = 17438.7$, $\eta^2 = .32$; $\Delta_{Form-Anzahl} = 95$ ms, $F(1, 21) = 7.19$, $p < .05$, $MSe = 47692.4$, $\eta^2 = .25$; *forcierte* Wahl-Durchgänge: $\Delta_{Farbe-Form} = 94$ ms, $F(1, 21) = 4.74$, $p < .05$, $MSe = 41128.3$, $\eta^2 = .18$, $\Delta_{Form-Anzahl} = 127$ ms, $F(1, 21) = 8.92$, $p < .05$, $MSe = 39804.3$, $\eta^2 = .30$.

Unabhängig von den unterschiedlichen Reaktionszeiten für die Dimensionen war für jede Dimension die Reaktionszeit bei Perseveration kürzer als beim Wechsel.

1.2.2 Einfluss einzelner Dimensionsausprägungen

Für jede Wahlbedingung wurde eine einfaktorielle ANOVA mit dem Messwiederholungsfaktor *Übergang* (Perseveration mit Wechsel der Ausprägung, Wechsel) gerechnet. Sowohl bei *freie* als auch bei *forcierte* Wahl-Durchgängen war die Reaktionszeit für Perseveration mit Wechsel der Ausprägung kürzer als für Wechsel, *freie* Wahl-Durchgänge: 1171 vs. 1232 ms, $F(1, 21) = 8.26$, $MSe = 4914.84$, $p < .001$, $\eta^2 = .28$; *forcierte* Wahl-Durchgänge: 1366 vs. 1657 ms, $F(1, 21) = 38.56$, $MSe = 24191.16$, $p < .001$, $\eta^2 = .64$.

Darüber hinaus gab es in keiner Wahlbedingung einen signifikanten Unterschied zwischen Perseverationen mit Ausprägungswechsel und Ausprägungswiederholung, *freie* Wahl-Durchgänge: 1171 vs. 1153 ms, $F < 1$; *forcierte* Wahl-Durchgänge: 1403 vs. 1466, $F < 1$.

1.2.3 Bahnung des Ortes durch die vorherige Antwort

Die folgende Analyse sollte klären, ob die Wechselkosten gleich bleiben, wenn sich die Position der Übereinstimmung wiederholt. Für jede Wahlbedingung wurde eine separate ANOVA mit Messwiederholung gerechnet. Die Messwiederholungsfaktoren waren *Übergang* und *räumlicher Hinweisreiz* (*forcierte* Wahl-Durchgänge: räumliche Wiederholung, räumlicher Wechsel; *freie* Wahl-Durchgänge: räumliche Wiederholung, räumlicher Wechsel, räumlicher Alternativwechsel⁶⁷).

Die Analysen ergaben in beiden Wahlbedingungen signifikante Haupteffekte für *räumlicher Hinweisreiz*, *freie* Wahl-Durchgänge: $F(2,42) = 8.91$, $MSe = 14276.4$, $p < .01$, $\eta^2 = .29$; *forcierte* Wahl-Durchgänge: $F(1,21) = 13.64$, $MSe = 18786.3$, $p < .01$, $\eta^2 = .39$, und *Übergang*, *freie* Wahl-Durchgänge: $F(2, 42) = 19.45$, $MSe = 15686.2$, $p < .001$, $\eta^2 = .48$; *forciert*: $F(1, 21) = 40.63$, $MSe = 51069.7$, $p < .001$, $\eta^2 = .59$. Es kam jedoch in keiner Wahlbedingung zu einer Interaktion zwischen den Faktoren *räumlicher Hinweisreiz* und *Übergang*, $ps > .10$.

In beiden Wahlbedingungen war die Reaktionszeit verkürzt, wenn die Position der Übereinstimmung wiederholt wurde (mittlere Reaktionszeiten für die Fälle räumliche Perseveration, räumlicher Wechsel und räumlicher Alternativwechsel bei *freie* Wahl-Durchgängen: 1197, 1246 und 1284 ms; mittlere Reaktionszeiten für die Fälle räumliche Perseveration und räumlicher Wechsel bei *forcierte* Wahl-Durchgängen: 1445 und 1553 ms).

Wenn es bei *freie* Wahl-Durchgängen keine Möglichkeit gab, die Übereinstimmungsposition zu wiederholen (räumlicher Alternativwechsel), dann kam es im Vergleich zu den beiden anderen Fällen (räumlicher Wechsel, räumliche Wiederholung) zu einem leichten Anstieg der Reaktionszeit. Geplante Folgekontraste bestätigten die Unterschiede zwischen den Stufen des Faktors *räumlicher Hinweisreiz* bei *freie* Wahl-Durchgängen, $\Delta_{\text{räumlicher Alternativwechsel-räumlicher Wechsel}} = 95$ ms, $F(1, 21) = 23.56$, $p < .05$, $MSe = 7168.0$, $\eta^2 = .52$; $\Delta_{\text{räumlicher Wechsel-räumliche Wiederholung}} = 48$ ms, $F(1, 21) = 5.16$, $p < .05$, $MSe = 10198.7$, $\eta^2 = .20$.

Unabhängig von Wiederholung und Wechsel *der Position der Übereinstimmung* war die Reaktionszeit bei einer Perseveration der Dimension kürzer als beim Wechsel.

⁶⁷ Befindet sich der Distraktor auf der Position der Übereinstimmung des vorherigen Durchganges, handelt es sich um einen räumlichen Alternativwechsel der Position. Im Gegensatz zur Reaktionszeit wird diese Faktorstufe bei den Wahrscheinlichkeiten nicht analysiert, weil die Wahl eines Distraktors einen Fehler darstellt und weniger als 1% Fehler gemacht wurden.

1.2.4 Räumliche Position der Übereinstimmung

Im Folgenden wird analysiert, ob es auf allen drei räumlichen Positionen – links (L), Mitte (M), rechts (R) – zu Wechselkosten kam. Für jede Wahlbedingung wurde eine separate Analyse durchgeführt. Die Messwiederholungsfaktoren waren *Übergang* und *räumliche Position*.

Die Analysen ergaben in beiden Wahlbedingungen signifikante Haupteffekte für *räumliche Position*, *freie Wahl-Durchgänge*: $F(2,42) = 7.73$, $MSe = 16266.9$, $p > .01$, $\eta^2 = .26$; *forcierte Wahl*: $F(2,42) = 12.14$, $MSe = 67820.6$, $p > .001$, $\eta^2 = .36$, und *Übergang, freie Wahl-Durchgänge*: $F(2, 42) = 19.45$, $MSe = 15686.2$, $p < .001$, $\eta^2 = .48$; *forciert*: $F(1, 21) = 40.63$, $MSe = 51069.7$, $p < .001$, $\eta^2 = .59$.

Bei einer Übereinstimmung auf der Mittelposition war die Reaktionszeit kürzer als bei einer Übereinstimmung auf der linken oder rechten Position (mittlere Reaktionszeiten für links, Mitte und rechts, *freie Wahl*: 1241, 1198 und 1317 ms; *forcierte Wahl-Durchgänge*: 1576, 1396 und 1606 ms). In beiden Wahlbedingungen bestätigten die geplanten Folgekontraste die Reaktionszeitunterschiede zwischen der Mittelposition und der rechten Position. Die Reaktionszeitunterschiede zwischen linker Position und Mittelposition waren nur bei der *forcierten Wahl* signifikant, *freie Wahl-Durchgänge*: $\Delta_{L-M} = -42$ ms, $F(1, 21) = 2.19$, $p = .153$, $MSe = 18347.4$, $\eta^2 = .09$; $\Delta_{M-R} = 118$ ms, $F(1, 21) = 35.57$, $p < .001$, $MSe = 9506.0$, $\eta^2 = .60$; $\Delta_{L-M} = -171$ ms, $F(1, 21) = 10.14$, $p < .001$, $MSe = 63274.6$, $\eta^2 = .33$; $\Delta_{M-R} = 210$ ms, $F(1, 21) = 28.14$, $p < .001$, $MSe = 34663.74$, $\eta^2 = .57$.

Eine Perseveration führte bei jeder räumlichen Position zu kürzeren Reaktionszeiten als ein Wechsel.

2 Zeitlicher Verlauf der Fixationswahrscheinlichkeiten

Im Folgenden werden die Fixationswahrscheinlichkeiten jedes Reizes eines Zeitbereiches mit dem vorherigen kontrastiert und innerhalb eines Zeitbereiches werden die Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize untereinander verglichen. Für jeden Zeitbereich und jede Wahlbedingung wurde eine separate ANOVA mit dem Messwiederholungsfaktoren *Reiz* und *Übergang* mit Folgekontrasten gerechnet, wobei die Faktorstufen des Messwiederholungsfaktors *Reiz* in absteigender Reihenfolge nach der Größe der Fixationswahrschein-

lichkeit geordnet in die Analyse eingingen. Zunächst werden die Analysen für *freie* Wahl-Durchgänge (2.1) und anschließend für *forcierte* Wahl-Durchgänge (2.2) berichtet.

2.1 Freie Wahl-Durchgänge

Die Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize unterschieden sich in allen fünf Zeitbereichen, $F_s(4, 84) = 16.56, 22.91, 31.81, 32.85, 31.91, p_s < .001$. Als Folgeanalyse wurde jeder Reiz mit dem vorhergehenden Zeitbereich kontrastiert und innerhalb eines Zeitbereiches wurden die Reize untereinander verglichen.

0 – 200 ms. In diesem Zeitbereich war die durchschnittliche Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte (.41) und des Targets (.31) am größten, gefolgt von den Fixationswahrscheinlichkeiten des gewählten Referenzreizes (.14), des Distraktors (.10) und des alternativen Referenzreizes (.05). Bis auf den Vergleich zwischen Target und Mitte wurden die Folgekontraste zwischen den Reizen signifikant, $\Delta_{M-T} = .09, \Delta_{T-gR} = .17, \Delta_{gR-D} = .05, \Delta_{D-aR} = .05, F(1,21) = 1.45, 14.87, 50.09, 25.51, p_{M-T} = .22, \text{restliche } p_s < .001$.

250 – 450 ms. Im Vergleich zum vorherigen Zeitbereich nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets zu, $\Delta = -.14, F(1,21) = 10.68, p < .05$. und in geringerem Maße nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes signifikant zu, $\Delta = -.08, F(1,21) = 3.68, p = .69$, während die Fixationswahrscheinlichkeiten von Distraktor, $\Delta < .01, F < 1$, und alternativem Referenzreiz konstant blieben, $\Delta = -.01, F < 1$. Infolge dessen war in diesem Zeitbereich die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets am größten (.45), gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes (.22), der Mitte (.18), des Distraktors (.09) und des alternativen Referenzreizes (.06). Die Folgekontraste zwischen den Reizen wurden signifikant, $\Delta_{T-gR} = .23, \Delta_{gR-M} = .04, \Delta_{M-D} = .09, \Delta_{D-aR} = .03, F(1,21) = 17.90, 6.61, 187.55, 312.89, p_s < .05$.

500 – 950 ms. Im Vergleich zum vorherigen Zeitbereich nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes stark zu, $\Delta = -.21, F(1,21) = 51.44, p < .001$, und die Fixationswahrscheinlichkeit des alternativen Referenzreizes nahm leicht zu, $\Delta = -.04, F(1,21) = 21.29, p < .001$. Die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets wurde kleiner, $\Delta = .28, F(1,21) = 38.70, p < .001$, und die Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte blieb konstant, $\Delta = .02, F < 1$. Die Vergleiche zwischen den Reizen ergaben, dass in diesem Zeitbereich die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes am größten war (.43), gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte (.20), des Targets (.17), des Distraktors (.11) und des alternativen Referenzreizes (.10). Bis auf den Vergleich zwischen dem

Distraktor und dem alternativen Referenzreiz wurden alle Folgekontraste signifikant, $\Delta_{T-gR} = .23$, $\Delta_{gR-M} = .03$, $\Delta_{M-D} = .06$, $F(1,21) = 13.92, 64.32, 283.99, 0.13$, $ps < .001$, $\Delta_{D-aR} = .01$, $F < 1$.

1000 – 1350 ms. Im Vergleich zum vorherigen Zeitbereich verringerten sich die Fixationswahrscheinlichkeiten des gewählten Referenzreizes, $\Delta = .05$, $F(1,21) = 20.45$, $p < .001$, und der Mitte, $\Delta = .05$, $F(1,21) = 20.45$, $p < .001$, während die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets leicht zunahm, $\Delta = -.08$, $F(1,21) = 20.81$, $p < .001$. Die Fixationswahrscheinlichkeiten des alternativen Referenzreizes, des Distraktors und der Mitte blieben konstant, alle $\Delta < .01$, $F_s < 1$. Die Vergleiche zwischen den Reizen in diesem Zeitbereich zeigten, dass die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes am größten war (.38), gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit des Targets (.25), der Mitte (.17), des Distraktors (.10) und des alternativen Referenzreizes (.10). Die Folgekontraste zwischen den Reizen wurden signifikant, $\Delta_{gR-T} = .13$, $\Delta_{T-M} = .08$, $\Delta_{M-D} = .07$, $F(1,21) = 17.80, 8.39, 4.24, 9.42$, $ps < .05$.

1400 – 2000 ms. Im Vergleich zu dem vorherigen Zeitbereich nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes zu, $\Delta = -.08$, $F(1,21) = 16.06$, $p < .001$, während die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets abnahm, $\Delta = -.08$, $F(1,21) = 16.06$, $p < .001$. Die Fixationswahrscheinlichkeiten des Distraktors, der Mitte und des alternativen Referenzreizes blieben konstant, alle $\Delta_s \leq 0.01$, $F_s < 1$. Die Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize unterschieden sich wie folgt. Wie in den vorherigen zwei Zeitbereichen war die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes am größten (.46), gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit des Targets (.18), der Mitte (.16), des Distraktors (.10) und des alternativen Referenzreizes (.10). Bis auf den Vergleich zwischen Distraktor und alternativem Referenzreiz wurden alle Folgekontraste signifikant, $\Delta_{gR-T} = .27$, $\Delta_{T-M} = .02$, $\Delta_{M-D} = .06$, $F(1,21) = 17.80, 8.39, 4.24, 9.42$, $ps < .05$, $\Delta_{D-aR} < .01$, $F < 1$.

2.2 Forcierte Wahl-Durchgänge

Die Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize unterschieden sich in allen fünf Zeitbereichen, $F_s(4, 84) = 15.96, 28.83, 14.21, 32.81, 22.63$, $ps < .001$. Im Folgenden wird für jeden Reiz und Zeitbereich der Vergleich zum vorhergehenden Zeitbereich sowie innerhalb eines Zeitbereiches der Vergleich zwischen den Reizen berichtet.

0 – 200 ms. In diesem Zeitbereich war die Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte am größten (.41), gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit des Targets (.31), des gewählten

Referenzreizes (.09) und des Distraktors (.09). Bis auf den Vergleich zwischen Target und Mitte wurden die Folgekontraste zwischen den Reizen signifikant, $\Delta_{T-gR} = .17$, $\Delta_{gR-D} = .05$, $\Delta_{D-aR} = .05$, $F(1,21) = 1.45, 14.87, 50.09, 250.51$, $ps < .001$, $\Delta_{M-T} = .09$, $F(1,21) = 1.45$, $p = .22$.

250 – 450 ms. Im Vergleich zum vorherigen Zeitbereich nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets zu, $\Delta = -.18$, $F(1,21) = 4.12$, $p < .05$, während die Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte abnahm, $\Delta = .23$, $F(1,21) = 21.19$, $p < .001$. Konstant blieben die Fixationswahrscheinlichkeiten für den gewählten Referenzreiz, $\Delta < .01$, $F < 1$, und den Distraktor, $\Delta = -.03$, $F < 1$. Die Vergleiche zwischen den Reizen zeigten, dass die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets in diesem Zeitbereich am größten war (.48), gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte (.17), des gewählten Referenzreizes (.12) und des Distraktors (.09). Die Folgekontraste zwischen den Reizen wurden signifikant, $\Delta_{T-M} = .30$, $\Delta_{M-gR} = .05$, $\Delta_{gR-D} = .03$, $F(1,21) = 17.90, 6.61, 187.55, 312.89$, $ps < .001$.

500 – 950 ms. Die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes nahm gegenüber dem vorhergehenden Zeitbereich stark zu, $\Delta = -.25$, $F(1,21) = 51.44$, $p < .001$. Gleichzeitig nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des Distraktors leicht zu, $\Delta = -.05$, $F(1,21) = 29.87$, $p < .001$, während die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets stark abfiel, $\Delta = .33$, $F(1,21) = 50.08$, $p < .001$. Die Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte blieb konstant, $\Delta = .03$, $F < 1$. Die Vergleiche zwischen den Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize zeigten, dass zwischen 500 – 950 ms die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes (.37) am größten war, gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte (.20), des Targets (.15), und des Distraktors (.13). Die Folgekontraste zwischen den Reizen wurden signifikant, $\Delta_{gR-M} = .17$, $\Delta_{M-T} = .05$, $\Delta_{M-D} = .02$, $F(1,21) = 9.80, 63.39, 72.24, 93.42$, $ps < .05$.

1000 – 1350 ms. In diesem Zeitbereich verringerten sich die Fixationswahrscheinlichkeiten des gewählten Referenzreizes, $\Delta = .05$, $F(1,21) = 19.95$, $p < .001$, und der Mitte, $\Delta = .04$, $F(1,21) = 13.15$, $p < .001$, während die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets leicht zunahm, $\Delta = -.10$, $F(1,21) = 38.43$, $p < .001$. Die Fixationswahrscheinlichkeit des Distraktors, $\Delta < .01$, $F < 1$ veränderte sich auch in diesem Zeitbereich nicht. Die Vergleiche zwischen den Reizen zeigten, dass in diesem Zeitbereich die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes (.37) am größten war, gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit des Targets (.25), der Mitte (.15) und des Distraktors (.14). Die Folgekontraste zwischen den Reizen wurden signifikant, $\Delta_{gR-T} = .17$, $\Delta_{T-M} = .05$, $\Delta_{M-D} = .01$, $F(1,21) = 17.80, 8.39, 4.24, 9.42$, $ps < .05$.

1400 – 2000 ms. Im Vergleich zu dem vorherigen Zeitbereich nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes zu, $\Delta = -.06$, $F(1,21) = 19.51$, $p < .001$, während die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets abnahm, $\Delta = -.05$, $F(1,21) = 16.06$, $p < .001$. Die Fixationswahrscheinlichkeiten des Distraktors, der Mitte und des alternativen Referenzreizes blieben konstant, alle $\Delta_s \leq 0.01$, $F_s < 1$. Wie in den vorherigen zwei Zeitbereichen zeigten die Vergleiche zwischen den Reizen, dass die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes am größten war (.38), gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit des Targets (.20), der Mitte (.15) und des Distraktors (.14). Bis auf den Vergleich zwischen Distraktor und Mitte wurden alle Folgekontraste signifikant, $\Delta_{gR-T} = .19$, $\Delta_{T-M} = .05$, $F(1,21) = 66.80$, 8.56 , $ps < .05$, $\Delta_{M-D} < .01$, $F < 1$.

3 Dynamische Fixationslandschaften

Mittelwerte über Fixationsanzahl- und -dauer informieren über die Blickbewegungen eines *gesamten* mittleren Versuchsdurchganges. Die zeitliche Dynamik der Blickbewegungsdaten *während* eines Versuchsdurchganges kann unter anderem durch Fixationswahrscheinlichkeit analysiert werden (siehe Experimente 2 und 3 der vorliegenden Arbeit).

Fixationslandschaften sind eine intuitiv eingängliche Form, die foveal aufgenommene Information darzustellen. Ich habe diese Form der Darstellung modifiziert, um nicht nur den gesamten Durchgang sondern die zeitliche Dynamik der fovealen Verarbeitung darzustellen. Ausgangspunkt war die von Wooding (2002) entwickelte Visualisierungstechnik der Fixationskarten. Bei diesen werden alle Fixationen auf das betrachtete Reizdisplay projiziert. Dies geschieht über eine Höhenkodierung des zweidimensionalen Reizdisplays. Der Ort einer Fixation bildet dabei den Gipfel einer zweidimensionalen Gaußschen Verteilung mit einer Varianz von etwa 2° . Der Hintergrund dieser Vorgehensweise ist, dass die Informationsdichte im Bereich der Fovea am größten ist und dann radial abnimmt. Die Gaußsche Beugung des Displays soll diesen Sachverhalt widerspiegeln. Für jeden Durchgang werden alle Fixationen über 2-D-Gauß-Verteilungen auf das Display projiziert, wobei Orte, die häufig fixiert wurden, durch die Höhenaddition die höchsten Gipfel erhalten. Anschließend werden für jeden Versuchsdurchgang die Höhenwerte standardisiert, um verschiedene Durchgänge und Versuchsbedingungen vergleichbar zu machen. Velichkovsky et al. (1996) erweiterten diese Technik, indem sie die Höhenkodierungen mit der Fixationszeit gewichteten.

Um jedoch die zeitliche Dynamik der Fixationen erfassen zu können, bedarf es einiger weiterer Modifikationen dieser Visualisierungstechnik. Fixationslandschaften erfassen den Längsschnitt aller Fixationen über die Zeit eines durchschnittlichen Durchgangs. Meine Idee besteht darin, über die Durchgänge den Querschnitt aller Fixationen zum Zeitpunkt t zu erfassen. Wie bei Wooding (2002) werden die Fixationen höhenkodiert: Aber dies geschieht nicht für einen gesamten mittleren Durchgang sondern für alle fortlaufenden Zeitpunkte. Im Einzelnen wird mit einer bestimmten zeitlichen Auflösung für jeden fortlaufenden Zeitpunkt t der Fixationsort über alle Durchgänge höhenkodiert und anschließend standardisiert. Es entsteht eine zeitliche Abfolge von Fixationslandschaften, die zu einer dynamischen Animation zusammengefügt werden können⁶⁸.

Eine Besonderheit des Paradigmas der vorliegenden Arbeit bestand darin, dass die Ausprägungen der Reizmerkmale und der Ort des zum Target übereinstimmenden Referenzreizes randomisiert wurden (siehe Experiment 1). Um jedoch einen mittleren Versuchsdurchgang mit der eben demonstrierten Visualisierungsmethode so darstellen zu können, dass eine invariante räumliche Position bei allen Fixationslandschaften *einen* Reiztyp (Distraktor, gewählter Referenzreiz usw.) höhenkodiert abbilden kann, mussten folgende Transformationen der Fixationskoordinaten vorgenommen werden. Es wurde festgesetzt, dass auf der linken Referenzreizposition der gewählte Referenzreiz kodiert wird, in der Mitte der alternative (bei *forcierte* Wahl-Durchgängen der linke Distraktor) und rechts der Distraktor (bei *forcierte* Wahl-Durchgängen der rechte Distraktor). Im Einzelnen wurden beispielsweise bei einem Reizdisplay, auf dem sich rechts der gewählte Referenzreiz befand, die horizontalen Fixationskoordinaten um die räumliche Differenz zur linken (festgesetzten) Referenzreizposition verringert. Mithilfe dieses Vorgehens konnte eine räumliche Invarianz in Bezug auf die inhaltlichen Unterschiede des Reiztyps hergestellt werden⁶⁹.

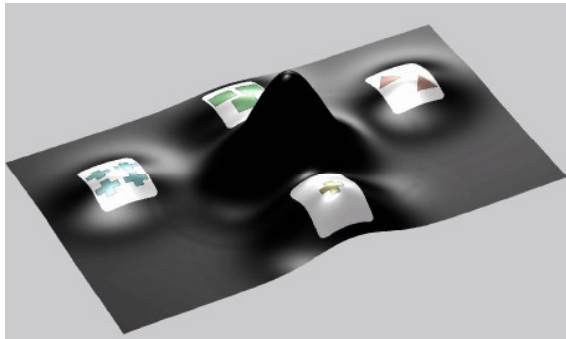
Abbildung B-1 zeigt eine zeitliche Abfolge von Fixationslandschaften des Experimentes 2 der vorliegenden Arbeit bei *forcierte* Wahl-Durchgängen zu den Zeitpunkten 100, 325, 625, 1200 und 1800 ms. Bei den dargestellten Zeitpunkten hatte ein Gipfel auf einem der Reize zeitlich lokal seinen maximalen Wert erreicht. Die Abbildungen spiegeln inhaltlich verschiedene Verarbeitungsphasen beim Lösen eines mittleren Durchganges wider. In ei-

⁶⁸ Möglich ist auch eine rückwärts von der Reaktion ausgehende Abfolge (*response locked*) der Fixationslandschaften. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Dynamik der Fixationen nicht über die Zeit, sondern über zeitliche Quantile zu erfassen. Dafür müsste eine Standardisierung der unterschiedlichen Reaktionszeiten auf einheitliche Zeitquantile wie folgt vorgenommen werden. Jeder Durchgang wird in N Quantile eingeteilt, wobei der zeitliche Abstand zwischen den Punkten über die Durchgänge unterschiedlich ist. Anschließend werden die Gaußschen Höhenkodierungen nicht über die Zeit, sondern über die Quantile durchgeführt.

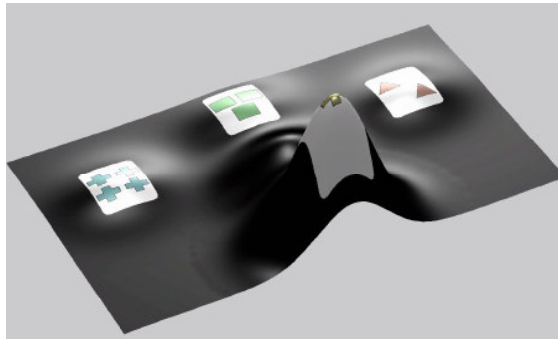
⁶⁹ Dies bedingt natürlich, dass man trotz der unterschiedlichen visuellen Eigenschaften der Reize nur an einer inhaltlichen Bedeutung dieser, im Sinne der AOIs des Experimentes 2 der vorliegenden Arbeit, interessiert ist.

ner *initialen Vorbereitungsphase*, um 100 ms (Abbildung B-1, oben links), wurde die Mitte fixiert.

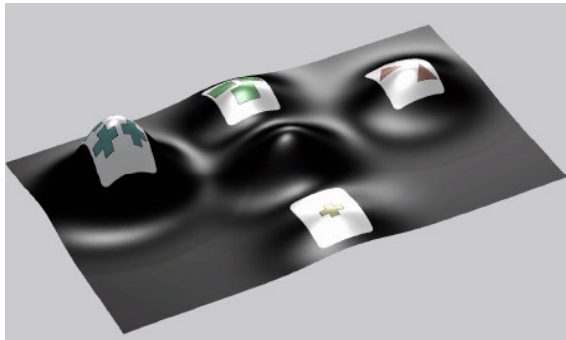
$t = 100 \text{ ms}$



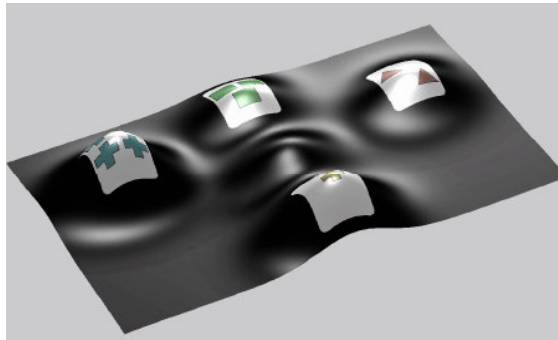
$t = 325 \text{ ms}$



$t = 675 \text{ ms}$



$t = 1200 \text{ ms}$



$t = 1800 \text{ ms}$

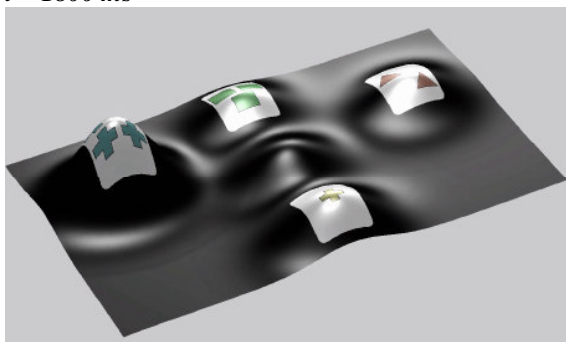


Abbildung B-1: Zeitliche Abfolge von fünf *dynamischen Fixationslandschaften* des Experimentes 2 für die Bedingung *forcierte Wahl-Durchgänge* (in Leserichtung) bei $t=100, 325, 675, 1200, 1800$ ms. Die Gaußschen Höhenkodierungen der Fixationen sind exemplarisch über ein Beispieldisplay *gerendert*: in jeder der Teilabbildung befindet sich links oben der gewählte Referenzreiz, in der Mitte oben und rechts oben ein Distraktor und unten das Target.

Anschließend, um ca. 325, in einer *Problemstellungsphase* wurde das Target enkodiert (Abbildung B-1, oben rechts). Um ca. 625 ms wurde in einer *Lösungsphase* der gewählte Referenzreiz enkodiert (Abbildung B-1, Mitte links). Wie zu sehen ist, wurde in einigen Durchgängen in diesem Zeitbereich ein Distraktor enkodiert, wengleich dies seltener vorkam. Ein wichtiges Ergebnis aus Experiment 2 bestand darin, dass die Fixation eines Di-

struktors dann wahrscheinlicher war, wenn im vorherigen Durchgang eine andere Merkmalsdimension relevant war. In den Durchgängen, in denen noch keine Reaktion abgegeben wurde, wurde um ca. 1200 ms in einer *Evaluationsphase* das Target wieder fixiert (Abbildung B-1, Mitte rechts) und anschließend um 1800 ms wurde wieder der gewählte Referenzreiz fixiert (Abbildung B-1, unten links). Die analysierte Fixationsanzahl deutet jedoch darauf hin, dass diese Evaluationsphase (d.h. die Überprüfung der gefundenen Lösung durch Refixationen auf Target und gewählten Referenzreiz) bei einem Wechsel der relevanten Merkmalsdimension wahrscheinlicher war als bei einer Perseveration.

4 Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize als Funktion *standardisierter Zeit*

Ein zentrales Ergebnis der Analyse des zeitlichen Verlaufes der Fixationswahrscheinlichkeiten (siehe Abschnitt 2.3.5) besteht darin, dass der gewählte Referenzreiz zwischen 550 – 950 ms bei einer Perseveration mit größerer Wahrscheinlichkeit fixiert wurde als bei einem Wechsel. Im folgenden Abschnitt wird untersucht, ob sich dieses Muster auch zeigt, wenn die mittleren Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize $P(\text{Fix}_{AOI})$ in Abhängigkeit von einer *standardisierten Zeit* analysiert werden. Zu diesem Zweck wurde die absolute Zeit jedes Durchgangs auf 1 (100% der Reaktionszeit) standardisiert und mit dieser Normierung wurden mit einer Auflösung von 2% (fortlaufende Zeitquantile $q = 50$) über alle Durchgänge die Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize mit Hilfe von *Formel B* ermittelt.

$$P(\text{Fix}_{AOI|q}) = \frac{N(\text{Fix}_{AOI|q})}{\sum_{AOI=1}^i N(\text{Fix}_{AOI|q})}$$

Formel B: $P(\text{Fix}_{AOI|q})$ = Fixationswahrscheinlichkeit eines Reizes (*AOI*) im Quantil q ; $N(\text{Fix}_{AOI|q})$ = Anzahl der Fixationen über die Durchgänge auf das betreffende *AOI* im Quantil q ; i = Laufnummer des betreffenden *AOI*.

Da es sich bei dieser zeitlich-standardisierten Analyse um eine Kontrollanalyse handelt, werde ich mich aus Platzgründen, anstelle einer detaillierten abwärts testenden Inferenzstatistik, auf die deskriptiven Zusammenhänge beschränken. *Freie* und *forcierte* Wahl-Durchgänge werden separat betrachtet, wobei für jeden Einzelreiz die Differenzkurven von Perseveration-Wechsel mit den entsprechenden 95% Konfidenzintervallen des Mittelwertes für jedes Quantil gebildet wurden. Ferner wurde bei den *freie* Wahl-Durchgängen aus

Gründen der Übersichtlichkeit auf die Darstellung der Übergangsart *Alternativwechsel* verzichtet, da diese Übergangsart in ihrem Verlauf dem Wechsel sehr ähnelte.

4.1 Freie Wahl-Durchgänge

Wie im oberen Teildiagramm der Abbildung B-1 zu sehen ist, entspricht der standardisierte zeitliche Verlauf in wesentlichen Aspekten dem absolut-zeitlichen Verlauf (s. Abschnitt 3.2.2.2). Vom Beginn der Reizdarbietung bis zum Quantil 20 wurde die *Mitte* am wahrscheinlichsten fixiert. Anschließend zwischen den Quantilen 20 bis 60 wurde das *Target* am wahrscheinlichsten fixiert.

Ab dem Quantil 40 stieg die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes an und blieb bis zum Ende des Durchgangs größer als die der restlichen Reize. Gleichzeitig kam es in geringerem Maße zwischen den Quantilen 40 bis 80 zu einem leichten Ansteigen und Abfallen der Fixationswahrscheinlichkeit des *alternativen Referenzreizes*, während ab dem Quantil 80 die Fixationswahrscheinlichkeit der *Mitte* wieder leicht anstieg.

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen des absolut-zeitlichen Verlaufes (siehe Abschnitt 3.2.2.2) wurden die Fixationswahrscheinlichkeiten der Einzelreize wie folgt durch den Wechsel bzw. die Perseveration der Übereinstimmungsdimension beeinflusst. Der gewählte Referenzreiz (siehe Abbildung B-2, zweites Teildiagramm in Leserichtung) wurde ab den Quantilen 74 bis 92 bei einer Perseveration mit größerer Wahrscheinlichkeit fixiert als bei einem Wechsel (alle unteren Grenzen der Konfidenzintervalle der Differenzkurve dieses Quantilbereiches lagen durchgehend über der Nulllinie). Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass auch bei einer zeitlichen Standardisierung der Unterschied zwischen Perseveration und Wechsel erhalten bleibt, also selbst dann, wenn die im Mittel längeren Wechseldurchgänge stärker gestaucht werden als die kürzeren Perseverationsdurchgänge.

Ferner zeigt die Abbildung B-2 im vierten Diagramm in Leserichtung, dass zwischen den Quantilen 72 und 90 die Fixationswahrscheinlichkeit des alternativen Referenzreizes bei einer Perseveration geringer war als bei einem Wechsel (die oberen Grenzen der Konfidenzintervalle lagen in diesem Abschnitt durchgehend unter der Nulllinie). Auch dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Analyse der absolut zeitlichen Fixationswahrscheinlichkeit (siehe Abschnitt 3.2.2.2). Ferner war die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets ab dem Quantil 70 bei einem Wechsel größer als bei einer Perseveration (die oberen Grenzen der Konfidenzintervalle der Differenzkurve lagen in diesem Bereich durchgehend unter der Nulllinie).

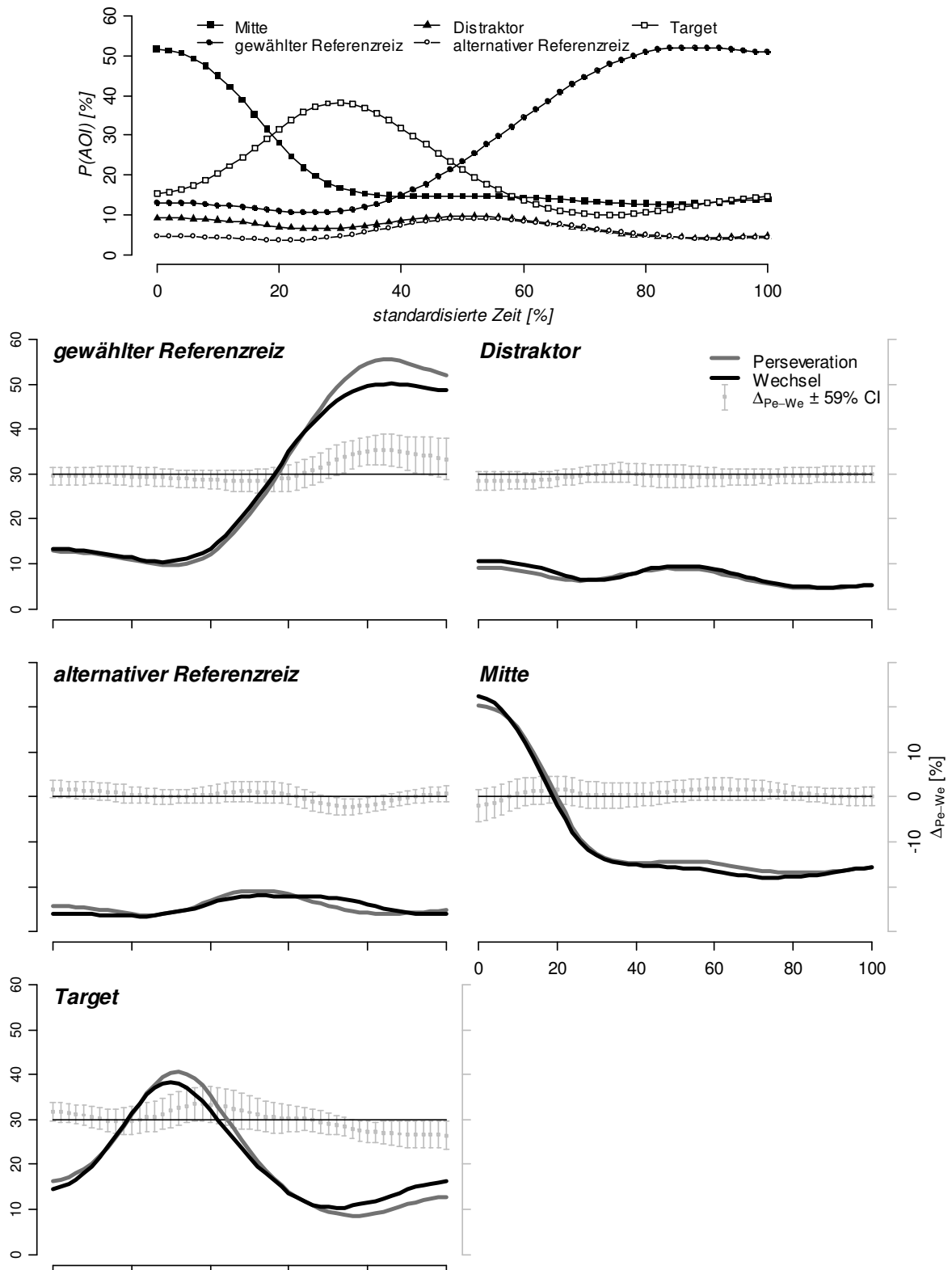


Abbildung B-2: Oben: Mittlere Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize als Funktion standardisierter Zeit in den *freie* Wahl-Durchgängen gemittelt über Perseveration und Wechsel. Separate Teilabbildungen ab dem zweiten Teildiagramm (in Leserichtung) zeigen die Fixationswahrscheinlichkeit (Bezugsachse links) jedes Einzelreizes getrennt nach Perseveration und Wechsel und die dazugehörigen Differenzkurven Δ_{Pe-We} (Bezugsachse rechts). Die Kurven sind über die Versuchspersonen gemittelt ($N = 22$).

Dieses Ergebnis zeigt, dass es in Wechseldurchgängen vor dem Tastendruck wahrscheinlicher war, das Target zu refixieren, als bei den Perseverationsdurchgängen. In Überein-

stimmung mit der Analyse des absolut-zeitlichen Verlaufes kam es in Bezug auf den Distraktor und der Mitte zu keinen Unterschieden zwischen der Fixationswahrscheinlichkeit von Perseveration und Wechsel.

4.2 *Forcierte Wahl-Durchgänge*

Auch bei den *forcierte* Wahl-Durchgängen (siehe oberes Teildiagramm der Abbildung B-3) entsprach der standardisiert-zeitliche Verlauf in wesentlichen Aspekten dem absolut-zeitlichen Verlauf (siehe Abschnitt 3.2.2.2). In Übereinstimmung mit den Ergebnissen des absolut-zeitlichen Verlaufes wurden die Fixationswahrscheinlichkeiten der Einzelreize wie folgt durch den Wechsel bzw. die Perseveration der Übereinstimmungsdimension beeinflusst.

Der gewählte Referenzreiz (siehe Abbildung B-3, zweites Teildiagramm in Leserichtung) wurde zwischen den Quantilen 62 und 88 bei einer Perseveration mit größerer Wahrscheinlichkeit fixiert als bei einem Wechsel (die unteren Grenzen der Konfidenzintervalle der Differenzkurve lagen in diesem Bereich durchgehend über der Nulllinie). Dieses Ergebnis zeigt, dass auch bei den *forcierte* Wahl-Durchgängen sogar bei einer zeitlichen Standardisierung der erwartete Unterschied zwischen Perseveration und Wechsel zu sehen ist, also selbst dann, wenn die im Mittel längeren Wechseldurchgänge durch die Normierung stärker gestaucht werden als die kürzeren Perseverationsdurchgänge.

In Übereinstimmung mit der Analyse des absolut zeitlichen Verlaufes war zwischen den Quantilen 30 und 76 die Fixationswahrscheinlichkeit des Distraktors bei einer Perseveration geringer als bei einem Wechsel (siehe Abbildung B-3, viertes Diagramm in Leserichtung; die oberen Grenzen der Konfidenzintervalle der Differenzkurve lagen in diesem Bereich⁷⁰ durchgehend unter der Nulllinie). Auch in der Analyse des absolut-zeitlichen Ver-

⁷⁰ Bei der standardisiert-zeitlichen Analyse wurde bei den Wechseldurchgängen im Gegensatz zu den Perseverationsdurchgängen schon ab dem Quantil 30 der Distraktor fixiert. Im Gegensatz dazu zeigte jedoch die Analyse des absolut-zeitlichen Verlaufes, dass es in Bezug auf den Distraktor nur während derjenigen Zeitbereiche zu einem Unterschied zwischen Perseveration und Wechsel kam, in denen sich auch der gewählte Referenzreiz zwischen Perseveration und Wechsel unterschieden. Dieser Unterschied in den Ergebnissen beider Analysemethoden geht darauf zurück, dass die Wechseldurchgänge zu längeren mittleren Reaktionszeiten führten als die Perseverationsdurchgänge. Infolgedessen wurden die Wechseldurchgänge bei der Standardisierung auf 1 stärker *gestaucht* als die Perseverationsdurchgänge, d.h. ein Quantil eines Wechseldurchgangs war in absoluter Zeit gesehen länger als ein Quantil eines Perseverationsdurchgangs. Infolgedessen erscheint das beim absolut-zeitlichen Verlauf zeitgleiche Abfallen und Ansteigen der Fixationswahrscheinlichkeit des Targets bei Perseveration und Wechsel im standardisiert-zeitlichen Verlauf verschoben (siehe Abbildung B-3, fünftes Teildiagramm in Leserichtung) und infolgedessen kam es beim Distraktor ab dem Quantil 30 zu Unterschieden zwischen Perseveration und Wechsel.

laufes ist zu sehen, dass der Distraktor bei einem Wechsel wahrscheinlicher fixiert wurde als bei einer Perseveration (siehe Abschnitt 3.2.2.2).

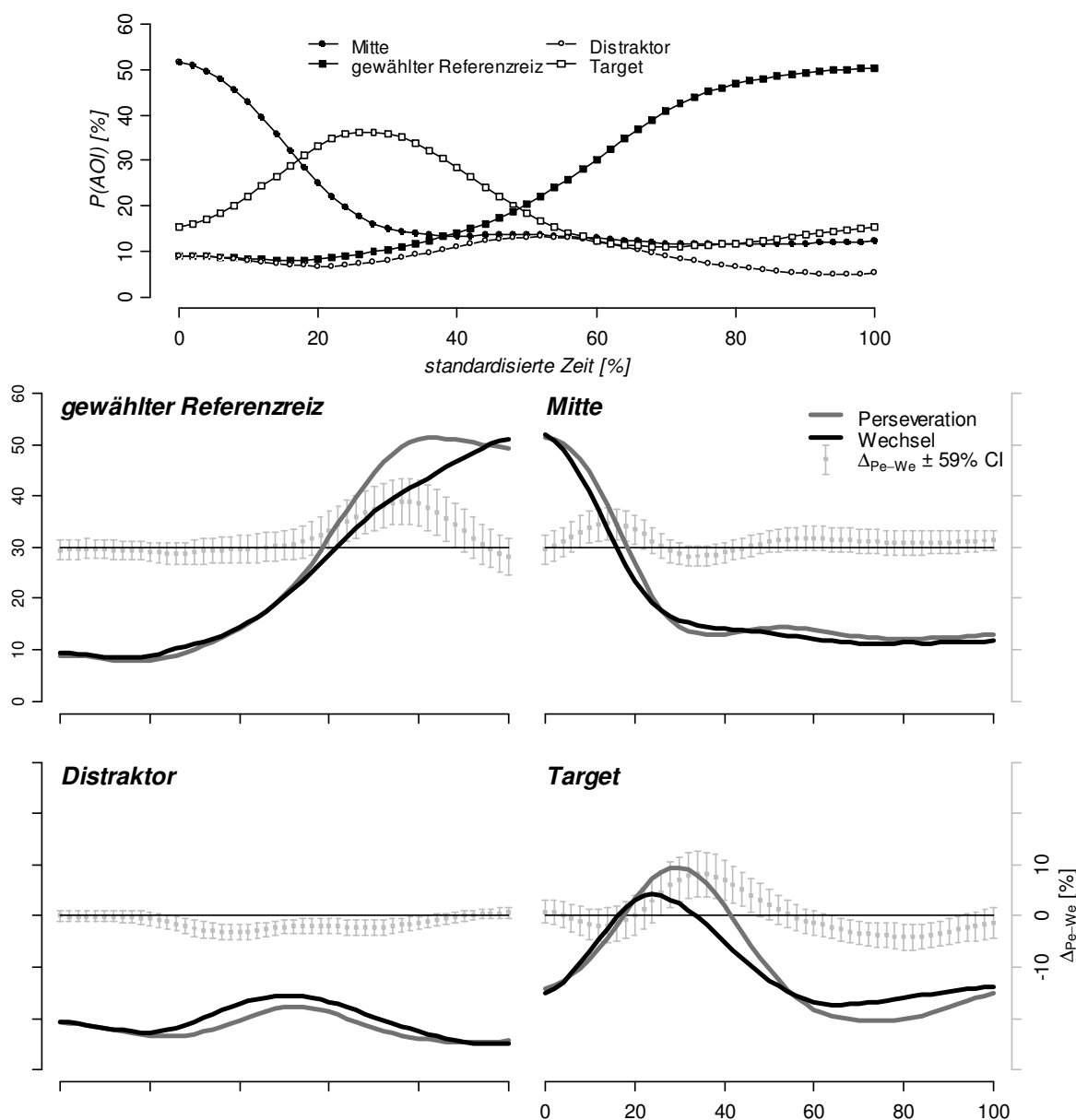


Abbildung B-3: Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize als Funktion von standardisierter Zeit in den *forcierte* Wahl-Durchgängen. Oben: Mittlere Fixationswahrscheinlichkeiten der Reize gemittelt über Perseveration und Wechsel. Separate Teilabbildungen ab dem zweiten Teildiagramm (in Leserichtung) zeigen die Fixationswahrscheinlichkeiten (Bezugsachse links) jedes Einzelreizes getrennt nach Perseveration und Wechsel mit den dazugehörigen Differenzkurven Δ_{Pe-We} (Bezugsachse rechts). Die Kurven sind über die Versuchspersonen gemittelt ($N = 22$).

In Übereinstimmung mit der Analyse des standardisiert-zeitlichen Verlaufes der *freie* Wahl-Durchgänge kam es bei einem Wechsel zwischen den Quantilen 66 bis 90 zu einer wahrscheinlicheren Fixation des Targets als bei einer Perseveration (siehe Abbildung B-3,

viertes Diagramm in Leserichtung; die unteren Grenzen der Konfidenzintervalle der Differenzkurve zwischen den Quantilen 66 bis 90 lagen durchgehend unter der Nulllinie) . Im Einzelnen handelt es sich hier um denselben Quantilbereich, in dem sich der gewählte Referenzreiz bei Perseveration und Wechsel unterschied.

C Experiment 3: Zusatzanalysen

1 Einfluss einzelner Merkmalsdimensionen

Die folgende Analyse klärt für Experiment 3, ob es bei jeder Merkmalsdimension der jeweilig relevanten Merkmalsklasse zu Wechselkosten in Bezug auf die Reaktionszeit kam. Zu diesem Zweck wurden die Daten über die Durchgänge 1-4 innerhalb eines Durchlaufes gemittelt und für jede Merkmalsklasse wurde mit der durchschnittlichen Reaktionszeit eine separate dreifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Intra-Set-Übergang*, *Dimension* (Symbole: *Form*, *Farbe*, *Anzahl*; Hintergrund: *Textur*, *Ecke*, *Balken*) und *Kompatibilität* gerechnet. Im Folgenden werden nur die den Faktor *Dimension* betreffenden Haupteffekte und Interaktionen berichtet, da die übrigen Ergebnisse redundant mit den schon berichteten Analysen sind. Sowohl für die Merkmalsklasse Hintergrund als auch für die Merkmalsklasse Symbole ergab sich jeweils ein signifikanter Haupteffekt *Dimension*, Hintergrund: $F(2, 92) = 6.40, p < .001, MSe = 5740442.49, \eta^2 = .38$, Symbole: $F(2, 92) = 5.28, p < .001, MSe = 502810.85, \eta^2 = .10$.

Wie die geplanten Folgekontraste zeigten, führte bei der Merkmalsklasse Hintergrund eine Wahl der *Textur* zu der kürzesten Reaktionszeit (2116 ms), gefolgt von *Balken* (2278 ms) und *Ecke* (1994 ms), $\Delta_{Textur-Ecke} = -162$ ms, $F(1, 46) = 6.62, p < .001, MSe = 188213.24, \eta^2 = .13$, $\Delta_{Ecke-Balken} = 248$ ms, $F(1, 46) = 13.37, p < .001, MSe = 284188.76, \eta^2 = .25$.

Wurde die Übereinstimmung innerhalb der Merkmalsklasse Symbole gesucht, führte die Wahl der *Farbe* zur kürzesten Reaktionszeit (1136 ms), gefolgt von *Form* (1293 ms) und *Anzahl* (1313ms), $\Delta_{Farbe-Form} = -157$ ms, $F(1, 46) = 6.62, p < .001, MSe = 214925.67, \eta^2 = .10$, $\Delta_{Form-Anzahl} = 20$ ms, $p > .05$. Der Faktor *Dimension* führte für keine Merkmalsklasse zu einer signifikanten Interaktion zweiter oder dritter Ordnung, $ps > .10$.

Die folgende Analyse klärt für Experiment 3, ob es unter einbeziehung der Kompatibilität bei jeder Merkmalsdimension der jeweils relevanten Merkmalsklasse zu einer Perseverationstendenz kam. Dafür wurde für jede Merkmalsklasse eine dreifaktorielle ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Intra-Set-Übergang*, *Dimension*, *Kompatibilität* gerech-

net. In beiden Merkmalsklassen kam es zu einem jeweils signifikanten Haupteffekt *Dimension*, $F_s(1, 46) \geq 8.50$, $MSe_s \geq .043$, $p_s < .001$, $\eta^2_s \geq .63$. War die Merkmalsklasse Hintergrund relevant, wurde am häufigsten *Farbe* gewählt ($P = .70$), gefolgt von *Form* ($P = .43$) und *Anzahl* ($P = .29$), $\Delta_{Farbe-Form} = .27$, $F(1, 46) = 24.87$, $p < .001$, $MSe = 0.041$, $\eta^2 = .35$, $\Delta_{Form-Anzahl} = .14$, $F(1, 46) = 29.94$, $p < .001$, $MSe = 0.111$, $\eta^2 = .39$.

War die Merkmalsklasse Hintergrund relevant, wurden *Textur* ($P = .53$) und *Balken* ($P = .53$) gleich häufig gewählt, aber öfter als *Ecke* ($P = .36$), $\Delta_{Ecke-Textur} = -.17$, $F(1, 46) = 30.92$, $p < .001$, $MSe = 0.047$, $\eta^2 = .40$, $\Delta_{Textur-Balken} = .003$, $p > .90$. Die Interaktionen zwischen *Dimension* und *Übergang* sowie zwischen *Dimension*, *Übergang* und *Kompatibilität* wurden für keine Merkmalsklasse signifikant, $F_s < 1$.

2 Fehler durch Perseveration der zuvor relevanten Merkmalsklasse (Durchgänge 5-8)

Diese Zusatzanalyse klärt, ob die erhöhte Fehlerhäufigkeit bei inkompatiblen Durchgängen durch eine fälschliche Perseveration auf die vormals relevante Merkmalsklasse oder durch eine generelle Fehleranfälligkeit entsteht. Die Fehler in den Durchgängen fünf bis acht können in *fälschliche Perseverationen* und *fehlende Übereinstimmungen* eingeteilt werden. Denn in den Durchgängen fünf bis acht bedeutet Fehler bei Inkompatibilität, dass entweder ein Distraktor mit einer Übereinstimmung zur irrelevanten Merkmalsklasse oder ein Distraktor ohne Übereinstimmung gewählt wurde. Entsteht die erhöhte Fehlerhäufigkeit bei inkompatiblen Durchgängen durch eine Perseveration auf der vormals relevanten Merkmalsklasse, dann sollte in den Durchgängen 5-8 aller Durchläufe die Fehlerart *fälschliche Perseverationen* häufiger sein als die Fehlerart *fehlende Übereinstimmungen*. Die relativen Fehlerhäufigkeiten der Durchgänge fünf bis acht aller Durchläufe wurden analysiert in einer zweifaktoriellen ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren *Merkmalsklasse* ($Sy =$ Symbole, $Hi =$ Hintergrund) und *Fehlerart* ($fÜK =$ fehlende Übereinstimmung bei Kompatibilität, $fPI =$ fälschliche Perseverationen bei Inkompatibilität, $fÜI =$ fehlende Übereinstimmung bei Inkompatibilität).

Ein signifikanter Haupteffekt *Merkmalsklasse*, $F(1, 46) = 25.36$, $p < .001$, $MSe = 277.8$, $\eta^2 = .35$, zeigt, dass bei der Merkmalsklasse Hintergrund (7.3%) mehr Fehler gemacht wurden als bei der Merkmalsklasse Symbole (2.3%). Ein Haupteffekt Fehlerart, $F(2, 92) = 36.57$, $p < .001$, $MSe = 258.3$, $\eta^2 = .43$, entsteht, weil *fälschliche Perseverationen bei*

Inkompatibilität (10.5%) häufiger vorkamen als *fehlende Übereinstimmungen bei Kompatibilität* (2.3%) und *fehlende Übereinstimmungen bei Inkompatibilität* (1.4 %). Folgekontraste bestätigten die Unterschiede zwischen den Fehlerarten, $\Delta_{fPI-fÜK} = - 8.2 \%$, $F(1, 46) = 23.28$, $p < .001$, $MSe = 97.73$, $\eta^2 = .41$, $\Delta_{fPI-fÜI} = - 9.1 \%$, $F(1, 46) = 41.58$, $p < .001$, $MSe = 93.56$, $\eta^2 = .47$.

Darüber hinaus kam es zu einer signifikanten Interaktion, $F(2, 92) = 14.75$, $p < .001$, $MSe = 273.8$, $\eta^2 = .24$. Die Interaktionsfolgekontraste zeigten, dass bei der Merkmalsklasse Hintergrund der Unterschied zwischen *fälschliche Perseverationen bei Inkompatibilität* und *fehlende Übereinstimmungen bei Kompatibilität* ($\Delta = 13.6 \%$), größer war als bei der Merkmalsklasse Symbole ($\Delta = 2.8 \%$), $\Delta_{Hi-Sy} = 10.7 \%$, $F(1, 46) = 13.51$, $p < .001$, $MSe = 399.5$, $\eta^2 = .27$.

Ferner war bei der Merkmalsklasse Hintergrund der Unterschied zwischen *fälschliche Perseverationen bei Inkompatibilität* und *fehlende Übereinstimmungen bei Inkompatibilität* ($\Delta = 15.3 \%$) größer als bei der Merkmalsklasse Symbole ($\Delta_{Sy} = 3.2 \%$), $\Delta_{Hi-Sy} = 11.9 \%$, $F(1, 46) = 16.3$, $p < .001$, $MSe = 409.8$, $\eta^2 = .26$, einzelne mittlere Fehlerhäufigkeiten für *fehlende Übereinstimmungen bei Kompatibilität*, *fälschliche Perseverationen bei Inkompatibilität* und *fehlende Übereinstimmungen bei Inkompatibilität* Symbole: 1.4, 4.3 und 1.1%; Hintergrund: 3.2, 16.8 und 1.7 %).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in den Durchgängen 5-8 eines Durchlaufes in der inkompatiblen Bedingung die meisten Fehler gemacht wurden. Ferner wurde bei einer generell erhöhten Fehleranfälligkeit während der Bearbeitung der Merkmalsklasse Hintergrund im Vergleich zu der Merkmalsklasse Symbole fälschlicherweise häufig ein Distraktor gewählt, der eine Übereinstimmung in Bezug auf die vormals relevante Merkmalsklasse Symbole enthielt.

3 Zeitlicher Verlauf der Fixationswahrscheinlichkeiten

Im Folgenden wird für jede Merkmalsklasse und jeden Zeitbereich berichtet, wie sich die Fixationswahrscheinlichkeit der Reize über die Zeit änderte und welche Reize innerhalb eines Zeitbereiches am wahrscheinlichsten fixiert wurden (siehe Anhang B, Abschnitt 2). Zunächst werden die Analysen für die Merkmalsklasse *Symbole* und anschließend für die Merkmalsklasse *Hintergrund* berichtet.

3.3.1 Symbole

0 – 200 ms. Zwischen 0 – 200 ms waren die Fixationswahrscheinlichkeiten des Targets (.43) und der Mitte (.34) am größten, gefolgt von den Fixationswahrscheinlichkeiten des gewählten Referenzreizes (.10), des Distraktors (.07) und des alternativen Referenzreizes (.05). Bis auf Target und Mitte wurden alle Folgekontraste zwischen den Reizen signifikant, $\Delta_{M-T} = .09$, $\Delta_{T-gR} = .23$, $\Delta_{gR-D} = .03$, $\Delta_{D-aR} = .02$, $F(1,21) = 3.08, 24.36, 10.11, 10.43$, $p_{M-T} = .086$, alle restlichen $ps < .001$.

250 – 500 ms. Im Vergleich zum vorherigen Zeitbereich nahmen die Fixationswahrscheinlichkeiten des Targets und des gewählten Referenzreizes zu, während die Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte abnahm ($\Delta_T = -.16$, $F(1,46) = 12.49$, $p < .001$, $\Delta_{gR} = -.12$, $F(1,46) = 30.48$, $p < .001$, $\Delta_M = .35$, $F(1,46) = 149.22$, $p < .001$). Konstant blieben die Fixationswahrscheinlichkeiten des Distraktors und des alternativen Referenzreizes (alle $\Delta s < .01$, $F_s < 1$). Infolgedessen war die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets am größten (.50), gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes (.23), der Mitte (.10), des Distraktors (.08) und des alternativen Referenzreizes (.08). Die Folgekontraste zwischen Target, gewähltem Referenzreiz und Mitte wurden signifikant, $\Delta_{T-gR} = .27$, $\Delta_{gR-M} = .13$, $F(1,46) = 75.07, 76.40$, $\Delta_{M-D} = .01$, $\Delta_{D-aR} < .01$, $F_s < 1$.

550 – 950 ms. Im Vergleich zum vorherigen Zeitbereich nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes stark zu und die Fixationswahrscheinlichkeiten des Distraktors und des alternativen Referenzreizes nahmen leicht zu ($\Delta_{gR} = -.28$, $F(1,46) = 294.87$, $p < .001$, $\Delta_D = -.03$, $F(1,46) = 11.37$, $p < .001$, $\Delta_{aR} = -.06$, $F(1,46) = 71.85$, $p < .001$). Die Fixationswahrscheinlichkeiten des Targets und der Mitte verringerten sich leicht ($\Delta_T = .35$, $F(1,46) = 230.86$, $p < .001$, $\Delta_M = .03$, $F(1,46) = 14.97$, $p < .001$). Innerhalb dieses Zeitbereiches war die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes am größten (.51), gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit des Targets (.15), des alternativen Referenzreizes (.14), des Distraktors (.12) und der Mitte (.05). Bis auf den Vergleich zwischen Target und alternativem Referenzreiz, wurden alle Folgekontraste signifikant, $\Delta_{gR-T} = -.36$, $\Delta_{aR-D} = -.02$, $\Delta_{D-M} = .01$, $F(1,21) = 163.49, 9.45, 24.40$, $ps < .001$, $\Delta_{T-aR} < -.01$, $F < 1$.

1000 – 1400 ms. Im Vergleich zum vorherigen Zeitbereich verringerte sich die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes, während die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets leicht zunahm ($\Delta_{gR} = .12$, $F(1,21) = 14.19$, $p < .001$, $\Delta_T = -.10$, $F(1,46) = 38.62$, $p < .001$). Die Fixationswahrscheinlichkeiten des alternativen Referenzreizes, des Distraktors und der Mitte blieben konstant, alle $\Delta s < .01$, $F_s < 1$. Wie im vorherigen Zeit-

bereich war die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes am größten (.40), gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit des Targets (.24), der Mitte (.14), des Distraktors (.13) und des alternativen Referenzreizes (.08). Bis auf den Vergleich zwischen alternativem Referenzreiz und Distraktor wurden alle Folgekontraste signifikant, $\Delta_{gR-T} = .16$, $\Delta_{T-aR} = .11$, $\Delta_{D-M} = .05$, $F(1,21) = 25.47, 23.56, 8.36$, $ps < .05$. $\Delta_{aR-D} < .01$, $F < 1$.

1450 – 2000 ms. Im Vergleich zu dem vorherigen Zeitbereich nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes ab, während die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets zunahm, $\Delta_{gR} = -.07$, $F(1,46) = 12.8$, $p < .001$, $\Delta_T = -.08$, $F(1,21) = 16.06$, $p < .001$. Die Fixationswahrscheinlichkeiten des Distraktors, der Mitte und des alternativen Referenzreizes blieben konstant, alle $Fs < 1$. Im Einzelnen waren die Fixationswahrscheinlichkeiten des gewählten Referenzreizes (.46) und des Targets am größten (.18) und nicht signifikant verschieden. Geringer als diese waren die Fixationswahrscheinlichkeiten der Mitte (.16), des Distraktors (.10) und des alternativen Referenzreizes (.10), wobei sich diese nicht signifikant voneinander unterschieden. Signifikant wurde nur der Folgekontrast zwischen Target und Distraktor, $\Delta_{T-D} = .13$, $F(1,21) = 17.80$, $p < .001$, $\Delta_{gR-T} = .01$, $\Delta_{D-aR} < .01$, $\Delta_{aR-M} < .01$, alle $Fs < 1$.

3.3.2 Hintergrund

0 – 200 ms. Zwischen 0 – 200 ms waren die Fixationswahrscheinlichkeiten des Targets (.43) und der Mitte (.35) am größten, gefolgt von den Fixationswahrscheinlichkeiten des gewählten Referenzreizes (.08), des Distraktors (.08) und des alternativen Referenzreizes (.07). Bei den Folgekontrasten zwischen den Reizen wurde nur der Vergleich von Mitte und gewähltem Referenzreiz signifikant, $\Delta_{M-gR} = .23$, $F(1,21) = 119.46$, $p < 0.01$, $\Delta_{T-M} = .08$, $\Delta_{gR-D} < .01$, $\Delta_{D-aR} = .01$, alle $Fs < 1$.

250 – 500 ms. Im Vergleich zum vorherigen Zeitbereich nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets zu, während die Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte abnahm ($\Delta_T = -.28$, $F(1,46) = 69.49$, $p < .001$, $\Delta_M = .28$, $F(1,46) = 149.22$, $p < .001$). Die Fixationswahrscheinlichkeiten der restlichen Reize blieben konstant ($\Delta s < .01$, $ps < .10$). Infolgedessen war die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets am größten (.70), gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes (.08), des Distraktors (.08), des alternativen Referenzreizes (.07) und der Mitte (.07). Bei den Folgekontrasten wurde nur der Vergleich zwischen Target und gewähltem Referenzreiz signifikant, $\Delta_{T-gR} = .62$, $F(1,46) = 492.29$, $p < .001$, $\Delta_{gR-D} < .01$, $\Delta_{D-aR} = .01$, $\Delta_{aR} < .01$, alle $Fs < 1$.

550 – 950 ms. Im Vergleich zum vorherigen Zeitbereich nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets ab, während die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes zunahm ($\Delta_T = .47$, $F(1,46) = 248.42$, $p < .001$, $\Delta_{gR} = -.24$, $F(1,46) = 365.291$, $p < .001$). Ferner nahmen die Fixationswahrscheinlichkeiten des Distraktors und des alternativen Referenzreizes leicht zu, während die Fixationswahrscheinlichkeit der Mitte konstant blieb ($\Delta_D = -.14$, $F(1,46) = 122.58$, $p < .001$, $\Delta_{aR} = -.12$, $F(1,46) = 96.21$, $p < .001$, $\Delta_M = .02$, $F < 1$). Infolgedessen war die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes zwischen 550 und 950 ms am größten (.32), gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit des Targets (.23), des Distraktors (.22), des alternativen Referenzreizes (.19) und der Mitte ($P = .05$). Bis auf den Vergleich zwischen Target und Distraktor wurden alle Folgekontraste signifikant, $\Delta_{gR-T} = -.07$, $\Delta_{D-aR} = .02$, $\Delta_{aR-M} = .14$, $F < 1$. $F(1,21) = 13.21$, 5.96, 179.28, $ps < .05$, $\Delta_{T-D} = -.01$, $F < 1$.

1000 – 1400 ms. Im Vergleich zum vorherigen Zeitbereich stieg die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes weiter an, während die Fixationswahrscheinlichkeiten des Distraktors und des alternativen Referenzreizes abnahmen ($\Delta_{gR} = -.13$, $F(1,21) = 40.75$, $p < .001$, $\Delta_D = -.08$, $F(1,46) = 81.78$, $p < .001$, $\Delta_{aR} = -.03$, $F(1,46) = 19.04$, $p < .001$). Die Fixationswahrscheinlichkeiten der Mitte und des Targets blieben konstant ($\Delta_s < .01$, $F_s < 1$). Wie im vorherigen Zeitbereich war die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes am größten (.44), gefolgt von der Fixationswahrscheinlichkeit des Targets (.22), des alternativen Referenzreizes (.15), des Distraktors (.14) und der Mitte (.05). Alle Folgekontraste zwischen den Reizen wurden signifikant, $\Delta_{gR-T} = .23$, $\Delta_{T-aR} = .06$, $\Delta_{aR-D} = .02$, $\Delta_{D-M} = .09$, $F(1,46) = 87.86$, 10.27, 4.47, 88.92, alle $ps < .05$.

1450 – 2000 ms. In diesem Zeitbereich nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets wieder zu, während die Fixationswahrscheinlichkeiten des gewählten Referenzreizes, des Distraktors und des alternativen Referenzreizes abnahmen ($\Delta_T = -.08$, $F(1,46) = 53.39$, $p < .001$, $\Delta_{gR} = .10$, $F(1,46) = 25.47$, $p < .001$, $\Delta_D = .02$, $F(1,46) = 6.89$, $p < .05$, $\Delta_{aR} = .02$, $F(1,46) = 7.53$, $p < .001$). Infolgedessen waren die Fixationswahrscheinlichkeiten des gewählten Referenzreizes (.38) und des Targets (.32) am größten, gefolgt von den Fixationswahrscheinlichkeiten des Distraktors (.13), des alternativen Referenzreizes (.12) und der Mitte (.05). Bis auf den Vergleich zwischen Target und alternativem Referenzreiz wurden alle Folgekontraste signifikant, $\Delta_{gR-T} = .07$, $\Delta_{T-D} = .20$, $\Delta_{aR} < .08$, $F(1,21) = 7.13$, 112.13, 49.85 alle $ps < .001$, $\Delta_{D-aR} = .02$, $F(1,21) = 2.81$, $p = .10$.

2000 – 3000 ms. Zwischen 2000 – 3000 ms nahm die Fixationswahrscheinlichkeit des Targets wieder ab, während die Fixationswahrscheinlichkeit des gewählten Referenzreizes

konstant blieb und die Fixationswahrscheinlichkeiten der restlichen Reize leicht zunahmen ($\Delta_T = .08$, $F(1,46) = 54.91$, $p < .001$, $\Delta_{gR} = .01$, $F < 1$, $\Delta_D = -.02$, $F(1,46) = 12.18$, $p < .001$, $\Delta_{aR} = -.03$, $F(1,46) = 3.93$, $p < .05$, $\Delta_M = -.03$, $F(1,46) = 28.65$, $p < .001$). Infolgedessen waren die Fixationswahrscheinlichkeiten des gewählten Referenzreizes (.38) und des Targets (.24) am größten, gefolgt von den Fixationswahrscheinlichkeiten des Distraktors (.15), des alternativen Referenzreizes (.14) und der Mitte (.08). Bis auf den Vergleich zwischen Distraktor und alternativem Referenzreiz wurden alle Folgekontraste signifikant, $\Delta_{gR-T} = .12$, $\Delta_{T-D} = .10$, $\Delta_{aR} < .07$, $F(1,21) = 35.97$, 52.10 , 37.85 , alle $ps < .001$, $\Delta_{D-aR} < .01$, $F < 1$.

Anlage 1: Versicherung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Allgemeine Psychologie, Biopsychologie und Methoden der Psychologie an der TU Dresden unter der wissenschaftlichen Betreuung von Herrn Prof. Dr. phil. habil. Thomas Goschke angefertigt.

Dipl.-Psych. René Mayer
Dresden, den 10.01.2008