

**Der Einfluss von Aufmerksamkeit auf das zeitliche
Auflösungsvermögen des visuellen Systems:
Gegensätzliche Effekte bei unterschiedlicher
Aufmerksamkeitslenkung**

Dissertation

der Fakultät für Informations- und Kognitionswissenschaften
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt von

Elisabeth Hein

aus Karlsruhe

Tübingen
2005

Tag der mündlichen Qualifikation: 25.01.2006
Dekan: Prof. Dr. Michael Diehl
1. Berichterstatter: Prof. Dr. Rolf Ulrich
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Werner Lutzenberger

Meiner Mama

Vorwort

Der Einfluss visuell-räumlicher Aufmerksamkeit auf das zeitliche Auflösungsvermögen des visuellen Systems ist ein in zweifacher Hinsicht spannendes Thema. Zum einen, weil Aufmerksamkeit die Grundlage unserer Wahrnehmung ist, da die Selektion für uns relevanter Informationen aus der Flut an Informationen aus unserer Umwelt, die in jedem Moment auf uns einbricht (glücklicherweise ohne dass wir uns darüber bewusst werden), unerlässlich dafür ist, unsere Umwelt sinnvoll wahrzunehmen und mit ihr interagieren zu können. Zum anderen, da der Einfluss der Aufmerksamkeit auf die zeitliche Verarbeitung ein besonderer ist: die ansonsten so „hilfreiche“ Aufmerksamkeit scheint das zeitliche Auflösungsvermögen zu verringern. Welcher Mechanismus hinter diesem erstaunlichen Befund stehen könnte und wie sich dieser Widerspruch zwischen positivem und negativem Aufmerksamkeitseffekt erklären lässt, hat mich fasziniert und dazu geführt, dass ich mich damit in dieser Arbeit beschäftigt habe.

Während der Promotion wurde meine Frustrationstoleranz das eine oder andere mal auf die Probe gestellt, aber die Neugier, mehr über die Funktionsweise der Aufmerksamkeit zu erfahren und die Befriedigung, in neuen Experimenten Daten zu sammeln und so Ideen zu überprüfen waren eine ständige Motivationsquelle. Nicht zuletzt auch durch die Unterstützung meiner Betreuer und die sehr freundschaftliche Atmosphäre in der gesamten Arbeitsgruppe ließen sich alle Schwierigkeiten meistern, so dass ich insgesamt auf drei spannende und schöne Jahre der Promotion zurückblicken kann, die meinen Entschluss gefestigt haben, auch in Zukunft der wissenschaftlichen Forschung treu zu bleiben.

Mein besonderer Dank gilt Dr. Bettina Rolke und Prof. Dr. Rolf Ulrich für ihre einzigartige Betreuung meiner Arbeit und Hilfestellung, angefangen von der Planung der Experimente bis hin zum Verfassen der Dissertation. Vielen herzlichen Dank auch an Dipl.-Psych. Karin Bausenhart und Dr. Hannes Schröter für anregende Diskussionen und ihre Hilfsbereitschaft sowie an Isabelle Schurr und Carolina Posada für ihre Unterstützung bei der Erhebung der Daten. Finanziell wurde die Arbeit durch das Graduiertenkolleg Kognitive Neurobiologie ermöglicht. Ich bin dem Graduiertenkolleg aber auch dankbar für zahlreiche Fortbildungen, die Gelegenheit andere Fachbereiche kennen zu lernen sowie die Möglichkeit, sich mit anderen Doktoranden auszutauschen.

Schließlich möchte ich mich auch bei meinem Vater, meinem Bruder und meinen Freunden (insbesondere Angela Beck) bedanken für ihre moralische Unterstützung und ihr Verständnis, dass ich manchmal wenig Zeit für sie hatte. Mein ganz besonderer Dank gilt Stefan, der immer für mich da war und ist.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Einleitung	9
1.1 Selektive Aufmerksamkeit.....	10
1.2 Einfluss der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit auf die Reizverarbeitung....	12
1.2.1 Experimentelle Untersuchung der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit... 12	
1.2.2 Positiver Einfluss räumlicher Aufmerksamkeit auf die Diskrimination räumlicher Reizeigenschaften	16
1.2.3 Negativer Einfluss räumlicher Aufmerksamkeit auf die Diskrimination zeitlicher Reizeigenschaften.....	20
1.3 Mechanismen der Wirkung visuell räumlicher Aufmerksamkeit	23
1.3.1 Inhibitionshypothese nach Yeshurun und Levy (2003)	24
1.3.2 Stationäre Modelle visuell-räumlicher Aufmerksamkeit.....	31
1.3.3 Nicht-Stationäre Modelle visuell-räumlicher Aufmerksamkeit	34
1.3.4 Neuronale Modelle visuell-räumlicher Aufmerksamkeit	43
1.4 Mechanismen der Aufmerksamkeitslenkung.....	47
1.4.1 Unterschiede zwischen endogener und exogener Aufmerksamkeits- lenkung.....	48
1.4.2 Interpretation der Unterschiede zwischen endogener und exogener Aufmerksamkeitslenkung	53
1.5 Zielsetzung: Überprüfung der Inhibitionshypothese	58
2 Experimentelle Prüfung der Fragestellung	63
2.1 Einfluss der Aufmerksamkeit auf die Diskriminationsleistung bei Reihenfolgeurteilen (Experiment 1)	63
2.1.1 Methode.....	64
2.1.2 Ergebnisse	68
2.1.3 Diskussion	70
2.2 Überprüfung der Interferenzhypothese mit Hilfe von Formdiskrimination (Experiment 2).....	71
2.2.1 Methode.....	72
2.2.2 Ergebnisse	74
2.2.3 Diskussion	75
2.3 Überprüfung der zeitlichen Interferenzhypothese mit Hilfe neutraler Cues (Experiment 3).....	76
2.3.1 Methode.....	77
2.3.2 Ergebnisse	78
2.3.3 Diskussion	80

2.4 Einfluss prädiktiver zentraler Cues auf die Diskriminationsleistung beim Reihenfolgeurteil (Experiment 4).....	82
2.4.1 Methode.....	83
2.4.2 Ergebnisse	85
2.4.3 Diskussion	87
2.5 Einfluss nicht-prädiktiver zentraler Cues auf die Diskriminationsleistung beim Reihenfolgeurteil (Experiment 5)	88
2.5.1 Methode.....	89
2.5.2 Ergebnisse	92
2.5.3 Diskussion	94
3 Allgemeine Diskussion	96
4 Zusammenfassung	111
Literaturverzeichnis	113
Lebenslauf	125

1 Einleitung

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf dem Einfluss der Aufmerksamkeit auf das zeitliche Auflösungsvermögen des visuellen Systems. Die Idee, dass die Lenkung der Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Objekt, Gefühl oder einen Gedanken, die Wahrnehmung desselben verändern kann und seine mentale Klarheit oder Lebendigkeit erhöhen könnte, geht bereits auf die Anfänge der experimentellen Psychologie (Helmholtz, 1910; James, 1950) zurück. So beschrieb James (1950): „Interest alone gives accent and emphasis, light and shade, background and foreground – intelligible perspective, in a word.“ (S. 402), wobei „interest“ als Ursache der Aufmerksamkeitszuwendung zu verstehen ist. Bereits diese frühen Aufmerksamkeitsforscher gingen also davon aus, dass Aufmerksamkeit unsere Wahrnehmung beeinflussen kann. Und obgleich dies lange Zeit umstritten war, gibt es wachsende Evidenz dafür, dass Aufmerksamkeit die Reizverarbeitung verbessern kann (z.B. Downing, 1988; Hawkins, Hillyard, Luck, Mouloua, Downing & Woodward, 1990; Kinchla, 1980; Shaw, 1984; Shiu & Pashler, 1994). Dieser Aufmerksamkeits Einfluss führt unter anderem dazu, dass die räumliche Auflösung, wie sie z.B. bei der Diskrimination räumlicher Lücken erforderlich ist, durch Aufmerksamkeit verbessert wird. Ob dies jedoch in gleicher Weise für die zeitliche Auflösung gilt, ist noch unklar.

Im ersten Teil der Einleitung wird zunächst darauf eingegangen werden, was in dieser Arbeit unter Aufmerksamkeit zu verstehen ist. Im zweiten Teil ist dann dargestellt, wie visuell-räumliche Aufmerksamkeit experimentell in so genannten Cueing-Paradigmen untersucht werden kann und wie sie die Wahrnehmung beeinflusst. Der intuitiv angenommene und experimentell immer wieder bestätigte positive Effekt der Aufmerksamkeit auf die visuelle Verarbeitung wird einer bemerkenswerten Ausnahme dieser Regel gegenübergestellt: in neueren Studien von Yeshurun und Kollegen (Yeshurun 2004; Yeshurun & Levy, 2003) zeigte sich ein negativer Effekt der Aufmerksamkeit, und zwar bei einer Aufgabe, die eine zeitliche Verarbeitung erfordert. Der dritte Abschnitt befasst sich mit den möglichen Erklärungen dieser unterschiedlichen Effekte räumlicher Aufmerksamkeit und den ihr zugrunde liegenden Mechanismen; darunter auch eine neue neurophysiologische Hypothese von Yeshurun und Levy (2003), die in der Lage ist, sowohl den positiven Effekt der räumlichen Aufmerksamkeit auf die räumliche Auflösung, als auch den negativen Effekt auf die zeitliche Diskrimination zu erklären. Diese Hypothese wird dann mit klassischen

Hypothesen zu Mechanismen der Aufmerksamkeitswirkung und Kontrolle verglichen (Kapitel 3 und 4 der Einleitung). Im letzten Teil der Einleitung wird das Ziel dieser Arbeit beschrieben, nämlich die neurophysiologische Hypothese von Yeshurun und Levy (2003) zu testen, der zufolge die zeitliche Verarbeitung im Allgemeinen verschlechtert sein soll. Eine Generalisierung der Befunde von Yeshurun und Levy (2003) würde nicht nur die Gültigkeit ihrer interessanten Hypothese bekräftigen, sondern auch Rückschlüsse über die Mechanismen räumlicher Aufmerksamkeit erlauben.

1.1 Selektive Aufmerksamkeit

Eine zentrale Frage in der Kognitionspsychologie ist, wie es möglich ist, trotz der begrenzten Kapazitäten der menschlichen Verarbeitungssysteme aus der enormen Menge sich ständig ändernder Informationen unserer Umwelt, die für uns relevanten Reize zu erkennen und ein einheitliches, stabiles Bild wahrzunehmen. Als Lösung dieses Problems bietet sich ein Mechanismus an, der Informationen filtert: *Selektive Aufmerksamkeit*. Aufmerksamkeit erlaubt unsere begrenzten Ressourcen nur auf wenige wichtige Reize zu lenken (das heißt sie aufmerksam zu beachten), und dafür unwichtigere Reize zu vernachlässigen. Dies ermöglicht wiederum, dass die relevanten (beachteten) Reize schneller und besser verarbeitet werden können. Aufmerksamkeit ist sozusagen das System, das unsere begrenzten Ressourcen verwaltet. Die Selektion bestimmter Informationen wird von vielen Forschern als wesentliche Aufgabe von Aufmerksamkeit gesehen (Müller & Krummenacher, 2002). So betont z.B. Kinchla (1980): „It is primarily the selectivity of the information processing that defines a mechanism as attentional” (p.214).

Bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts befassten sich Forscher wie z.B. James (1950) mit der Frage, ob und wie Aufmerksamkeit die bewusste Wahrnehmung eines Reizes verändert. Diese Aufmerksamkeitsforscher versuchten Aufmerksamkeit auf der Basis von phänomenologischen Konzepten (wie Klarheit und Lebendigkeit) zu verstehen. Im Gegensatz dazu wurde im Rahmen der Theorie der Informationsverarbeitung angenommen, dass das Gehirn interne Repräsentationen einzelner Reize konstruiert. Wahrnehmung wird somit nicht als passiv, sondern als aktiv angenommen: unser Gehirn konstruiert Repräsentationen unserer Umwelt, wobei Aufmerksamkeit eine entscheidende Rolle spielt. Die Forscher in den 50er Jahren waren dabei insbesondere an dem Problem der „sensorischen Überladung“ interessiert, wie es z.B. bei Fluglotsen auftritt, die viele gleichzeitig eintreffende Signale verarbeiten müssen.

Zwei Fragen standen dabei im Mittelpunkt der Aufmerksamkeitsforschung: Welche Faktoren selektive Aufmerksamkeit beeinflussen und welches die Konsequenzen, sowohl für die aufmerksam beachteten als auch für die nicht beachteten Informationen sind. Erste Untersuchungen, wie z.B. Cherrys (1953) Paradigma des dichotischen Hörens basierten auf diesen Fragen und bilden die Grundlage der Aufmerksamkeitsforschung im Gebiet der selektiven Aufmerksamkeit. Auf der Grundlage dieser sowie seiner eigenen Untersuchungen, formulierte Broadbent (1958) eine Informationsverarbeitungstheorie der Aufmerksamkeit: Die *Filter-Theorie* oder Theorie der frühen Selektion. Er nahm an, dass die beim dichotischen Hören beobachteten Verarbeitungsschwierigkeiten oder Informationsverluste bei gleichzeitiger Verarbeitung mehrerer Informationsquellen (z.B. beider Ohren) nicht sensorischen Limitierungen, sondern zentralen Kapazitätslimitierungen zugrunde liegen müssen. Als Ursache dieser zentralen Kapazitätsbegrenzungen vermutete er einen Aufmerksamkeitsfilter oder Informationsverarbeitungsflaschenhals. Ausgehend davon entwickelten sich weitere Theorien, bei denen je nach Forschungsbefunden der Filter zum Teil auf frühe, zum Teil auf späte Stufen der Informationsverarbeitung gelegt wurde (z.B. Deutsch & Deutsch, 1963). Die Debatte darüber, wo dieser Aufmerksamkeitsfilter zu lokalisieren ist, hat lange Zeit die Aufmerksamkeitsforschung bestimmt.

Im Fokus der vorliegenden Arbeit steht eine bestimmte Art der selektiven Aufmerksamkeit, die *visuell-räumliche Aufmerksamkeit*. Die selektive Funktion der Aufmerksamkeit ist dabei auf eine bestimmte Position im Raum bezogen. Was ist das Besondere an der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit? Jede visuelle Szene besteht aus vielen Objekten, die ganz unterschiedliche Reizmerkmale besitzen, wie z.B. Form, Farbe, Bewegung oder Position. Wir können Aufmerksamkeit auf jedes dieser Merkmale lenken und auf dieser Grundlage Objekte auswählen. Die Selektion visueller Objekte aufgrund ihrer Position ist jedoch ein besonders wirkungsvolles Mittel, um relevante visuelle Informationen auszuwählen und kann ganz unterschiedlichen Zwecken dienen. Wie wichtig räumliche Selektion für die visuelle Wahrnehmung ist, verdeutlichen auch Studien, die zeigen, dass Aufmerksamkeit, die auf eine bestimmte Position im Raum gerichtet ist, die Wahrnehmung von Reizen an dieser Position beeinflusst, was im nächsten Abschnitt beschrieben werden soll.

1.2 Einfluss der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit auf die Reizverarbeitung

Nach Schneider (1993) lassen sich drei Funktionen räumlicher Aufmerksamkeit unterscheiden. Erstens wird die Aufmerksamkeitsselektion benötigt, um diejenigen visuellen Merkmale zu bestimmen, die möglicherweise zu einem Objekt gehören, und daher zum Wiedererkennungssystem weitergeleitet werden sollen (z.B. Neisser, 1967). Zweitens spielt die räumliche Position eine wichtige Rolle in vielen Theorien höheren Sehens. So geht zum Beispiel Treisman in ihrer *Merkmal-Integrations-Theorie* (Treisman, 1991; Treisman & Gelade, 1980) davon aus, dass die Objektwahrnehmung in komplexen Szenen von einem Aufmerksamkeitsmechanismus abhängt, der visuelle Merkmale aufgrund ihrer räumlichen Position einander zuordnet und diese Merkmale dann zu einem einheitlichen internen Konzept verbindet. Schließlich ist drittens die räumliche Position für eine ganze Reihe von visuo-motorischen Verhaltensweisen wichtig, wie z.B. Augenbewegungen, Hand- oder Armbewegungen. Aufmerksamkeit verbindet dabei die räumlichen Koordinaten eines bestimmten Objekts, das eine bestimmte Aktion erfordert, mit den notwendigen motorischen Prozessen (z.B. Allport, 1993).

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der ersten Funktion visuell-räumlicher Aufmerksamkeit, und dabei insbesondere mit der Frage, wie die Verarbeitung der ausgewählten Merkmale beeinflusst wird. In den nächsten drei Abschnitten wird daher zunächst dargestellt werden, wie die Zuwendung räumlicher Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Position durch die Lenkung mit so genannten Precues oder Cues empirisch untersucht werden kann. Daran anschließend soll beschrieben werden, welche unterschiedlichen Einflüsse Aufmerksamkeit auf das räumliche und zeitliche Auflösungsvermögen haben kann.

1.2.1 Experimentelle Untersuchung der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit

Die Lenkung der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit in unserem täglichen Leben ist eng mit Augenbewegungen verbunden, sie kann aber auch unabhängig von den Augenbewegungen geschehen, eine Beobachtung, die bereits von Helmholtz (1910) gemacht wurde. Er bemerkte während eines Experiments, dass es ihm möglich war, unterschiedliche, auf einer Karte verteilte Buchstaben wahrzunehmen, obwohl sie durch einen Lichtblitz nur so kurz erhellt wurden, dass Augenbewegungen nicht

möglich waren. Er schloss daraus, dass sein Eindruck unterschiedlicher Buchstaben von der willentlichen Aufmerksamkeitslenkung zu bestimmten Positionen im Raum herrühren müsse. Systematische Untersuchungen (z.B. Hoffman, 1975; Posner, 1980) bestätigten seine Intuition. Demnach lassen sich zwei Orientierungssysteme unterscheiden, ein offenes System (*overt attention*), das uns ermöglicht, Bereiche unserer Umwelt durch Augenbewegungen in den Fokus unserer Aufmerksamkeit zu rücken, die wir ansonsten nicht oder nicht so genau sehen könnten. Daneben gibt es jedoch auch einen verdeckten Mechanismus (*covert attention*), der eine verbesserte visuelle Verarbeitung in einem begrenzten Bereich durch interne „Anpassungen“ (Aufmerksamkeit) ermöglicht und eine schnellere Orientierung zu einem Reiz hin erlaubt als das offene System. Auch wenn ein funktionaler Zusammenhang zwischen diesen beiden Systemen zu existieren scheint, können beide Systeme auch unabhängig voneinander aktiviert werden. Um mögliche Konfundierungen zwischen den beiden Systemen zu vermeiden, werden in Experimenten zur visuell-räumlichen Aufmerksamkeit die Probanden üblicherweise angewiesen, mit ihren Augen die Bildschirmmitte zu fixieren, und allein ihre Aufmerksamkeit zu anderen räumlichen Positionen als dem Fixationspunkt zu lenken.

In den frühen 70er Jahren wurde in mehreren Studien, insbesondere von Eriksen und Kollegen (z.B. Eriksen & Collins, 1969; Eriksen & Hoffman, 1972) untersucht, wie Aufmerksamkeit die Identifikation von Buchstaben beeinflusst. Sie verwendeten das Paradigma des so genannten räumlichen *Precueing*: Dabei wird Aufmerksamkeit räumlich gelenkt, indem die Probanden Vorinformation über die Position des Zielreizes erhalten. Dieses Paradigma geht auf eine Methode zurück, die schon von Sperling (1960), sowie Averbach und Coriell (1961) entwickelt wurde, um die Speicherkapazität des visuellen Kurzzeitgedächtnisses unabhängig von Beschränkungen in der Wiedergabe der im Gedächtnis gespeicherten Elemente zu untersuchen.

Die Technik des *Precueing* besteht darin, dass kurz vor der Präsentation des eigentlichen Zielreizes ein Indikator gezeigt wird, ein sogenannter *Precue* (z.B. ein Pfeil im Mittelpunkt im Kreis angeordneter Zielreize oder eine Linie direkt neben der Position eines der Zielreize). Dadurch haben die Probanden die Möglichkeit, sich auf den Zielreiz vorzubereiten, was die Leistung der Probanden verbesserte. So war z.B. in einer Studie von Eriksen und Collins (1969) die Identifikation von Buchstaben genauer, wenn ein *Precue* 50 oder 100 ms vor der Zielreizpräsentation erschien, als wenn er gleichzeitig oder erst danach erschien.

Eine solche Manipulation kann nicht nur die Genauigkeit, sondern auch die Reaktionszeit verkürzen, wie z.B. Eriksen und Hoffman (1972) in einem ganz ähnlichen Paradigma zeigen konnten. Diese Leistungsverbesserungen sowohl für Latenz als auch für Genauigkeitsmaße durch einen Precue wurden als Resultat einer Verlagerung der Aufmerksamkeit und damit als Hinweis auf die Existenz begrenzter Verarbeitungskapazitäten interpretiert. Dabei wurde in der Tradition der Forschung im auditiven Bereich, die Rolle der Aufmerksamkeit insbesondere in der effektiveren Ausblendung irrelevanter Distraktorreize gesehen.

Im Gegensatz zu diesen positiven Aufmerksamkeitseffekten konnte in einigen anderen Studien jedoch kein Einfluss der Vorinformation gefunden werden (Grindley & Townsend, 1968; Mowrer, 1941; Shiffrin & Gardner, 1972). Diese unterschiedliche Effektivität der Vorinformation könnte in der Art der Aufmerksamkeitslenkung begründet sein (Posner, Snyder & Davidson, 1980). In den meisten Studien, die keinen Einfluss der Vorinformation nachweisen konnten (z. B. Grindley & Townsend, 1968), wurde die Vorinformation nur vor jedem Experimentalblock und nicht vor jedem einzelnen Versuchsdurchgang gegeben. Posner et al. (1980) konnten aber zeigen, dass es für Probanden schwierig ist, die der Vorinformation entsprechende Vorbereitung auf eine bestimmte Position für längere Zeit aufrecht zu erhalten. Somit gehen Posner et al. (1980) davon aus, dass in den meisten Studien, die keinen Effekt der Vorinformation finden, gar keine effektive Lenkung der Aufmerksamkeit stattgefunden hat. Ein weiterer Mangel der meisten Studien ist Posner et al. zufolge, dass nur Nutzen durch Vorinformation (Erleichterung verglichen mit keiner Vorinformation), aber keine Kosten (Beeinträchtigung) für falsche Vorinformation untersucht wurden, was dazu geführt haben könnte, einen potentiellen Aufmerksamkeitseffekt zu unterschätzen.

Posner und seine Kollegen (Posner, Nissen & Ogden, 1978; Posner & Snyder, 1975) entwickelten das *Cueing-Paradigma*, welches das von Eriksen und seinen Kollegen verwendete Paradigma erweiterte und sensitiver für Unterschiede in der Aufmerksamkeitsverteilung sein sollte, da es sowohl Nutzen für die Reizverarbeitung durch die Aufmerksamkeitshinwendung als auch Kosten durch die Weglenkung der Aufmerksamkeit beinhalten sollte. Wie bei Eriksen und Kollegen wurde den Probanden mit Hilfe eines *Cues* (Hinweisreiz) zu Beginn jedes Durchgangs Vorinformation bezüglich der Position gegeben, an der der Zielreiz erscheinen sollte. Die Probanden sollten dann ihre Aufmerksamkeit aufgrund dieser Vorinformation lenken, das heißt

die Zielreize an der entsprechenden Position erwarten. Im Gegensatz zum Precue-Paradigma von Eriksen und seinen Kollegen, bei dem der Zielreiz erst durch den Precue definiert wird und dadurch der Precue notwendigerweise immer die richtige Zielreizposition angibt, ist der Zielreiz beim Cueing-Paradigma unabhängig vom Cue definiert und gibt die richtige Zielreizposition nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit an (z.B. 80%). Da der Cue nicht immer die korrekte Position anzeigt, können zwei Bedingungen miteinander verglichen werden: Bedingungen, in denen der Cue die richtige Zielreizposition anzeigt, und daher die Aufmerksamkeit auf den Zielreiz gerichtet sein sollte (*valide*) und Bedingungen, in denen der Cue die falsche Zielreizposition anzeigt, und die Aufmerksamkeit daher nicht auf den Zielreiz gerichtet sein sollte (*invalide*). Diese Bedingungen werden mit einer *neutralen* Bedingung verglichen, bei der die Aufmerksamkeit nicht explizit gelenkt wird.

Die Probanden von Posner et al. (1978) sollten einfach so schnell wie möglich reagieren, sobald der Zielreiz erschien. Es ergaben sich kürzere Reaktionszeiten in validen als in neutralen Versuchsdurchgängen, jedoch längere Reaktionszeiten in invaliden als in neutralen Versuchsdurchgängen, woraus sich *Kosten* und *Nutzen* der Aufmerksamkeitslenkung ergeben (Abb. 1.1).

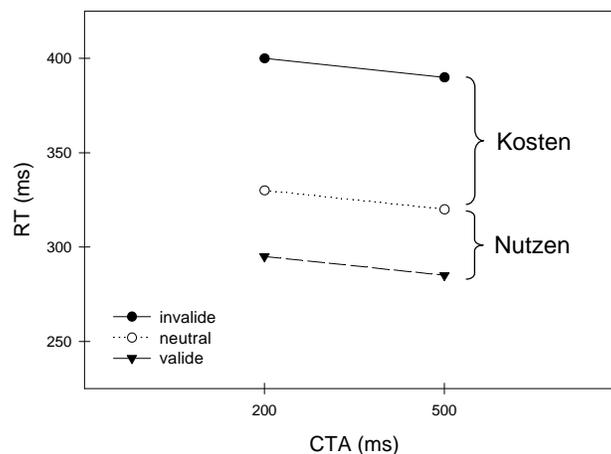


Abbildung 1.1: Kosten und Nutzen in einem Cueing-Paradigma für zwei verschiedene Zeitintervalle zwischen Cue und Zielreiz (CTA) nach Posner et al. (1978).

Ein sehr ähnliches Ergebnismuster wurde auch für die Fehlerraten gefunden (vgl. auch Jonides, 1980). Um sicherzugehen, dass die Unterschiede nicht Augenbewegungen zuzuschreiben sind, sondern wirklich auf einen zentralen (Aufmerksamkeits-) Prozess zurückgeführt werden können, wurden Augenbewegungen mittels Elektrookkulogramm (EOG) verfolgt und Versuchsdurchgänge mit Augenbewegun-

gen ausgeschlossen. Sehr ähnliche Kosten und Nutzen ließen sich auch mit anderen Antwortmodi, wie Zweifachwahlaufgaben, anderen Reizpositionen (unterhalb oder oberhalb der Horizontale, in der der Cue lag), sowie unterschiedlichem Reizmaterial (Buchstabe versus Zahl) nachweisen (Posner et al., 1978).

Posner et al. (1978) verwendeten in ihrer Studie einen Pfeil in der Bildschirmmitte, um die Aufmerksamkeit zu lenken. Andere Studien zeigten, dass Aufmerksamkeit im Cueing-Paradigma nicht nur mit Hilfe von Pfeil-Cues in der Bildschirmmitte (*zentrale Cues*), sondern auch durch Pfeile an der späteren Zielreizposition (z.B. Jonides, 1981) oder durch plötzliches Aufleuchten von Rahmen an der Zielreizposition, sogenannte *Luminanz-Cues*, (z.B. Müller & Findley, 1988; Posner & Cohen, 1984) gelenkt werden kann (auch *periphere Cues* genannt, da sie an der Zielreizposition erscheinen).

1.2.2 Positiver Einfluss räumlicher Aufmerksamkeit auf die Diskriminatio- n räumlicher Reizeigenschaften

Im Gegensatz zu Eriksen und seinen Kollegen fanden sich die *Cueingeffekte*, das heißt die Unterschiede zwischen validen und invaliden Durchgängen, bei Posner und seinen Kollegen (z.B. Posner et al., 1978) auch dann, wenn gar keine Distraktoren vorhanden waren, und der Aufmerksamkeitseffekt daher nicht auf dem Ausblenden der Distraktoren beruhen konnte. Deshalb gingen Posner und Kollegen davon aus, dass Aufmerksamkeit direkt die Qualität der Wahrnehmung der beachteten Reize verbessert.

Die Cueing-Methode basiert auf der Annahme eines Aufmerksamkeitssystems, das limitierte Kapazitäten besitzt (z.B. Kahneman, 1973). Kosten und Nutzen-Effekte wurden dementsprechend von Jonides (1980), sowie von Posner und seinen Kollegen als Effekte der Ressourcenaufteilung von Aufmerksamkeit interpretiert (*Ressource-Allocation-Model*). Von diesem Modell ausgehend, wird angenommen, dass an die gecuetete Position überproportional viele Verarbeitungsressourcen geleitet werden, was die Verarbeitung der Reize an dieser Position verbessert. Unter der Annahme, dass die Ressourcen begrenzt sind, bedeutet das aber auch, dass an den anderen Positionen weniger Ressourcen zur Verfügung stehen, was zu einer verschlechterten Verarbeitung führt. Die Cueingeffekte wurden als Effekte der Aufmerksamkeit auf frühe Verarbeitungsstufen interpretiert, insofern dass aufmerksam beachtete In-

formationseinheiten genauer wahrgenommen und dadurch schnellere und genauere Reaktionen ermöglicht werden.

Die Vorstellung, dass Aufmerksamkeit als Ressource aufgefasst werden kann, und die entsprechenden Untersuchungen (z.B. Posner, 1980; Posner et al, 1980) führten zur Metapher des Lichtkegels (Spotlight). Demzufolge bewegt sich Aufmerksamkeit durch den Raum wie ein Lichtkegel. Innerhalb dieses Kegels ist die Informationsverarbeitung verbessert, das heißt Reize an diesem Ort werden schneller und gründlicher verarbeitet. Eine Weiterentwicklung dieser Idee stellt das Gummilinsen-Modell (z.B. Eriksen & Yeh, 1985; Eriksen & St. James, 1986) dar. Diesem Modell zufolge kann man sich räumliche Aufmerksamkeit eher als Gummilinse oder Zoomobjektiv vorstellen, deren Fokus variabel ist. Die Aufmerksamkeitskonzentration hängt von der Größe der zu beachtenden Region ab, die je nach Aufgabe enger oder weiter fokussiert werden kann: Je kleiner die aufmerksam beachtete Region, desto stärker ist die Aufmerksamkeit fokussiert, und desto größer ist die Konzentration der Ressourcen und damit das Auflösungsvermögen. Nach dem Gradientenmodell (Downing 1988; LaBerge & Brown, 1989) schließlich resultiert Aufmerksamkeitsverteilung aus der Öffnung eines Kanals für eine bestimmte Position. Im Unterschied zum Gummilinsen-Modell folgen die Ressourcen außerdem einem Gradienten, der von der Mitte des Aufmerksamkeitsfokus, wo sich die maximalen Ressourcen bündeln, zum Rand hin abfällt.

Es ist schwierig, eindeutige Evidenz für oder gegen die unterschiedlichen Metaphern zu finden, die teilweise in ihren Annahmen auch komplementär sind. Neuere Studien sprechen insgesamt jedoch eher gegen die klassische Idee des Spotlight-Modells, und für Modelle wie das Gradientenmodell (Henderson, 1991; Pratt & Quilty, 2002; Solomon, 2004; Tse, Sheinberg & Logothetis, 2003), unter anderem da diese Studien zeigen, dass der Aufmerksamkeitsfokus sehr variabel und an mehreren Stellen gleichzeitig sein kann. Wie auch immer Aufmerksamkeit jedoch im Einzelnen konzipiert wird, so besteht bei all diesen Konzepten Übereinstimmung darüber, dass die Cueingeffekte auf der Konzentration der Ressourcen eines kapazitätslimitierten Systems, der Aufmerksamkeit, auf die gecuetete Position beruhen, und dass diese Ressourcenkonzentration zu Lasten der nicht gecueteten Position geht. Diese ungleichmäßige Verteilung der Aufmerksamkeitsressourcen kann wiederum die Reizverarbeitung beeinflussen, und dadurch zu Verbesserungen und Verschlechterungen der Leistung im Cueing-Paradigma führen.

Die Interpretation der Leistungsverbesserungen durch die Vorinformation der Cues als förderliche Funktion der Aufmerksamkeit wurde jedoch auch vielfach in Zweifel gezogen (z.B. Kinchla, 1980; Shaw, 1984; Shiu & Pashler, 1994) und eine Reihe alternativer Erklärungsansätze vorgeschlagen. Da Theorien der Informationsverarbeitung annehmen, dass es mindestens zwei funktionale Stufen zwischen Reiz und Antwort gibt, die *Enkodierung* (der Bildung der Repräsentationen) und die *Entscheidung*, muss der Cueingeffekt nicht unbedingt auf der ersten Stufe der Enkodierung zustande kommen, sondern könnte auch auf der Ebene der Entscheidung über die Präsenz des Zielreizes entstehen. Nach der Signal-Entdeckungs-Theorie (Green & Swets, 1966) hängen diese Entscheidungen davon ab, ob die Stärke der Reizrepräsentation ein gewisses Kriterium erreicht. Die Reaktionszeitgewinne in Posners Cueing-Paradigma könnten demzufolge nicht nur auf eine beschleunigte Reaktion aufgrund der verbesserten visuellen Qualität der Reizrepräsentation (Sensitivität), sondern auch auf ein herabgesetztes *Entscheidungskriterium* (der Wert, ab dem ein Proband den Reiz als Vorhanden akzeptiert) zurückzuführen sein.

Shiu und Pashler (1994) wiesen darauf hin, dass in vielen Cueing-Studien Distraktorreize zusammen mit den Zielreizen gezeigt werden (z.B. Grindley & Townsend, 1968; Briand & Klein, 1987), die Reize nahe der Wahrnehmungsschwelle liegen (z.B. Hawkins et al., 1990), oder Masken an allen möglichen Reizpositionen erschienen (z.B. Henderson, 1991). Unter solchen Bedingungen bestehe die Möglichkeit, dass die Zielreize mit den Distraktoren verwechselt werden und damit Unsicherheit darüber entsteht, welches Element der Zielreiz ist. Da der Zielreiz in den meisten Cueing-Studien mit höherer Wahrscheinlichkeit an der Position des Cues erscheint, kann der Beobachter diesem Problem entgehen und eine höhere Genauigkeit erreichen, wenn er einfach das Perzept (den Reizeindruck) berichtet, welches an der gecueteten Position war, da hier die Wahrscheinlichkeit größer ist, tatsächlich den Zielreiz zu berichten. Die Cueingeffekte könnten demzufolge darauf beruhen, dass die Cues erlauben, Informationen über Nicht-Zielreize von der Entscheidung bezüglich der Antwort von vorn herein auszuschließen (*Theorie der Unsicherheitsreduktion*). Unterstützung findet diese Theorie durch Studien, die direkte Einflüsse auf das Entscheidungskriterium im Rahmen der Signalentdeckungstheorie fanden (z.B. Kinchla, 1980).

Außerdem finden Shiu und Pashler (1994) in Übereinstimmung mit der Theorie der Unsicherheitsreduktion in der Tat keine Cueingeffekte, wenn keine Gefahr der

Verwechslung der Perzepte an den unterschiedlichen Positionen besteht. Andere Studien finden jedoch Belege gegen diese Theorie (z.B. Egly & Homa, 1991; Henderson, 1996; Luck, Hillyard, Mouloua & Hawkins, 1996; Luck & Thomas, 1999; Smith, 2000), da sie im Gegensatz zu Shiu und Pashler (1994) auch dann noch Cueingeffekte fanden, wenn Unsicherheitsreduktion als Erklärung der Effekte nicht in Frage kommt, da die Zielreize ohne Distraktoren und Masken gezeigt werden oder der Cue *nicht-prädiktiv* ist (das heißt, die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Zielreiz an einer der möglichen Zielreizpositionen erscheint ist gleich, egal ob an dieser vorher der Cue erschien oder nicht). Auch Smith (2000) findet Evidenz gegen die Theorie der Unsicherheitsreduktion. Er entkoppelte die Faktoren Aufmerksamkeit und Reizposition, indem er die Zielreize auf einem gut sichtbaren „Podest“, einem begrenzten hellen Hintergrund, und nicht im leeren Raum zeigte, so dass die Position des Podests und somit des Reizes immer klar sichtbar war, wodurch die räumliche Unsicherheit minimiert sein sollte. Das Podest wiederum konnte entweder an der gecueten Position oder aber an einer nicht gecueten Position erscheinen, und war damit unabhängig von der Position des Cues. Da Smith (2000) dennoch robuste Cueingeffekte fand, schloss er daraus, dass die Unsicherheit bezüglich der Reizposition nicht der Faktor ist, der die Cueingeffekte provoziert hat.

Einige dieser Studien finden jedoch, dass die Cueingeffekte in Displays mit mehreren Elementen größer sind als in Displays mit nur einem Element (z.B. Henderson 1996; Luck & Thomas, 1999). Shiu und Pashler (1994) zufolge sprechen solche Befunde, sowie die beobachtbaren Effekte auf das Entscheidungskriterium gegen die Idee begrenzter Ressourcen und damit einer aufmerksamkeitsbedingten Interpretation der Cueingeffekte. Diese Effekte können jedoch durchaus auch durch Ressourcenverteilung auf post-perzeptiver Ebene erklärt werden: Aufmerksamkeit könnte ihren Einfluss ausüben, indem sie die Repräsentationen auswählt, die ins kapazitätslimitierte Arbeitsgedächtnis gelangen können, oder auf der Ebene der Antwortselektion manche Antworten anderen vorzieht (Kahneman, 1973). Der vergrößerte Aufmerksamkeitseffekt, wenn Distraktoren vorhanden sind, könnte so neben der Signalverbesserung eine zweite Rolle selektiver Aufmerksamkeit widerspiegeln, nämlich Filterung sensorischer Informationen unwichtiger Reize.

Eine Reihe von Studien zeigt außerdem (Bashinski & Bacharach, 1980; Downing, 1988; Hawkins et al., 1990; Lyon, 1990; Müller & Findlay, 1987; Müller & Humphreys, 1991), dass die Cueingeffekte zumindest in ihrer Gesamtheit nicht allein

durch Einflüsse auf das Entscheidungskriterium erklärt werden können. Aufmerksamkeit verbessert auch direkt die Reizverarbeitung und dies nicht nur bei der einfachen Entdeckung von Reizen (z.B. Bashinski & Bacharach, 1980; Hawkins et al., 1990; Müller & Humphreys, 1991), sondern auch bei ganz unterschiedlichen Formen der Diskrimination, wie z.B. von Form (z.B. Downing, 1988; Henderson, 1991, 1996), Orientierung (z.B. Cheal, Lyon & Hubbard, 1991; Downing, 1988), Helligkeit (z.B. Downing, 1988) und Kontrasten (z.B. Pestilli & Carrasco, 2005). Insbesondere auch Studien, die Effekte auf die Lückendiskrimination von Landoltschen Quadraten (Yeshurun & Carrasco, 1999), auf die Diskrimination von Garbormustern unterschiedlicher Frequenzen und Orientierungen (Carrasco, Penpeci-Talgar & Eckstein, 2000; Yeshurun & Carrasco, 2000) und von Vernier-Reizen (Lee, Koch & Braun, 1997; Yeshurun & Carrasco, 1999) finden, legen nahe, dass Aufmerksamkeit direkt die räumliche Auflösung des visuellen Systems beeinflusst.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass sich visuell-räumliche Aufmerksamkeit durch Vorinformation an bestimmte Positionen lenken lässt. Besonders erfolgreich hat sich dabei die so genannte Cueing-Methode von Posner et al. (1978) erwiesen, bei der durch eine Wahrscheinlichkeitsmanipulation nicht nur Nutzen an gecueten Positionen, sondern auch Kosten an nicht gecueten Positionen aufgezeigt werden können. Diese Cueingeffekte lassen sich sowohl auf der Ebene der Diskriminationsleistung als auch auf der Ebene der Reaktionszeiten finden und beruhen sehr wahrscheinlich auf der Verteilung begrenzter Aufmerksamkeitsressourcen, die die Reizverarbeitung beeinflussen.

Alternative Erklärungen der Cueingeffekte, die ohne die Annahme eines kapazitätsbegrenzten Systems auskommen, wurden in Studien widerlegt, die zeigen konnten, dass die Cueingeffekte auch dann noch auftreten, wenn mögliche Einflüsse auf der Ebene der Entscheidung aufgrund des Experimentaldesigns kontrolliert oder vermindert werden, z.B. indem unabhängige Maße für die Genauigkeit und das Entscheidungskriterium erhoben wurden, keine Unsicherheit bezüglich des Zielreizes bestand, oder die Cues nicht-prädiktiv bezüglich der Zielreizposition waren.

1.2.3 Negativer Einfluss räumlicher Aufmerksamkeit auf die Diskrimination zeitlicher Reizeigenschaften

Der Einfluß von Aufmerksamkeit auf figurale Reizmerkmale, wie Orientierung, Kontrast und auch die räumliche Auflösung wurde ausführlich untersucht (z.B.

Cheal, Lyon & Hubbard, 1991; Downing, 1988; Henderson, 1991, 1996; Lee, Koch & Braun, 1997; Pestilli & Carrasco, 2005; Yeshurun & Carrasco, 1999; Yeshurun & Carrasco, 2000). Sehr wenige Studien haben sich bislang hingegen direkt mit dem Einfluss der Aufmerksamkeit auf das zeitliche Auflösungsvermögen beschäftigt. Es ist deshalb unklar, ob visuell-räumliche Aufmerksamkeit denselben positiven Einfluss auch auf die Diskrimination zeitlicher Reizeigenschaften, wie Flimmern, Bewegung und Reihenfolge besitzt.

Eine Studie, die sich mit diesem bislang vernachlässigten Aspekt des Einflusses räumlicher Aufmerksamkeit auf die zeitliche Auflösung direkt beschäftigt hat, stammt von Yeshurun und Levy (2003). Sie verbanden das Cueing-Paradigma mit einer zeitlichen Aufgabe. Als Zielreiz präsentierten sie einen Punkt, der entweder kontinuierlich oder durch eine kurze zeitliche Lücke unterbrochen dargestellt wurde. Die Probanden sollten angeben, ob sie die Lücke während der Präsentation des Punktes entdeckt hatten oder nicht. Um das zeitliche Auflösungsvermögen zu erfassen, maßen die Autoren die Diskriminationsleistung für unterschiedlich lange Lücken. Die Aufmerksamkeit wurde mittels eines peripheren Cues, der aus einem kurzen Balken bestand, an die spätere Zielreizposition gelenkt, oder in einer neutralen Bedingung mittels zweier Balken (oberhalb und unterhalb der Zielreizposition) quer über den gesamten Bildschirm, an keine bestimmte Position gelenkt (Abb. 1.2). Damit ein möglicher Cueingeffekt auch wirklich der Aufmerksamkeitslenkung zugeschrieben werden kann, wurde der Zielreiz ohne Distraktoren präsentiert.

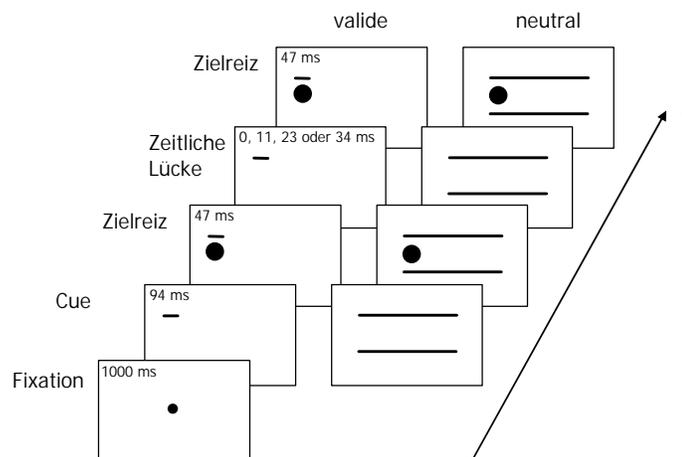


Abbildung 1.2: Ablauf eines Versuchsdurchgangs nach Yeshurun und Levy (2003).

Sollte Aufmerksamkeit die zeitliche Auflösung beeinflussen, so würde man einen Unterschied zwischen den beiden Cueingbedingungen erwarten. Im Gegensatz zur üblicherweise gefundenen Verbesserung des Auflösungsvermögens, wurde hier

ein negativer Einfluss der Aufmerksamkeit gefunden: die Diskriminationsschwelle war für valide gecuetete Zielreize höher verglichen mit der neutralen Bedingung. Die Reaktionszeiten (RT) blieben hingegen unbeeinflusst von der Cueing-Manipulation. Yeshurun und Levy (2003) schlossen daraus, dass räumliche Aufmerksamkeit die zeitliche Auflösung verringert und dadurch die Erkennung der zeitlichen Lücke erschwert.

Eine Reihe alternativer, nicht aufmerksamkeitsbedingter Theorien kann den von Yeshurun und Levy (2003) beobachteten negativen Cueingeffekt jedoch auch erklären. So kann z.B. Interferenz zwischen Cue und Zielreiz aufgetreten sein (vgl. Luck et al., 1996). Das Erscheinen des Cues, der in der validen Bedingung, aber nicht in der neutralen Bedingung, direkt an der Zielreizposition präsentiert wird, hätte demzufolge die nachfolgende Verarbeitung des Zielreizes behindert (eine Art Vorwärts-Maskierung, z.B. Eriksen & Collins, 1965; Ogmen, Breitmeyer & Melvin, 2003). Es wäre also möglich, dass der negative Cueingeffekt nur durch ein Artefakt der Cueing-Manipulation zustande gekommen ist. Um dies zu testen, verwendeten Yeshurun und Levy (2003) dasselbe Paradigma zusammen mit einer Aufgabe, die räumliche Diskrimination erforderte, welche üblicherweise durch Aufmerksamkeit verbessert wird (z.B. Lee et al., 1997; Yeshurun & Carrasco, 1999). Die Probanden mussten eine kleine räumliche Unterbrechung in einem Landoltschen Ring entdecken. Es fand sich der übliche positive Aufmerksamkeitseffekt, das heißt bessere Diskriminationsleistungen in der validen als in der neutralen Bedingung, was gegen die Hypothese spricht, dass der negative Cueingeffekt ein einfaches Artefakt der Cueing-Manipulation ist.

Der negative Cueingeffekt könnte jedoch auch durch eine zeitliche Form der Interferenz hervorgerufen sein, die sich nur bei zeitlichen und nicht bei räumlichen Zielreizen auswirkt (z.B. Yeshurun, 2004). So könnten z.B. im validen Fall durch die Nähe von Cue und Zielreiz beide in ein einziges komplexeres Reizmuster integriert werden (vgl. Gestalttheorie, z.B. Koffka, 1950; Sekuler & Benett, 2001), was dann die Verarbeitung des Zielreizes erschwert hat. Yeshurun (2004) untersuchte diese Möglichkeit, indem sie anstelle der ursprünglichen doppelten, durchgezogenen Balken der neutralen Bedingung einen einzelnen, langen, unterbrochenen Balken oberhalb aller möglichen Zielreizpositionen als neutralen Cue verwendete. Dieser neutrale Cue lenkte die Aufmerksamkeit auf keine bestimmte Zielreizposition, war jedoch an jeder einzelnen Position identisch mit dem validen Cue. Sollte der negative Cueingef-

fekt nur auf der Cue-Zielreiz-Integration beruht haben, so sollte dieselbe Interferenz auch mit dem unterbrochenen neutralen Cue auftreten, was das Verschwinden des Cueingeffekts zur Folge hätte. Yeshurun (2004) fand jedoch auch in diesem Experiment eine Verschlechterung des zeitlichen Auflösungsvermögen in der validen Bedingung verglichen mit der neutralen Bedingung, was dafür spricht, dass der negative Aufmerksamkeitseffekt nicht durch spezielle zeitliche Interferenz hervorgerufen wird.

Der von Yeshurun und Levy (2003) sowie Yeshurun (2004) verwendete Vergleich zwischen valider und neutraler Bedingung kann trotzdem problematisch sein, da sich der neutrale Cue physikalisch durch seine Helligkeit stark von den validen Cues unterscheidet, auch wenn er wie bei Yeshurun (2004) unterbrochen ist (Rolke, Dinkelbach, Hein & Ulrich, eingereicht; vgl. auch Jonides & Mack, 1984). Es wäre denkbar, dass der neutrale Cue durch seine größere Helligkeit ein stärkeres Warnsignal als der valide Cue darstellt und dadurch die Vorbereitung und die Diskrimination in dieser Bedingung verbessert hat (vgl. Kahneman, 1973). Rolke et al. (eingereicht) konnten auch diese Alternativhypothese ausschließen, indem sie in einem sehr ähnlichen Paradigma wie Yeshurun und Levy (2003) valide und invalide Bedingungen miteinander verglichen. Anstelle des neutralen Cues verwendeten Rolke et al. einen invaliden Cue, der mit dem validen Cue identisch war, jedoch auf der dem Zielreiz entgegengesetzten Bildschirmseite erschien und dadurch Aufmerksamkeit vom Zielreiz weglenkte. Auch in diesem Paradigma fand sich ein negativer Aufmerksamkeits-einfluss auf die Entdeckung der zeitlichen Lücke. Da sich die beiden Validitätsbedingungen nur durch die Art der Aufmerksamkeitslenkung, nicht aber durch physikalische Unterschiede des Cues unterscheiden spricht dieses Ergebnis zusammen mit den Befunden von Yeshurun und Levy (2003) sowie Yeshurun 2004 dafür, dass der negative Cueingeffekt auf die zeitliche Lückenentdeckung in der Tat der Aufmerksamkeit zuzuschreiben ist.

1.3 Mechanismen der Wirkung visuell räumlicher Aufmerksamkeit

Die bislang vorgestellten Studien haben gezeigt, dass visuell-räumliche Aufmerksamkeit die Verarbeitung von Reizen verbessert, wenn die Aufgabe räumliche Auflösung oder Entdeckung erfordert, jedoch die Reizverarbeitung überraschenderweise zu verschlechtern scheint, wenn die Aufgabe zeitliche Auflösung erfordert, zumindest was die zeitliche Lückenentdeckung betrifft (Rolke, Dinkelbach, Hein &

Ulrich, eingereicht; Yeshurun, 2004; Yeshurun & Levy, 2003). Die Cueingeffekte werden im Allgemeinen damit erklärt, dass Aufmerksamkeit zu der gecueten Position gelenkt wird, und damit mehr Verarbeitungsressourcen für die Reize an dieser Position zur Verfügung stehen. Doch wieso wird dadurch die zeitliche Verarbeitung verschlechtert? Um dies verstehen zu können, muss man sich mit dem Mechanismus der Aufmerksamkeit beschäftigen. Die Metaphern der Aufmerksamkeit, wie Posners Lichtkegel oder Downings Gradient (vgl. Kapitel 1.2.2) beschreiben hauptsächlich, wie Aufmerksamkeit gelenkt werden kann und wie der Aufmerksamkeitsfokus beschaffen ist. Wie Aufmerksamkeit gelenkt wird, ist jedoch von der Frage zu trennen, wie Aufmerksamkeit wirkt, sobald sie an einer bestimmten Position ist. Diese Frage nach dem Mechanismus der Aufmerksamkeit ist nach wie vor eine der zentralen Fragen der Kognitionspsychologie, und gewinnt im Licht des negativen Cueingeffekts besondere Bedeutung.

Da das Ziel dieser Arbeit ist, die Wirkung visuell-räumlicher Aufmerksamkeit auf das zeitliche Auflösungsvermögen zu untersuchen, soll in diesem Kapitel zunächst ein Modell von Yeshurun und Levy (2003) vorgestellt werden, das die beiden gegensätzlichen Effekte räumlicher Aufmerksamkeit mit Hilfe eines gemeinsamen Mechanismus erklärt. Anschließend wird dieses Modell mit den bereits existierenden Modellen zum Mechanismus räumlicher Aufmerksamkeit verglichen (stationäre und nicht stationäre Modelle nach Smith, Ratcliff & Wolfgang, 2004; vgl. auch Reinitz, 1990) und dargestellt, welcher Aufmerksamkeitseinfluss auf die zeitliche Verarbeitung diesen Modellen zufolge zu erwarten ist.

1.3.1 Inhibitionshypothese nach Yeshurun und Levy (2003)

Um den Mechanismus hinter diesem negativen Aufmerksamkeitseinfluss näher einzugrenzen, führten Yeshurun und Levy (2003) ein weiteres Experiment durch. Sie gingen zunächst davon aus, dass Aufmerksamkeit die *räumliche Summation* der Signale benachbarter Neurone auf frühen Verarbeitungsstufen beeinflussen könnte. Die räumliche Summation scheint nämlich für die zeitliche Auflösung eine Rolle zu spielen, da je größer ein Reiz ist, und damit die Fläche über die räumliche Summation stattfindet, desto besser ist auch die zeitliche Auflösung (z.B. Mäkelä, Rovamo & Whitaker, 1994). Ein Aufmerksamkeitsmechanismus, der die räumliche Summation begrenzt, z.B. indem er die *rezeptiven Felder* (RF) verkleinert, könnte die zeitliche Auflösung verschlechtern. Bei kleineren Zielreizen ist jedoch ein solcher Effekt

räumlicher Summation vernachlässigbar. Deshalb verkleinerten Yeshurun und Levy (2003) in ihrem dritten Experiment die Zielreizgröße. Die Autoren fanden auch bei kleinen Zielreizen eine Verschlechterung der zeitlichen Auflösung unter Aufmerksamkeitseinfluss. Da der negative Effekt von der Größe des Zielreizes, und damit der Anzahl der RF, über die räumliche Summation stattfindet, unabhängig ist, gehen die Autoren davon aus, dass dieser Effekt nicht durch die reine Verkleinerung der RF zustande gekommen ist.

Yeshurun und Levy (2003) schlagen deshalb ein neurophysiologisches Modell (Inhibitionshypothese) vor, das den negativen Aufmerksamkeitseffekt auf die zeitliche Auflösung anders erklärt. Diese Hypothese beruht auf der Unterscheidung zweier unterschiedlicher Pfade der visuellen Verarbeitung. Physiologischen und psychophysiologischen Studien zufolge lassen sich parvo- und magnozelluläre Pfade unterscheiden. Jeder dieser beiden Pfade ist auf die Verarbeitung unterschiedlicher visueller Informationen spezialisiert (z.B. Livingstone & Hubel, 1988).

Bereits auf der Ebene der Ganglionzellen in der Retina lassen sich verschiedene Zelltypen finden, die sich anatomisch und funktional voneinander unterscheiden. Diese unterschiedlichen Typen von Ganglionzellen bilden den Beginn der parallelen Verarbeitung, die sich bis in den Kortex fortsetzt. Die Neuronen der beiden Pfade der Verarbeitung, die P- und M-Neuronen, sind benannt nach den *magno-* und *parvozellulären* Lagen des seitlichen Kniehöckers des Thalamus (lateral geniculate nucleus: *LGN*), in die die beiden unterschiedlichen Typen von Ganglionzellen projizieren. Die Spezialisierungen in der visuellen Verarbeitung beruhen auf unterschiedlichen Eigenschaften der P- und M-Neuronen (z.B. Kaplan, 2004; Merigan & Maunsell, 1993; Schiller und Logothetis, 1990). So haben die Neuronen des P-Pfades kleinere RF als die des M-Pfades. Aufgrund der Rezeptorfeldgröße geht man davon aus, dass die P-Neuronen zu einer höheren räumlichen Auflösung führen als die M-Neuronen. Außerdem erhält das Zentrum der RF der P-Zellen üblicherweise nur von einem einzigen Zapfentyp Informationen. Die Zellen des M-Pfades erhalten hingegen Informationen von allen Zapfentypen. Deshalb unterscheiden sich die beiden visuellen Pfade auch aufgrund ihrer Farbsensitivität: im parvozellulären Pfad können die unterschiedlichen Farbinformationen unterschieden werden, wodurch die P-Neuronen sensitiver für Farben sind als die Neuronen des magnozellulären Pfades. Neuronen des magnozellulären Pfades sind dafür sehr viel sensitiver für Kontraste.

Hinsichtlich ihrer Weiterleitungsgeschwindigkeit und ihres Antwortverhalten unterscheiden sich die beiden Zelltypen ebenfalls. Impulse im magnozellulären Pfad werden schneller weitergeleitet als im parvozellulären Pfad. P-Zellen feuern auf eine Lichtstimulation anhaltend (*tonisch* oder *sustained*), während die M-Zellen auf Lichtstimulationen nur kurz (*phasisch* oder *transient*) reagieren und auch ihre Antwortlatenzen kürzer sind (Abb. 1.3).

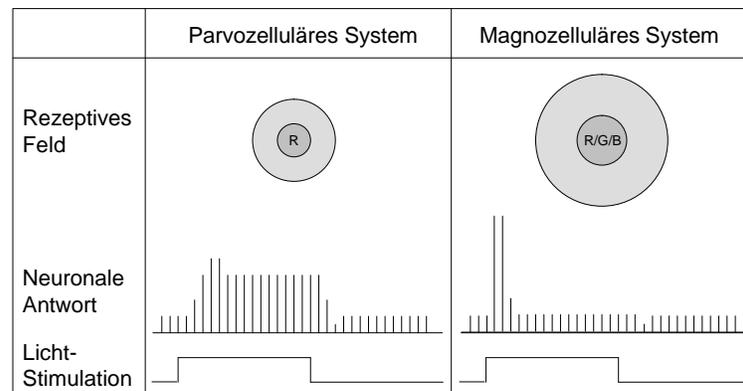


Abbildung 1.3: Schematische Darstellung der Unterschiede bezüglich der Zelleigenschaften des magno- und parvozellulären Systems nach Schiller und Logothetis (1990). R, G, und B bezeichnen die unterschiedlichen Zapfentypen, die sensitiv sind für verschiedene Lichtwellenlängen.

Die Neuronen des magnozellulären Pfades scheinen auch eine bessere zeitliche Auflösung zu besitzen als Neuronen des parvozellulären Systems (Levitt, Schumner, Sherman, Spear & Movshon, 2001). Levitt et al. (2001) bestimmten die zeitlichen Eigenschaften magno- und parvozellulärer Neuronen, indem sie die neuronalen Antworten einzelner Zellen auf Reize mit unterschiedlichen zeitlichen Frequenzen maßen. Sie fanden, dass magnozelluläre Neuronen sich bezogen auf die optimale zeitliche Frequenz des Reizes (bei der das Antwortmaximum gemessen wurde) nicht von parvozellulären Neuronen unterschieden, jedoch eine bessere zeitliche Auflösung hatten (bezogen auf die Reizfrequenz, bei der die Hälfte der maximalen Neuronenaktivität erreicht ist). Zusätzlich gibt es Hinweise darauf, dass magnozelluläre Neuronen nicht nur kürzere, sondern auch weniger variable Onset- (und möglicherweise auch Offset-) Latenzen haben könnten (Bair, Canvannah, Smith, & Movshon, 2002; Schmolesky, Wang, Hanes, Thompson, Leutgeb, Schall & Leventhal, 1998).

Ob diese unterschiedlichen Eigenschaften der P- und M-Zellen auch tatsächlich zu Unterschieden auf funktionaler Ebene führen ist jedoch unklar. Um die Funktionen der beiden Pfade näher zu untersuchen, hat man sich in psychophysischen Stu-

dien die Unterscheidung bezüglich der Farbsensitivität der beiden Pfade zu Nutzen gemacht. Man präsentierte dem Beobachter Reize, die die gleiche Helligkeit hatten, so dass sie sich nur durch die Wellenlänge ihrer Farbe voneinander unterschieden. Man ging davon aus, dass unter solchen *isoluminanten* Verhältnissen das magnozelluläre System nicht an der Reizverarbeitung beteiligt ist, und Behinderungen der Funktionen des visuellen Systems dieser Ausschaltung des magnozellulären Systems zugeschrieben werden kann (z.B. Livingstone & Hubel, 1988). Die Ergebnisse aus solchen Studien führten zur Annahme, dass das „farbblinde“ magnozelluläre System Bewegungswahrnehmung und Tiefenwahrnehmung vermittelt, während das parvozelluläre System eher Farb- und Formwahrnehmung vermittelt. Allerdings sind die Ergebnisse aus solchen Studien nicht eindeutig zu interpretieren, da zum einen auch einige Funktionen, die eigentlich dem P-System zugeschrieben werden (wie z.B. die Musterwahrnehmung), unter isoluminanten Bedingungen beeinträchtigt sind, und zum anderen das M-System unter isoluminanten Bedingungen nicht vollständig ausgeschaltet ist (vgl. Schiller & Logothetis, 1990).

Aus diesem Grund wurden Läsionsstudien am Affen durchgeführt, die eine direktere Untersuchung der Eigenschaften der beiden Systeme ermöglichen, weil dabei gezielt eines der beiden Systeme zerstört werden kann (z.B. Merigan & Maunsell, 1993; Schiller & Logothetis, 1990). So lokalisierten z.B. Schiller und Logothetis (1990) zunächst mit Hilfe von Verhaltenstests die beiden Pfade und injizierten dann anästhesierten Rhesusaffen ein Neurotoxin, um Teile des LGN, entweder des magno- oder des parvozellulären Systems zu zerstören.

Solche Studien zeigen, dass parvozelluläre Läsionen zu schweren Defiziten in der Farbwahrnehmung führen. Auch die Formwahrnehmung (Struktur/Textur, Muster und Gestalt) ist stark beeinträchtigt nach parvozellulärer Läsion. Diese Beeinträchtigung ist allerdings bei Reizen mit geringer räumlicher Frequenz weniger stark. Ebenso ist die Sensitivität des Luminanz-Kontrastes durch parvozelluläre Läsionen bei hohen räumlichen Frequenzen stark beeinträchtigt, während sich bei niedrigen räumlichen Frequenzen nur geringe Defizite feststellen lassen. Schließlich führen Läsionen des parvozellulären Pfades auch zu Defiziten bei der Tiefenwahrnehmung, wenn es sich um Aufgaben handelt, in denen feinere Unterscheidungen verlangt werden.

Die größten Defizite nach Läsionen des magnozellulären Systems sind zeitlicher Natur. Am stärksten sind dabei die Flicker- und Bewegungswahrnehmung beeinträchtigt, insbesondere bei niedrigen Kontrasten und bei hohen Flickerfrequenzen,

was dafür spricht, dass das magnozelluläre System die zeitliche Auflösung des visuellen Systems bestimmt. Bei niedrigen zeitlichen Frequenzen und hohen Kontrasten hingegen sind die Defizite nur gering, was bedeutet, dass auch das parvozelluläre System an der Verarbeitung gewisser zeitlicher Aspekte beteiligt ist (vgl. Schiller & Logothetis, 1990). Auch Merigan und Maunsell (1993) weisen darauf hin, dass Läsionen des magnozellulären Pfades eine Verringerung der Sensitivität hoher zeitlicher und niedriger räumlicher Frequenzen bewirken. Dies führt dazu, dass sich schnell bewegende oder flackernde Reize schlechter gesehen werden. Komplette Läsionen des mediotemporalen Areals (MT) und des medial-superior-temporalen Areals (MST) führen außerdem zur Erhöhung der Wahrnehmungsschwellen von Geschwindigkeit und Richtung, sowie zu Schwierigkeiten bei der Wahrnehmung von Bewegung im Allgemeinen. Dafür beeinflussen magnozelluläre Läsionen nicht die Farb-, Form- oder schwierige Tiefenwahrnehmung. Nach magnozellulären Läsionen fanden sich erstaunlicherweise auch keine oder nur geringe Defizite hinsichtlich des Luminanz-Kontrastes.

Insgesamt sprechen diese Studien dafür, dass das parvozelluläre System entscheidend für Form- und Tiefenwahrnehmung bei hohen, aber nicht bei niedrigen räumlichen Frequenzen ist. Das magnozelluläre System hingegen ist auf Bewegungs- und Flickerwahrnehmung spezialisiert, insbesondere bei niedrigen Kontrasten und hohen zeitlichen Frequenzen (z.B. Schiller & Logothetis, 1990). Diese Unterschiede stimmen zum größten Teil mit den Eigenschaften der P- und M-Neuronen überein, die sich insbesondere in der Größe ihrer Rezeptorfelder, ihrer Antwortlatenz und -aktivität, sowie der Weiterleitungsgeschwindigkeit ihrer Neuronen unterscheiden.

Yeshurun und Levys (2003) *Inhibitionshypothese* zufolge bewirkt die Aufmerksamkeitszuwendung eine Aktivierung des parvozellulären Systems, woraus wiederum die Hemmung (Inhibition) des magnozellulären Systems resultieren soll. Wie oben beschrieben, besitzen parvozelluläre Neuronen kleinere RF und ihr Antwortverhalten ist tonisch, im Gegensatz zu magnozellulären Neuronen, deren RF größer sind und die phasisch antworten (z.B. Merigan & Maunsell, 1993; Kaplan, 2004). Wenn durch eine aufmerksamkeitsbedingte Erleichterung des parvozellulären und eine Hemmung des magnozellulären Systems die Eigenschaften des parvozellulären Systems stärker gewichtet werden, würde dies daher nicht nur eine Verkleinerung der RF, sondern auch die Verlängerung der Antwortperioden zur Folge haben. Eine solche Verlängerung würde wiederum dazu führen, dass kurz nacheinander präsentierte

Reize eher in ein gemeinsames Perzept integriert werden, was eine geringere zeitliche Auflösung zur Folge haben würde. Somit könnte ein solcher neurophysiologischer Mechanismus sowohl die übliche aufmerksamkeitsbedingte Verbesserung der räumlichen Auflösung durch kleinere RF, als auch die Verschlechterung der zeitlichen Auflösung durch längere Antwortperioden erklären.

Unterstützung erhält die Inhibitionshypothese durch eine Studie von Yeshurun (2004), die direkt eine Vorhersage dieser Hypothese testete. Sie verwendete dasselbe Paradigma wie Yeshurun und Levy (2003), jedoch waren die Zielreize so gewählt, dass das magnozelluläre System diese nicht oder nur schlecht verarbeiten kann und dadurch die Eigenschaften dieses Systems für die Verarbeitung der Reize keine Rolle spielen. Um dies zu erreichen, waren die Zielreize (Exp. 2) isoluminant mit dem Hintergrund (gelber Punkt auf blauem Hintergrund oder roter Punkt auf grauem Hintergrund), so dass Zielreizpunkt und Lücke zwar durch ihre Farbe, aber nicht durch ihre Helligkeit, unterscheidbar waren. Da das magnozelluläre System aber relativ unsensitiv bezüglich Farben ist (z.B. Livingstone & Hubel, 1988; Merigan & Maunsell, 1993), sollten solche Reize hauptsächlich mit dem parvozellulären System verarbeitet werden. Unter diesen Umständen sollte die nach der Inhibitionshypothese erwartete, aufmerksamkeitsbedingte Hemmung des magnozellulären Systems keinen Einfluss mehr haben, da das magnozelluläre System aufgrund der Isoluminanz der Reize bei der Verarbeitung dieser Reize von Beginn an nicht beteiligt wäre. Yeshurun (2004) ging deshalb davon aus, dass sich mit isoluminanten Zielreizen ein geringerer oder kein Unterschied mehr zwischen den Bedingungen mit und ohne Aufmerksamkeit finden lassen sollte. In der Tat fand sie einen reduzierten negativen Cueingeffekt (bei gelb/blau) und keinen Unterschied (bei rot/grau) zwischen den beiden Cueing-Bedingungen. In einem weiteren Experiment (Exp. 3) verwendete Yeshurun (2004) dieselbe Logik wie in Exp. 2 und versuchte das magnozelluläre System auszuschalten, indem sie die Zielreize auf einem roten Hintergrund präsentierte. Da diffuses rotes Licht das magnozelluläre System inhibiert (z.B. Breitmeyer & Williams, 1990), sollte die Verarbeitung der Zielreize wieder hauptsächlich über das parvozelluläre System ablaufen, und die durch die Inhibitionshypothese postulierte Inhibition des magnozellulären Systems irrelevant werden. Tatsächlich führte auch der rote Hintergrund dazu, dass sich kein signifikanter Unterschied zwischen valider und neutraler Bedingung fand. Das Verschwinden des negativen Cueingeffekts, wenn das magno-

zelluläre System nicht mehr an der Verarbeitung beteiligt ist, spricht erneut für die Inhibitionshypothese.

Auch andere Studien unterstützen indirekt die Inhibitionshypothese, da sich die gefundenen Effekte mit einer Voraussage der Inhibitionshypothese erklären lassen. Einige Studien finden z.B. Evidenz dafür, dass Aufmerksamkeit die wahrgenommene Reizdauer verlängert (Enns, Brehaut & Shore, 1999, Exp. 1; Mattes & Ulrich, 1998; Tse, Intriligator, Rivest & Cavanagh, 2004). Mattes und Ulrich (1998) ließen ihre Probanden die Dauer zweier Reize miteinander vergleichen, wobei der Standardreiz in der Bildschirmmitte erschien und der Vergleichsreiz links oder rechts, entweder an der durch einen zentralen Cue gecueten oder an der nicht gecueten Position. Reize an gecueten Positionen erschienen den Probanden länger als Reize an ungecueten Positionen. Visser und Enns (2001) fanden zusätzlich indirekt Evidenz dafür, dass Aufmerksamkeit die visuelle Persistenz erhöhen könnte, da es ihren Probanden mit Hilfe von Aufmerksamkeit leichter fiel, einen fehlenden Punkt in zwei kurz nacheinander erscheinenden Punktematrizen zu entdecken, eine Aufgabe, die eine zeitliche Integration der Reize erfordert.

Da parvozelluläre Neuronen sowohl länger aktiv sind, als auch langsamer in ihrer Aktivität abfallen (Merigan & Maunsell, 1993; Bair et al., 2002), kann ein Aufmerksamkeitsmechanismus, der die Aktivierung parvozellulärer über magnozellanen Neuronen fördert, sowohl die aufmerksamkeitsbedingte Verlängerung der wahrgenommenen Zeitdauer (z.B. Enns et al., 1999; Mattes & Ulrich, 1998), als auch die Verlängerung der visuellen Persistenz oder die längere zeitliche Integration (z.B. Visser & Enns, 2001) erklären.

Die Gesamtheit dieser Studien ist also mit der Inhibitionshypothese von Yesurun und Levy (2003) vereinbar, der zufolge räumliche Aufmerksamkeit das parvozelluläre System aktivieren soll, was dazu führt, dass das magnozellanen System inhibiert wird. Aufgrund der Eigenschaften des parvozellulären Systems führt dies sowohl zu einer Erhöhung der räumlichen Auflösung, als auch zu einer Verringerung der zeitlichen Auflösung und kann so den in Teil 1.2 beschriebenen Ausgleich der Cueingeffekte erklären. Da in dieser Arbeit untersucht werden soll, ob die Inhibitionsypothese plausibel ist, wird in den nächsten beiden Unterpunkten darauf eingegangen werden, inwieweit sich die Hypothese in die üblichen Befunde und daraus resultierenden Hypothesen der Mechanismen räumlicher Aufmerksamkeit integrieren läßt.

1.3.2 Stationäre Modelle visuell-räumlicher Aufmerksamkeit

Unter Theorien stationärer Modelle fallen diejenigen, die davon ausgehen, dass die Qualität der Reizrepräsentation, sozusagen das Signal-Rausch-Verhältnis, durch Aufmerksamkeit verbessert werden kann. Diese Modelle bezeichnet man als stationär, da der Aufmerksamkeitseinfluss im Gegensatz zu nicht-stationären Modellen als unverändert über die Zeit angesehen wird (vgl. Smith et al., 2004). Der Aufmerksamkeitseinfluss kann dabei auf zwei Arten geschehen: durch die direkte Signalverbesserung (z.B. Yeshurun & Carrasco, 1999) oder durch den lokalen Ausschluss von Rauschen (Doshier & Lu, 2000; Smith et al., 2004).

Der *Theorie der Signalverbesserung* zufolge verbessert Aufmerksamkeit direkt die wahrgenommene Qualität eines Reizes. Eine Reihe von Studien findet Evidenz für die Theorie der Signalverbesserung (z.B. Carrasco et al., 2000; Lee et al., 1997; Yeshurun & Carrasco, 1999; Yeshurun & Carrasco, 2000). Diese Studien zeigen eine Leistungsverbesserung, obwohl die Zielreize ohne Distraktoren, mit nur einer oder teilweise keiner Maske, sowie deutlich über der Wahrnehmungsschwelle präsentiert wurden. Dadurch können die in diesen Studien gefundenen Leistungsverbesserungen nicht durch alternative Interpretationsmöglichkeiten, wie Reduzierung der Unsicherheit, Veränderungen des Entscheidungskriteriums (vgl. 1.2.2) oder auch lokalem Rauschen erklärt werden.

Eine Möglichkeit, wie die aufmerksamkeitsbedingte Signalverbesserung funktionieren könnte, wurde von Yeshurun und Kollegen vorgeschlagen. Sie erklären diese Aufmerksamkeitseinflüsse damit, dass Aufmerksamkeit die räumliche Auflösung erhöht (*Theorie der räumlichen Auflösung*). Sie fanden, dass Aufmerksamkeit den so genannten Exzentrizitätseffekt beeinflussen kann. Mit Exzentrizitätseffekt ist die verschlechterte Reizwahrnehmung gemeint je weiter die Reize in der Peripherie der Retina abgebildet werden, die aufgrund der geringeren räumlichen Auflösung in der Peripherie verglichen mit der Fovea zustande kommt. Periphere Cues verringern diesen Exzentrizitätseffekt, was dafür spricht, dass Aufmerksamkeit die räumliche Auflösung verbessert (Carrasco & Yeshurun, 1998). Noch stärkere Evidenz für die Theorie der Signalverbesserung erhielten Yeshurun und Carrasco (1998). Sie fanden sogar einen negativen Effekt des Cues, den keine der alternativen Aufmerksamkeitstheorien vorhersagen kann: Bei einer Mustertrennungs (Segregations) -Aufgabe ist die Textur-entdeckung üblicherweise in der Fovea verglichen mit mittleren Regionen der Retina verschlechtert, weil die räumliche Auflösung zu hoch ist, um ein globales Muster zu

integrieren. In der Peripherie ist die Leistung ebenfalls verschlechtert, hier jedoch weil die räumliche Auflösung zu schlecht ist. Falls Aufmerksamkeit die räumliche Auflösung erhöht, so würde dies in der Fovea die Leistung noch weiter verschlechtern, während gleichzeitig in der Peripherie die Leistung verbessert werden sollte. Diese Hypothese wurde experimentell bestätigt.

Da die in den verschiedenen Studien beschriebenen Diskriminationsaufgaben und die Exzentrizitätseffekte außerdem von relativ frühen Stufen der visuellen Verarbeitung abhängen, lässt dies darauf schließen, dass der Aufmerksamkeitseffekt bereits auf dieser frühen Stufe der Verarbeitung ansetzt. Dies könnte durch zwei Arten geschehen, entweder indem die RF der aufmerksam beachteten Region verkleinert werden oder indem die Sensitivität der kleinsten rezeptiven Felder erhöht wird und größere Felder inhibiert (Yeshurun & Carrasco, 2000).

Eine ganz ähnliche Idee wurde von Shalev und Tsal (2002) vorgeschlagen, nämlich die der *rezeptiven Aufmerksamkeitsfelder* (attentional receptive fields, RFA). Die Größe dieser RFA variiert mit dem Ausmaß an Aufmerksamkeit. Shalev und Tsal (2002) gehen davon aus, dass Aufmerksamkeit die RFA verkleinert, und so das Auflösungsvermögen des visuellen Systems vergrößert. Die Inhibitionstheorie von Yeshurun und Levy (2003) ist konsistent mit diesen Ideen und Befunden, da die verstärkte Aktivierung des parvozellulären Systems bei gleichzeitiger Inhibition des magnozellulären Systems zu kleineren RF und dadurch zu erhöhter räumlicher Auflösung führen sollte.

Befunde von Carrasco und ihren Kollegen (Carrasco et al., 2000; Pestilli & Carrasco, 2005; vgl. auch Lu & Doshier, 2000), die zeigen, dass Aufmerksamkeit die Sensitivität für Kontraste erhöht (*Kontrasttheorie*), unterstützen ebenfalls die Theorie der Signalverbesserung. Pestilli und Carrasco (2005) z.B. lenkten in einer Studie Aufmerksamkeit mit Hilfe von nicht-prädiktiven peripheren Cues. Sie veränderten den Kontrast der Zielreize (Garborreize mit einer niedrigen räumlichen Frequenz) und maßen die Wahrnehmungsschwelle des Kontrastes in unterschiedlichen Cueingbedingungen. Sie fanden niedrigere Wahrnehmungsschwellen in der validen als in der neutralen Bedingung, welche wiederum niedriger waren als diejenigen in der invaliden Bedingung. Räumliche Aufmerksamkeit verbessert somit die Kontrastsensitivität an beachteten Positionen und verschlechtert sie an nicht beachteten Positionen. Diese Ergebnisse scheinen auf den ersten Blick inkompatibel mit der Inhibitionshypothese von Yeshurun und Levy (2003) zu sein. Da, wie oben bereits dargestellt, die Kon-

trastsensitivität der M-Neuronen ein Vielfaches der P-Neuronen beträgt, sollte sich nach der Inhibitionshypothese die Kontrastsensitivität eher verringern, wenn die M-Neuronen inhibiert werden. Allerdings sollte man dabei die Ergebnisse aus Läsionsstudien berücksichtigen, die zeigen, dass dies nur für hohe zeitliche Frequenzen gilt. Bei niedrigen räumlichen und zeitlichen Frequenzen beeinflussen die M-Zellen die Kontrast-Sensitivität nicht. Im Gegenteil, bei diesen Frequenzen scheint das parvozelluläre System die höhere Kontrastsensitivität zu haben (z.B. Schiller und Logothetis, 1990). Demnach stünden auch die Ergebnisse von Carrasco und ihren Kollegen (Carrasco et al., 2000; Pestilli & Carrasco, 2005) in Übereinstimmung mit der Inhibitionshypothese.

Im Gegensatz zu der Theorie der Signalverbesserung, geht die *Theorie des lokalen Rauschausschlusses* davon aus, dass Aufmerksamkeit erlaubt, internes Rauschen auszublenden. Dabei ist sowohl Rauschen gemeint, das durch den ganz normalen Verarbeitungsprozess entsteht (Prinzmetal, Amiri, Allen & Edwards, 1998), als auch Rauschen, das durch andere visuelle Informationen, die zusammen mit dem Reiz an der Reizposition aufgenommen werden, verursacht wird (Lu & Doshier, 2000). Die Rauschreduktion lässt das eigentliche Signal deutlicher hervortreten, und verbessert so die wahrgenommene Reizqualität. Verfechter der Theorie des lokalen Rauschens weisen darauf hin, dass Cueingeffekte meist größer sind oder überhaupt erst dann auftreten, wenn Masken an der Zielreizposition verwendet werden¹ (z.B. Smith et al., 2004). Lu und Doshier (2000) verwendeten Masken mit unterschiedlich hohem Kontrast, die vor und nach dem Zielreizdisplay präsentiert wurden, um das Rauschlevel direkt zu manipulieren. Es fanden sich unterschiedlich starke aufmerksamkeitsbedingte Verbesserungen bei hohem und niedrigem Kontrast (zumindest mit zentralen Cues). Lu und Doshier konnten so zeigen, dass der Rauschausschluss zumindest ein Faktor ist, der für aufmerksamkeitsbedingte Leistungsverbesserungen verantwortlich ist². Nach der Inhibitionstheorie könnte man vermuten, dass Aufmerksamkeit die Parallelverarbeitung erhöht. Denn durch die kleineren RF der parvozellulären Neuronen sollte es weniger starke Überlappungen geben und somit mehr unabhängige parallele neuronale Aktivität. Dies sollte durch statistische Erleichterung die

¹ Carrasco, Williams und Yeshurun (2002) fanden jedoch robuste Cueingeffekte in einer Landolt-C Diskriminationsaufgabe, sowohl mit als auch ohne lokale Masken.

² Dieser Rauschausschluss scheint nicht nur bottom-up, sondern auch top-down zu funktionieren. Allein die Auftretenswahrscheinlichkeit von Disktraktoren kann die Cueingeffekte beeinflussen, ohne dass Distraktoren tatsächlich gezeigt wurden (Awh, Matsukara & Serences, 2003).

Standardabweichung der Latenzen der neuronalen Aktivität verringern (Miller & Ulrich, 2003), was wiederum das Signal-Rausch-Verhältnis verbessern könnte.

Die Inhibitionshypothese, die im Rahmen des negativen Aufmerksamkeitseinflusses auf das zeitliche Auflösungsvermögen aufgestellt wurde, stimmt also sogar mit den Theorien stationärer Modellen über die Wirkweise der Aufmerksamkeit auf die räumliche Verarbeitung überein. Dabei lassen sich insbesondere Effekte auf die räumliche Auflösung und die Kontrastsensitivität mit einem einzigen Mechanismus verstehen. Im folgenden Abschnitt ist dargestellt, ob die Inhibitionshypothese in gleicher Weise auch Aufmerksamkeitseffekte eher auf zeitliche Aspekte der Verarbeitung wie die Geschwindigkeit der Reizverarbeitung erklären kann. Befunde, die im Zusammenhang auf unsere Fragestellung nach dem Einfluss der Aufmerksamkeit auf das zeitliche Auflösungsvermögen des visuellen Systems von besonderer Bedeutung sind.

1.3.3 Nicht-Stationäre Modelle visuell-räumlicher Aufmerksamkeit

Die zweite Klasse von Theorien darüber, wie Aufmerksamkeit die Reizverarbeitung beeinflusst, sind nicht-stationäre Modelle, das heißt diese Modelle betonen die aufmerksamsbedingte Veränderung der Reizverarbeitung über die Zeit. Insbesondere der Befund, dass Aufmerksamkeit die RT verkürzt, legt die Idee nahe, dass Aufmerksamkeit auch die Informationsverarbeitung beschleunigen könnte (Carrasco & McElree, 2001; Lyon, 1990; Prinzmetal et al., 1998; Smith & Wolfgang, 2004). Aber auch Effekte auf die Diskriminationsleistung lassen sich so erklären. Denn Aufmerksamkeit könnte die Geschwindigkeit der Verarbeitung erhöhen und damit auch die Anzahl an perzeptiven Stichproben, die im Lauf der Zeit vom Reiz erhalten werden, erhöhen³.

Die Schwierigkeit bei der Beantwortung der Frage, ob Aufmerksamkeit die Verarbeitung beschleunigt, liegt darin, Genauigkeit und Geschwindigkeit getrennt voneinander zu untersuchen, da beide häufig voneinander abhängen. Carrasco und McElree (2001) versuchten, durch eine spezielle Prozedur Genauigkeit und Geschwindigkeit der Verarbeitung unabhängig voneinander zu untersuchen. Dies war möglich, indem sie ihre Probanden anwies, in einem Cueing-Paradigma nicht sofort nach der Präsentation der Zielreize zu antworten, sondern erst nach dem Ertönen eines Tons. Dieser Ton forderte den Probanden auf, so schnell wie möglich, innerhalb

³ Shalev und Tsal (2002) zufolge könnten die RAFs auch durch einen solchen Prozess vermittelt werden. Je mehr Proben genommen werden, desto genauer werden die Grenzen zu den nicht beachteten Regionen, und desto kleiner werden die RAFs.

der nächsten 300 ms, seine Antwort zu geben. Der Ton erschien in variablem Zeitabstand nach den Zielreizen, um den gesamten Zeitverlauf der Verarbeitung erfassen zu können; angefangen von frühen Zeitpunkten, wo die Genauigkeit nahe dem Zufallsniveau sein sollte, bis hin zu späten Zeitpunkten, wo die Genauigkeit ihr Maximum erreicht haben sollte. Carrasco und McElree (2001) fanden eine insgesamt verbesserte Diskrimination in der gecueten Bedingung und eine schnellere Verarbeitung nach validen peripheren Cues als nach neutralen Cues, das heißt, das Maximum der Genauigkeitsverarbeitung wurde früher erreicht. Diese Daten unterstützen die Theorie, dass Aufmerksamkeit die Verarbeitung beschleunigt (vgl. auch Chastain & Cheal, 1999).

Reinitz (1990) kam zu einem ähnlichen Ergebnis, indem er den Einfluß valider und invalider Cues für unterschiedliche Darbietungszeiten und damit unterschiedlich lange Verarbeitungszeiten des Zielreizdisplays untersuchte. Er verglich zwei Modelle: Additiven Modellen zufolge sollte die Entdeckungsgenauigkeit durch Aufmerksamkeit erhöht sein, unabhängig von der Zeit, die zur Verarbeitung zur Verfügung steht. Dem multiplikativen Ansatz nach, sollte sich jedoch der Aufmerksamkeitsvorteil noch vergrößern, je mehr Verarbeitungszeit zur Verfügung steht. Reinitz fand Evidenz für multiplikative Modelle: Mit längerer Verarbeitungszeit stieg die Leistung für aufmerksam beachtete Reize schneller an als für nicht beachtete Reize. Er folgerte daraus, dass Aufmerksamkeit die Verarbeitungsrate und nicht nur den Beginn der Verarbeitung beeinflusst.

Eng verbunden mit einem Mechanismus der Erhöhung der Verarbeitungsrate ist die Theorie, dass Aufmerksamkeit auch die Reihenfolge der Wahrnehmung beeinflussen könnte (z.B. Shore, Spence & Klein, 2001). Diesem Phänomen des *Prior-Entry* zufolge benötigen Reize, die wir erwarten, weniger Zeit, um vollständig bewusst zu werden als Reize, auf die wir nicht vorbereitet sind. Dabei wird davon ausgegangen, dass Aufmerksamkeit die sensorische Verarbeitung eines Reizes beschleunigt, was die Wahrnehmungslatenz verkürzt. Untersucht wurde dies in Studien zum so genannten *Reihenfolgeurteil* (temporal order judgement: TOJ). Dabei werden zwei Reize in unterschiedlichem zeitlichen Abstand voneinander präsentiert und nur auf einen von beiden wird Aufmerksamkeit gelenkt. Die Zuwendung von Aufmerksamkeit auf einen der beiden Kanäle der Reizverarbeitung sollte die Verarbeitungsgeschwindigkeit im aufmerksam beachteten Kanal erhöhen. Dadurch sollte der in diesem Kanal präsentierte Reiz wirken, als ob er zeitlich vor dem nicht beachteten Reiz erscheint, auch wenn beide Reize gleichzeitig präsentiert wurden. Ein solcher Prior-

Entry Effekt wurde in mehreren Studien gefunden (Neumann, Esselmann & Klotz, 1993; Stelmach & Herdman, 1991).

Stelmach und Herdman (1991) zeigten z.B. ihren Probanden zwei Punkte, links und rechts vom Fixationspunkt, in einem variablen zeitlichen Abstand zueinander. Die Probanden sollten beurteilen, welcher der beiden Punkte zuerst erschienen war. Die Aufmerksamkeit wurde mittels eines peripheren Cues, der unterhalb der Reizpositionen erschien, nach links, rechts oder in die Mitte gelenkt. Die Autoren bestimmten das zeitliche Intervall zwischen den beiden Punkten, bei dem die Beobachter die Reihenfolge gerade nicht mehr unterscheiden konnten. Es zeigte sich, dass dies der Fall war, wenn der beachtete Reiz durchschnittlich 40 ms nach dem nicht beachteten Reiz präsentiert wurde. Auch mit einer anderen Prozedur, nämlich der Erhebung der psychometrischen Funktion für die Frequenz jeder Reihenfolgeantwort fanden sich ganz ähnliche Ergebnisse, sowohl bei der Aufmerksamkeitslenkung mit peripheren als auch mit zentralen Cues. Dies lässt sich damit erklären, dass Aufmerksamkeit die Weiterleitungsgeschwindigkeit erhöht hat, so dass der aufmerksam beachtete Reiz ca. 40 ms nach dem anderen Reiz an einer zentralen Vergleichsinstanz erschien. Beachtete Reize wurden also schneller als nicht beachtete Reize wahrgenommen, selbst wenn sie physikalisch gleichzeitig präsentiert wurden. Zusätzlich fanden Stelmach und Herdman, dass wenn Aufmerksamkeit auf einen der beiden Reize gerichtet wird, diese seltener als gleichzeitig erscheinend wahrgenommen werden, selbst wenn der Geschwindigkeitsvorteil der Verarbeitung des beachteten Reizes durch eine verzögerte Präsentation ausgeglichen wird. Um sowohl diesen, als auch den klassischen Prior-Entry Effekt zu erklären, schlagen Stelmach und Herdman (1991) das so genannte *Temporal Profile Model (TPM)* vor.

Dieses Modell sieht den Einfluss der Aufmerksamkeit darin, dass die Verteilung der Antwortfunktion für das Signal des beachteten Reizes verengt wird. Das heißt, das Maximum des Aktivitätsprofils wird früher erreicht, da die Aktivität stärker ansteigt und der Abfall des Profils beschleunigt wird. Dies führt dazu, dass die bewusste Wahrnehmung früher einsetzt und so die Latenz der Antwort reduziert wird (Abb. 1.4). Der beachtete Reiz wird selbst dann noch früher wahrgenommen, wenn er physikalisch nach dem nicht beachteten Reiz erscheint (Abb. 1.4 dritte Zeile, Intervall zwischen Reizonssets (Stimulus-Onset-Ansynchrony, SOA: 50 ms). Außerdem führt die Verengung der Antwortfunktion auch dazu, dass die Funktionen des beachteten und des nicht beachteten Reizes niemals vollkommen deckungsgleich sind, was erklä-

ren könnte, warum nur sehr wenige Gleichzeitigkeitsurteile unter Aufmerksamkeits-einfluss abgegeben wurden. Stelmach, Herdman und McNeil (1994) finden zusätzliche Evidenz für den durch das TPM postulierten Mechanismus der Verarbeitungsbeschleunigung (und damit der Veränderung des Aktivitätsprofils), indem sie zeigen, dass der Prior-Entry Effekt nicht durch eine einfache additive Verschiebung des Wahrnehmungsbeginns des aufmerksam beachteten Reizes zustande gekommen sein kann (vgl. Reinitz, 1990).

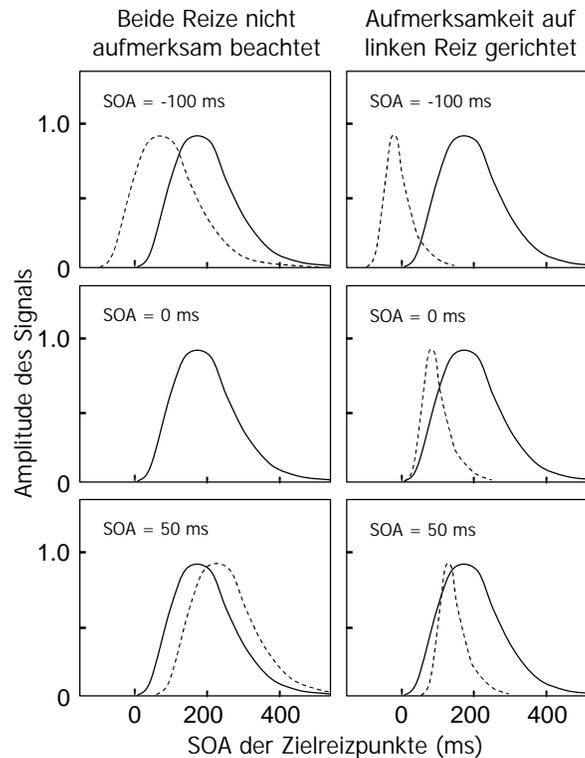


Abbildung 1.4: Die Modulation der Antwortfunktionen, wenn Aufmerksamkeit auf den Fixationspunkt gerichtet ist (linke Spalte) bzw. auf den linken Punkt (rechte Spalte) nach dem TPM von Stelmach und Herdman (1991). In den drei Zeilen sind drei mögliche Abstände zwischen den beiden Punkten dargestellt: Wenn der linke Reiz (gestrichelte Linie) 100 ms vor dem rechten Reiz (durchgezogene Linie) erscheint, wird in beiden Bedingungen der linke Reiz als zuerst erscheinend wahrgenommen (erste Zeile). Erscheinen beide Punkte gleichzeitig, so werden in der linken Spalte beide Reize als gleichzeitig wahrgenommen, in der rechten Spalte jedoch immer noch der linke Punkt zuerst (zweite Zeile). Erscheint der linke Reiz 50 ms nach dem rechten, so wird in der linken Spalte der linke Punkt als nach dem rechten wahrgenommen, in der rechten Spalte jedoch immer noch als vor dem rechten Punkt (dritte Zeile).

Eine Alternativerklärung des Prior-Entry Effekts geht davon aus, dass dieser Effekt einer Verschiebung des Entscheidungskriteriums und nicht Aufmerksamkeit zuzuschreiben ist (z.B. Pashler, 1998). Befürworter dieser Hypothese vermuten, dass die Probanden dazu verleitet sein könnten, eher den Reiz, den der Cue angibt zu berichten, als den Reiz, der tatsächlich z.B. zuerst oder zuletzt erschienen ist (also die

Charakteristik in sich trägt, nach der gefragt wurde). Es gibt jedoch eine Reihe von Studien, die zeigen können, dass der Prior-Entry Effekt zumindest nicht allein durch einen Antwortbias zu erklären ist (Scharlau, 2004; Scharlau & Neumann, 2003; Shore et al., 2001). Der Prior-Entry Effekt scheint auch nicht durch eine sensorische Hypothese erklärt werden zu können, der zufolge im Falle eines peripheren Cues der Cue mit dem eigentlichen Zielreiz verwechselt oder integriert worden sein könnte, und so der Cue-Stimulus-Komplex als früher erscheinend berichtet werden würde (vgl. aber Schneider & Bavelier, 2003). Scharlau und Neumann (2003) finden beispielsweise, dass die Ähnlichkeit von Cue und Zielreiz keinen Einfluss auf den Prior-Entry Effekt hat. Dies spricht gegen rein sensorische Effekte durch periphere Cues, da mit zunehmender Ähnlichkeit zwischen Cue und Zielreiz die Wahrscheinlichkeit steigt, dass beide fälschlicherweise zu einem Reiz integriert werden. Insgesamt scheinen also auch die Prior-Entry Studien dafür zu sprechen, dass Aufmerksamkeit die Reizverarbeitung beschleunigt.

Auch Studien aus dem Bereich der Bewegungswahrnehmung finden Evidenz für eine Verarbeitungsbeschleunigung aufmerksam beachteter Reize (Enns et al. 1999, Exp. 2; Hikosaka, Miyauchi, & Shimojo, 1993). So z.B. das *Phänomen der illusorischen Linienbewegung* (ILM), das auftritt, wenn das eine Ende einer Linie in der unmittelbaren Nähe einer zuvor peripher gecueten Position präsentiert wird: Diese Linie erscheint irrtümlicherweise als von der gecueten Position weg bewegt. Der Effekt wird damit erklärt, dass Aufmerksamkeit die Verarbeitungsgeschwindigkeit erhöht, und zwar umso mehr, je näher sich ein Signal an der gecueten Position befindet. Dies bewirkt, dass bei den entsprechenden Bewegungsdetektoren ein Signal nach dem anderen ankommt, zunächst von den Punkten der Linie, die dem Cue am nächsten sind und schließlich von den Punkten, die am weitesten entfernt sind (Hikosaka et al., 1993), was zur Wahrnehmung einer illusorischen Bewegung führt.

Smith und Wolfgang (2004) zufolge werden die Theorien der Beschleunigung der Verarbeitungsrate auch durch unterschiedliche Ergebnisse bezüglich des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins von Cueingeffekten mit und ohne Maske gestützt. Wenn Aufmerksamkeit die Geschwindigkeit der Integration von Reizinformationen beeinflusst, indem Informationen schneller akkumuliert werden, könnte dies nicht nur die RT-Effekte, sondern auch Effekte auf die Genauigkeit erklären. Geht man davon aus, dass die Repräsentation von Reizen im visuellen System durch Rauschen verzerrt ist (vgl. Signal-Entdeckungstheorie, Green & Swets, 1966), müssen sukzessive Pro-

ben des Reizes angesammelt werden, bis ein gewisses Kriterium erreicht ist und eine Entscheidung über die Präsenz oder die Identität des Reizes getroffen werden kann, das heißt, bis eine Antwort gegeben werden kann. Solche *Stichprobenmodelle* gehen davon aus, dass die Zeit bis zur Entscheidung vom Informationsgehalt der Sequenz gesammelter Proben abhängt. Ein Reiz wird erkannt, sobald eine bestimmte Menge an Reizinformationen über die Zeit integriert wurde. Ist die gesamte Informationsmenge integriert, so erreicht die Genauigkeit eine Asymptote, sie kann nicht mehr erhöht werden.

Diese Asymptote wird bei einfachen Aufgaben, wie Entdeckung, normalerweise schnell erreicht, weshalb ein Aufmerksamkeitseffekt nur dann gefunden wird, wenn der Prozess der Informationsintegration durch eine Maske „künstlich“ limitiert wird. Bei komplexeren Aufgaben wie Identifikation und Diskrimination hingegen, dauert der Informationsintegrationsprozess so lange, dass auch ohne Maske, durch den natürlichen Zerfall der Reizspuren, die Asymptote der Genauigkeit nicht erreicht werden kann, und deshalb meist Aufmerksamkeitseffekte gefunden werden (Abb. 1.5). Eine Theorie, die davon ausgeht, dass Aufmerksamkeit die Verarbeitungsrate beschleunigt, kann somit sowohl Effekte auf die RT als auch auf die Diskriminationsleistung erklären. Diese Theorie ermöglicht außerdem eine Reihe der scheinbar gegensätzlichen Befunde von Cueing-Studien mit unterschiedlichen Aufgaben zu verstehen, und bietet eine aufmerksambasierte Erklärung unterschiedlich großer Cueingeffekte mit und ohne Masken an.

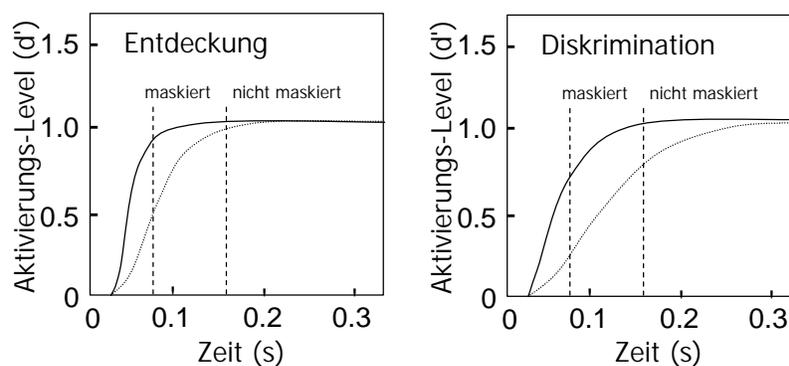


Abbildung 1.5: Wachstumsfunktionen aufmerksam beachteter (durchgezogene Linien) und nicht beachteter Reize (gepunktete Linien) für eine Entdeckungs- und eine Diskriminationsaufgabe (nach Smith & Wolfgang, 2004). Die gestrichelten, vertikalen Linien geben den Zeitpunkt an, an dem die Reizspur so stark zerfallen ist, dass kein weiterer Informationsanwachs geschehen kann.

Insgesamt spricht viel dafür, dass räumliche Aufmerksamkeit die Verarbeitungsrate erhöht (vgl. nicht-stationäre Modelle) und mit einer früheren Reizwahrneh-

mung einhergeht (vgl. Prior-Entry Effekt), da die Evidenz dafür aus ganz verschiedenen Ansätzen kommt. Die Inhibitionshypothese lässt sich mit einer solchen Verarbeitungsbeschleunigung und der damit verbundenen Verkürzung der Wahrnehmungslatenz nur schwer vereinbaren. Da magnozelluläre Neuronen eine höhere Weiterleitungsgeschwindigkeit (z.B. Kaplan; 2004; Merigan & Maunsell, 1993) und kürzere Antwort-Latenzen haben (Bair et al., 2002; Levitt et al., 2001; Schmolesky et al., 1998), sollte die Inhibition der magnozellulären Neuronen eher zum Gegenteil, einer Verlängerung der Reizverarbeitung und einer Verzögerung der Bewusstwerdung führen.

Die von den nicht-stationären Modellen postulierten Aufmerksamkeitseffekte sind auch mit dem von Yeshurun und Levy (2003) gefundenen negativen Effekt auf die Lückenentdeckung selbst nicht vereinbar. Auch wenn diese Modelle alle keine direkte Aussage über den Aufmerksamkeitseinfluss auf die zeitliche Auflösung machen, so sollte eine Erhöhung der Verarbeitungsrate am ehesten zu einer Erhöhung der zeitlichen Auflösung der Lückenentdeckung führen, da die damit möglicherweise verbundene Verengung der Antwortfunktion auf den Reiz die Überlappung der Antwortfunktionen auf nacheinander erscheinende Reize eher verringern würde (vgl. TPM).

Doch auch die Befunde der in Absatz 1.3.1 dargestellten Verlängerung der Wahrnehmungsdauer (Enns et al., 1999 Exp. 1; Mattes & Ulrich, 1998; Tse et al., 2004) widersprechen zunächst einer Verarbeitungsbeschleunigung. Eine Möglichkeit zur Versöhnung dieser gegensätzlichen Befunde könnte eine Studie von Schmidt und Klein (1997) darstellen. Sie untersuchten das Phänomen der ILM (vgl. Hikosaka et al., 1993) und konnten zeigen, dass, wenn die Präsentationsreihenfolge von Cue und Reiz umgekehrt wird, oder der Cue lange genug präsentiert wird, eine umgekehrte Illusion entsteht: Die Linie wird als zur gecueten Position hin bewegt wahrgenommen. Schmidt und Klein (1997) erklären diesen Effekt damit, dass nicht nur die Verarbeitungsgeschwindigkeit der Reize in der Nähe des Cues erhöht wird, sondern zusätzlich der Cue auch die Dauer der Signalweiterleitung erhöht, je näher am Cue desto mehr, so dass die Signale an den weiter vom Cue entfernten Positionen weniger lange weitergeleitet werden. Dies könnte eine Bewegung zum Cue hin vorspiegeln. Aufmerksamkeit könnte also sowohl durch eine Verarbeitungsbeschleunigung die Wahrnehmungslatenz verkürzen, als auch die Wahrnehmungsdauer verlängern (*Integrationstheorie*).

Enns et al. (1999) betonen jedoch, dass die aufmerksamkeitsbedingte Verlängerung der sensorischen Signale und der damit verbundenen aufmerksam beachteten Ereignisse, sowohl für einen Reiz, als auch für die Abwesenheit eines Reizes gelten könnte, wenn die Verlängerung durch einen Mechanismus von sich wiederholenden Verarbeitungskreisläufen geschehe (vgl. Di Lollo, Enns & Rensick, 2000). Übereinstimmend mit dieser Theorie fanden Enns et al. (Exp. 3), dass, wenn Aufmerksamkeit explizit auf eine zeitliche Lücke in der Reizpräsentation gelenkt wird, auch diese als länger wahrgenommen wird als eine physikalisch gleich lange, aber nicht aufmerksam beachtete Lücke. Dieser Befund steht jedoch im Gegensatz zu den Ergebnissen von Yeshurun und Levy (2003), die ja eine aufmerksamkeitsbedingte Verkürzung der Lücke fanden. Die gegensätzlichen Ergebnisse könnten zum einen darauf beruhen, dass Enns et al. (1999) im Gegensatz zu Yeshurun und Levy (2003) die Aufmerksamkeit mit Hilfe zentraler und nicht peripherer Cues lenkten (vgl. Kapitel 1.4). Zum anderen unterschieden sich die in den beiden Studien verwendeten Aufgaben. Enns et al. ließen ihre Probanden nicht eine zeitliche Lücke entdecken, sondern zwei zeitliche Lücken miteinander vergleichen, wobei immer nur auf eine der beiden Lücken die Aufmerksamkeit gerichtet wurde. Diese Aufgabe könnte dazu geführt haben, dass die Probanden eher geneigt waren, den gecueten Reiz als länger zu berichten, analog zu den Kritiken an den TOJ-Studien. Somit würde der von Enns et al. (1999) gefundene Cueingeffekt einen Einfluss auf der Entscheidungsebene und nicht eine verlängerte Wahrnehmung der Lückendauer widerspiegeln. Ein solcher Einfluss auf Entscheidungsebene würde dem von Yeshurun und Levy (2003) gefundenen Aufmerksamkeitseffekt auf die Sensitivität nicht notwendigerweise widersprechen.

Es lassen sich also insgesamt drei Mechanismen unterscheiden, durch die Aufmerksamkeit die Qualität der Reizrepräsentation beeinflussen kann. Erstens durch eine Verbesserung der Reizqualität, sei es durch die Erhöhung der Kontrastsensitivität (Cameron, Tai & Carrasco, 2002; Pestilli & Carrasco, 2005), oder der räumlichen Auflösung (Yeshurun & Carrasco, 1998). Zweitens durch den Ausschluss irrelevanter Informationen, sei es innerhalb der Reizverarbeitung selbst oder von anderen Reizen in der unmittelbaren Nähe (Doshier & Lu, 2000; Smith et al., 2004). Schließlich scheint Aufmerksamkeit drittens auch die Rate der Verarbeitungsgeschwindigkeit zu beeinflussen, was, wenn die Zeit der Informationssammlung begrenzt ist, ebenfalls zu einer erhöhten Reizqualität führt.

Die beiden ersten Mechanismen der Aufmerksamkeit lassen sich im Rahmen der Inhibitionshypothese (Yeshurun & Levy, 2003) verstehen und integrieren, während der letzte Mechanismus mit der Inhibitionshypothese und dem negativen Effekt auf die Lückentdeckung weniger kompatibel zu sein scheint (Abb. 1.6). Theorien, die eine reine Erhöhung der Verarbeitungsrate unter Aufmerksamkeitseinfluss propagieren, wie z.B. das TPM (Stelmach & Herdman, 1991) würden durch die damit verbundene Verkürzung der reizbedingten Antwortaktivität eher eine Verbesserung der Lückentdeckung vorhersagen. Theorien, die auch eine Verlängerung der wahrgenommenen Reizdauer propagieren, wie die Integrations- theorie (Schmidt & Klein, 1997) sind hingegen mit der Inhibitionshypothese und dem negativen Effekt auf die Lückentdeckung eher vereinbar (aber vgl. Enns et al., 1999).

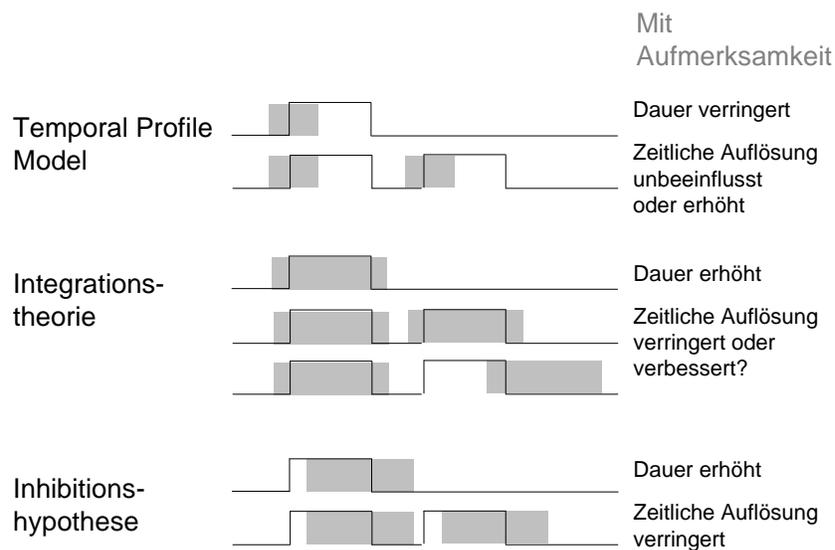


Abbildung 1.6: Vergleich der Konsequenzen unterschiedlicher Aufmerksamkeitsmodelle auf die Zeitdauerwahrnehmung und die Auflösung einer zeitlichen Lücke. Die Linien zeigen schematisch die Aktivierungsdauer eines visuellen Kanals ohne Aufmerksamkeit, die grauen Areale die Veränderung der Aktivierung unter Aufmerksamkeitseinfluss.

Der in der Inhibitionshypothese postulierte Mechanismus der Wirkung von Aufmerksamkeit ist also nicht mit allen Theorien in Einklang zu bringen. Räumliche Aufmerksamkeit könnte jedoch unterschiedliche Funktionen ausüben, die je nach Situation zur Anwendung kommen könnten. Diese Annahme wird unter anderem auch von physiologischen Studien gestützt, wie das folgende Kapitel zeigen wird.

1.3.4 Neuronale Modelle visuell-räumlicher Aufmerksamkeit

Die Entwicklung unterschiedlicher neuerer Techniken, wie Einzelzellaufleitungen, Elektroenzephalogramm (EEG) und bildgebender Verfahren wie Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und funktionelle Kernspintomographie (fMRI) hat es ermöglicht, die Wirkung visuell-räumlicher Aufmerksamkeit direkt auf neuronaler Ebene zu messen und so ihre neuronalen Grundlagen etwas näher zu beleuchten.

Übereinstimmend mit den psychologischen Theorien, die einen direkten Einfluss der Aufmerksamkeit auf die frühe visuelle Verarbeitung propagieren, konnte in Einzelzellaufleitungen gezeigt werden, dass die neuronale Antwort (Feuerrate) auf Reize, die innerhalb des RF eines Neurons erscheinen, verglichen mit Reizen außerhalb des rezeptiven Feldes dieses Neurons, durch räumliche Aufmerksamkeit verstärkt wird. Diese aufmerksamskeitsbedingten Modulationen der Neuronenfeuerrate finden sich sowohl für Reize, die nicht bewegt sind (z.B. Ito & Gilbert, 1999; Luck, Chelazzi, Hillyard & Desimone, 1997; Motter, 1993), als auch für Reize, die Bewegungsinformation beinhalten (Cook & Maunsell, 2002; Treue & Maunsell, 1996).

Die Frage ist, was diese Erhöhung der Feuerrate auf der Verhaltensebene bedeutet. Reynolds und Chelazzi (2004) verweisen auf die Abhängigkeit der aufmerksamskeitsbedingten Modulation der Neuronenfeuerrate vom Kontrast der Reize. Es ist bekannt, dass die Feuerrate neuronaler Antworten stärker wird, je größer der Kontrast ist. Sollte Aufmerksamkeit wirklich den Kontrast eines Reizes erhöhen (vgl. Kontrasttheorie von Pestilli & Carrasco, 2005 unter Punkt 1.3.2), könnte dies die aufmerksamskeitsbedingte Erhöhung der Feuerrate erklären.

Auch beim Menschen lassen sich aufmerksamskeitsbedingte Modulationen in EEG-Studien nachweisen (vgl. Mangun, 1995; Mangun, Hillyard & Luck, 1993; Luck, 1998): Reize an beachteten Positionen lösen stärkere P1-Komponenten (Gipfelflatenz 80-110ms) im posterioren Kortex aus als an nicht beachteten Positionen. Dies lässt sich dahingehend interpretieren, dass Aufmerksamkeit relativ frühe Stufen der visuellen Verarbeitung im extrastriaten Kortex beeinflusst. Die Ergebnisse weisen insgesamt darauf hin, dass Aufmerksamkeit die Informationsverarbeitung an der aufmerksam beachteten Position erleichtert, indem die neuronalen Antworten erhöht werden, was wiederum die Intensität der Reizrepräsentationen verstärken könnte (vgl. Theorien der Signalverbesserung).

Nicht nur für die aufmerksamkeitsbedingte Verbesserung der Reizqualität, sondern auch für die Selektion relevanter Informationen, nämlich durch Inhibition irrelevanter Reize, konnte in Einzelzelleableitungsstudien physiologische Evidenz gefunden werden. Moran und Desimone (1985) zeigten, dass, wenn mehrere Reize im RF eines Neurons präsentiert werden, die Feuerrate durch den aufgabenrelevanten Reiz bestimmt wird. Sie präsentierten zwei Reize innerhalb des rezeptiven Feldes eines im extrastriaten visuellen Kortex (V4) abgeleiteten Neurons: Ein (effektiver) Reiz mit der vom Neuron bevorzugten Farbe und Orientierung und ein zweiter (nicht effektiver) Reiz mit nicht bevorzugter Farbe und Orientierung. War die Aufmerksamkeit auf den bevorzugten Reiz gerichtet, fand sich eine hohe Feuerrate der Neuronen. Wurde hingegen die Aufmerksamkeit auf den nicht effektiven Reiz gelenkt, so fand sich eine verminderte Feuerrate. Moran und Desimone (1985) interpretierten diese Befunde mit der Rolle der Aufmerksamkeit, irrelevante Informationen innerhalb des rezeptiven Feldes auszufiltern. Diese Ergebnisse wurden in der Folge in zahlreichen Studien repliziert, unter anderem von Luck et al. (1997). Zusätzlich konnten Luck et al. (1997) auch eine Erhöhung der Spontanaktivität eines Neurons nachweisen, wenn Aufmerksamkeit auf eine Position innerhalb und nicht außerhalb des RF gerichtet war, selbst wenn kein Reiz gezeigt wurde. Diese spontane Aktivität könnte durch top-down Signale erzeugt worden sein, die die neuronalen Antworten zum Vorteil der Reize an aufmerksam beachteten Positionen beeinflusst.

Diese Befunde führten zur Idee der Wettstreit-Theorie (Luck et al., 1997; Moran & Desimone, 1985): Mehrere Reize innerhalb eines RF werden nicht unabhängig voneinander verarbeitet. Auf einer ersten Stufe beeinflussen top-down Signale die neuronale Aktivität von Zellen, die die relevante Position repräsentieren. Auf einer zweiten Stufe haben dann diese Zellen einen Vorteil in den kompetitiven Interaktionen mit anderen Neuronen für eine neuronale Repräsentation und unterdrücken die Antwort der anderen Zellen. Da diese kompetitiven Interaktionen für benachbarte Zellen, die das gleiche rezeptive Feld teilen, am stärksten sein sollten, würde dies erklären, warum die Aufmerksamkeitseffekte am größten sind, wenn zwei Reize im selben RF präsentiert werden (vgl. Reynolds & Chelazzi, 2004 für einen möglichen Mechanismus durch Beeinflussung der Kontraststärke). Auch in fMRI Studien findet sich Evidenz für kompetitive Interaktionen zwischen mehreren Reizen innerhalb eines RF (vgl. Kastner, 2004).

Visuell-räumliche Aufmerksamkeit beeinflusst also die Antworteigenschaften von Zellen, wie es in Studien mit Affen, aber auch beim Menschen gezeigt werden konnte. Es wird jedoch kontrovers diskutiert, wie weit die aufmerksamkeitsbedingte Modulation in sehr frühe Stadien der visuellen Verarbeitung reicht. Ursprünglich nahm man an, dass der Aufmerksamkeitseffekt nur im extrastriaten visuellen Kortex, aber nicht im striaten Kortex (V1) lokalisiert ist. So fanden Moran und Desimone (1985) zum Beispiel einen Aufmerksamkeitseffekt in V4 und dem inferior-temporalen Kortex, aber nicht in V1. Auch Luck et al. (1997) finden Effekte in V2 und V4, aber keine Effekte in V1. Sie weisen außerdem darauf hin, dass die Aktivierungen in V2 und V4 auch an post-perzeptiven Verarbeitungsstufen beteiligt sein könnten, wie z.B. an der Speicherung im Kurzzeitgedächtnis. Luck et al. finden aber bereits frühe Aufmerksamkeitseffekte gleichzeitig mit oder kurz nach dem Beginn der sensorischen Neuronenantwort. Außerdem war die aufmerksamkeitsbedingte Modulation der sensorischen Antwort für Zielreize und Nicht-Zielreize gleich, was darauf hindeutet, dass der Einfluss der Aufmerksamkeit bereits wirkt, bevor die Reize identifiziert wurden. Ganz ähnliche aufmerksamkeitsbedingte Aktivitätsmodulationen, die erst im extrastriären Kortex auftreten, können auch im MT, MST und im ventral-intraparietalen Areal (VIP) gefunden werden (z.B. Cook & Maunsell, 2002; Treue & Maunsell, 1996). Die Aktivitätsmodulationen lassen sich also sowohl Gehirnregionen, die dem parvozellulären Pfad zugeschrieben werden, als auch Regionen, die mit dem magnozellanulären Pfad verbunden werden, zuordnen (vgl. Reynolds & Chelazzi, 2004).

Nach der Inhibitionshypothese würde man davon ausgehen, dass sich der Effekt der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit bereits auf sehr frühen Ebenen der Verarbeitung finden lässt, da die Segregation zwischen den beiden Verarbeitungspfaden bereits auf der Retina beginnt. Neuere Studien können tatsächlich zunehmend auch in striaten Regionen aufmerksamkeitsabhängige Aktivitätsmodulationen nachweisen, abhängig von aufgabenbedingten Faktoren, wie dem Schwierigkeitsgrad oder dem Vorhandensein von Kontextinformationen (Ito & Gilbert, 1999; Motter 1993). Ito und Gilbert (1999) z.B. trainierten ihre Affen in einer Helligkeitsdiskriminationsaufgabe. Sie verglichen zwei Bedingungen, wenn das Tier seine Aufmerksamkeit auf eine Position im RF der registrierten Neuronen richtete, und wenn das Tier seine Aufmerksamkeit auf eine Position außerhalb des RF richtete. Dort, wo das Tier seine Aufmerksamkeit hinlenken sollte, erschien der zu diskriminierende Reiz. Sie fanden auf-

merksamkeitsbedingte Modulationen der Neuronenaktivität in V1, die bei der Präsentation von zusätzlichen Kontextreizen (der gleiche Reiz wie der Zielreiz, präsentiert außerhalb des rezeptiven Feldes) besonders stark war. Motter (1993) fand bei einer Orientierungsdiskriminationsaufgabe Aufmerksamkeitseffekte in den Arealen V1, V2 und V4.

Sogar in noch früheren, subkortikalen Strukturen lassen sich bereits Aufmerksamkeitseinflüsse nachweisen. So konnten O'Connor, Fukui, Pinsk und Kastner (2002) zeigen, dass die Stärke des BOLD-Signal (Blood-oxygenation-level-dependent) im fMRI größer für Reize an aufmerksam beachteten Positionen ist als für Reize an unbeachteten Positionen, und zwar bereits auf der Ebene des LGN. Diese Aktivitätserhöhungen im LGN waren qualitativ denen, die man in Arealen des visuellen Kortex findet, sehr ähnlich. Dass im Gegensatz zu diesem Ergebnis in physiologischen Studien beim Affen üblicherweise nur in kortikalen Arealen aufmerksamkeitsbedingte Modulationen gefunden werden konnten, könnte O'Connor et al. (2002) zufolge daran liegen, dass die Aufmerksamkeitseffekte häufig zu klein sind, um sie auf der Ebene einzelner Neuronen oder Neuronenverbände entdecken zu können, jedoch zu Tage treten, wenn die Aktivität über mehrere Neuronenpopulationen summiert wird, wie das im fMRI der Fall ist. Insgesamt bieten die genannten neurophysiologischen Studien starke Evidenz dafür, dass Aufmerksamkeit die visuelle Verarbeitung auf unterschiedlichen kortikalen Verarbeitungsebenen, jedoch auch bereits auf sehr frühen subkortikalen Ebenen beeinflussen kann, und stützen damit die Inhibitionshypothese, nach der die Aufmerksamkeitseffekte entsprechend dem Beginn der Trennung zwischen magno- und parvozellulärem Pfad bereits sehr früh ansetzen könnten.

Die physiologischen Studien von Ito und Gilbert (1999), Motter (1993), sowie O'Connor et al. (2002) untermauern die psychologischen Theorien, die ebenfalls einen frühen Aufmerksamkeitseinfluss auf die Verarbeitung annehmen. Aufmerksamkeit scheint die visuelle Verarbeitung bereits auf der ersten Verarbeitungsebene nach der Retina, nämlich dem LGN zu beeinflussen, indem die neuronalen Antworten verstärkt werden. Diese Befunde stehen allerdings im Gegensatz zu den oben beschriebenen Studien von Luck et al. (1997) und anderen, wie z.B. Treue und Maunsell (1996), die Aufmerksamkeitseffekte erst auf höheren kortikalen Ebene (wie V2, V4, und MT) finden konnten. Für diese unterschiedlichen Ergebnisse sind mehrere Gründe denkbar, beispielsweise die verwendeten unterschiedlichen Aufgabenstellungen.

Während Luck et al. (1997) eine Entdeckungsaufgabe benutzten, verwendete Motter (1993) als Aufgabe eine Orientierungsdiskrimination, die besonders von V1 abhängig sein sollte, da sie die genaue Verarbeitung einzelner Merkmale erfordert und die Sensitivität für Orientierung in V1 entsteht (Motter, 1993).

Eine andere mögliche Interpretation der gegensätzlichen Befunde wäre, dass räumliche Aufmerksamkeit frühe und spätere Ebenen der Verarbeitung unterschiedlich beeinflusst. So zeigte sich z.B. in der Studie von Motter (1993), dass das Vorhandensein von Distraktorreizen vor allem in V4 notwendig war, um Aufmerksamkeitseffekte zu erzielen, während diese wenig oder gar keinen Einfluss in V1 und V2 hatten. Demzufolge könnte Aufmerksamkeit nur auf frühen Ebenen einen direkten Einfluss auf die Reizverarbeitung nehmen, auf späteren Verarbeitungsebenen hingegen wäre nur noch ein indirekter Effekt vorhanden, nämlich relevante und irrelevante Informationen voneinander zu trennen, z.B. durch kompetitive Interaktion (Kastner, 2004; Luck et al., 1997; Reynolds & Chelazzi, 2004).

Die Hypothese, dass räumliche Aufmerksamkeit unterschiedliche Funktionen ausüben könnte, findet sich auch bei Enns et al. (1999). In ihrer Diskussion erwägen sie, dass Aufmerksamkeit zwei unterschiedliche Funktionen erfüllen könnte: Zum einen den bewussten Zugang zu einem Signal durch Aktivierung des magnozellulären Pfades zu beschleunigen, zum anderen den Zugang zu den Signalen des parvozellulären Pfades zu verlängern. Im folgenden Kapitel wird sich zeigen, dass diese Idee unterschiedlicher Einflüsse der Aufmerksamkeit, und damit möglicherweise unterschiedlicher Formen der Aufmerksamkeit, auch bei der Frage nach den Mechanismen der Aufmerksamkeitslenkung präsent ist.

1.4 Mechanismen der Aufmerksamkeitslenkung

Das vorangegangene Kapitel befasste sich mit den Mechanismen visuell-räumlicher Aufmerksamkeit, also der Art und Weise, wie Aufmerksamkeit auf die Reizverarbeitung wirkt. Davon zu trennen ist, wie Aufmerksamkeit kontrolliert bzw. gelenkt werden kann. Diese Aufmerksamkeitslenkung kann auf zwei Arten geschehen, eine Unterscheidung die bereits von James (1950) getroffen wurde. Ihm zufolge kann Aufmerksamkeit sowohl „passive, reflex, non-voluntary, effortless“ als auch „active and voluntary“ (p.416) gelenkt werden. Auch Posner (1980) hat theoretisch bereits zwischen *endogener*, durch willentliche Prozesse, und *exogener*, durch automatische Prozesse ausgelöste Arten der Aufmerksamkeitslenkung unterschieden. Un-

ter endogener (aktiver) Lenkung versteht man eine durch Strategien, Intentionen und Erwartungen des Beobachters verursachte Verlagerung der Aufmerksamkeit. Die Aufmerksamkeit wird in diesem Fall „willentlich“ (top-down) gelenkt, wie wenn man z.B. im Bücherregal ein bestimmtes Buch sucht und weiß, dass es einen grünen Einband hat. Dann haben alle Bücher mit grünem Einband eine höhere Wahrscheinlichkeit ausgewählt und erkannt zu werden. Im Gegensatz dazu wird von exogener (reizgebundener oder passiver) Aufmerksamkeitslenkung gesprochen, wenn ein salientes Merkmal eines äußeren Reizes die Aufmerksamkeit „erregt“, auch wenn dies nicht vom Beobachter intendiert ist. Von dieser Art der Aufmerksamkeitslenkung wird angenommen, dass sie unabhängig von der Bereitschaft des Beobachters oder „automatisch“ (bottom-up) ist, zum Beispiel ein rotes unter lauter grauen Büchern in einer Ecke des Regals⁴ (vgl. z.B. Yantis, 1993; Yantis, 1998).

Da im Mittelpunkt dieser Arbeit der Einfluss der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit auf das zeitliche Auflösungsvermögen im Allgemeinen steht, sollen dabei auch die unterschiedlichen Arten der Aufmerksamkeitslenkung berücksichtigt werden. Im Folgenden wird daher zunächst dargestellt werden, welche experimentellen Untersuchungen dieser Unterscheidung zwischen endogener und exogener Aufmerksamkeitslenkung zugrunde liegen. Im Anschluss daran wird dann beschrieben werden, welche Möglichkeiten es gibt, diese Befunde zu interpretieren und was das für den Einfluss exogener und endogener Aufmerksamkeitslenkung auf die zeitliche Verarbeitung bedeuten könnte.

1.4.1 Unterschiede zwischen endogener und exogener Aufmerksamkeitslenkung

Jonides (1981) untersuchte erstmals experimentell exogen und endogen induzierte Aufmerksamkeitslenkung. Die unterschiedlichen Arten der Aufmerksamkeitslenkung können durch unterschiedliche Cueing-Manipulationen aktiviert werden. So verglich Jonides (1981) zentrale Cues, die eine endogene Aufmerksamkeitslenkung hervorrufen sollen, mit peripheren Cues, die eine exogene Aufmerksamkeitslenkung hervorrufen sollen (als exogene Cues werden auch häufig abrupte Luminanz-Cues verwendet; Jonides & Yantis, 1988; Müller & Rabbitt, 1989; Remington, Johnston & Yantis, 1992).

⁴ Yantis (1998) weist darauf hin, dass normalerweise wohl eine Kombination beider Typen die Lenkung der Aufmerksamkeit bewirkt.

Jonides Probanden sollten Buchstaben identifizieren. Zusätzlich sollten sie eine Gedächtnisaufgabe lösen (Exp. 1), bei der sie sich unterschiedlich viele Zahlen merken mussten. Es zeigte sich, dass der Cueingeffekt bei zentralen Cues von der Anzahl der zu merkenden Zahlen abhing. Bei der Aufmerksamkeitslenkung mit peripheren Cues hingegen konnte Jonides keine Abhängigkeit des Cueingeffekts von der Anzahl der zu merkenden Zahlen finden. Daraus schloss Jonides, dass periphere und zentrale Cues unterschiedlich viele Verarbeitungsressourcen benötigen, was er dahingehend interpretierte, dass exogene und endogene Aufmerksamkeitslenkung in unterschiedlichem Maße automatisch ablaufen kann.

Ein weiteres Indiz für automatische Aufmerksamkeitslenkung peripherer Cues ist, dass diese „automatisch“ Aufmerksamkeit auf sich ziehen, selbst wenn sie keine Vorhersage über die richtige Zielreizposition zulassen (*nicht-prädiktiv*), für die Aufgabe völlig irrelevant sind, und die Probanden sogar ausdrücklich instruiert wurden, den Cue zu ignorieren (z.B. Jonides, 1981; Jonides & Yantis, 1988; Remington et al., 1992).

Auch bezüglich der Stärke und des Zeitverlaufs der Cueingeffekte scheinen sich endogene und exogene Aufmerksamkeitslenkung zu unterscheiden. Periphere Cues scheinen einen stärkeren Cueingeffekt hervorzurufen als zentrale Cues (Jonides, 1981; Müller & Findlay, 1988; Müller & Rabbitt, 1989). Müller und Rabbitt (1989) zufolge beruhen die stärkeren Cueingeffekte nach peripherem Cueing auf der anfänglichen Kombination exogener (vorübergehender) und endogener (langsamer einsetzender, aber länger effektiv bleibender) Komponenten. Exogen gecuetete Aufmerksamkeitslenkung beginnt außerdem schnell (bei einer Cue-Target-Asynchrony (CTA) von ca. 100 ms), was aus einem frühen Cueingeffekt sowohl für die Genauigkeit (Müller & Findlay, 1988; Müller & Rabbitt, 1989) als auch für die Reaktionsgeschwindigkeit (Posner & Cohen, 1984) ersichtlich wird. Dieser Effekt ist jedoch nur vorübergehend, denn bei exogener Aufmerksamkeitslenkung durch periphere Cues kann ein so genannter *Inhibition of Return* (IOR) Effekt beobachtet werden, wenn das Intervall zwischen Cue und Zielreiz lang genug ist (Cheal & Lyon, 1991; Klein, 2000; McAuliffe & Pratt, 2005; Müller & Findley, 1988; Posner & Cohen 1984). Das bedeutet, dass bei Cue-Zielreiz-Intervallen größer als 300 ms ein negativer Cueingeffekt auftritt. Dieser Inhibitionseffekt ist nach Posner und Cohen (1984) die Folge eines Prozesses, der verhindern soll, dass einmal aufmerksam beachtete Positionen im visuellen Feld zu schnell erneut Aufmerksamkeit auf sich ziehen können. Die Zu-

wendung zu neuen Positionen im visuellen Feld wird so erleichtert. Der IOR-Effekt kann üblicherweise nur mit peripheren Cues beobachtet werden und nicht mit zentralen Cues, weshalb er von Posner und Cohen als rein sensorisches, nicht willentlich beeinflussbares Phänomen angesehen wurde (aber vgl. z.B. Lupiáñez, Decaix, Sié-
roff, Chokron, Milliken & Bartolomeo (2004) für eine alternative Erklärung). Für endogene Aufmerksamkeitslenkung, aktiviert durch prädiktive zentrale Cues, lässt sich der maximale Cueingeffekt hingegen erst zeitlich verzögert finden (ca. 300/400 ms), dafür bleibt der Effekt jedoch relativ lange bestehen. Auch dieser Zeitverlauf lässt sich sowohl für die Genauigkeit (Müller & Findlay, 1988; Müller & Rabbitt, 1989) als auch für die Reaktionszeiten finden (Posner & Cohen 1984).

Die Unterschiede zwischen zentralen und peripheren Cues sind jedoch nicht so konsistent, wie es die genannten Studien zunächst nahe legen. Neuere Untersuchungen schränken nämlich die generelle Gültigkeit der Hypothese ein, dass periphere Cues automatisch sind (z.B. Müller & Humphreys, 1991; Yantis & Jonides, 1990). Yantis und Jonides (1990) konnten z.B. zeigen, dass die automatische Aufmerksamkeitslenkung nur dann möglich ist, wenn die Aufmerksamkeit der Probanden vorher nicht bereits gerichtet wurde. Sie verglichen den Effekt abrupten Onset-Zielreize (der Zielreiz erscheint im zuvor leeren Feld) und Nicht-Onsetreize (der Zielreiz erscheint an der Position eines Platzhalters). Wenn Aufmerksamkeit durch valides Cueing bereits auf eine Position gerichtet ist, scheint es keine Rolle zu spielen, ob der Zielreiz über einen abrupten Onset verfügt oder nicht. Ist Aufmerksamkeit jedoch nicht an eine bestimmte Position gelenkt, scheinen abrupte Onset-Reize leichter identifiziert werden zu können als Nicht-Onsetreize. Müller und Humphreys (1991) konnten außerdem zeigen, dass die Aufmerksamkeitslenkung mit peripheren Cues durch Onset-Zielreize an nicht gecueten Positionen unterbrochen werden kann, was ebenfalls gegen die Annahme spricht, dass der reflexive Mechanismus absolut automatisch ist. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kommen auch andere Studien, die zeigen, dass periphere Cues top-down kontrolliert und modelliert werden können (Folk, Remington & Johnston, 1992; Folk, Leber & Egeth, 2002; Lambert, Wells & Kean, 2003), da z.B. bestimmte Erwartungshaltungen bezüglich des Zielreizes die Effektivität peripherer Cues beeinflussen können.

Neuere Studien stellen auch die Unterschiede bezüglich der Effektstärke (Cheal & Lyon, 1991; Hawkins et al., 1990; Warner, Juola & Koshino, 1990) und des Zeitverlaufs (Ansorge & Heumann, 2003; Goldsmith & Yeari, 2003; Warner et al.,

1990) exogener und endogener Cues in Frage. Cheal und Lyon (1991) fanden z.B., dass zentrale Cues zwar mehr Zeit benötigen, um die Leistung zu verbessern als periphere Cues (konsistent mit Müller & Rabbitt, 1989; Jonides, 1981), jedoch die gleiche Effektstärke produzieren konnten, wenn genügend Zeit zur Verfügung steht (vgl. aber Berger, Henik & Rafal, 2005). Der Unterschied könnte Koshino, Warner und Juola (1992) zufolge darin liegen, dass die verwendeten Cues sich nicht nur bezüglich ihrer Position, sondern auch bezüglich ihrer Helligkeit stark unterschieden, was dazu geführt haben könnte, den Unterschied zwischen peripheren und zentralen Cues überzubewerten. So benutzten z.B. Müller und Rabbitt (1989) als periphere Cues Luminanz-Cues, während Warner et al. (1990) und Cheal und Lyon (1991) sehr ähnliche Cues als periphere und zentrale Cues verwendeten.

Einige Forscher gehen auch davon aus, dass der Befund, wonach periphere Cues schneller Aufmerksamkeit auf sich ziehen, nicht auf unterschiedlichen Orientierungsmechanismen beruht, sondern mit der Weite des anfänglichen Aufmerksamkeitsfokus zusammenhängen könnte. Dieser könnte nämlich für periphere Cues weiter sein, da er alle möglichen Zielreizpositionen abdeckt, und dadurch die Aufmerksamkeit schneller gelenkt werden kann. Im Vergleich dazu könnte bei zentralen Cues der Aufmerksamkeitsfokus enger sein, da der Cue immer zuerst verarbeitet werden muss und die Aufmerksamkeit erst danach gelenkt werden kann, was die Aufmerksamkeitslenkung verlangsamen würde (Ansorge & Heumann, 2003; Goldsmith & Yeari, 2003). Andere Autoren nennen als mögliche Erklärungen für Unterschiede im Zeitverlauf der Effekte peripherer und zentraler Cues laterale Maskierung (Chastain, 1992) und asymmetrische Effekte der Cueposition (Chastain, 1992; Cheal & Lyon, 1991; Lambert & Duddy, 2002). Manche Studien finden sogar gar keine Unterschiede im Zeitverlauf peripherer und zentraler Cues (Warner et al., 1990).

Im Gegensatz zur klassischen Unterscheidung zwischen peripheren und zentralen Cues zur unterschiedlichen Aufmerksamkeitslenkung (z.B. Jonides, 1981) scheinen neuere Studien zu belegen, dass es bei zentralen Cues wichtig sein könnte ihre Prädiktivität zu berücksichtigen, da sie je nach ihrem prädiktiven Wert endogen oder exogen wirken könnten (Ristic, Friesen & Kingstone, 2002; Tipples, 2002). Ristic et al. (2002) verwendeten nicht-prädiktive zentrale Cues und konnten zeigen, dass solche Cues durchaus Aufmerksamkeit lenken und nicht einfach ignoriert werden können. In einer einfachen Entdeckungsaufgabe fanden sie schnellere RTs in der validen Bedingung als in der invaliden Bedingung, obwohl die Probanden ausdrück-

lich darauf hingewiesen worden waren, dass der Cue keinerlei Information bezüglich Reizposition oder -identität besaß. Auch unter Verwendung einer Buchstabendiskriminationsaufgabe lässt sich Evidenz für eine Aufmerksamkeitslenkung durch nicht-prädiktive zentrale Cues finden (Tipples, 2002). Da der Cueingeffekt bereits nach 100 ms auftrat und die Probanden explizit von der Nichtprädiktivität des Cues unterrichtet waren, schlussfolgert Ristic, dass dieser zentrale Cue Aufmerksamkeit automatisch lenkt (vgl. aber auch Yantis & Jonides, 1990, Exp. 3). Diese Studien legen nahe, dass Aufmerksamkeit auch mit Hilfe von nicht-prädiktiven zentralen Cues gelenkt werden kann. Dass z.B. Jonides (1981) eine solche automatische Aufmerksamkeitslenkung zentraler Cues nicht fand, könnte Tipples (2002) zufolge daran liegen, dass der Cue in seiner Studie im Gegensatz zu Jonides (1981) nicht direkt am Fixationspunkt erschien, was die Verarbeitung des Cues als Ganzes gefördert haben könnte, und damit die Aufmerksamkeitslenkung verstärkt haben könnte. Auch die Verwendung von doppelten Pfeilspitzen wie in den Experimenten von Tipples (2002) und auch von Ristic et al. (2002) könnte dazu geführt haben, dass die Richtungsinformation dieser Cues deutlicher war und so stärkere Orientierungseffekte ausgelöst haben könnte (Tipples, 2002).

Bei peripheren Cues hingegen scheint die Prädiktivität der Cues oder andere intentionale Faktoren weniger wichtig für die Aufmerksamkeitslenkung zu sein (Müller & Humphreys, 1991; Riggio & Kirsner, 1997), sondern es scheint eher die räumliche Position des Cues zu dominieren (Lambert & Duddy, 2002; Warner et al., 1990). So konnten Warner et al. (1990) z.B. zeigen, dass ein peripherer Cue, obwohl er symbolische Bedeutung hatte, trotzdem automatisch Aufmerksamkeit lenken kann. Sie untersuchten eine Bedingung, in der ein peripherer Cue (Pfeilspitze an der Zielreizposition) in die entgegengesetzte Richtung zeigte und die Probanden angewiesen wurden, ihre Aufmerksamkeit dorthin zu richten (dort erschien auch in 80% der Fälle der Zielreiz). Trotz dieser Anweisung fand sich ein Cueingeffekt für die Position nahe dem Cue und nicht für die eigentlich valide Position.

Man kann also zwei Arten der Aufmerksamkeitslenkung, exogene und endogene, voneinander unterscheiden. Automatisch gelenkte Aufmerksamkeit benötigt weniger Verarbeitungsressourcen, und entsprechende Cues produzieren Aufmerksamkeitsantworten, die schwieriger zu unterdrücken sind (selbst bei der Anweisung, sie zu ignorieren). Der Unterschied zwischen endogener und exogener Aufmerksamkeitskontrolle darf aber nicht mit der Aufmerksamkeitslenkung durch zentrale und

periphere Cues gleichgesetzt werden. Wie dargestellt, lassen sich einige der ursprünglich gefunden Besonderheiten peripherer Cues relativieren, und mehr oder weniger ausgeprägt auch für zentrale Cues finden. So kann die automatische Lenkung peripherer Cues durch top-down Kontrolle verhindert werden (Folk et al. 1992; Yantis & Jonides, 1990), aber auch zentrale Cues können automatisch Aufmerksamkeit lenken, wenn sie nicht-prädiktiv sind (Ristic et al. 2002; Tipples, 2002).

1.4.2 Interpretation der Unterschiede zwischen endogener und exogener Aufmerksamkeitslenkung

Trotz gewisser Unterschiede zwischen endogener und exogener Aufmerksamkeitslenkung haben beide jedoch immer den gleichen Effekt: Sie lenken Verarbeitungsressourcen der Aufmerksamkeit auf die geuerte Position, und bewirken dadurch üblicherweise eine Verarbeitungserleichterung (zumindest für relativ kurze CTAs). Es wird daher unter Aufmerksamkeitsforschern heftig diskutiert, ob diese beiden Formen der Aufmerksamkeitslenkung ein und demselben Mechanismus unterliegen oder durch getrennte Systeme vermittelt werden; das heißt, es stellt sich die Frage, ob die unterschiedlichen Cueingeffekte rein quantitativ oder aber qualitativ sind. Man kann theoretisch mindestens zwei Möglichkeiten unterscheiden, wie die Beziehung zwischen exogenem und endogenem Cueing aufgefasst werden kann.

Der erste Ansatz, die Hypothese der *geteilten Ressourcen*, legt den Akzent auf die Gemeinsamkeiten der exogenen und endogenen Aufmerksamkeitslenkung und relativiert ihre Unterschiede. Beide Cueingarten aktivieren demnach in ähnlicher Weise einen einzigen gemeinsamen Orientierungsmechanismus, der jedoch auf unterschiedliche Art und Weise aktiviert werden kann (z.B. Jonides 1981; Posner, 1980; Warner et al., 1990; Yantis & Jonides, 1990) oder aber unterschiedliche Orientierungsmechanismen, die sich jedoch gegenseitig beeinflussen können (z.B. Müller & Findley, 1988; Müller & Humphreys, 1991; Müller & Rabbitt, 1989). Nach der *Veihikel-Metapher* von Klein (1994) gäbe es nach dieser Hypothese zwei unterschiedliche Transportmittel derselben Aufmerksamkeit, das eine schnell, das andere langsamer. So finden Müller und Kollegen Evidenz für wechselseitig inhibitorische Einflüsse endogener und exogener Aufmerksamkeitslenkung (Müller & Humphreys, 1991; Müller & Rabbitt, 1989). Wenn der endogene Mechanismus stark aktiviert ist und genug Zeit zur Antwort gegeben wird, kann er den exogenen inhibieren. Auf der anderen Seite inhibiert der exogene Mechanismus den endogenen, wenn die Validität

des zentralen Cues niedrig ist, oder nicht genug Zeit gegeben wurde, um vorher die Aufmerksamkeit zu fokussieren (Müller & Humphreys, 1991). Auch Koshino et al. (1992) finden interaktive Effekte zwischen Luminanz- und prädiktiven zentralen Cues. Während der Cueingeffekt mit ansteigendem SOA für die zentralen Cues größer wurde, wird er um ungefähr die gleiche Menge kleiner für die Luminanz-Cues, was dafür spricht, dass die beiden Arten des Cueing nicht unabhängig voneinander sind.

Der zweite Ansatz hingegen, die Hypothese der *getrennten Ressourcen*, stützt sich auf unterschiedlich große Cueingeffekte bei unterschiedlichen Aufgaben und additive Effekte der Cuearten. Er geht von der Existenz zweier separater Aufmerksamkeitssysteme (und damit Pools an Verarbeitungsressourcen) aus (z.B. Briand, 1998; Briand & Klein, 1987; Klein, 1994; Lu & Doshier, 2000). Nach der Vehikel-Metapher von Klein (1994) wären in diesem Fall nicht nur die Transportmittel, sondern auch die Passagiere unterschiedlich. Dieser zweite Ansatz beruht insbesondere auf Studien, die eine doppelte Dissoziation zwischen exogener und endogener Aufmerksamkeitslenkung finden konnten (z.B. Briand, 1998; Briand & Klein, 1987; Klein, 1994). So fanden Briand und Klein (1987), sowie Briand (1998) Effekte peripherer Cues, aber keine Effekte prädiktiver zentraler Cues auf die frühe Reizverarbeitung. Wenn Aufmerksamkeit mit Hilfe von peripheren Cues gelenkt wurde, fanden sich größere Cueingeffekte in einer Merkmalintegrations-Aufgabe (R unter den Distraktoren P und Q) als in einer einfachen Merkmal-Suchaufgabe (R unter den Distraktoren P und B). Dies wäre nach Treismans Theorie (Treisman & Gelade, 1980) zu erwarten, da für die Merkmalintegrations-Aufgabe räumliche Aufmerksamkeit benötigt wird, um die Integration von Merkmalen und damit die Entdeckung des Buchstaben R zu ermöglichen. Eine solche Abhängigkeit des Cueingeffekts von der Aufgabe fand sich allerdings nicht, wenn Aufmerksamkeit mit Hilfe von zentralen Cues gelenkt wurde.

Parallel dazu fand Klein (1994) einen Effekt der Reizerwartung, also eines späten Faktors, nur bei prädiktiven zentralen und nicht bei peripheren Cues. In dieser Studie mussten die Probanden entscheiden, ob ein Zielreiz sich vergrößert oder verkleinert hatte. Vergrößerung oder Verkleinerung des Zielreizes waren jeweils für Untergruppen der Probanden unterschiedlich wahrscheinlich, so dass eine bestimmte Erwartung mit dem Erscheinen des Zielreizes verknüpft war. Klein fand sowohl für periphere als auch für zentrale Cues deutliche Cueingeffekte auf die RT. Allerdings

gab es nur für zentrale Cues eine Interaktion zwischen der Reizwahrscheinlichkeit und Cueing-Bedingung, das heißt nur bei endogener Aufmerksamkeitslenkung interagiert die Reizerwartung mit räumlicher Aufmerksamkeit. Bei peripheren Cues ließ sich eine solche Interaktion nicht finden, unabhängig davon, ob der periphere Reiz prädiktiv war oder nicht.

Diese Studien führten zur Entwicklung eines Modells, das die unterschiedlichen Effekte zwischen endogenem und exogenem Cueing erklären sollte (Briand, 1998; Briand & Klein, 1987; Klein, 1994; Klein, Kingstone & Pontefract, 1992). Nach dem Modell wirkt das exogene Aufmerksamkeitssystem auf der Ebene der Merkmalintegration, das endogene System hingegen nicht (Abb. 1.7). Das endogene System interagiert aber mit nicht-räumlichen Erwartungen und späten Stufen wie Antwortselektion sowie Entscheidung, die wiederum vom exogenen System nicht beeinflusst werden. Beide Aufmerksamkeitssysteme beeinflussen die Extraktion der Reizmerkmale. Klein und seinen Kollegen zufolge existieren also zwei separate Aufmerksamkeitssysteme, welche Einfluss auf unterschiedliche Ebenen der Informationsverarbeitung haben, was zu den differenziellen Effekten führt. Das exogene System wirkt auf frühe Stadien der Verarbeitung, während das endogene System auf frühe und späte Stadien wirkt.

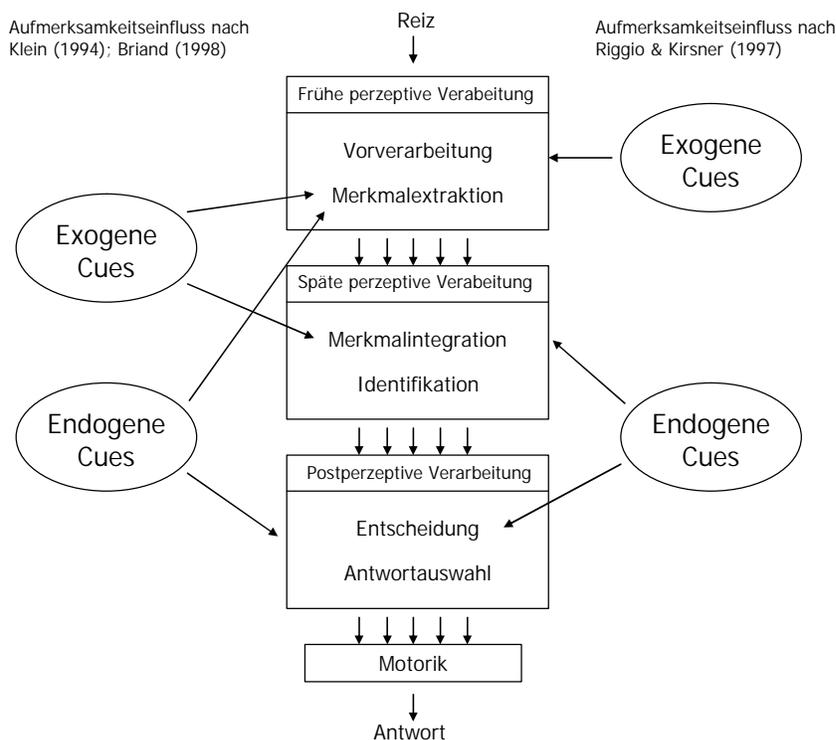


Abbildung 1.7: Der Einfluss exogener und endogener Aufmerksamkeit nach Briand (1998) und Klein (1994) auf der linken Seite sowie Riggio und Kirsner (1997) auf der rechten Seite.

Riggio und Kirsner (1997) testeten die Hypothese, dass periphere Cues frühe Stadien der visuellen Verarbeitung beeinflussen, während zentrale Cues spätere Stadien beeinflussen (Abb. 1.7), indem sie die Logik Sternbergs (1969) additiver Faktorenanalyse verwendeten. Danach sollten Faktoren, welche dieselbe Verarbeitungsstufe beeinflussen, miteinander interagieren, während Faktoren, die unterschiedliche Stufen beeinflussen, additive Effekte hervorrufen sollten. Die Aufgabe war wie bei Briand und Klein (1987) eine Buchstabenentdeckung. Die Aufmerksamkeit wurde durch nicht-prädiktive periphere und prädiktive zentrale Cues gleichzeitig in jedem Durchgang gelenkt. Die Autoren fanden signifikante Cueingeffekte für beide Cues. Dabei war die Beziehung zwischen peripheren und zentralen Cues additiv und nicht interaktiv, was dafür spricht, dass diese unterschiedlichen Cuearten auch unterschiedliche Verarbeitungsstufen beeinflussen⁵. Riggio und Kirsner (1997) schlossen daraus, dass exogene Cues sehr frühe Stadien, wie die Vorverarbeitung und Merkmalsextraktion beeinflussen, während endogene Cues späte perzeptive und post-perzeptive Stadien beeinflussen, wie die Identifikation von Reizen oder die Antwortauswahl. Auch bei Nakayama und Mackeben (1989) findet sich bereits die Unterscheidung zwischen zwei Komponenten der Aufmerksamkeitslenkung, eine vorübergehende (transient oder exogen), die auf die früheren Stadien wirkt, und eine anhaltende (sustained oder endogen), die spätere Ebenen beeinflusst.

Auch auf neuronaler Ebene kann man zwischen der Wirkung der Aufmerksamkeitslenkung (die aufmerksamkeitsbedingte Erhöhung der neuronalen Aktivität, vgl. Kapitel 1.3.4) und der top-down Kontrolle dieser Aktivitätsveränderungen unterscheiden. Bei der Kontrolle der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit zeigte sich in unterschiedlichen Studien, die verschiedene Aufgaben und Arten der Aufmerksamkeitslenkung einbezogen, dass immer wieder ähnliche Regionen aktiv waren, nämlich ein weit verteiltes, kortikales Netzwerk parietaler und frontaler Hirnregionen (Chelazzi & Corbetta, 2000; Corbetta, Miezin, Shulman & Petersen, 1993). Hopfinger, Buonocore und Mangun (2000) verwendeten ereigniskorreliertes fMRI, und konnten so zwischen der Lenkung (top-down Kontrolle) der Aufmerksamkeit und der anschließenden selektiven Modulation der sensorischen Informationen (Resultat der top-down Kontrolle) besonders gut unterscheiden und die entsprechenden Areale genauer eingrenzen. Die Autoren fanden so Regionen, die nur durch die Darbietung des

⁵ Es scheint dabei jedoch auf den Schwierigkeitsgrad der Aufgaben anzukommen. Berger et al. (2005) fanden unabhängige Cueingeffekte bei geringem Schwierigkeitsgrad der Aufgabe, selbst wenn sich die Cues widersprachen, jedoch eine Interaktion bei höheren Anforderungen.

Cues, aber nicht durch die Zielreize, aktiviert wurden und damit selektiv an der top-down Kontrolle der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit beteiligt zu sein schienen.

Corbetta und Shulman (2002) war es sogar möglich separate neurophysiologische Gehirnkorrelate endogener und exogener Aufmerksamkeitslenkung voneinander zu trennen. Ihnen zufolge ist ein dorso-frontoparietales Netzwerk für die endogene Aufmerksamkeitslenkung zuständig. Dieses System ist für die Generierung von Aufmerksamkeitssets, die die zielgerichtete Reiz-Antwort-Selektion bestimmen, und die Anwendung dieser Sets während der Reizverarbeitung zuständig. Ein zweites System rechts lateralisiert im ventralen frontoparietalen Kortex, entdeckt verhaltensrelevante Reize, und funktioniert als ein Alarmsystem oder Unterbrecher des ersten Systems, wenn Reize außerhalb des Aufmerksamkeitsfokusses entdeckt werden. Dieses rechts lateralisierte ventral-frontoparietale Netzwerk allein oder zusammen mit dem dorso-frontoparietalen Netzwerk könnte für die exogene Aufmerksamkeitslenkung verantwortlich sein. Das Zusammenspiel beider Netze kontrolliert die Lenkung der Aufmerksamkeit. Auch Humphreys und Riddoch (1993) unterscheiden zwischen separaten Aufmerksamkeitssystemen für endogene und exogene Lenkung. Sie beziehen sich dabei auf neuropsychologische Daten, z.B. bei unilateralem visuellen Neglekt und Balint Syndrom, wobei je nach der der Störung zugrunde liegenden Läsion selektiv unterschiedliche Komponenten des Aufmerksamkeitsnetzwerkes beeinflusst sind. Andere Autoren hingegen finden keine klare Trennung endogener und exogener Aufmerksamkeitslenkung (Berger et al., 2005; Corbetta et al., 1993). Die Frage nach dem Grad der Separierbarkeit endo- und exogener Aufmerksamkeitskontrolle, die sich bereits aufgrund der psychophysischen Studien gestellt hat, kann also auch mit diesen physiologischen Studien nicht eindeutig geklärt werden.

Auch wenn man zwei Arten der Aufmerksamkeitslenkung unterscheiden kann, die durch unterschiedliche Cueing-Bedingungen aktiviert werden können, ist unklar, ob diese von ein und demselben Aufmerksamkeitssystem kontrolliert werden, oder aber von getrennten Systemen. Die Inhibitionstheorie von Yeshurun und Levy (2003) ist eine Theorie zur Aufmerksamkeitswirkung, und bezieht sich nicht direkt auf die Art der Aufmerksamkeitslenkung. Nach der Theorie der getrennten Ressourcen, wonach die Lenkung der Aufmerksamkeit auf unterschiedliche Aufmerksamkeitssysteme zurückgreift und somit eng mit unterschiedlichen Mechanismen verbunden sein könnte, lässt sich jedoch eine interessante Hypothese aufstellen. In der Studie von Yeshurun und Levy (2003) wurden periphere Cues verwendet, die das exoge-

ne Aufmerksamkeitssystem ansprechen sollten. Übereinstimmend mit der Hypothese in Kapitel 1.3.4, dass der neurophysiologische Mechanismus der Inhibitionshypothese nur auf sehr frühe Stufen der Verarbeitung wirken könne, wäre es denkbar, dass nach der Theorie der getrennten Ressourcen, der von Yeshurun und Levy (2003) gefundene negative Effekt sich nur mit exogener Aufmerksamkeitslenkung erzielen lässt. Mit endogenen Cues hingegen könnte man dann auch bei einer zeitlichen Aufgabe einen positiven Effekt erwarten, da durch die endogene Aufmerksamkeitslenkung ein anderer, eher zentral wirksamer Mechanismus angesprochen werden sollte. Die Untersuchung der Frage, ob die Inhibitionshypothese für beide Arten der Orientierung gilt, wie sie in der vorliegenden Arbeit unternommen wurde, sollte somit zum tieferen Verständnis über die der Aufmerksamkeit zugrunde liegenden Mechanismen beitragen können.

1.5 Zielsetzung: Überprüfung der Inhibitionshypothese

Die Zuwendung räumlicher Aufmerksamkeit verbessert üblicherweise die Verarbeitung visueller Reize. Neuere Studien von Yeshurun und Levy (2003) haben jedoch einen negativen Effekt bei der zeitlichen Lückenerkennung aufgezeigt. Diese gegensätzlichen Effekte lassen sich durch die Inhibitionshypothese erklären, die eine Aktivierung des parvozellulären Systems zu Lasten des magnozellanulären Systems postuliert. Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt, hat diese Hypothese auch Erklärungswert für viele der etablierten Befunde und Theorien zur Wirkung der Aufmerksamkeit. Es gibt jedoch auch Evidenz gegen die Inhibitionshypothese. Außerdem beziehen sich die meisten dieser Befunde auf die räumliche und nicht auf die zeitliche Auflösung, da dieser Bereich bislang kaum untersucht wurde. Der Inhibitionshypothese zufolge sollte sich die zeitliche Auflösung unter Aufmerksamkeitseinfluss verschlechtern, da das inhibierte magnozellanuläre System eine höhere zeitliche Auflösung besitzt als das parvozelluläre System (z.B. Levitt et al, 2001; Merigan & Maunsell, 1993). Yeshurun und Levy (2003) konnten eine solche Verschlechterung für die zeitliche Lückenentdeckung zeigen. Wie in Kapitel 1.3.1 beschrieben, führen Läsionen des magnozellanulären Pfads zu Störungen in unterschiedlichen Aspekten der Zeitwahrnehmung, (vgl. Merigan & Maunsell, 1993). Deshalb könnte man nach der Inhibitionshypothese davon ausgehen, dass Aufmerksamkeit die zeitliche Diskrimination im Allgemeinen verschlechtert.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zu überprüfen, ob die Inhibitionshypothese tatsächlich über die zeitliche Lückenentdeckung hinaus auch auf das zeitliche Auflösungsvermögen im Allgemeinen generalisiert werden kann, indem die Diskrimination an einer Aufgabe, die eine andere Form der zeitlichen Auflösung erfordert, nämlich dem TOJ (Hirsh & Sherrick, 1961), getestet werden soll. Im Allgemeinen wird angenommen, dass die Präzision des TOJ von den Unterschieden in der Ankunftszeit der Reize in den einzelnen Kanälen an einem Vergleichsmechanismus abhängt. Diese Ankunftszeiten werden durch die Ankunftslatenzen bestimmt, die wiederum von den Reizattributen und eventuell einer Entscheidungsstrategie (decision rule) abhängen (Sternberg & Knoll, 1973). Nach dem allgemeinen Schwellenmodell (Ulrich, 1987) werden Unterschiede in der Ankunftszeit dann festgestellt, wenn diese Ankunftszeiten durch eine bestimmte Minimalzeit voneinander getrennt sind.

Der Inhibitionshypothese zufolge würde man einen negativen Effekt auf die Diskrimination des TOJ erwarten, zum einen, da das magnozelluläre System insgesamt eine bessere räumliche Auflösung als das parvozelluläre System aufzuweisen scheint, und zum anderen, da das magnozelluläre System nicht nur kürzere, sondern auch weniger variable Onset-Latenzen (Bair et al., 2002; Schmolesky et al., 1998) aufweist. Eine Hemmung dieses Systems würde eine größere Ungenauigkeit im TOJ erwarten lassen, da die Verarbeitungslatenzen variabler wären, und somit die Unterschiede in der Ankunftszeit der Reizrepräsentation beim Vergleichsmechanismus, auf die es im TOJ ankommt, ungenauer wären. Nach der Inhibitionshypothese sollte man unter Aufmerksamkeitseinfluss also größere Variabilität und somit eine weiter verteilte Antwortfunktion erwarten, was wiederum aufgrund der größeren Überlappung der Funktionen zu schlechterer zeitlicher Auflösung führen sollte (Abb. 1.8).

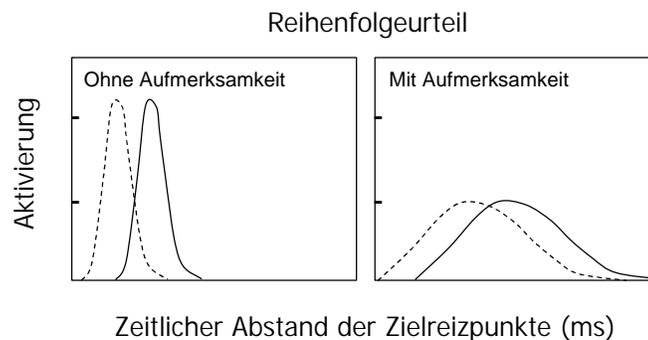


Abbildung 1.8: Schematische Darstellung der Antwortfunktionen zweier Reize getrennt durch ein kurzes zeitliches Intervall, ohne (links) oder mit (rechts) Aufmerksamkeitsfluss.

Sollte räumliche Aufmerksamkeit die Auflösung des TOJ verschlechtern, so spräche diese Generalisierung der Ergebnisse von Yeshurun und Levy (2003) stark für die Gültigkeit der Inhibitionshypothese. Gleichzeitig würde dieses Ergebnis Evidenz gegen die im dritten Kapitel beschriebenen Theorien der Aufmerksamkeitswirkung (insbesondere den nicht-stationären) bieten, denn diese können einen negativen Effekt auf das TOJ nicht vorhersagen. Nach dem TPM z.B. sollte das TOJ unter Aufmerksamkeitseinfluss genauer werden, da zwei Reize, die gleich stark beachtet werden, gleich enge Antwortfunktionen haben, und nicht beachtete Reize gleich weite Funktionen (genau das Gegenteil von dem in Abbildung 1.8 dargestellten Aufmerksamkeitseffekt). Dementsprechend sollten bei gleichen SOA aufmerksam beachtete Reize, da sie steilere und damit weniger überlappende Antwortfunktionen haben als nicht beachtete Reize und besser auseinander gehalten werden können. Dies sollte die Wahrscheinlichkeit für Gleichzeitigkeitsantworten sinken lassen, und die Reihenfolgediskrimination verbessern.

Carver und Brown (1997) untersuchten dies direkt, indem sie Aufmerksamkeit entweder auf beide für das TOJ relevante Reize gleichzeitig lenkten oder von beiden weglenkten. Carver und Brown (1997) ließen ihre Probanden die Gleichzeitigkeit zweier Punkte bestimmen. Jeder Reiz erschien an einem Ende einer virtuellen Linie, die Probanden mussten den Mittelpunkt dieser Linie fixieren. Die Linie konnte entweder horizontal oder vertikal orientiert sein, die Orientierung der virtuellen Linie wurde durch einen Cue vorab angegeben. In 80% der Fälle erschienen dann die beiden Punkte in der gecueteten Ebene links und rechts vom Fixationspunkt (valide Bedingung), in 20% der Fälle orthogonal dazu (invalide Bedingung). Entsprechend der Hypothese des TPM wurden mehr Gleichzeitigkeitsurteile in der invaliden als in der validen Bedingung abgegeben, obwohl die Reize nacheinander präsentiert wurden, was bedeutet, dass die Genauigkeit der Gleichzeitigkeitsurteile unter Aufmerksamkeitseinfluss zunimmt. Carver und Brown (1997) verwendeten aber kein klassisches Cueing-Paradigma, da der Bereich, auf den die Aufmerksamkeit gelenkt wurde, sehr groß war und sich am und um den Fixationspunkt sogar in beiden Validitätsbedingungen überschchnitt. Außerdem ist die von ihnen verwendete Methode der Gleichzeitigkeitsurteile schwierig zu interpretieren, da die Probanden nur antworten sollten, wenn sie Gleichzeitigkeit wahrnahmen und sonst nicht.

Auch Theorien, die eine einfache Verlängerung der wahrgenommenen Dauer postulieren (z.B. Integrationstheorie), könnten zwar wie die Inhibitionstheorie von

Yeshurun und Levy (2003) die Verschlechterung der Lückenentdeckung erklären, aber nicht eine potenzielle Verschlechterung der Diskrimination des TOJ. Nach der Integrationstheorie sollte sich höchstens der Zeitpunkt der Wahrnehmung des Erscheinens der beiden Reize verschieben, aber nicht das Intervall zwischen den Reiz-Onsets verändert werden, und somit sollte das TOJ durch Aufmerksamkeit nicht beeinflusst werden.

Um den Einfluss der räumlichen Aufmerksamkeit auf die Diskriminationsleistung des TOJ zu untersuchen, wurde in einem ersten Experiment der vorliegenden Arbeit ähnlich wie bei Yeshurun und Levy (2003) die Aufmerksamkeit mit Hilfe von peripheren Cues gelenkt. Um die Diskriminationsleistung beim TOJ zu ermitteln, wurde die Aufmerksamkeit im Gegensatz zu den TOJ Studien des Prior-Entry, nicht nur auf einen der beiden Punkte, sondern auf beide Punkte gleichzeitig gelenkt. Dies wurde ermöglicht durch die Präsentation beider Punkte dicht nebeneinander entweder an der aufmerksam beachteten Position oder an der nicht beachteten Position. Anschließend wurde die Diskriminationsleistung in beiden Aufmerksamkeitsbedingungen miteinander verglichen. Es ließ sich tatsächlich ein negativer Cueingeffekt auf die Diskrimination im TOJ feststellen.

In zwei weiteren Experimenten wurde dann dieser negative Cueingeffekt näher untersucht und wie bei Yeshurun und Levy (2004) und Yeshurun (2004) mögliche Alternativinterpretationen getestet. So wurde im zweiten Experiment ein identisches Cueing-Paradigma, wie im ersten Experiment verwendet, allerdings mit einer anderen Aufgabe, einer Formdiskrimination, um eine mögliche räumliche Interferenz, z.B. Vorwärts-Maskierung (z.B. Eriksen & Collins, 1965; Ogmen et al., 2003) durch den Cue ausschließen zu können. Im dritten Experiment wurde die Hypothese der zeitlichen Interferenz getestet, indem die Cueingeffekte auf das TOJ zweier neutraler Cues, die keine Aufmerksamkeitslenkung, aber unterschiedlich starke zeitliche Interferenz hervorrufen sollten, miteinander verglichen wurden.

Die letzten beiden Experimente schließlich prüften den Einfluss von zentralen Cues auf die Diskrimination des TOJ. In Experiment 4 wurden dazu klassische, prädiktive zentrale Cues verwendet, die das endogene Aufmerksamkeitssystem ansprechen sollten. Diese Cues erlaubten zum einen den weiteren Test der Interferenzhypothese, da sie keine Interferenz verursachen sollten, und zum anderen den direkten Vergleich mit der peripheren Aufmerksamkeitslenkung in Experiment 1, und damit zwischen endogener und exogener Lenkung der Aufmerksamkeit. Im letzten Experi-

ment lenkten nicht-prädiktive zentrale Cues die Aufmerksamkeit, um den Einfluss der Art des Cues und des Informationsgehalts des Cues voneinander trennen zu können und somit die Gültigkeit der Inhibitionshypothese weiter einzugrenzen.

2 Experimentelle Prüfung der Fragestellung

Dieses Kapitel beschreibt die fünf Experimente, die mit dem Ziel durchgeführt wurden, zu klären, ob visuell-räumliche Aufmerksamkeit die zeitliche Auflösung der Reihenfolge zweier Punkte verschlechtert. Wie in der Einleitung beschrieben, würde die Verallgemeinerung der Inhibitionshypothese von Yeshurun und Levy (2003) dies vorhersagen, da dieser Hypothese zufolge die Inhibition des magnozellulären Systems, das auf die zeitliche Verarbeitung spezialisiert zu sein scheint, angenommen wird. Der üblicherweise positive Aufmerksamkeitseffekt auf die Diskrimination räumlicher Reizeigenschaften und alternative Theorien des Aufmerksamkeitseinflusses auf die zeitliche Wahrnehmung, wie z.B. das TPM von Stelmach und Herdman (1991) lassen jedoch eher das Gegenteil erwarten, nämlich den üblichen positiven Einfluss der Aufmerksamkeit auch auf das TOJ. Insbesondere auch eine Studie zum Gleichzeitigkeitsurteil von Carver und Brown (1997), die einen positiven Aufmerksamkeitseffekt finden, lassen an der Generalisierbarkeit der Inhibitionshypothese auf das Reihenfolgeurteil zweifeln, weshalb das Ziel der hier vorgestellten Experimente ist, der Frage nach dem Einfluss der Aufmerksamkeit auf die Reihenfolgediskrimination nachzugehen.

2.1 Einfluss der Aufmerksamkeit auf die Diskriminationsleistung bei Reihenfolgeurteilen (Experiment 1)

In diesem Experiment soll untersucht werden, ob sich der von Yeshurun und Levy (2003) gefundene negative Cueingeffekt auf das TOJ generalisieren lässt. Im Gegensatz zur Studie von Yeshurun und Levy (2003), bei der zwei Punkte nacheinander an derselben Position gezeigt wurden, wurden in diesem Experiment zwei Punkte in rascher Folge dicht nebeneinander präsentiert. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, die zeitliche Reihenfolge der beiden Punkte zu bestimmen, indem sie angaben, ob der linke oder der rechte der beiden Punkte zuerst erschienen war. Die Punkte erschienen beide entweder an der gecueteten oder an der nicht gecueteten Position. Die Aufmerksamkeit wurde wie bei Yeshurun und Levy (2003) mit Hilfe peripherer Cues gelenkt (z.B. Müller & Rabbitt, 1989; Hawkins et al., 1990; Shore et al., 2001). In Übereinstimmung mit anderen exogenen Cueing-Studien (z.B. Henderson 1991; Jonides, 1981; Luck & Thomas, 1999; Pestilli & Carrasco, 2005) war der in den hier beschriebenen Experimenten verwendete Cue außerdem nicht-prädiktiv, er

beinhaltete also keinerlei Informationen bezüglich der Zielreizposition, da die beiden Zielreizpunkte nur in 50% der Fälle auf derselben Seite wie der Cue erschienen⁶.

Ausgehend von der Inhibitionshypothese von Yeshurun und Levy (2003) soll in diesem Experiment untersucht werden, ob Aufmerksamkeit auch die Diskrimination der zeitlichen Reihenfolge beeinträchtigen kann. Falls dies der Fall ist, sollten sich schlechtere Diskriminationsleistungen in der validen Bedingung als in der invaliden Bedingung finden lassen.

2.1.1 Methode

Probanden. Am Experiment nahmen 22 Probanden teil. Es wurde ein Leistungskriterium festgelegt, um Probanden, die die Aufgabe nicht korrekt bearbeitet hatten, aussortieren zu können. Dabei wurde angenommen, dass die Probanden unter normalen Umständen in der einfachsten Experimentalbedingung (längstes Intervall zwischen den beiden Punkten (Interstimulus-Intervall, ISI = 67 ms) mindestens 80% korrekter Antworten erreichen. Zwei Probanden wurden von der Datenanalyse ausgeschlossen, da sie dieses 80%-Kriterium nicht erreichen konnten (sie zeigten im längsten ISI nur 72.2 und 68.8% korrekte Antworten), und deshalb davon ausgegangen wurde, dass sie die Aufgabe nicht korrekt hatten bearbeiten können. Das durchschnittliche Alter der verbleibenden 20 Probanden (15 Frauen und 5 Männer) betrug 24.4 Jahre (SD = 6.6 Jahre). Die Probanden waren Studierende der Universität Tübingen und erhielten für die Teilnahme am Experiment eine für das Studium erforderliche Bescheinigung über Probandenstunden oder eine finanzielle Aufwandentschädigung von 7 € pro Stunde. Alle hatten nach eigenen Angaben normale oder auf normal korrigierte Sehkraft und waren naiv bezüglich der Forschungshypothese und des Versuchsplans.

Stimuli und Apparatur. Die Reize wurden mit Hilfe des Systems zur Experimentalsteuerung ERTS (Experimental Run Time System; 1987, Beringer) erzeugt und gesteuert, das auf DOS Ebene läuft. Die Reize erschienen auf einem 17" Monitor eines PC mit einer Bildwiederholfrequenz von 60Hz. Alle Reize wurden in weiß auf blauem Hintergrund (RGB-Werte: 0, 0, 225) präsentiert und hatten eine Leuchtdichte von 61 cd/m². Dies entspricht bei einer Leuchtdichte des Hintergrunds von 2.3 cd/m² einem Michelson-Kontrast von 0.9.

⁶ Yeshurun und Levy (2003) hingegen verwendeten einen 100% validen Cue, der die Position der Zielreize immer richtig angab. Dies war in den hier beschriebenen Experimenten nicht möglich, da valide und invalide Bedingungen miteinander verglichen werden sollten.

Der Zielreiz bestand aus zwei nebeneinander liegenden Punkten mit einem Durchmesser von je 0.2° Sehwinkel bei einem Abstand von 54 cm zwischen Auge des Probanden und der Mitte des Computerbildschirms, auf dem der Zielreiz präsentiert wurde. Um das Paradigma möglichst einfach zu halten, konnten die Zielreizpunkte in jedem Durchgang nur an zwei verschiedenen Positionen erscheinen. Diese Positionen wurden durch zwei kleine quadratische Rahmen mit einer Seitenlänge von 2.7° Sehwinkel markiert, deren Seitendicke $3.5'$ (Sehwinkelminuten) betrug. Die beiden Rahmen waren 3.2° Sehwinkel links und rechts von der Bildschirmmitte auf einer horizontalen Ebene positioniert (Abb. 2.1). Die Zielreizpunkte erschienen beide in einem Abstand von 1.1° Sehwinkel in der Mitte eines der beiden Positionsrahmen. Als Cue diente ein $7'$ breiter zusätzlicher Rahmen, der um einen der beiden Positionsrahmen erschien. Als Fixationspunkt wurde ein kleines Kreuz (0.4° Sehwinkel Seitenlänge) in der Bildschirmmitte präsentiert. Ein quadratisches Rechteck mit einer Seitenlänge von 2.2° Sehwinkel, gefüllt mit zufällig angeordneten weißen Pixeln, diente als Maske (ca. 53% weiße Pixel). Diese erschien immer an derselben Stelle wie der Zielreiz und verdeckte ihn vollständig.

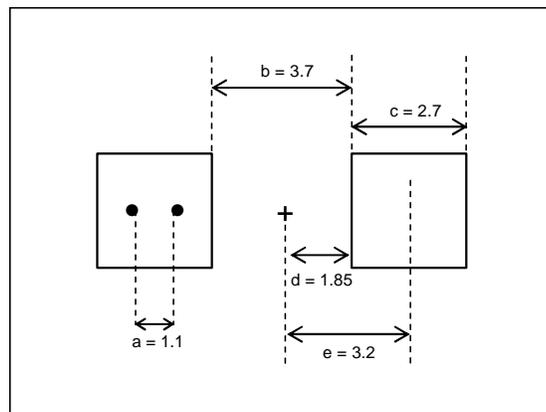


Abbildung 2.1: Schematische Illustration des Reizaufbaus und der Reizgröße (in $^\circ$ Sehwinkel) a: Abstand zwischen den beiden Zielreizpunkten; b: Abstand zwischen den beiden Positionsrahmen; c: Seitenlänge Positionsrahmen; d: Abstand zwischen Bildschirmmitte und Positionsrahmen; e: Abstand zwischen Bildschirmmitte und Positionenrahmenmitte.

Durchführung. Das Experiment fand in einem schallgeschützten und abgedunkelten Experimental-Labor statt. Eine Kinnstütze wurde zu Beginn jeder Sitzung individuell so eingestellt, dass die Augen des Probanden konstant 54 cm vom Bildschirm entfernt und auf einer Höhe mit dem Fixationskreuz waren. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, so korrekt und so schnell wie möglich anzugeben, welcher der beiden Punkte zuerst erschienen war, wobei der Akzent auf die Genauigkeit ge-

legt wurde. Als Reaktionstasten dienten zwei separate externe Antworttasten, die durch eine serielle Schnittstelle mit dem PC verbunden waren. Die Probanden wurden gebeten eine Haltung einzunehmen, bei der die Unterarme möglichst bequem auf dem Tisch lagen und die Zeigefinger auf den jeweiligen Reaktionstasten lagen. Eine Zweifach-Wahlaufgabe (Two Alternative Forced Choice, 2AFC) wurde verwendet, um die Diskriminationsleistung zu erfassen (Macmillan & Creelman, 1991). Die Probanden wurden angewiesen, mit dem Zeigefinger ihrer linken Hand die linke Antworttaste zu drücken, wenn der linke Punkt zuerst erschienen war und mit dem Zeigefinger der rechten Hand die rechte Antworttaste, wenn der rechte Punkt zuerst erschienen war. RT und Prozent korrekter Antworten wurden mit Hilfe von ERTS erfasst.

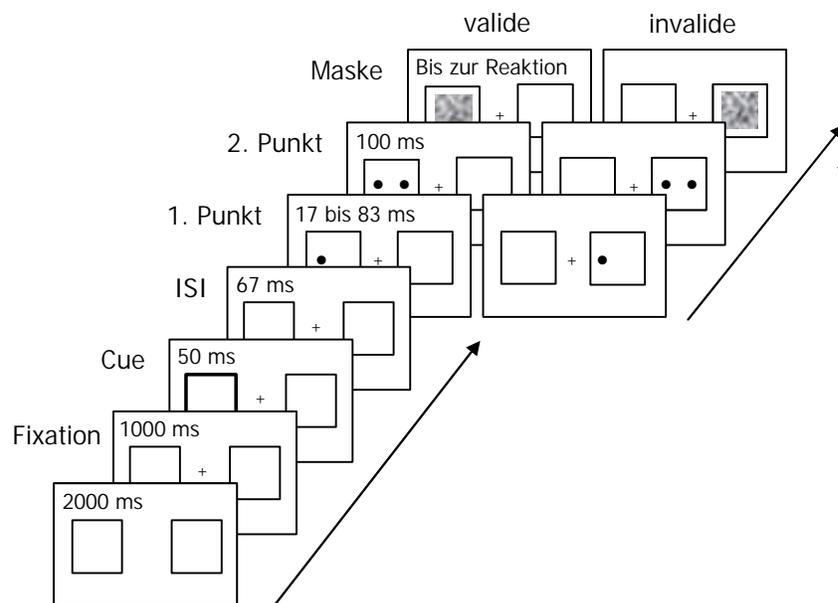


Abbildung 2.2: Zeitlicher Ablauf eines Durchgangs in Experiment 1. Nach dem Fixationskreuz erscheint der Cue (dickerer Rahmen hier um den linken Positionsrahmen) auf einer der beiden Seiten (hier links). Nach 67 ms werden die beiden Zielreizpunkte präsentiert, durch ein variables zeitliches Intervall (SOA: 17, 33, 50 oder 83 ms) voneinander getrennt. Die Punkte konnten entweder an der gecueteten Seite (valide) oder der ungecueteten Seite (invalide) erscheinen.

Jeder Durchgang begann mit der Präsentation der zwei Positionen links und rechts von der Bildschirmmitte, die den ganzen Durchgang über stehen blieben. Nach 2000 ms erschien das Fixationskreuz in der Bildschirmmitte. Weitere 1000 ms später blitzte der Cue für 50 ms auf. 67 ms nach dem Darbietungsende des Cues erschien der erste der zwei Zielreizpunkte, das entspricht einem CTA von 117 ms. Nach einem von fünf möglichen unterschiedlichen Zeitintervallen (SOA: 17, 33, 50, 67 oder 83 ms) folgte dann der zweite Punkt. Beide Punkte blieben weitere 100 ms auf

dem Bildschirm bis die Maske sie schließlich verdeckte (Abb. 2.2). Die Maske wurde solange dargeboten, bis der Proband eine Antworttaste gedrückt hatte oder verschwand nach maximal 3000 ms, wenn keine Antwort registriert wurde. Nach einem fixen Zeitintervall von 600 ms begann dann der nächste Durchgang. Am Ende jedes Experimentalblocks erhielt der Proband eine Rückmeldung über seine Fehlerrate im jeweiligen Block. Durch Betätigen der Leertaste konnte der Proband selbstständig den Beginn des nächsten Blocks bestimmen (und damit die Länge der Pause).

Die Probanden bekamen die Anweisung, das Fixationskreuz während jedes Durchgangs die ganze Zeit über anzuschauen, auch wenn die anderen Reize in ihrem peripheren Gesichtsfeld erscheinen würden. Diese Instruktion wurde vor Beginn jedes Blocks wiederholt. Es kann davon ausgegangen werden, dass das kritische Intervall zwischen Cue-Onset und dem Onset des zweiten Zielreizpunktes (zwischen 134 und 200 ms) in der Regel zu kurz war, um Augenbewegungen zum Zielreiz hin zu erlauben, da Studien zu dem Ergebnis kommen, dass mindestens 200 ms - 250 ms für eine Sakkade benötigt werden (Hoffman & Subramaniam, 1995; Mayfrank, Kimming & Fischer, 1987). Außerdem wurden die Probanden darauf hingewiesen, dass die Reize sehr kurz präsentiert werden würden und Augenbewegungen daher die Performanz eher verringern würden.

Jeder Proband konnte sich zunächst in einem Übungsblock von 40 Durchgängen mit den Reizen und deren Abfolge vertraut machen. Daran anschließend wurde der Experimentalblock à 40 Durchgänge 18mal wiederholt, so dass pro Proband insgesamt 720 Experimentaldurchgänge bearbeitet wurden. Eine Sitzung dauerte so zwischen einer Stunde und einer Stunde 15 min.

Versuchsplan. Jeder Block bestand aus einer randomisierten Darbietung der gleichwahrscheinlich verteilten Kombination der Faktoren Cue-Validität (valide oder invalide), SOA (17, 33, 50, 67 oder 83 ms), zeitliche Reihenfolge (linker oder rechter Punkt zuerst) und Position des Zielreizes (links oder rechts). In 50% der Durchgänge erschien der Zielreiz auf derselben Seite wie der Cue und in den übrigen 50% der Durchgänge auf der entgegengesetzten Seite des Cues. Der Cue gab somit keinerlei Informationen über die Wahrscheinlichkeit, auf welcher Seite der Zielreiz erscheinen wird.

Die beiden Faktoren *Cue-Validität* und *SOA* wurden vollständig miteinander gekreuzt. Die Resultate des ersten, der Übung dienenden Blocks wurden von den Analysen ausgeschlossen. Es wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwie-

derholung (ANOVA) für jede der zwei abhängigen Variablen (RT und Prozent korrekter Antworten) durchgeführt.

2.1.2 Ergebnisse

Reaktionszeiten. Abbildung 2.3 veranschaulicht die durchschnittlichen RT korrekter Antworten in Abhängigkeit des SOA zwischen beiden Punkten für die valide (durchgezogene Linie) und die invalide Bedingung (gestrichelte Linie).

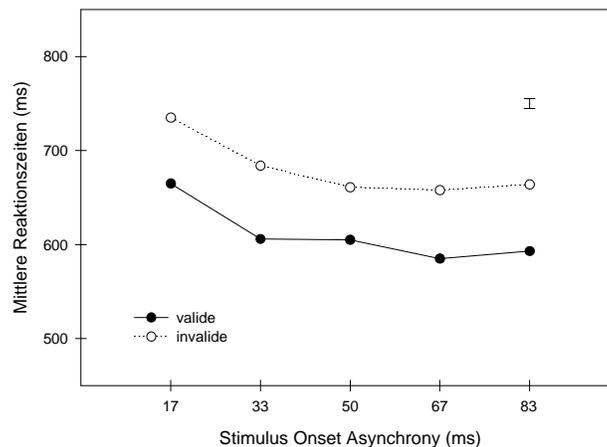


Abbildung 2.3: RT korrekter Antworten als Funktion von SOA zwischen den Zielreizpunkten und Cue-Validität in Experiment 1. Der Fehlerbalken stellt den Standardfehler dar, der von den gepoolten Fehlerraten der entsprechenden ANOVA geschätzt wurde (Loftus, 2002).

In Übereinstimmung mit anderen Cueing-Studien waren die RT in der validen Bedingung (611 ms) im Durchschnitt deutlich geringer als in der invaliden Bedingung (680 ms), $F(1, 19) = 42.0$, $p < .001$. Die Aufmerksamkeitsmanipulation durch den peripheren Cue scheint also erfolgreich gewesen zu sein. Des Weiteren fand sich ein signifikanter Unterschied für den Faktor SOA, $F(4, 76) = 15.1$, $p < .001$, der sich darin äußerte, dass die Probanden bei kürzerem SOA langsamer reagierten als bei den längeren SOA. Dieser RT-Vorteil für längere SOA könnte darauf beruhen, dass die Aufgabe leichter wird je größer das Zeitintervall wird, durch das die beiden Punkte voneinander zeitlich getrennt sind (z.B. Heath, 1984). Es gab keine Interaktion zwischen den beiden Faktoren Validität und SOA, $F < 1$.

Prozentsatz korrekter Antworten. Abbildung 2.4 zeigt die Prozent korrekter Antworten in Abhängigkeit vom SOA für beide Validitätsbedingungen. Wie zu erwarten, wurden mehr korrekte Antworten gegeben, je größer das Zeitintervall zwischen den beiden Punkten war, das heißt, je einfacher die Aufgabe wurde, $F(4,76) =$

218.7, $p < .001$. Für die Überprüfung der Inhibitionshypothese jedoch sehr viel interessanter war der Befund, dass die durchschnittlichen Prozent korrekter Antworten in der validen Bedingung (83.1%) schlechter waren als in der invaliden Bedingung (86.1%), $F(1, 19) = 9.1$, $p = .007$. Dieser erstaunliche negative Cueingeffekt entspricht den Ergebnissen von Yeshurun und Levy (2003), nach denen die zeitliche Diskrimination in der validen Bedingung vermindert sein sollte. Ebenfalls in Übereinstimmung mit deren Resultaten, war dieser Unterschied zwischen der validen und der invaliden Bedingung insbesondere für die kürzeren SOA von Bedeutung, wie die signifikante Interaktion zwischen den beiden Faktoren zeigt, $F(4, 76) = 3.9$, $p = .007$.

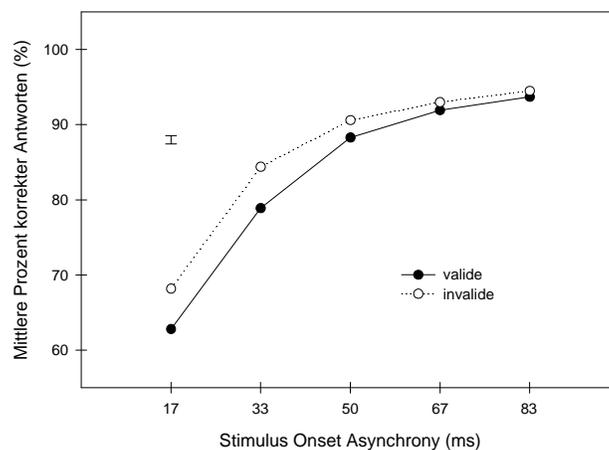


Abbildung 2.4: Prozent korrekter Antworten als Funktion von SOA zwischen den Zielreizpunkten und Cue-Validität in Experiment 1.

Mit Hilfe des Programms PMETRIC (Miller & Ulrich, 2004) wurde eine psychometrische Funktion (Weibull-Analyse) für die Prozent korrekter Antworten angepasst und so für jeden Probanden die Schwellenwerte des SOAs für die korrekte Identifikation der Punktreihenfolge in 75% der Fälle bestimmt. Im Durchschnitt fanden sich höhere Schwellenwerte, und somit schlechtere Diskriminationsleistungen in der validen Bedingung (31.3 ms) als in der invaliden Bedingung (24.0 ms), $t = 3.34$, $df = 19$, $p = .003$. Dies bestätigen die Ergebnisse aus der direkten Analyse der Prozent korrekter Antworten. Die Größenordnung dieser Schwellenwerte stimmt mit anderen Studien zum Reihenfolgeurteil überein (z.B. Hirsch & Sherrick, 1961; Sternberg & Knoll, 1973).

Da die Probanden in der validen Bedingung weniger genau, aber gleichzeitig auch schneller waren, könnten die Daten einen Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich (Speed-Accuracy-Tradeoff, SAT) reflektieren. Das würde bedeuten, dass

die erhöhte Fehlerrate in der validen Bedingung nur dadurch zustande gekommen ist, dass die Probanden in dieser Bedingung schneller reagiert haben. Um diese Alternativhypothese zu untersuchen, wurde eine Median-Split Analyse durchgeführt, um die Diskriminationsleistung für langsame und schnelle RT getrennt zu analysieren. Separat für jede Bedingung und jeden Probanden wurde der Median der RT-Verteilung bestimmt und dann die Durchgänge in langsame (kleiner als der Median) und schnelle (größer als der Median) aufgeteilt. Dies ermöglichte die Berechnung einer neuen ANOVA mit dem zusätzlichen Faktor *Schnelligkeit* (langsam und schnell). Sollten die beobachteten Daten durch einen SAT zustande gekommen sein, so würde man erwarten, dass die *Cue-Validität* durch den Faktor *Schnelligkeit* moderiert wird. Dabei sollte unter Annahme der SAT-Hypothese, der Cueingeffekt für langsame Reaktionszeiten verschwinden oder sogar das Vorzeichen ändern. *Cue-Validität* interagierte aber nicht mit *Schnelligkeit*, $F(1, 19) = 0.01$, $p = .927$, so dass diese Analyse gegen die Hypothese eines SAT-Effekts spricht.

2.1.3 Diskussion

In diesem Experiment wurde Aufmerksamkeit mit Hilfe von peripheren Cues gelenkt, um ihren Einfluss auf die Diskrimination der zeitlichen Reihenfolge zu untersuchen. Auf der Ebene der RT konnte der in Cueing-Studien übliche Reaktionszeitvorteil unter Aufmerksamkeitseinfluss beobachtet werden. Für die Diskriminationsleistung zeigte sich jedoch genau der entgegengesetzte Effekt zu dem normalerweise gefundenen positiven Effekt der räumlichen Aufmerksamkeit. Die Diskriminationsfähigkeit der zeitlichen Reihenfolge war verringert anstatt verbessert. Dieses Ergebnis stimmt jedoch mit dem von Yeshurun und Levy (2003) gefundenen negativen Aufmerksamkeitseinfluss auf die zeitliche Lückenentdeckung überein. Der negative Aufmerksamkeitseffekt scheint also auch auf das TOJ generalisierbar zu sein, was die neurophysiologische Hypothese von Yeshurun und Levy (2003) unterstützt. Unsere Ergebnisse erweitern zudem die Befunde von Yeshurun und Levy (2003), indem sie zeigen, dass der negative Aufmerksamkeitseffekt auch beim Vergleich zwischen valider und invalider Bedingung gefunden werden kann, und somit sich als unabhängig von der von Yeshurun und Levy (2003) verwendeten speziellen neutralen Bedingung erweist.

Der negative Cueingeffekt steht jedoch im Widerspruch zu dem von Carver und Brown (1997) gefundenen positiven Aufmerksamkeitseinfluss auf das Gleichzei-

tigkeitsurteil. Es stellt sich deshalb die Frage, ob die hier gefundenen Ergebnisse wirklich, wie es nach der Inhibitions-hypothese von Yeshurun und Levy (2003) anzunehmen ist, dem Einfluss der Aufmerksamkeit zuzuschreiben sind.

Der gefundene negative Cueingeffekt könnte auch auf einer Art von Interferenz beruhen, da mit der Anordnung der Cues nicht nur eine unterschiedliche Aufmerksamkeitslenkung verbunden war: In der validen Bedingung war die Darbietungsseite des Cues und die des Reizes nämlich identisch, während sie sich in der invaliden Bedingung unterschieden. Somit leuchtet in der validen Bedingung, im Gegensatz zur invaliden Bedingung, direkt an der Position des Zielreizes kurz zuvor der Cue auf, was dazu geführt haben könnte, dass die visuelle Verarbeitung von Cue und Zielreiz miteinander interferierte und eine Art von Vorwärts-Maskierung (z.B. Eriksen & Collins, 1965; Ogmen et al., 2003) die schlechtere Diskriminationsleistung in der validen Bedingung zustande kommen ließ (vgl. Luck et al., 1996; Yeshurun & Levy, 2003). Diese Alternativhypothese der räumlichen Interferenz wurde wie in der Einleitung beschrieben von Yeshurun und Levy (2003) getestet. Dafür ersetzten sie die zeitliche Aufgabe durch eine Formdiskriminationsaufgabe, verwendeten ansonsten aber exakt das gleiche Cueing-Paradigma. Sie fanden einen positiven Cueingeffekt, was gegen die räumliche Interferenzhypothese bei Yeshurun und Levys (2003) Cueing-Paradigma spricht. Da der von uns verwendete Cue jedoch anders ist als der von Yeshurun und Levy (2003), insbesondere was seine Form anbelangt (er umrahmt den Zielreiz), kann die Interferenzhypothese für unser Experiment nicht ausgeschlossen werden. Im folgenden Experiment soll diese räumliche Interferenzhypothese deshalb auch für unser Cueing-Paradigma getestet werden.

2.2 Überprüfung der Interferenzhypothese mit Hilfe von Formdiskrimination (Experiment 2)

Mit diesem Experiment soll die räumliche Interferenzhypothese überprüft werden, der zufolge Interferenz und nicht Aufmerksamkeit für die beobachtete Verschlechterung der Reihenfolgediskrimination in der validen Bedingung verglichen mit der invaliden Bedingung verantwortlich sein könnte (vgl. Luck et al., 1996). Dazu wurde, ähnlich der Studie von Yeshurun und Levy (2003), das von uns im ersten Experiment verwendete Cueing-Paradigma mit einer klassischen Formdiskriminationsaufgabe getestet. Die Aufgabe der Probanden war es, eine kleine Lücke in einem Quadrat (Landoltsches Quadrat) zu entdecken. Ansonsten entsprach das Experiment

bezüglich der Cueing-Manipulation und den Zeitabläufen exakt dem ersten Experiment.

Falls der negative Cueingeffekt Interferenz durch den besonderen zeitlichen Ablauf des hier verwendeten Cueing-Paradigmas zugeschrieben werden kann, so sollte im identischen Paradigma auch für die Formdiskrimination eine Verschlechterung in der validen Bedingung beobachtet werden können. Wird jedoch mit unserem exogenen Cueing-Paradigma keine räumliche Interferenz erzeugt, so sollte in diesem Experiment der übliche positive Aufmerksamkeitseffekt mit einer Formdiskriminationsaufgabe beobachtet werden können (z.B. Yeshurun & Carrasco, 1999), das heißt die Diskrimination sollte in der validen Bedingung besser als in der invaliden Bedingung sein.

2.2.1 Methode

Probanden. Am Experiment nahmen 24 Probanden teil. Keiner dieser Probanden hatte am ersten Experiment bereits teilgenommen. Vier Probanden mussten von den Analysen ausgeschlossen werden, da sie, vergleichbar mit Experiment 1, weniger als 80% korrekter Antworten in der einfachsten Experimentalbedingung (größte Lückengröße) erreichten. Das durchschnittliche Alter der verbleibenden 20 Probanden (17 Frauen und 3 Männer) betrug 23 Jahre (SD = 4.3 Jahre). Ansonsten war die Vorgehensweise identisch mit Experiment 1.

Stimuli und Apparatur. Reize und Apparatur entsprachen exakt Experiment 1 mit zwei Ausnahmen. Zum einen war der Zielreiz diesmal ein Quadrat mit einer Seitenlänge von 1.2° Sehwinkel und einer Liniendicke von $3.5'$. Eine Seite des Quadrats war von einer Lücke unterbrochen, die fünf unterschiedliche Größen haben konnte ($3.5'$, $7.0'$, $10.5'$, $14.0'$ und $17.5'$). Zum anderen wurde die Maske auf 1.4° Sehwinkel Seitenlänge verkleinert, um sie an die Größe des neuen Zielreizes anzupassen.

Durchführung. Der zeitliche Ablauf eines Durchgangs entsprach dem des ersten Experiments mit Ausnahme der aufgrund des neuen Zielreizes nötigen Veränderungen (Abb. 2.5). Anstelle des ersten der zwei Punkte erschien das Landoltsche Quadrat. Dieses wurde für 83 ms präsentiert bevor die Maske es verdeckte. Die Aufgabe der Probanden war es, so schnell und vor allem so korrekt wie möglich anzugeben, ob die Lücke im Landoltschen Quadrat auf der linken oder rechten Seite war. Als Reaktionstasten dienten dieselben Tasten wie im ersten Experiment, die

Antwort „Lücke links“ geschah mit Hilfe der linken Taste, die Antwort „Lücke rechts“ mit Hilfe der rechten Taste.

Die Durchführung war identisch mit der des ersten Experimentes: Jeder Proband konnte sich zunächst in einem Übungsblock von 40 Durchgängen mit den Reizen und deren Abfolge vertraut machen. Daran anschließend wurde der Experimentblock à 40 Durchgänge 18mal wiederholt, so dass pro Proband insgesamt 720 Durchgänge bearbeitet wurden.

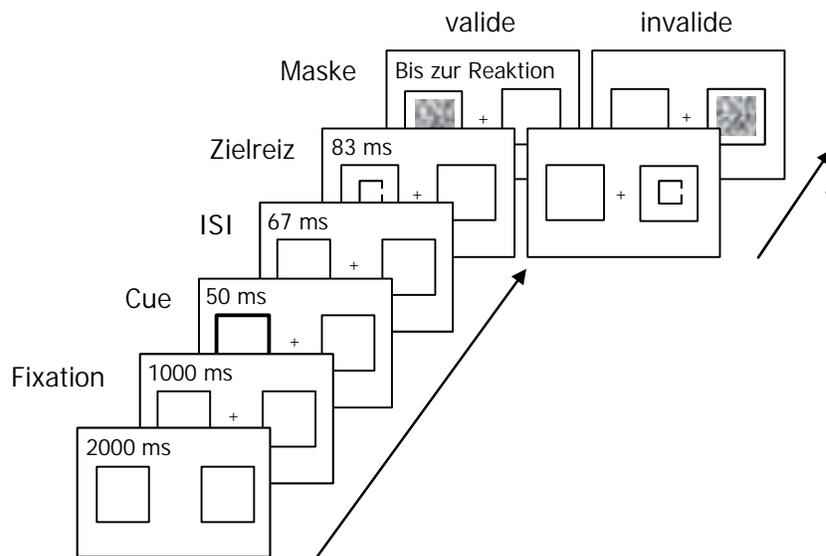


Abbildung 2.5: Zeitlicher Ablauf eines Durchgangs in Experiment 2. Nach dem Fixationskreuz erscheint der Cue (dickerer Rahmen hier um den linken Positionsrahmen) auf einer Seite des Bildschirms. Nach 67 ms wird der Zielreiz präsentiert, entweder auf der gecueteten (hier links) oder auf der ungecueteten (hier rechts) Seite.

Versuchsplan. Jeder Block bestand aus einer gleich wahrscheinlich verteilten, randomisierten Kombination der Faktoren Cue-Validität (valide oder invalide), Lückengröße (3.5', 7.0', 10.5', 14.0' und 17.5'), Lückenposition (linke oder rechte Seite des Landoltschen Quadrats) und Zielreizposition (links oder rechts). Die Wahrscheinlichkeit, dass der Zielreiz an der gleichen Position wie der Cue erschien, lag wie in Experiment 1 bei 50%.

Die beiden Faktoren *Cue-Validität* und *Lückengröße* wurden vollständig gekreuzt. Die Resultate des ersten, der Übung dienenden Blocks wurden wieder von den Analysen ausgeschlossen. Wie im ersten Experiment wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) für jede der zwei abhängigen Variablen (RT und Prozent korrekter Antworten) durchgeführt.

2.2.2 Ergebnisse

Reaktionszeiten. Die mittleren RT korrekter Antworten in Abhängigkeit von Lückengröße und Cue-Validität sind in Abbildung 2.6 veranschaulicht. In Übereinstimmung mit anderen Cueing-Studien (z.B. Posner, 1980; Henderson, 1991; Snowden, Willey & Muir, 2001) reagierten die Probanden im Durchschnitt in der validen Bedingung (559 ms) schneller als in der invaliden Bedingung (636 ms), $F(1,19) = 63.5$, $p < .001$. Dieser Haupteffekt bezeugt, dass die Manipulation der Aufmerksamkeit auch diesmal erfolgreich war.

Außerdem wirkte sich die Lückengröße auf die RT aus, $F(4, 76) = 78.4$, $p < .001$. Je leichter die Diskriminationsaufgabe, das heißt je größer die Lücke, desto kürzer waren die RT. Der Cueingeffekt variierte leicht, aber doch signifikant mit der Lückengröße, $F(4, 76) = 3.5$, $p = .01$. Allerdings lässt sich keine Tendenz in eine bestimmte Richtung erkennen.

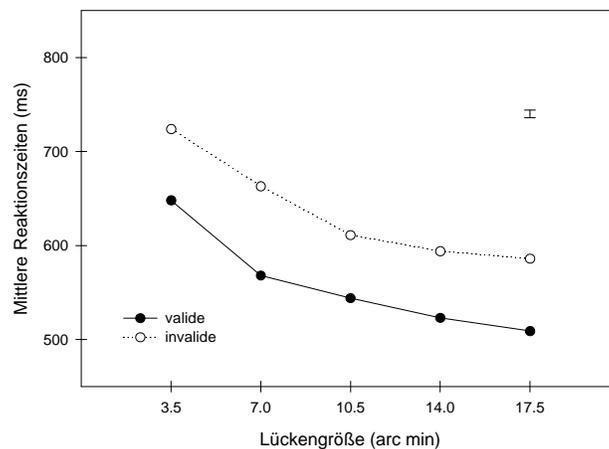


Abbildung 2.6: RT korrekter Antworten als Funktion von Lückengröße und Cue-Validität in Experiment 2.

Prozent korrekter Antworten. In Abbildung 2.7 sind die Prozent korrekter Antworten in Abhängigkeit von der Lückengröße und der Cue-Validität dargestellt. Erwartungsgemäß wurden mit ansteigender Lückengröße und somit sinkendem Schwierigkeitsgrad weniger Fehler gemacht, $F(4, 76) = 297.9$, $p < .001$. Eine Post-hoc Analyse nach Scheffé offenbarte, dass die Unterschiede zwischen allen Lückengrößen, außer zwischen den größten Lücken, 10.5' und 14.0', sowie 14.0' und 17.5', signifikant waren. Theoretisch am wichtigsten und in Übereinstimmung mit der Literatur (z.B. Yeshurun & Carrasco, 1999), gaben die Probanden mehr korrekte Antworten

ten in der validen Bedingung (87.1%) als in der invaliden Bedingung (85.2%), $F(1, 19) = 6.13$, $p = .02$. *Validität* und *Lückengröße* interagierten nicht miteinander, $F < 1$.

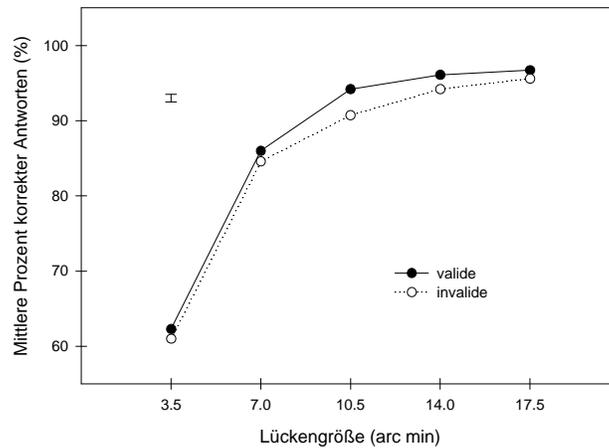


Abbildung 2.7: Prozent korrekter Antworten als Funktion von Lückengröße und Cue-Validität in Experiment 2.

Durch Anpassen einer psychometrischen Funktion (Weibull-Analyse) für die Prozent korrekter Antworten pro Proband wurden wie in Experiment 1 die Schwellenwerte der Lückengröße für die 75% korrekte Lückendiskrimination bestimmt. Es konnten in der validen Bedingung (5.2') niedrigere Schwellenwerte gefunden werden als in der invaliden Bedingung (5.8'), $t = 1.86$, $df = 19$, $p = .04$. Dies bestätigte die Ergebnisse der Prozent korrekter Antworten und spricht deutlich dafür, dass die Formdiskrimination in der validen Bedingung genauer gewesen ist als in der invaliden Bedingung.

2.2.3 Diskussion

Bei diesem Experiment wurde dasselbe Cueing-Paradigma zur Lenkung der Aufmerksamkeit verwendet wie in Experiment 1. Die Aufgabe war diesmal jedoch eine Formdiskrimination. Wie im ersten Experiment reagierten die Probanden schneller, wenn Aufmerksamkeit zum Zielreiz gelenkt worden war. Die Diskriminationsleistung der Probanden war in diesem zweiten Experiment jedoch unter Aufmerksamkeitseinfluss genauer. Dieser positive Cueingeffekt steht in direktem Gegensatz zum negativen Effekt beim TOJ des ersten Experiments und spricht gegen die räumliche Interferenzhypothese. Wäre räumliche Interferenz für den negativen Cueingeffekt in Experiment 1 verantwortlich, so hätten wir auch in diesem Experiment einen negativen Effekt des Cues finden müssen. Dass wir im Gegensatz dazu einen positiven

Cueingeffekt gefunden haben, zeigt, dass unser exogenes Cueing-Paradigma durchaus geeignet ist, die Aufmerksamkeit zu lenken, und räumliche Interferenz zumindest in einer Art von Vorwärts-Maskierung (z.B. Eriksen & Collins, 1965; Ogmen et al., 2003) nicht als Erklärung der verschlechterten Reihenfolgediskrimination in Experiment 1 in Frage kommt.

Dennoch ist nicht auszuschließen, dass der periphere Cue eine spezielle Form von zeitlicher Interferenz erzeugt hat, die nur bei zeitlichen Aufgaben zum Tragen kommt (vgl. Yeshurun, 2004) und der vermeintliche Aufmerksamkeitseffekt immer noch ein Artefakt der Cueing-Manipulation ist. Im dritten Experiment soll diese spezielle zeitliche Interferenzhypothese getestet werden.

2.3 Überprüfung der zeitlichen Interferenzhypothese mit Hilfe neutraler Cues (Experiment 3)

Im ersten Experiment wurde die Aufmerksamkeit durch einen peripheren Cue gelenkt, das heißt durch das plötzliche, kurze Aufleuchten an einer der beiden möglichen Zielreizpositionen. Ein solcher Cue soll Aufmerksamkeit automatisch lenken (z.B. Müller & Rabbitt, 1989; Remington et al., 1992), er könnte aber auch Interferenz erzeugt haben (vgl. Exp. 2). Durch die direkte Vergleichbarkeit und die gegensätzlichen Ergebnisse der ersten und der zweiten Untersuchung (zeitliche versus figurale Diskrimination) kann ausgeschlossen werden, dass der negative Cueingeffekt ein Artefakt der verwendeten Cueing-Manipulation im Allgemeinen ist.

Es ist jedoch möglich, dass eine spezielle Form von zeitlicher Interferenz die Ursache für die verschlechterte Diskrimination ist. Die zeitliche Information von Cue und Zielreiz könnte durch ihre Nähe und Ähnlichkeit (beides zeitlich definierte Ereignisse) in der validen Bedingung in ein komplexeres Perzept von zeitlicher Abfolge integriert werden, so dass eine Art von „zeitlichem Grouping“ entsteht (Sekuler & Bennett, 2001; vgl. auch Koffka, 1950), was die zeitliche Reihenfolgediskrimination in der validen Bedingung behindern könnte. In der invaliden Bedingung hingegen sind Cue und Zielreiz räumlich so weit voneinander entfernt, dass eine solche Integration nicht stattfinden kann, und die Diskrimination nicht behindert wird. Diese Art von zeitlicher Interferenz hätte in Experiment 2 keinen Einfluss auf die Diskriminationsleistung gehabt, da sie für die Formdiskrimination nicht relevant ist: es ist keine Integration zeitlicher Ereignisse nötig, und somit kann auch kein komplexeres Perzept entstehen.

Ziel dieses Experiments war es, die spezielle Interferenzhypothese zu überprüfen, indem direkt der Einfluss des peripheren Cues auf die Aufgabe der zeitlichen Diskrimination untersucht wurde. Das Experiment war identisch mit dem ersten Experiment, nur dass es auf vier Cueing-Bedingungen erweitert wurde. Es gab wie in den Experimenten 1 und 2 eine valide und eine invalide Bedingung. Theoretisch kritisch jedoch wurden zwei zusätzliche, neutrale Cueing-Bedingungen eingeführt. Diese Bedingungen waren bezüglich der Aufmerksamkeitslenkung auf die Position des Zielreizes beide uneffektiv, unterschieden sich jedoch in ihrer visuellen Reizdichte (und Helligkeit) an der Zielreizposition und der damit verbundenen potenziellen Interferenzwirkung: In der *doppelt* Bedingung blitzten beide Positionsrahmen gleichzeitig kurz auf, in der *kein* Bedingung hingegen ging gar kein Cue der Zielreizpräsentation voraus. Sollten die Ergebnisse von Experiment 1 auf einer tatsächlichen Aufmerksamkeitswirkung beruhen, so sollte die Diskriminationsleistung der beiden neutralen Bedingungen vergleichbar sein, da in beiden Bedingungen keine Lenkung der Aufmerksamkeit zu einer bestimmten Position stattfindet. Nach der alternativen zeitlichen Interferenzhypothese sollten sich jedoch bessere Diskriminationsleistungen in der Bedingung ohne Cue ergeben als in der anderen neutralen Bedingung, da in der ersten kein zusätzlicher Reiz vor dem Erscheinen des Zielreizes aufleuchtet, und somit keine Störung der Zielreizverarbeitung möglich ist. In jedem Fall sollten mit der validen und der invaliden Bedingung die Ergebnisse in Experiment 1 repliziert werden können.

2.3.1 Methode

Probanden. Eine neue zufällige Auswahl von 20 Probanden aus derselben Population wie in den anderen Experimenten nahm am Experiment teil. Die 14 Frauen und 6 Männer waren im Durchschnitt 24.6 Jahre (SD = 3.5 Jahre) alt. Es wurden keine Probanden von den Analysen ausgeschlossen, da die Bestimmung eines Kriteriums schwierig war aufgrund der extrem großen Unterschiede in der Diskriminationsleistung in den verschiedenen Cueing-Bedingungen.

Stimuli, Apparatur und Durchführung. Das experimentelle Design entsprach dem ersten Experiment, von den folgenden beiden Unterschieden abgesehen: zwei neue Cueing-Bedingungen (*doppelt* und *kein*) wurden eingeführt und dafür nur noch ein SOA (33 ms) verwendet (Abb. 2.8). Zusätzlich zu den beiden einfachen Cueing-Bedingungen der vorherigen Experimente, konnten auch zwei Cues gleichzei-

tig um beide Positionsrahmen (Doppelt-Bedingung) bzw. gar kein Cue (Kein-Bedingung) erscheinen. Das Experiment bestand aus 16 Blöcken mit jeweils 32 Durchgängen, wobei der erste Block wieder als Übungsblock diente.

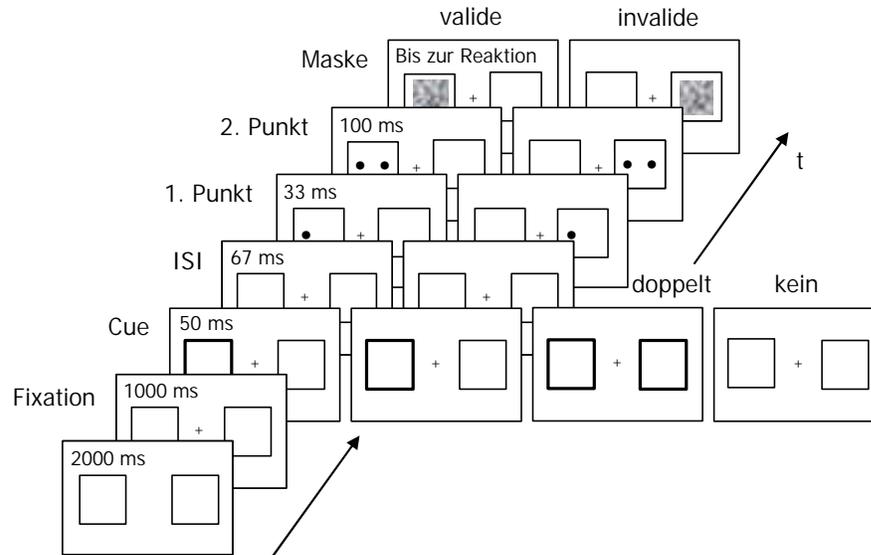


Abbildung 2.8: Zeitlicher Ablauf eines Durchgangs in Experiment 3. Nach dem Fixationskreuz erscheint der Cue (kurzes Aufleuchten eines der beiden, beider oder keines der Positionsrahmen). Der weitere Ablauf entspricht exakt Experiment 1.

Versuchsplan. Jede der 16 Kombinationen der drei Faktoren Cue (valide, invalide, doppelt und kein), Zielreizposition (rechts oder links), und zeitliche Punktreihenfolge (linker oder rechter Punkt zuerst) wurden zweimal pro Block präsentiert. Wie in allen anderen Experimenten wurde die Reihenfolge dieser Kombinationen über die einzelnen Durchgänge innerhalb eines Blocks randomisiert und die vier Cueing-Bedingungen wurden gleich häufig dargeboten.

Es wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) für jede der zwei abhängigen Variablen (RT und Prozent korrekter Antworten) mit dem Faktor *Cue* durchgeführt. Der erste Block wurde wieder von den Analysen ausgeschlossen.

2.3.2 Ergebnisse

Reaktionszeiten. In Abbildung 2.9 sind die durchschnittlichen RT in Abhängigkeit der vier Cue-Bedingungen aufgetragen. Es fand sich ein globaler Haupteffekt für den Faktor *Cue* auf die RT, $F(3,57) = 10.7$, $p < .001$. Die post-hoc Analyse nach Scheffé ($\alpha = .05$) zeigte, dass die RT in der *doppelt* Bedingung (809 ms) signifikant

länger waren als in der *kein* (698 ms) und der validen (714 ms) Bedingung, aber sich nicht signifikant von der invaliden Bedingung (750 ms) unterschieden. Diese erhöhten RT in der *doppelt* Bedingung weisen darauf hin, dass diese Bedingung besonders schwierig war, und sprechen insbesondere im Vergleich zur anderen neutralen Bedingung zunächst für die zeitliche Interferenzhypothese. Wie in der Studie von Remington et al. (1992) waren die RT in der *kein* Bedingung mit der validen Bedingung vergleichbar. Außerdem unterschieden sich die RT in der *kein* Bedingung auch nicht signifikant von der invaliden Bedingung. Obgleich, wie auch in den anderen Experimenten, kürzere RT in der validen Bedingung als in der invaliden Bedingung zu finden waren, war auch dieser Unterschied statistisch nicht signifikant.

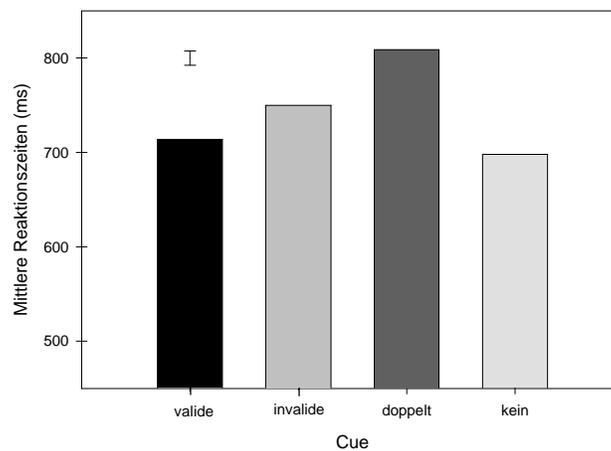


Abbildung 2.9: RT korrekter Antworten als Funktion der Cue-Validität in Experiment 3.

Prozentsatz korrekter Antworten. Auch für die Prozent korrekter Antworten zeigte der Faktor Cue einen signifikanten Einfluss, $F(3,57) = 60.6$, $p < .001$ (Abb. 2.10). Die Post-hoc Analyse nach Scheffé deckte auf, dass die Prozent korrekter Antworten in der *doppelt* Bedingung (49.3%) signifikant niedriger waren als in allen anderen drei Bedingungen. In der Tat waren die Prozent korrekter Antworten in der *doppelt* Bedingung nur noch auf Zufallsniveau, das heißt die Diskrimination der Punktreihenfolge war in dieser Bedingung nicht mehr möglich. Dies stützt noch deutlicher als die Ergebnisse der RT die Hypothese, dass das Aufblitzen des Cues vor dem Erscheinen des Zielreizes die Diskrimination der zeitlichen Reihenfolge stört. Die Diskriminationsleistung in der *kein* Bedingung (79.6%) unterschied sich, obwohl deutlich mehr korrekte Antworten gegeben wurden, nicht signifikant von der validen Bedingung (72.8%). Obwohl der Unterschied zwischen der validen und der invaliden

Bedingung (77.3%) nicht signifikant wurde, ließen sich deutlich mehr korrekte Antworten in der invaliden Bedingung finden.

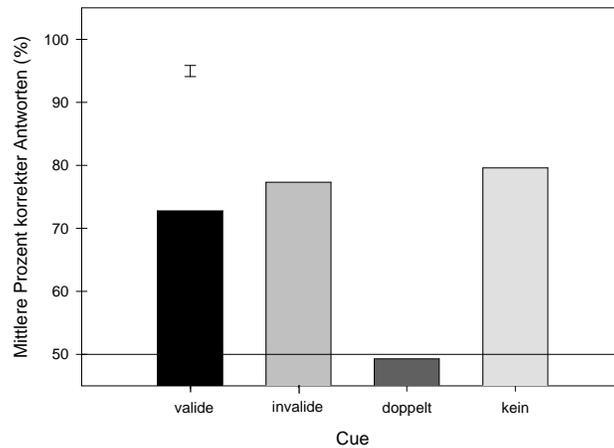


Abbildung 2.10: Prozent korrekter Antworten als Funktion der Cue-Validität in Experiment 3.

RT und Prozent korrekter Antworten waren negativ miteinander korreliert, was gegen einen SAT-Effekt spricht. Insbesondere in der *doppelt* Bedingung ist der Anstieg der RT mit einer starken Abnahme der korrekten Antworten verbunden.

2.3.3 Diskussion

In diesem dritten Experiment sollte die zeitliche Interferenzhypothese als mögliche Erklärung des negativen Cueingeffekts in Experiment 1 getestet werden. Dazu wurde der Einfluss von zwei neutralen Cues auf die Reihenfolgediskrimination untersucht.

Obwohl die Prozent korrekter Antworten in der validen Bedingung geringer waren als in der invaliden Bedingung, unterschieden sich die beiden Bedingung nicht signifikant voneinander. Der negative Cueingeffekt konnte somit entgegen unserer Erwartung nicht repliziert werden. Der Unterschied von 4.5% zwischen valider und invalider Bedingung ist jedoch rein zahlenmäßig sogar größer als in Experiment 1 (3%). Dass der Unterschied dennoch nicht signifikant wird, liegt vermutlich an der größeren Variabilität der Antworten, und damit verbundener mangelnder statistischer Power. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei Erhöhung der statistischen Power der negative Cueingeffekt repliziert worden wäre.

Es fanden sich außerdem sehr unterschiedliche Diskriminationsleistungen in den beiden neutralen Bedingungen, was für die zeitliche Interferenzhypothese spricht,

da sich diese beiden Bedingungen nicht in der Aufmerksamkeitslenkung, sondern nur in der Stärke ihrer Interferenzwirkung unterscheiden. Ging dem Zielreiz nicht die Präsentation eines Cues an derselben Position voraus, waren die Diskriminationsleistungen hervorragend. Leuchteten gleich beide Zielreizpositionen auf, war die Diskrimination der Punktreihenfolge nicht mehr möglich. Dies scheint auf besonders starke Interferenz zweier gleichzeitig aufblitzender Cues hinzudeuten.

Jedoch könnte auch Aufmerksamkeit einen Teil des Ergebnismusters erklären. Die beiden Bedingungen, in denen die Aufmerksamkeit nicht direkt zum Zielreiz gelenkt wurde (in der *invaliden* und der *kein* Bedingung), unterscheiden sich nicht voneinander und weisen die besten Diskriminationsleistungen auf. Dies könnte man auch unter Annahme der Aufmerksamkeitshypothese erwarten, da demzufolge die Nicht- bzw. Weglenkung der Aufmerksamkeit einen positiven Einfluss auf die Reihenfolgediskrimination haben sollte. In der *doppelt* Bedingung schließlich könnte Aufmerksamkeit auch auf beide Positionen stark gelenkt worden sein (Solomon, 2004; Wright & Richard, 1996), was die verschlechterte Diskrimination verursacht haben könnte. Die Aufmerksamkeitshypothese vermag jedoch nicht zu erklären, warum sich die Diskriminationsleistungen in der *validen* und der *doppelt* Bedingung so stark unterscheiden, da in beiden Aufmerksamkeit auf die Zielreize gelenkt worden sein müsste.

Insgesamt sprechen die Ergebnisse, besonders der sehr große Unterschied zwischen den beiden neutralen Bedingungen, daher für die zeitliche Interferenzhypothese. Durch das kurze Aufleuchten des Cues scheint also in der Tat die Diskrimination der Punktreihenfolge behindert zu werden, und das sehr viel stärker, wenn zwei Cues aufleuchten, als wenn nur ein einziger Cue aufleuchtet. Dies spricht gegen eine lokale, streng begrenzte Interferenz in Form einer Perzeptverschmelzung, wie sie von Yeshurun (2004) vorgeschlagen wurde (und auch gegen eine Art von Vorwärts-Maskierung). Dass die Diskriminationsleistung gerade in der *doppelt* Bedingung auf Zufallsniveau gesunken ist, könnte für eine globalere Art von Interferenz sprechen, die auf einer höheren Ebene des Reiz-Reaktions-Kreislaufs eine Rolle spielt. In der *doppelt* Bedingung erscheinen die Cues als zwei gleichzeitige zeitliche Ereignisse, was die Probanden aufgrund ihrer Aufgabe der Reihenfolgediskrimination irritiert haben könnte. Sie könnten versucht gewesen sein auf diese Reize zu reagieren, was dann aktiv unterbrochen worden sein müsste und daher mit der eigentlichen Diskrimination der Punktreihenfolge stark interferiert haben könnte. Denn auch bei peripherem Cueing scheint die Erwartung bezüglich der Aufgabe für die Aufmerksamkeits-

lenkung durch die Cues eine Rolle zu spielen (Ansorge & Heumann, 2003; Folk et al., 1992; Folk et al., 2002; Lambert et al., 2003).

Die bisher durchgeführten Experimente erlauben es uns aber nicht, eine Aussage über den wirklichen Einfluss der Aufmerksamkeit auf die zeitliche Reihenfolge zu machen. Der Interferenzeffekt könnte sich einem ebenfalls negativen Aufmerksamkeitseffekt hinzuaddiert haben, er könnte aber auch einen schwächeren positiven Aufmerksamkeitseffekt überlagert haben, so dass der daraus resultierende Effekt wieder negativ wurde. Wir wollen deshalb im nächsten Experiment versuchen, Aufmerksamkeit möglichst interferenzfrei zu manipulieren, um so eine Aussage über den wirklichen Aufmerksamkeitseinfluss treffen zu können.

2.4 Einfluss prädiktiver zentraler Cues auf die Diskriminationsleistung beim Reihenfolgeurteil (Experiment 4)

In den ersten drei Experimenten und der Studie von Yeshurun und Levy (2003) wurden periphere Cues, die an der Position des Zielreizes erschienen, zur Lenkung der Aufmerksamkeit verwendet. Wie in der Einleitung beschrieben, kann Aufmerksamkeit jedoch auch mit Hilfe eines zentralen Cues am Fixationspunkt gelenkt werden (z.B. Downing, 1988; Jonides, 1981; Müller & Rabbitt, 1989; Posner et al., 1978). Bevor der Zielreiz erscheint, wird eine Pfeilspitze in der Bildschirmmitte präsentiert, die in Richtung einer der möglichen Zielreizpositionen (hier: links oder rechts) zeigen kann. Ein solcher zentraler Cue erscheint immer (sowohl in der validen als auch in der invaliden Bedingung) in der Bildschirmmitte und somit in gleicher Distanz zum Zielreiz und eignet sich dementsprechend dazu, den Einfluss der Aufmerksamkeit ohne die potenzielle Verfälschung durch unterschiedliche Interferenzeffekte in valider und invalider Bedingung zu untersuchen.

Wir verwendeten in diesem Experiment einen prädiktiven zentralen Cue, um die Aufmerksamkeit zu lenken. Wie in der Einleitung beschrieben sollte ein solcher Cue eine endogene Aufmerksamkeitslenkung hervorrufen (z.B. Jonides, 1981; Müller & Rabbitt, 1989). Der Anteil valider Durchgänge gegenüber dem invalider Durchgänge wurde erhöht, so dass der Cue mit höherer Wahrscheinlichkeit (75%) in die Richtung zeigte, wo der Zielreiz dann auch tatsächlich erschien. Wieder verglichen wir eine valide Bedingung, in der die Pfeilspitze in Richtung der Seite, an der der Zielreiz später erscheinen wird, zeigte mit einer invaliden Bedingung, in der die Pfeilspitze in die entgegengesetzte Richtung zeigte. Um die Möglichkeit von Interferenz

weiter zu minimieren, präsentierten wir den zentralen Cue außerdem den ganzen Durchgang über, so dass kein plötzliches Verschwinden kurz vor der Zielreizpräsentation die Verarbeitung des Zielreizes behindern konnte.

Neben der interferenzfreien Aufmerksamkeitslenkung sollte uns ein solcher prädiktiver zentraler Cue auch ermöglichen, die Aufmerksamkeit endogen zu lenken. Wie in der Einleitung dargestellt, herrscht eine Debatte darüber, ob die beiden Arten der Aufmerksamkeitslenkung, exogen und endogen, auf ein und demselben Aufmerksamkeitssystem beruhen oder zwei unterschiedliche Systeme ansprechen. Die Untersuchung, ob die Inhibitionshypothese auch bei endogenem Cueing seine Gültigkeit hat, ist auch für diese Debatte interessant. Nach der Hypothese der getrennten Ressourcen würde man nämlich, wie in der Einleitung beschrieben, unterschiedliche Aufmerksamkeitseffekte für exogene und endogene Lenkung erwarten können.

Unter Annahme der Hypothese der geteilten Ressourcen hingegen, der zufolge exogenes und endogenes Cueing auf ein einziges Aufmerksamkeitssystem zurückgreifen, sollten sich dieselben Aufmerksamkeitseffekte für beide Lenkungsarten finden lassen. Falls sich die Inhibitionshypothese von Yeshurun und Levy (2003) wirklich auf das TOJ und endogene Aufmerksamkeitslenkung generalisieren lässt, sollten wir dann in diesem Experiment, obwohl keine Interferenz auftreten kann, wieder einen negativen Cueingeffekt finden können, das heißt die Diskriminationsleistungen sollten in der validen Bedingung schlechter sein als in der invaliden Bedingung. Beruhte der negative Cueingeffekt hingegen nur auf Interferenz, sollte sich in diesem Experiment den für Aufmerksamkeit üblichen positiven Effekt finden lassen, das heißt bessere Diskriminationsleistungen in der validen als in der invaliden Bedingung.

2.4.1 Methode

Probanden. 25 Probanden nahmen am Experiment teil. Keiner dieser Probanden hatte an den anderen drei Experimenten bereits teilgenommen. Fünf Probanden mussten von den Analysen ausgeschlossen werden, da ihre Diskriminationsleistung in der einfachsten Experimentalbedingung (SOA zwischen den Zielreizpunkten 50 ms) unter 75% lag. Es wurde ein niedrigeres Leistungskriterium als in Experiment 1 und 2 festgelegt, da die längste SOA-Bedingung in diesem Experiment kürzer war. Das durchschnittliche Alter der übrigen 20 Probanden (11 Frauen und 9 Männer)

betrug 23.5 Jahre ($SD = 3.6$ Jahre). Ansonsten wurde dieselbe Vorgehensweise wie in den anderen Experimenten eingehalten.

Stimuli und Apparatur. Reize und Apparatur entsprachen Experiment 1 mit Ausnahme der folgenden Veränderungen, die erforderlich wurden, um das Paradigma dem zentralen Cueing anzupassen. Als Cue diente eine Pfeilspitze mit einer Breite von 0.4° Sehwinkel und einer Höhe von 0.5° Sehwinkel, die immer in der Bildschirmmitte erschien. Die Pfeilspitze zeigte entweder nach links oder nach rechts. Da der Cue die Aufmerksamkeit von der Bildschirmmitte aus lenkte, waren die Positionsrahmen, die in den vorangegangenen Experimenten die Position des Zielreizes begrenzten, nicht mehr nötig und wurden, wie in zentralen Cueing-Experimenten üblich, weggelassen. Als Zielreiz dienten die gleichen beiden Punkte wie in den Experimenten 1 und 3. Die Zielreizpunkte erschienen beide zur Linken oder Rechten der Pfeilspitze in einem Abstand von 2.6° Sehwinkel (gemessen von Punktmitte des inneren Punkts zur Pfeilspitzenmitte).

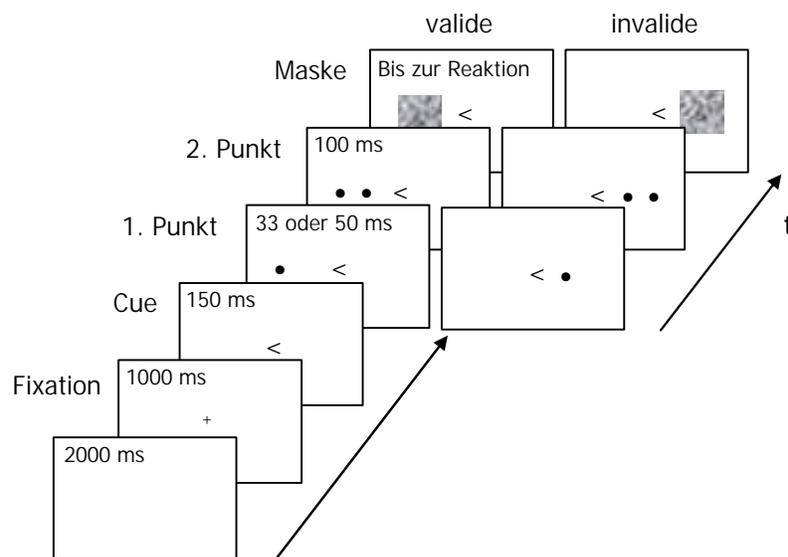


Abbildung 2.11: Zeitlicher Ablauf eines Durchgangs in Experiment 4. Nach dem Fixationskreuz erscheint der Cue (Pfeilspitze in der Bildschirmmitte), der nach links oder rechts zeigt. Nach 150 ms werden beide Punkte präsentiert, durch ein zeitliches Intervall von 33 oder 50 ms voneinander getrennt. Beide Punkte erscheinen entweder links (hier valide) oder rechts (hier invalide).

Durchführung. Ein Durchgang begann mit der Präsentation des leeren Bildschirms, dem das Fixationskreuz 2000 ms später hinzugefügt wurde (Abb. 2.11). Weitere 1000 ms danach wurde das Fixationskreuz durch den Cue ersetzt, der den ganzen Durchgang über stehen blieb. Nach einem CTA von 150 ms erschien der erste

Punkt. Das CTA wurde verlängert, um dem erhöhten Zeitaufwand zur Decodierung oder Veränderung des Aufmerksamkeitsfokus des zentralen Cues Rechnung zu tragen (z.B. Ansorge & Heumann, 2003; Müller & Findlay, 1988; Müller & Rabbitt, 1989; Posner & Cohen, 1984). Allerdings wurde trotzdem ein möglichst kurzes CTA verwendet, um wie in den anderen Experimenten keine Augensakkaden zu ermöglichen. Der zweite Punkt wurde dann entweder nach 33 ms oder nach 50 ms hinzugefügt. Wie im ersten Experiment blieben die beiden Punkte zunächst zusammen auf dem Bildschirm stehen, bis sie schließlich nach 100 ms von der Maske verdeckt wurden. Wie in den anderen Experimenten bekamen die Probanden an den Blockenden eine Rückmeldung über ihre Fehlerrate und konnten selbständig den nächsten Block starten. Ein Experimentalblock bestand aus 32 Durchgängen und wurde 16mal wiederholt. Der erste Block wurde wieder als Übungsblock verwendet und nicht in die Datenanalyse miteinbezogen.

Versuchsplan. Innerhalb jedes Blocks wurden alle Faktoren Cue-Validität (valide oder invalide), SOA (33 oder 50 ms), zeitliche Reihenfolge (linker oder rechter Punkt zuerst) und Position des Zielreizes (links oder rechts) randomisiert dargeboten. Die Stufen der letzten drei Faktoren waren gleich häufig verteilt. Die Wahrscheinlichkeit, mit der der Cue in Richtung des Zielreizes zeigte, betrug 75%. In den restlichen 25% der Fälle zeigte die Pfeilspitze in die zur Zielreiz-Position entgegengesetzte Richtung. Damit die Anzahl invalider Durchgänge pro Block nicht zu klein war, wurden diesmal nur zwei SOA verwendet. Insgesamt wurden somit pro Proband 360 valide Durchgänge und 120 invalide Durchgänge präsentiert.

Abhängige Variablen waren wieder die korrekten Antworten in Prozent, sowie die RT korrekter Antworten über Probanden und Bedingungen gemittelt. Es wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung für jede der beiden abhängigen Variablen mit den zwei Faktoren *Cue-Validität* und *SOA* durchgeführt.

2.4.2 Ergebnisse

Reaktionszeiten. In Abbildung 2.12 sind die mittleren RT in Abhängigkeit von der Validität und dem SOA dargestellt. Übereinstimmend mit den üblichen Ergebnissen anderer zentraler Cueing-Studien (Jonides, 1981; Posner et al., 1980; Riggio & Kirsner, 1997) erhielten wir kürzere RT in der validen Bedingung (725 ms) als in der invaliden Bedingung (775 ms), $F(1,19) = 37.5$, $p < .001$. Dieser Haupteffekt des Faktors Cue-Validität für die RT weist darauf hin, dass der zentrale Cue die Auf-

merksamkeit erfolgreich gelenkt hat. Die Probanden reagierten außerdem schneller beim längeren als beim kürzeren SOA, $F(1,19) = 15.5$, $p = .001$. Dieser Befund, dass die Reaktionsgeschwindigkeit sich erhöht, je einfacher die Aufgabe wird, konnte auch in den exogenen Cueing-Studien bereits beobachtet werden. Es gab keine Interaktion zwischen den Faktoren SOA und Cue-Validität, $F < 1$. Bezüglich der RT konnten somit dieselben Ergebnisse gefunden werden wie für das exogene Cueing.

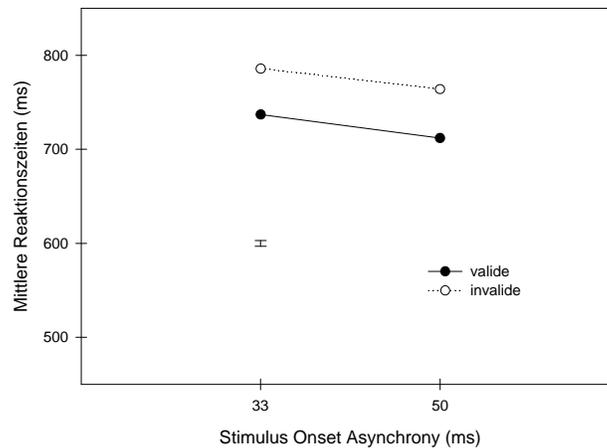


Abbildung 2.12: RT korrekter Antworten als Funktion von SOA zwischen den Zielreizpunkten und Cue-Validität in Experiment 4.

Prozentsatz korrekter Antworten. Es konnten, wie bereits in den anderen Experimenten, bessere Diskriminationsleistungen in der längeren SOA Bedingung beobachtet werden, $F(1,19) = 62.0$, $p < .001$ (Abb. 2.13).

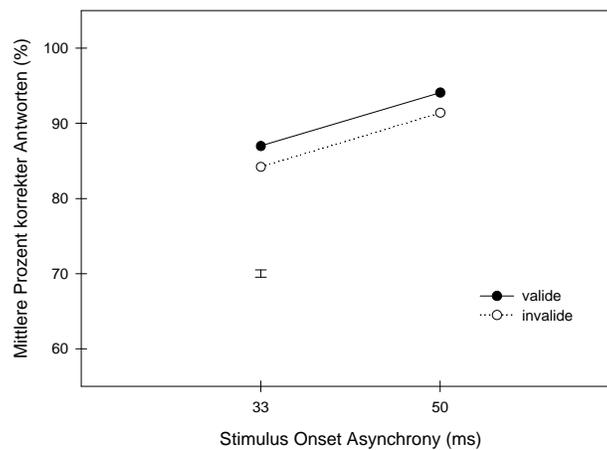


Abbildung 2.13: Prozent korrekter Antworten als Funktion von SOA zwischen den Zielreizpunkten und Cue-Validität in Experiment 4.

Theoretisch jedoch am Bedeutsamsten und im Gegensatz zum negativen Cueingeffekt in Experiment 1, war die Diskriminationsleistung in der validen Bedingung (90.5%) besser als in der invaliden Bedingung (87.8%), $F(1,19) = 4.8$, $p = .04$. Es konnte außerdem keine Interaktion zwischen den Faktoren SOA und Validität gefunden werden, $F < 1$.

2.4.3 Diskussion

Die Aufmerksamkeit wurde in diesem Experiment mit Hilfe eines zentralen Cues manipuliert. Es fanden sich sowohl schnellere RT als auch bessere Diskriminationsleistungen in der validen Bedingung verglichen mit der invaliden Bedingung. Interferenzfrei gelenkte Aufmerksamkeit scheint also die Diskrimination zeitlicher Reihenfolge zu verbessern. Dieser positive Cueingeffekt bei der Einschätzung der Reihenfolge steht im Widerspruch zum negativen Cueingeffekt, den wir mit exogenem Cueing in Experiment 1 finden konnten und den wir unter Annahme der Hypothese der geteilten Ressourcen und der Generalisierbarkeit der Inhibitionshypothese von Yeshurun und Levy (2003) erwartet hätten. Denn falls exogene und endogene Aufmerksamkeitslenkung auf das gleiche Aufmerksamkeitssystem zugreifen (z.B. Jonides 1981; Posner, 1980; Warner et al., 1990; Yantis & Jonides, 1990), so sollten sie vergleichbare Aufmerksamkeitseffekte verursachen. Das würde bedeuten, dass der negative Cueingeffekt von Experiment 1 in der Tat nur den Einfluss von spezieller zeitlicher Interferenz widerspiegelt, die so stark war, dass sie den eigentlich positiven Aufmerksamkeitseffekt überdecken konnte.

Wie in der Einleitung beschrieben, sprechen jedoch auch einige Befunde in der Literatur (z.B. Briand, 1998; Briand & Klein, 1987; Klein, 1994; Lu & Doshier, 2000; Riggio & Kirsner, 1997) für die Annahme, dass exogene und endogene Cues zwei unterschiedliche, separate Aufmerksamkeitssysteme ansprechen könnten, die entgegengesetzte Cueingeffekte potenziell möglich machen. Da sich Experiment 1 und 4 nicht nur durch die unterschiedlichen Formen von Cues und damit verbundener potenzieller Interferenz, sondern eben auch durch die Art der Aufmerksamkeitslenkung (exogen versus endogen) und die Vorhersagbarkeit bezüglich der Zielreizposition unterscheiden, könnte der positive Cueingeffekt unter Annahme der Hypothese der getrennten Ressourcen also trotzdem einen Aufmerksamkeitseffekt widerspiegeln. Im nächsten Experiment soll dieser Unterschied näher untersucht werden, und damit die

Frage entschieden werden können, worauf die gegensätzlichen Cueingeffekte in Experiment 1 und 4 zurückzuführen sind.

2.5 Einfluss nicht-prädiktiver zentraler Cues auf die Diskriminationsleistung beim Reihenfolgeurteil (Experiment 5)

Ein zentraler Cue, wie wir ihn in Experiment 4 zur Aufmerksamkeitslenkung verwendet haben, hat dem peripheren Cue gegenüber den Vorteil, keine Interferenz hervorzurufen, da er in der Bildschirmmitte und nicht peripher an der Zielreizposition erscheint. Im Gegensatz zum peripheren Cue von Experiment 1-3 ist der in Experiment 4 verwendete Cue jedoch auch prädiktiv gewesen, das heißt, der Zielreiz erschien mit einer höheren Wahrscheinlichkeit an der Position, in deren Richtung der Cue gezeigt hat. Die Aufmerksamkeitslenkung sollte somit endogen gewesen sein (Jonides, 1981; Luck & Thomas, 1999; Müller & Rabbitt, 1989; Posner, 1980). Es ist also unklar, ob die unterschiedlichen Effekte in Experiment 1 und 4 auf die Art des Cues und deren unterschiedliche Interferenzwirkung, oder auf ihren unterschiedlichen Informationsgehalt bezüglich der Zielreizposition und die damit verbundene Art der Aufmerksamkeitslenkung (exogen oder endogen) zurückzuführen ist.

Wie in der Einleitung dargestellt, wurde in neueren Studien gezeigt (Ristic et al., 2002; Tipples, 2002), dass ein zentraler Cue Aufmerksamkeit auch automatisch lenken kann, wenn er nicht-prädiktiv bezüglich der Zielreizposition ist. Ein solcher Cue sollte direkt mit den nicht-prädiktiven peripheren Cues von Experiment 1-3 vergleichbar sein, und damit erlauben, die Konfundierung zwischen Art des Cues und Informationsgehalt zu überwinden. Aus diesem Grund wurde in diesem letzten Experiment ein solcher nicht-prädiktiver zentraler Cue verwendet. Dieser Cue sollte den gleichen Effekt produzieren, wie der periphere Cue, da von beiden angenommen wird, dass sie die Aufmerksamkeit exogen lenken. Sollten wir auch mit einem solchen nicht-prädiktiven zentralen Cue einen positiven Aufmerksamkeitseffekt wie in Experiment 4 finden, so würde dies dafür sprechen, dass der negative Cueingeffekt von Experiment 1 ein reines Artefakt der peripheren Cueing-Manipulation war, anstatt den Einfluss exogen gelenkter Aufmerksamkeit wiederzuspiegeln. Sollten wir hingegen mit dem nicht-prädiktiven zentralen Cue wieder einen negativen Cueingeffekt beobachten können, spräche dies dafür, dass exogen gelenkte Aufmerksamkeit die zeitliche Diskrimination wirklich verringert.

Ein solcher Befund würde gleichzeitig auch für die Existenz von unterschiedlichen Aufmerksamkeitssystemen sprechen und somit für die Hypothese der getrennten Ressourcen, da dann exogen und endogen gelenkte Aufmerksamkeit entgegengesetzte Effekte auf dieselbe zeitliche Aufgabe hätte, was sich nur mit unterschiedlichen Aufmerksamkeitssystemen erklären ließe.

In dem hier beschriebenen Experiment wurde das Cueing-Paradigma von Tipples (Exp. 2, 2002) mit der TOJ Aufgabe verbunden (Abb. 2.14). Im Gegensatz zu unserem zentralen Cue von Experiment 4 bestand der Cue nun aus zwei getrimmten Pfeilspitzen und war, wie der in Experiment 1-3 verwendete periphere Cue, nicht-prädiktiv bezüglich der Zielreizposition, das heißt nur in 50% der Durchgänge zeigte der Cue in die Richtung der Position, an welcher der Zielreiz erscheinen würde, in den anderen 50% der Fälle zeigte der Cue in die entgegengesetzte Richtung. Die Probanden wurden über dieses Verhältnis zwischen Cue und Zielreiz informiert. Schließlich wurde wie von Tipples (2002) auch der zeitliche Verlauf des Cueingeffekts untersucht, indem das CTA dreistufig manipuliert wurde. Das CTA konnte bis zu 300 ms betragen, weshalb das Auftreten von Augenbewegungen in diesem Experiment theoretisch möglich war und Augenbewegungen kontrolliert wurden.

2.5.1 Methode

Probanden. Am Experiment nahmen 23 Probanden teil, die aus derselben Population von Studenten stammten wie in den letzten vier Experimenten. Drei Probanden mussten von der Datenanalyse ausgeschlossen werden, da ihre Diskriminationsleistung in der einfachsten TOJ-Bedingung (d.h.: SOA = 50 ms) unter 75% korrekter Antworten lag. Das durchschnittliche Alter der übrigen 20 Probanden (19 Frauen, 1 Mann) betrug 21.5 Jahre (SD = 2.24 Jahre). Die Vorgehensweise entsprach ansonsten wieder den anderen Experimenten.

Stimuli und Apparatur. Es wurden die gleichen Reize und Apparatur wie in Experiment 4 verwendet mit folgenden Ausnahmen: Der Cue war identisch mit dem von Tipples (2002) Verwendeten. Er bestand aus zwei getrimmten Pfeilen, deren Pfeilende so gekürzt wurde, dass es nicht länger war als die Pfeilspitze. Jeder Pfeil war 0.5° Sehwinkel breit und 0.9° Sehwinkel hoch. Beide Pfeile erschienen 1.2° Sehwinkel voneinander entfernt nebeneinander an der Bildschirmmitte. Als Fixationspunkt verwendeten wir wie Tipples (2002) ein Sternchen (0.7° Sehwinkel Durchmesser), das 0.5° Sehwinkel oberhalb der Bildschirmmitte präsentiert wurde. Außer-

dem gab, ebenfalls wie bei Tipples (2002), ein 0.7° Sehwinkel breites Plus- oder Minuszeichen eine Rückmeldung über die Richtigkeit der Antwort am Ende jedes Durchgangs. Wie in den Experimenten 1-4 gab es zusätzlich am Ende jedes Blocks auch wieder eine Rückmeldung über die allgemeine Fehlerrate, gemittelt über alle Durchgänge des jeweiligen Blocks.

Das Experiment fand wegen der Messung der Augenbewegungen in einem anderen Experimentallabor statt als die vorherigen, sämtliche Einstellungen wurden jedoch so angepasst, dass sie mit denen der anderen Experimente vergleichbar waren.

Aufzeichnung der Augenbewegungen. Die lateralen Augenbewegungen wurden mittels Ag-AgCl-Elektroden bipolar als Differenzableitungen seitlich beider Augen angebrachter Elektroden aufgenommen (Elektrookkulogramm, EOG). Die Erdung fand durch eine weitere Elektrode statt, die am linken Schläfenbein angebracht wurde. Um den Übergangswiderstand zwischen Haut und Elektroden zu verringern, wurde die Haut an den entsprechenden Stellen mit 70%-igem Isopropanol gereinigt. Für die Elektroden wurde Abralyt 2000 Elektrolytpaste verwendet. Die EOG-Signale wurden mit einem Gleichspannungsverstärker der Firma Neuroscan (SynAmps) aufgenommen. Die Abtastrate betrug 250 Hz und das Signal wurde mit einem Bandpass von 0.05 – 30 Hz gefiltert und dann zur weiteren Analyse gespeichert. Die Analyse der Augenbewegungen geschah offline. Mit Hilfe des Analyseprogramms Stan (1997-2002, Hansjerg Gözl) wurden die Durchgänge mit Augenbewegungen innerhalb des relevanten Zeitbereichs zwischen Onset des Cues und Zielreizoffset erkannt. 2.9% der Durchgänge mussten so aufgrund von Augenbewegungen von den weiteren Analysen ausgeschlossen werden.

Durchführung. Ein Durchgang begann wie in Experiment 4 mit der Präsentation des leeren Bildschirms, dem das Fixationskreuz 2000 ms später hinzugefügt wurde (Abb. 2.14). Für 684 ms wurde dann wie bei Tipples ein Fixationsstern eingeblendet und nach einem variablen CTA von 100, 200 oder 300 ms erschien der Cue. Der Rest der Trialsequenz war identisch mit dem der anderen Experimente. Am Ende jedes Durchgangs wurde ein zusätzliches Trial-Feedback in Form eines Plus- oder Minuszeichens für richtige bzw. falsche Antworten 684 ms lang dargeboten.

Zur Messung der Augenbewegungen wurde im Anschluss an die Experimentallöcke ein weiterer Block durchgeführt, um für jede Versuchsperson eine Abschätzung der Größe ihrer Augenbewegungen zu erhalten. Der Ablauf eines Durchgangs war den Experimentaldurchgängen sehr ähnlich. Es wurde jedoch nur ein SOA (100

ms) verwendet, und die beiden Zielreizpunkte erschienen gleichzeitig für 550 ms. Nach einem ISI von 600 ms begann der nächste Durchgang. Der Cue war im Augenbewegungsblock 100% valide. Die Versuchspersonen wurden angewiesen, in jedem Durchgang eine schnelle Augenbewegung zum Punkt hin und wieder zum Fixationsstern zurück zu machen.

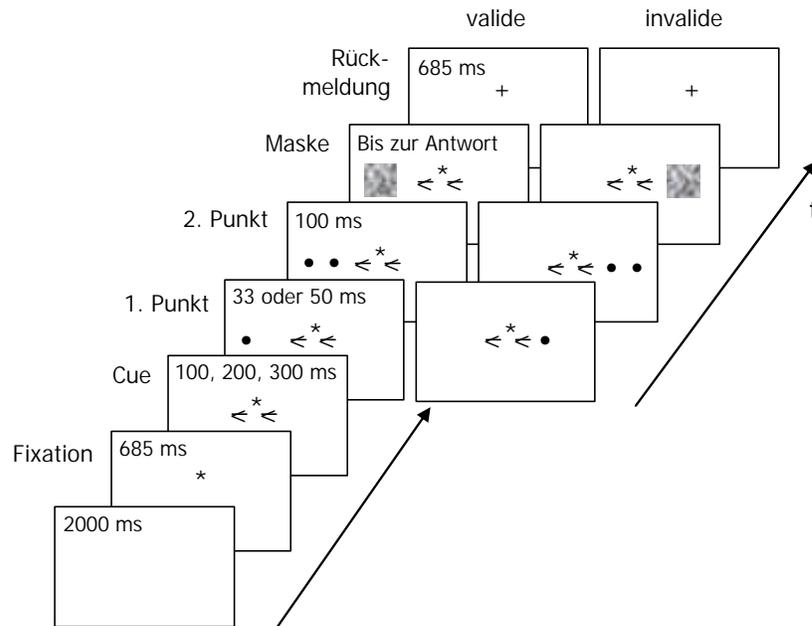


Abbildung 2.14: Zeitlicher Ablauf eines Durchgangs in Experiment 5. Nach dem Fixationsstern erscheint der endogene Cue (Pfeilspitzen in der Bildschirmitte), der in Richtung einer der beiden möglichen Zielreizpositionen zeigt, hier nach links. Nach einem variablen CTA (100, 200 oder 300 ms) werden die beiden Punkte präsentiert, durch ein variables SOA (33 oder 50 ms) voneinander getrennt. Beide Punkte erscheinen in 50% der Durchgänge an der gecueten Position (valide) und in 50% der Durchgänge an der nicht gecueten Position (invalide).

Das Experiment bestand aus 16 Blöcken mit je 48 Durchgängen, die nach 24 Durchgängen immer durch eine Pause unterbrochen wurden, und einem Augenbewegungsblock von 24 Durchgängen. Der erste Block galt wieder als Übungsblock und wurde nicht in die Datenanalyse miteinbezogen.

Versuchsplan. Jeder Experimentalblock sowie der Übungsblockblock beinhalteten in randomisierter Reihenfolge einen Durchgang der 48 möglichen faktoriellen Kombinationen aus den Faktoren Cue-Validität (valide oder invalide), CTA (100, 200, 300 ms), SOA (33 oder 50 ms), zeitliche Reihenfolge (linker oder rechter Punkt zuerst) und Position des Zielreizes (links oder rechts). In der Hälfte aller Durchgänge erschienen die Zielreize auf der Seite, zu der die Pfeilspitzen zeigten, in der anderen

Hälfte der Durchgänge jedoch auf der entgegengesetzten Seite. Damit war der Cue nicht-prädiktiv bezüglich der Zielreizposition.

Abhängige Variablen waren Prozent korrekter Antworten sowie die RT korrekter Antworten über Probanden und Bedingungen gemittelt. Es wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung für jede der abhängigen Variablen mit den drei Faktoren *Validität*, *CTA* und *SOA* durchgeführt.

2.5.2 Ergebnisse

Reaktionszeiten. In Abbildung 2.15 sind die mittleren RT in Abhängigkeit von Cue-Validität, CTA und SOA dargestellt. Übereinstimmend mit den üblichen Ergebnissen anderer zentraler Cueing Studien (Jonides, 1981; Posner et al, 1980; Riggio & Kirsner, 1997) und den Befunden von Tipples (2002) waren die RT in der validen Bedingung (706 ms) kürzer als in der invaliden Bedingung (738 ms), $F(1,19) = 12.2$, $p < .002$. Dieser Haupteffekt des Faktors Cue-Validität für die RT zeigt, dass auch der hier verwendete nicht-prädiktive zentrale Cue die Aufmerksamkeit erfolgreich gelenkt hat.

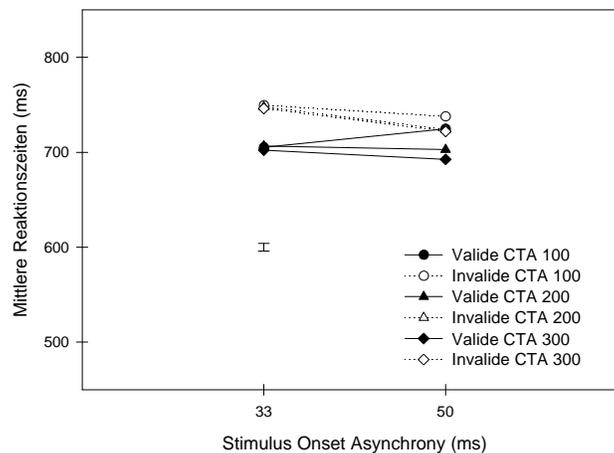


Abbildung 2.15: RT korrekter Antworten als Funktion von SOA zwischen den beiden Zielreizpunkten, Cue Validität und CTA (Intervall zwischen Cue und Zielreiz Onset) in Experiment 5.

Des Weiteren konnten wie Tipples (2002) schnellere Reaktionen mit ansteigenden CTA (729, 720 und 716 ms) beobachtet werden. Dieser Effekt zeigte sich jedoch nur als Trend, $F(2,38) = 2.75$, $p = .076$. Schließlich gab es keine Interaktion zwischen den Faktoren Cue-Validität und CTA, $F < 1$, auch das übereinstimmend mit den Befunden von Tipples (2002). Das gesamte Befundmuster bestätigt die Resultate

von Tipples (2002), sowie von Ristic et al. (2002) und unterstützt damit die Annahme, dass auch nicht-prädiktive zentrale Cues Aufmerksamkeit lenken können.

Die Probanden reagierten außerdem schneller beim längeren SOA (717 ms) als beim kürzeren SOA (726 ms), auch wenn dieser Unterschied gerade nicht signifikant wurde, $F(1,19) = 4.24$, $p = .054$. Schließlich fand sich eine Interaktion zwischen Cue-Validität und SOA, $F(1,19) = 11.1$, $p = .004$, was sich in einem größeren Cueingeffekt beim kurzen als beim langen SOA manifestierte. Die Dreifach-Interaktion war nicht signifikant, $F < 1$.

Prozentsatz korrekter Antworten. Wie bereits in den anderen Experimenten verbesserten sich die Diskriminationsleistungen mit ansteigendem SOA, $F(1,19) = 113.5$, $p < .001$ (Abb. 2.16). Theoretisch jedoch entscheidend und im Gegensatz zum positiven Cueingeffekt des anderen Experiments mit zentralen Cues (Exp. 4) wurden in der validen Bedingung (81.2%) weniger korrekte Antworten gegeben als in der invaliden Bedingung (83.2%), $F(1,19) = 4.7$, $p = .043$. Es fand sich wieder keine Interaktion zwischen den Faktoren SOA und Validität, $F < 1$.

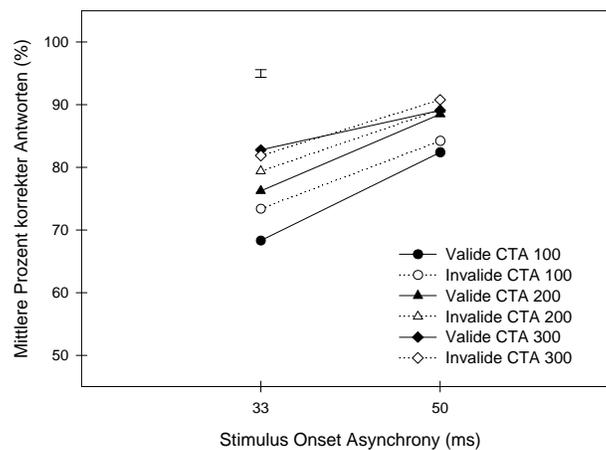


Abbildung 2.16: Prozent korrekter Antworten als Funktion von SOA zwischen den Zielreizpunkten, Cue-Validität und CTA (zwischen Cue und Zielreiz) in Experiment 5.

Wie zu erwarten, verbesserte sich die Diskriminationsleistung mit ansteigendem CTA (77.1, 83.3 und 86.1%), $F(2,38) = 33.1$, $p < .001$. Mit ansteigendem CTA wurde außerdem der Cue weniger effektiv, auch wenn diese Interaktion nicht signifikant wurde, $F(2,38) = 3.0$, $p = .061$. Dieses Ergebnis erscheint zunächst erstaunlich, da man bei endogenem Cueing normalerweise eher den gegenteiligen Effekt erwarten würde, nämlich dass der Cueingeffekt sich mit ansteigendem CTA vergrößert (z.B. Cheal & Lyon, 1991). Er ist jedoch konsistent mit dem kurzlebigen Aufmerksam-

keitseffekt bei exogener Lenkung durch periphere Cues (z.B. Luck et al., 1996; Müller & Rabbitt, 1989).

Schließlich profitierte die Reihenfolgediskrimination besonders dann von ansteigendem CTA, wenn die Diskrimination schwierig war ($SOA = 33$ ms), verglichen mit der leichteren SOA Bedingung (50 ms), $F(2,38) = 5.2$, $p = .010$. Auch die Dreifach-Interaktion aller Faktoren erwies sich als signifikant, $F(2,38) = 5.0$, $p = .012$. Abbildung 2.16 veranschaulicht, worauf diese Interaktion beruht: der Cueingeffekt verschwindet bei langem CTA und langem SOA.

Mit einer Median-Split Analyse wie in Experiment 1 wurde die Möglichkeit untersucht, dass der Cueingeffekt auf einem SAT-Effekt beruhen könnte. Eine neue ANOVA mit dem zusätzlichen Faktor Schnelligkeit wurde durchgeführt. Es zeigte sich wieder keine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Schnelligkeit und Cue-Validität, $F(1,19) = 1.1$, $p = .312$. Somit kann davon ausgegangen werden, dass der negative Cueingeffekt keinen SAT-Effekt widerspiegelt.

2.5.3 Diskussion

Die Aufmerksamkeit wurde in diesem Experiment mithilfe eines nicht-prädiktiven zentralen Cues manipuliert. Es fanden sich schlechtere Diskriminationsleistungen in der validen Bedingung als in der invaliden Bedingung. Dieser Cueingeffekt unterstützt die Ergebnisse von Tipples (2002) und Ristic et al. (2002), dass nicht-prädiktive zentrale Cues Aufmerksamkeit lenken können, und nicht wie es von Jonides (1981) angenommen wurde, ignoriert werden können.

Außerdem unterstützen unsere Ergebnisse die Hypothese von Tipples (2002), der zufolge nicht-prädiktive zentrale Cues eine automatische Aufmerksamkeitslenkung provozieren. Diese Schlussfolgerung wird zum einen dadurch gestützt, dass sich der Cueingeffekt wie bei exogenem Cueing üblich mit ansteigendem Zeitintervall zwischen Cue und Zielreiz verringerte. Zum anderen fanden wir mit dem nicht-prädiktiven Cue in diesem Experiment denselben negativen Cueingeffekt wie in Experiment 1 und wie von Yeshurun und Levy (2003) mit peripheren Cues gefunden werden konnten.

Da in diesem Experiment die Aufmerksamkeit mit Hilfe eines zentralen Cues gelenkt wurde, kann der negative Cueingeffekt auch nicht auf Interferenz zurückgeführt werden, und unterstützt somit die Inhibitions-hypothese von Yeshurun und Levy (2003), der zufolge Aufmerksamkeit die zeitliche Auflösung des visuellen Systems

verringert. Dieses Ergebnis unterstützt außerdem die Wichtigkeit exogener Aufmerksamkeitslenkung für die Gültigkeit der Inhibitionshypothese, sei es mittels peripherer oder nicht-prädiktiver zentraler Cues. Gleichzeitig legen diese Ergebnisse nahe, dass der von Carver und Brown (1997) gefundene positive Effekt auf das Gleichzeitigkeitsurteil tatsächlich an deren Verwendung ungewöhnlicher Cues gelegen hat, welche eine endogene Aufmerksamkeitslenkung hervorgerufen haben könnten.

Die gegensätzlichen Effekte in Experiment 4 und 5, obwohl beide Experimente einen zentralen Cue verwendeten, sprechen außerdem für unterschiedliche Aufmerksamkeitssysteme, wie in der Allgemeinen Diskussion näher erläutert werden wird.

3 Allgemeine Diskussion

Die vorangestellten Experimente wurden durch einen überraschenden Befund von Yeshurun und Levy (2003) motiviert. In ihrer Studie lenkten die Autoren Aufmerksamkeit mit Hilfe von peripheren Cues auf zwei Punkte, die durch eine kurze zeitliche Lücke unterbrochen waren. Yeshurun und Levy (2003) stellten fest, dass räumliche Aufmerksamkeit einen negativen Effekt auf die Entdeckung der zeitlichen Lücke haben kann. Sie schlossen daraus, dass räumliche Aufmerksamkeit die zeitliche Auflösung des visuellen Systems verringert. Dieser Befund steht im Gegensatz zu den üblicherweise gefundenen positiven Aufmerksamkeitseffekten auf die Verarbeitung räumlicher Reizeigenschaften (z.B. Downing, 1988; Cheal et al., 1991; Henderson, 1996; Posner et al., 1978; Yeshurun & Carrasco, 2000).

Yeshurun und Levy (2003) haben zur Erklärung der gegensätzlichen Befunde eine neurophysiologische Hypothese aufgestellt, die in der Lage ist, sowohl positive Effekte der Aufmerksamkeit auf die räumliche Auflösung, als auch negative Effekte auf die zeitliche Auflösung zu erklären. Sie schlagen einen Mechanismus vor, demzufolge Aufmerksamkeit den parvozellulären visuellen Pfad aktiviert, was die Inhibition des magnozellanulären Pfades nach sich zieht. Die Aufmerksamkeitswirkung ergibt sich deshalb allein aus den Neuroneneigenschaften des aktivierten parvozellulären Systems: die Neuronen des parvozellulären Pfades haben zum einen kleinere Rezeptorfelder als die Neuronen des magnozellanulären Pfades und verfügen damit über eine bessere räumliche Auflösung. Zum anderen sind die Neuronenaktivierungen des parvozellulären Pfades tonisch und variabler als die des magnozellanulären Pfades, was zu einer niedrigeren zeitlichen Auflösung führt. Ein Mechanismus, der das parvozelluläre System aktiviert und das magnozellanuläre System inhibiert, könnte so gleichzeitig die Erhöhung der räumlichen Auflösung, als auch die Verringerung der zeitlichen Auflösung erklären. Ziel dieser Arbeit war es, den Gültigkeitsbereich dieser Inhibitionshypothese auszuloten, indem der Frage nachgegangen wurde, ob sich die Ergebnisse von Yeshurun und Levy (2003) auf eine andere zeitliche Aufgabe, die Bestimmung der zeitlichen Reihenfolge, generalisieren lassen. Eine solche Generalisierung würde die Inhibitionshypothese stützen und einen allgemeinen negativen Effekt der räumlichen Aufmerksamkeit auf die zeitliche Verarbeitung nahe legen.

In fünf Experimenten wurde der Einfluss der räumlichen Aufmerksamkeit auf die Diskriminationsleistung des Reihenfolgeurteils untersucht. Im ersten Experiment

wurde die Aufmerksamkeit mit Hilfe von nicht-prädiktiven peripheren Cues gelenkt, die das exogene Orientierungssystem ansprechen sollten. Es zeigte sich, dass die Diskrimination der Reihenfolge zweier aufmerksam beachteter Reize tatsächlich geringer war. Experiment 2 erlaubte uns, mögliche Interferenzeffekte durch den peripheren Cue als Alternativerklärung des negativen Effekts auszuschließen, da bei einer räumlichen Diskriminationsaufgabe mit einem Landoltschen Quadrat im ansonsten identischen Cueing-Paradigma ein positiver Cueingeffekt auftrat. Zur weiteren Untersuchung der Interferenzhypothese verglichen wir in Experiment 3 zwei neutrale Bedingungen. In diesen beiden Bedingungen erschienen entweder gar kein Cue oder zwei Cues an beiden möglichen Zielreizpositionen, so dass in beiden Bedingungen die Aufmerksamkeit nicht auf eine bestimmte Reizposition gelenkt wurde und sich die Bedingungen nur durch das Aufleuchten zusätzlicher Reize und somit durch die Stärke der potenziellen Interferenzverursachung voneinander unterschieden. Die Diskriminationsleistung des Reihenfolgeurteils unterschied sich in den beiden neutralen Bedingungen voneinander. Dies legt nahe, dass bei peripheren Cues eine spezielle Form von Interferenz auftreten kann, die nur bei einer zeitlichen Aufgabe zum Tragen kommt. Daher wurde in Experiment 4 im Gegensatz zu den vorangegangenen Experimenten kein peripherer Cue an der Zielreizposition, sondern ein prädiktiver zentraler Cue in der Bildschirmmitte zur Aufmerksamkeitslenkung verwendet. Dieser Cue gewährleistete nicht nur, die Aufmerksamkeit möglichst interferenzfrei zu lenken, sondern auch das endogene Orientierungssystem anzusprechen. Unter diesen Umständen fand sich ein positiver Effekt auf die Diskrimination der Reihenfolge. Als schließlich die Aufmerksamkeit in Experiment 5 mit Hilfe eines nicht-prädiktiven zentralen Cues gelenkt wurde, der wie ein peripherer Cue exogen wirken sollte, verringerte sich die Diskriminationsfähigkeit der Reihenfolge wie in Experiment 1.

Neben den Effekten auf die Diskriminationsleistung zeigte sich in allen Experimenten, dass Aufmerksamkeit auch die Reaktionszeiten verkürzte. In Experiment 1 und 5, in denen ein negativer Effekt auf die Diskriminationsleistung gefunden wurde, könnte es daher zu SAT-Effekten gekommen sein. Demzufolge wäre die erhöhte Fehlerrate in der validen Bedingung nur dadurch zustande gekommen, dass die Probanden in dieser Bedingung schneller reagiert haben. Median-Split Analysen konnten jedoch zeigen, dass die Reaktionsgeschwindigkeit nicht mit der Validität des Cues interagiert, was gegen einen SAT-Effekt spricht.

Ingesamt zeigen unsere Ergebnisse, dass periphere und nicht-prädiktive zentrale Cues die Diskrimination der Reihenfolge verschlechtern, während prädiktive zentrale Cues die Reihenfolgediskrimination verbessern. Außerdem hat räumliche Aufmerksamkeit in unseren Experimenten im Gegensatz zu Yeshurun und Levy (2003), unabhängig von der Art der Aufmerksamkeitslenkung, die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht. Im Folgenden soll dargestellt werden, welche Konsequenzen diese Ergebnisse für die Inhibitionshypothese haben. Im zweiten Teil dieser Diskussion wird schließlich erörtert werden, was die Ergebnisse dieser Arbeit zur Debatte der getrennten Aufmerksamkeitsysteme beitragen können. Als letzten Punkt vor dem Ausblick wird dann auf mögliche Erklärungen für die positiven Reaktionszeiteffekte eingegangen werden.

Einschränkung der Gültigkeit der Inhibitionshypothese auf exogenes Cueing

Die Ergebnisse dieser Arbeit sprechen für die Inhibitionshypothese von Yeshurun und Levy (2003). Wenn Aufmerksamkeit mit Hilfe von exogenen Cues gelenkt wird, findet sich ein negativer Cueingeffekt für die Genauigkeit des Reihenfolgeurteils. Aufmerksamkeit beeinträchtigt die zeitliche Auflösung sowohl bei der Lückenentdeckung (Rolke et al., eingereicht; Yeshurun, 2004; Yeshurun & Levy, 2003), als auch beim TOJ, wie die hier präsentierten Ergebnisse zeigen. Da die beiden Aufgaben unterschiedliche Formen der zeitlichen Verarbeitung erfordern, legen diese Befunde nahe, dass räumliche Aufmerksamkeit die zeitliche Auflösung im Allgemeinen verringert.

Der negative Effekt auf das Reihenfolgeurteil kann nicht auf methodische Artefakte, wie auf Interferenz durch den peripheren Cue, zurückgeführt werden, da er sich nicht nur mit klassischen peripheren Cues, sondern auch mit nicht-prädiktiven zentralen Cues finden ließ. Unsere Befunde unterstützen daher die Ergebnisse von Yeshurun und Levy (2003) und ihre Inhibitionshypothese, denn die Verschlechterung des TOJ lässt sich durch eine Hemmung des magnozellulären Systems und der damit einhergehenden Erhöhung der Variabilität der Onset-Latenzen, von denen das TOJ abhängt, erklären. Andere, insbesondere nicht-stationäre Theorien wie die Integrationshypothese (Schmidt & Klein, 1997) oder das TPM (Stelmach & Herdmann, 1991) können den negativen Effekt auf das TOJ nicht erklären und hätten entweder keinen Einfluss der Aufmerksamkeit oder sogar einen positiven Effekt vorhergesagt.

Die Haupteinschränkung der Inhibitionshypothese betrifft die Art der Aufmerksamkeitslenkung. Da in dieser Studie im Gegensatz zu Yeshurun und Levy (2003) nicht nur periphere Cues, sondern auch zentrale Cues zur Aufmerksamkeitslenkung verwendet wurden, erlauben die hier vorgestellten Experimente, die Gültigkeit der Inhibitionshypothese für unterschiedliche Arten von Cueing näher zu prüfen. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass periphere und prädiktive zentrale Cues zu unterschiedlichen Aufmerksamkeitseffekten führen: Während mit peripheren Cues ein negativer Effekt auf die Genauigkeit im TOJ gefunden werden konnte, rufen prädiktive zentrale Cues einen positiven Effekt auf die zeitliche Diskrimination hervor. Dieser positive Cueingeffekt kann nicht durch die Inhibitionshypothese von Yeshurun und Levy (2003) erklärt werden. Dies legt nahe, dass die Inhibitionshypothese von Yeshurun und Levy auf exogene Aufmerksamkeitslenkung beschränkt werden muss. Der in der vorliegenden Arbeit gefundene positive Effekt könnte auf einem anderen Mechanismus beruhen. Lu und Doshier (2000) stellten z.B. fest, dass Cueingeffekte, die durch periphere Cues hervorgerufen wurden, sich als unabhängig vom Rauschniveau erwiesen, da sich der Cueingeffekt sowohl bei hohem als auch bei niedrigem Kontrast der das Rauschen produzierenden Masken finden ließ. Cueingeffekte, die durch prädiktive endogene Cues hervorgerufen wurden, waren hingegen vom Ausmaß des externen Rauschens abhängig, da der Cueingeffekt nur bei starkem externen Rauschen auftrat. Lu und Doshier schlossen daraus, dass endogenes Cueing im Gegensatz zu exogenem Cueing die visuelle Verarbeitung durch lokalen Rauschausschluss beeinflussen könnte.

Demzufolge könnte endogen gelenkte Aufmerksamkeit ihren Effekt auf die Reizverarbeitung durch Rauschausschluss ausüben, das heißt, indem internes Rauschen oder visuelle Informationen in der unmittelbaren Umgebung der verarbeiteten Reize herausgefiltert werden. In diesem Fall wäre auch bei einer zeitlichen Aufgabe ein positiver Aufmerksamkeitseffekt auf die Diskriminationsleistung zu erwarten, wie er in den hier vorgestellten Experimenten mit dem Reihenfolgeurteil gefunden wurde. Danach sollte sich auch mit der von Yeshurun und Levy verwendeten Lückenentdeckung ein positiver Effekt finden lassen, wenn die Aufmerksamkeit mit Hilfe von prädiktiven endogenen Cues gelenkt werden würde. Um die Hypothese des Rauschausschlusses direkt zu überprüfen, könnte man gleichzeitig das Rauschniveau wie z.B. bei Lu und Doshier (2000) manipulieren, indem man Masken mit unterschiedlich hohem Kontrast vor und nach dem Zielreiz präsentiert. Unter diesen Umständen wür-

de man eine Abhängigkeit des positiven Aufmerksamkeitseffekts vom Rauschniveau erwarten: bei hohem Kontrast der Masken und somit hohem Rauschlevel, sollte der Cueingeffekt für die Diskrimination der zeitlichen Lücke größer sein als bei niedrigem Kontrast der Masken. Ein solches Ergebnismuster würde die Hypothese des endogen bedingten Rauschausschlusses bestätigen.

Exogene versus endogene Aufmerksamkeitslenkung: zwei getrennte Aufmerksamkeitssysteme

Hinsichtlich der Vollständigkeit der Trennung zwischen exogener und endogener Aufmerksamkeit sprechen die in dieser Arbeit gefundenen Ergebnisse stark für separate Systeme. Wie in der Einleitung beschrieben, legen unterschiedlich starke Cueingeffekte in Merkmal-Konjunktionssuchaufgaben bei peripherem, aber nicht bei zentralem Cueing (z.B. Briand & Klein, 1987), sowie additive Effekte beider Cue-Arten (Riggio und Kirsner, 1997), eine solche Trennung exogener und endogener Aufmerksamkeit zwar nahe, konnten aber teilweise widerlegt werden (z.B. Berger et al., 2005; Müller & Humphreys, 1991; Nakayama & Mackeben, 1989). Die Ergebnisse dieser Arbeit, dass für ein und dieselbe Aufgabe exogene Cues einen negativen Diskriminationseffekt und endogene Cues einen positiven Effekt hervorrufen, erbringen weitere Evidenz für getrennte Aufmerksamkeitssysteme. Diese gegensätzlichen Cueingeffekte können nicht mit einem einzigen Mechanismus erklärt werden und unterstützen damit stärker als alle bisher gefundenen Unterschiede zwischen exogenem und endogenem Cueing die Hypothese getrennter Ressourcen (z.B. Briand, 1998; Briand & Klein, 1987; Klein, 1994; Lu & Doshier, 2000; Riggio & Kirsner, 1997).

Wie in der Einleitung dargestellt, gehen die Vertreter dieser Hypothese davon aus, dass das endogene und exogene Aufmerksamkeitssystem ihre Einflüsse auf unterschiedlichen Verarbeitungsebenen haben. Dabei soll exogene Aufmerksamkeit auf frühen Ebenen, wie der Vorverarbeitung und der Merkmalextraktion, endogene Aufmerksamkeit hingegen auf späteren Ebenen, wie Identifikation, Entscheidung und Antwortauswahl wirken. Unsere Ergebnisse stimmen mit dieser Annahme überein. Der von uns gefundene negative Aufmerksamkeitseinfluss auf die zeitliche Auflösung wurde durch exogen wirkende Cues hervorgerufen. Er lässt sich mit der Inhibitionshypothese von Yeshurun und Levy (2003) erklären, was (wie bereits in der Einleitung dargestellt) dafür spricht, dass der negative Effekt den Aufmerksamkeitseinfluss auf die frühe Verarbeitung darstellt. Denn die Trennung zwischen den unter-

schiedlichen Funktionen des parvo- und magnozellulären Pfades beginnt bereits auf sehr frühen Ebenen der visuellen Verarbeitung, scheint aber auf späteren Ebenen in extrastriären Arealen des Kortex weniger vollständig zu sein (Schiller & Logothetis, 1990; Merigan & Maunsell, 1993).

Konsistent mit der Hypothese der getrennten Ressourcen zeigt dagegen der im vierten Experiment gefundene positive Diskriminationseffekt des Reihfolgeurteils, der durch endogen wirkende Cues ausgelöst wurde, vermutlich den Einfluss späterer Aufmerksamkeitseffekte, sei es durch Rauschausschluss (z.B. Doshier & Lu, 2000) oder aber durch Einflüsse auf die Entscheidungsebene (z.B. Briand, 1998; Riggio & Kirsner, 1997). Weitere Untersuchungen sind nötig, um zwischen diesen beiden Mechanismen zu differenzieren.

Es stellt sich jedoch die Frage, durch welche Cuearten diese unterschiedlichen Aufmerksamkeitssysteme aktiviert werden können. Die hier vorgestellten Ergebnisse unterstützen die in der Einleitung beschriebenen Studien, dass auch nicht-prädiktive Cues die Aufmerksamkeit lenken können (Tipples, 2002; Ristic et al., 2002). Diese Cues scheinen, wie von Tipples (2002) vermutet, tatsächlich exogen zu wirken, da sich in der vorliegenden Studie mit den nicht-prädiktiven zentralen Cues derselbe negative Aufmerksamkeitseffekt nachweisen ließ, wie mit nicht-prädiktiven peripheren Cues. Es scheint für die Wirkungsweise zentraler Cues offenbar tatsächlich ausschlaggebend zu sein, ob sie prädiktiv hinsichtlich des Zielreizes sind oder nicht, da sie je nach Prädiktivität unterschiedliche Aufmerksamkeitssysteme und damit unterschiedliche Verarbeitungsstufen ansprechen, und dadurch sehr unterschiedliche Effekte hervorrufen können.

Bei peripheren Cues scheint die Prädiktivität hingegen eine geringere Rolle zu spielen (vgl. Müller & Humphreys, 1991; Riggio & Kirsner, 1997; Warner et al., 1990). Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass nicht-prädiktive periphere Cues eine exogene Aufmerksamkeitslenkung hervorrufen. Die meisten Studien gehen zusätzlich davon aus, dass auch prädiktive periphere Cues exogen wirken. So können manche Studien zeigen, dass periphere Cues automatisch wirken, obwohl sie symbolische Bedeutung haben (z.B. Warner et al., 1990). In unseren Experimenten finden wir mit nicht-prädiktiven peripheren Cues einen negativen Effekt, der dem von Yes-hurun und Levy (2003) mit prädiktiven peripheren Cues gefundenen Effekt entspricht.

Die Mehrzahl der Studien – unsere Ergebnisse eingeschlossen – sprechen also dafür, dass exogene Aufmerksamkeit sowohl durch prädiktive periphere Cues, als auch durch nicht-prädiktive periphere und zentrale Cues aktiviert werden kann. Dagegen scheint endogene Aufmerksamkeit allein durch prädiktive zentrale Cues angesprochen werden zu können. Es gibt jedoch auch Studien, die Unterschiede zwischen nicht-prädiktiven und prädiktiven peripheren Cues finden (z.B. Prinzmetal, McCool & Park, 2005). Der in unseren Studien gefundene Einfluss nicht-prädiktiver Cues auf die Diskriminationsleistung steht im Widerspruch zu einer Theorie von Prinzmetal et al. (2005). Prinzmetal et al. zufolge sollten nicht-prädiktive periphere Cues nur die RT beeinflussen. Dies ist nicht nur mit dem von uns gefundenen negativen Cueingeffekt unvereinbar, sondern auch mit einer Reihe klassischer Befunde (z.B. Luck & Thomas, 1999; Snowden et al. 2001), die auch mit nicht-prädiktiven Cues Effekte auf die Genauigkeit finden. Dies führt Prinzmetal et al. (2005) jedoch auf die unzureichende methodische Trennung zwischen Genauigkeits- und Reaktionszeitparadigmen oder auf Sonderfälle⁷ zurück. Zukünftige Untersuchungen mit einer klaren Trennung zwischen Reaktionszeit-Paradigmen (mit dem Akzent auf die Geschwindigkeit bei leichten Aufgaben) und Genauigkeits-Paradigmen (mit dem Akzent allein auf die Genauigkeit bei schwierigen Aufgaben) sollten Aufschluss über diese diskrepanten Ergebnisse liefern.

Erklärung des positiven Aufmerksamkeitseinflusses auf die Reaktionszeiten

Die in den hier beschriebenen Ergebnissen gefundenen Reaktionszeiteffekte scheinen zunächst ebenfalls die Gültigkeit der Inhibitionshypothese einzuschränken. Wir fanden übereinstimmend mit der Literatur (z.B. Henderson, 1991; 1996; Snowden et al., 2001) in allen fünf Experimenten, ungeachtet der Art der Aufmerksamkeitslenkung, Reaktionszeitvorteile für valide gecuetete Reize im Vergleich zu invalide gecueteten Reizen. Nach der Inhibitionshypothese aktiviert Aufmerksamkeit das parvozelluläre visuelle System, inhibiert aber das magnozellanuläre System. Da dieses jedoch eine höhere Weiterleitungsgeschwindigkeit als das parvozelluläre System hat (z.B. Kaplan, 2004; Merigan & Maunsell, 1993), sollte diese Inhibition eher zu einer Verlängerung der Reizverarbeitung und somit der RT führen.

⁷ Nicht-prädiktive Cues können Prinzmetal et al. (2005) zufolge im Rahmen der Unsicherheitsreduktion (vgl. Shiu und Pashler, 1994) auch Effekte auf die Genauigkeit hervorrufen.

Berücksichtigt man jedoch, dass die Aktivierung des parvozellulären Systems auch zu einer Erhöhung der Parallelverarbeitung führen sollte, ließen sich die Reaktionszeitunterschiede doch mit der Inhibitionshypothese erklären. Das *Modell der parallelen Einheiten* (Parallel Grains Model, PGM) von Miller und Ulrich (2003) sagt nämlich voraus, dass sich die RT verkürzen, je mehr parallel verarbeitete Reizeinheiten ein Reiz aktiviert. Wenn der Beobachter so schnell wie möglich reagieren soll, kann man sich die Reizverarbeitung wie einen Wettlauf vorstellen zwischen den einzelnen parallel verarbeiteten Informationseinheiten, wobei die schnellste Einheit die Reaktion bestimmt. Nach dem PGM wird ein Reiz entdeckt, wenn eine ausreichende Anzahl dieser Einheiten, abhängig vom Antwortkriterium, am Reizdetektor angekommen ist. Die durchschnittliche Zeit mit der die Einheiten im Ziel, also am Detektor, ankommen, ist nach dem Prinzip der *statistischen Erleichterung* (Raab, 1962) geringer, je mehr Wettläufer im Spiel sind, da aufgrund der Wahrscheinlichkeitsgesetze der schnellere zweier Wettläufer im Durchschnitt schneller ist als jeder einzelne der Wettläufer. Je mehr Parallelverarbeitung stattfindet, desto schneller wird daher die für die Reizwahrnehmung benötigte Anzahl von Informationseinheiten registriert, und desto schneller wird die Reaktion ausgelöst.

Nach der Inhibitionshypothese sollte genau diese Parallelverarbeitung erhöht sein, da Aufmerksamkeit das parvozelluläre System verstärkt aktiviert, welches durch seine kleineren RF eine höhere Parallelverarbeitung aufweisen sollte. Dies könnte dann nach dem PGM (Miller & Ulrich, 2003) zu der in den Experimenten dieser Arbeit beobachteten Verringerung der Wahrnehmungslatenz unter Aufmerksamkeitseinfluss führen. Es stellt sich allerdings die Frage, ob ein solcher Mechanismus einen so großen RT-Effekt produzieren kann, wie er in Cueing-Studien beobachtet werden kann (von bis zu 100 ms). Denn diese Beschleunigung der Reizverarbeitung müsste so groß sein, dass sie nicht nur den Vorteil ausgleicht, der durch die Inhibition des magnozellularen Pfades, dessen Neuronen eine schnellere Weiterleitungsgeschwindigkeit haben, verloren geht, sondern auch noch den beobachtbaren Reaktionszeiteffekt hervorrufen kann.

Ein weiterer Erklärungsansatz der Reaktionszeiteffekte ergibt sich aus der *Aktivierungshypothese* von Di Russo und Spinelli (1999). Sie schlagen vor, dass Aufmerksamkeit einen direkten Effekt auf den magnozellularen Pfad haben könnte, was mit einer schnelleren Signalweiterleitung einhergehen sollte. Dadurch könnten Aufmerksamkeitseffekte auf die Verarbeitungsrate (z.B. Carrasco & McElree, 2001; Rei-

nitz, 1990; Smith & Wolfgang, 2004) und die Wahrnehmungslatenz zustande kommen (vgl. auch Enns et al., 1999). Um diese Hypothese zu überprüfen, haben DiRusso und Spinelli (1999) versucht, durch entsprechende Reize das parvo- und magnozellige System unterschiedlich stark anzusprechen. Als Zielreize dienten in beiden Bedingungen Gitter, deren sinusförmiges Muster sich entweder relativ schnell (mit einer Frequenz von 6-10 Hz) oder langsam (mit einer Frequenz von 1.5-4 Hz) veränderte. Um das parvozelluläre System anzusprechen bestand das Muster aus isoluminanten Farben (rot und grün) und wurde mit geringer zeitlicher Frequenz moduliert. Um das magnozellige System anzusprechen war das Muster hingegen aus Luminanzunterschieden konstruiert und veränderte sich mit hoher zeitlicher Frequenz.

Dabei fanden Di Russo und Spinelli (1999), dass beide Reizarten die Amplitude des visuell evozierten Potentials (VEP: visuell evoked potential) erhöhen, wobei jedoch nur bei Luminanzreizen zusätzlich auch eine Phasenverschiebung des VEP zu beobachten war, mit der die Verschiebung der Wahrnehmungslatenz verbunden sein soll. Sie schlussfolgern daraus, dass Aufmerksamkeit über das magnozellige System die Wahrnehmungslatenz, und somit auch die RT, beeinflussen kann, während Aufmerksamkeitseffekte auf die Genauigkeit über das parvozelluläre System vermittelt sein könnten (Abb. 3.1).

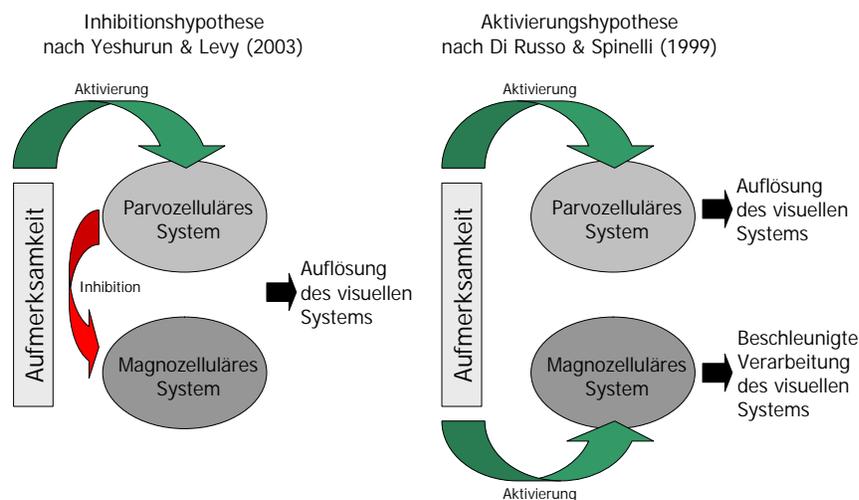


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung des Aufmerksamkeitsinflusses auf die zwei Pfade der visuellen Verarbeitung nach Yeshurun und Levy (2003) sowie Di Russo und Spinelli (1999).

Dieser von Di Russo und Spinelli (1999) postulierte Aufmerksamkeitsinfluss auf das magnozellige System könnte somit die durchweg positiven Effekte der Aufmerksamkeit auf die Reaktionszeiten erklären, die sich aus der Inhibitionshy-

pothese schwieriger ableiten lassen. Dafür kann die Aktivierungshypothese jedoch den von Yeshurun und Levy (2003), sowie in dieser Arbeit gefundenen negativen Aufmerksamkeitseffekt auf die zeitliche Auflösung nicht erklären, da die Aktivierung des magnozellulären System eine verbesserte zeitliche Auflösung in beiden Aufgaben erwarten lassen würde. Außerdem stünde eine aufmerksamkeitsbedingte Aktivierung des magnozellulären Systems klar im Widerspruch zu der in der Inhibitionshypothese angenommenen magnozellulären Inhibition durch Aufmerksamkeit.

Die Reaktionszeiteffekte könnten auch völlig unabhängig vom Einfluss der Aufmerksamkeit auf die visuelle Verarbeitung zustande gekommen sein. Einige Studien geben Anlass zur Kritik an der verbreiteten Annahme, dass Effekte auf RT und Genauigkeit durch dieselben Mechanismen vermittelt werden. Beispielsweise konnten Santee und Egeth (1982) zeigen, dass Interferenz durch verschiedene Disktraktoren, so genannte Flankierreize, die Wahrnehmungsleistung in einer Buchstabenerkennung unterschiedlich beeinflusst, je nachdem, ob Genauigkeit oder RT als abhängige Variable verwendet wurden. Daraus schlossen Santee und Egeth (1982), dass RT und Genauigkeit nicht einfach austauschbare Maße für ein und denselben zugrunde liegenden Prozess sind, sondern unterschiedliche Mechanismen widerspiegeln. Sie gingen insbesondere davon aus, dass RT-Effekte eher späte Verarbeitungsprozesse widerspiegeln (auf der Ebene der Entscheidung oder Antwort), während die Antwortgenauigkeit eher für Prozesse früher Verarbeitungsstufen sensitiv sein könnte.

Auch einige Cueing-Studien legen nahe, dass RT und Genauigkeit unterschiedliche Aufmerksamkeitseffekte reflektieren könnten (Bonnel, Possamai & Schmitt, 1987; Prinzmetal et al., 2005; Smith et al., 2004). Wie in der Einleitung beschrieben, finden Smith et al. (2004) z.B. in einem peripheren Cueing-Paradigma maskenabhängige Cueingeffekte auf die Genauigkeit, da sie einen Cueingeffekt nur mit Maske finden, aber maskenunabhängige Cueingeffekte für RT. Demzufolge könnte die aufmerksamkeitsbedingte Verkürzung der RT durch einen anderen, vom Aufmerksamkeitseinfluss auf die zeitliche Auflösung unabhängigen Mechanismus vermittelt worden sein.

Doch was für ein Mechanismus könnte hinter einem solchen unabhängigen RT-Effekt stehen? Analog zu Santee und Egeth (1982) könnten die RT-Effekte vor allem auf Einflüsse auf relativ späte Verarbeitungsstufen zurückzuführen sein, wie z.B. eine Verschiebung des Entscheidungskriteriums oder Effekte auf der Ebene der Antwortselektion. Einige Aufmerksamkeitstheorien gehen von einem direkten Zu-

sammenhang zwischen Aufmerksamkeit und motorischer Programmierung aus, was sich auf die Reaktionsgeschwindigkeit auswirken könnte (z.B. Allport 1993; Rizzolatti, Riggio & Sheliga, 1994). Nach der *Premotor Theory of Attention* (z.B. Rizzolatti et al., 1994). wird z.B., sowie ein Cue erschienen ist, ein motorisches Programm für eine Sakkade in Richtung der Position, die der Cue angegeben hat, vorbereitet. Dieses motorische Programm spezifiziert die Richtung und die Amplitude der Sakkade. Wenn diese beiden Parameter definiert sind, wird bei validem Cueing zunächst die gecueete Position salient und dadurch die Reaktion auf den Reiz, sowie er erscheint, schneller. Im Gegensatz dazu muss, wenn der Reiz an der nicht erwarteten Position erscheint, die Aufmerksamkeit umgelenkt werden auf die neue Reizposition, bevor die manuelle Antwort geschehen kann. Die Reaktion ist dementsprechend in der invaliden Bedingung länger, weil die Position nicht salient wurde, aber auch weil ein zeitraubender Prozess der Umprogrammierung der Sakkade stattfinden muss. Ein solcher Mechanismus könnte die positiven Effekte der Aufmerksamkeit auf die RT, unabhängig von der Art der Diskriminationsaufgabe, erklären. Einige Studien sprechen allerdings gegen einen solch engen Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeit und Sakkaden-Programmierung (z.B. Klein, 1980).

Ein ähnlicher Ansatz, jedoch unabhängig von der Sakkaden-Programmierung, wurde von Scharlau und Ansorge (2003) beruhend auf der Theorie der *direkten Parameterspezifikation* (DPS; Neumann, 1990) vorgeschlagen. Der Ansatz von Scharlau und Ansorge bezieht sich direkt auf die Latenzeffekte beim Prior-Entry. Ihm zufolge wird sensorische Information direkt dazu verwendet, noch freie Parameter eines zuvor konstruierten Aktionsplans zu bestimmen. Direkt bedeutet hierbei, dass es nicht nötig ist, zunächst eine bewusste Wahrnehmung dieser Information aufzubauen. Beim Cueing könnte die Aufmerksamkeitsverlagerung diese Parameterspezifikation bewirken und dadurch die RT verkürzen. Die Autoren schließen dies aus den Befunden, dass nur Cues, die aufgabenrelevante Reizmerkmale (z.B. Farbe oder Form oder abrupter Onset) beinhalten, Cueingeffekte hervorrufen. Allerdings bezieht sich diese Theorie nur auf peripheres Cueing. In unseren Experimenten beeinflussten aber sowohl periphere als auch zentrale Cues die Reaktionszeiten, und auch der Prior-Entry Effekt lässt sich sowohl mit peripheren als auch mit zentralen Cues hervorrufen, wie in der Einleitung beschrieben (z.B. Stelmach & Herdman, 1991).

Endo- und exogen wirkende Cues könnten den Prior-Entry Effekt jedoch über unterschiedliche Mechanismen hervorrufen, wie es Ergebnisse von Schneider und

Bavelier (2003) nahe legen. Sie verglichen zeitliche Reihenfolgeurteile mit Gleichzeitigkeitsurteilen, welche weniger anfällig für kognitive Einflüsse, wie z.B. das verwendete Entscheidungskriterium, sein sollten. Dadurch sollte eine Unterscheidung zwischen sensorischen und kognitiven Aufmerksamkeitseffekten möglich werden. Es ergaben sich Prior-Entry Effekte mit prädiktiven zentralen Cues für Reihenfolge- aber nicht für Gleichzeitigkeitsurteile. Die Autoren schlossen daraus, dass der Prior-Entry Effekt mit endogen wirkenden Cues über Entscheidungsprozesse zustande kommt.

Die von uns beobachtete aufmerksamkeitsbedingte Verkürzung der Reaktionszeiten könnte also auf einer relativ späten Ebene der Reizverarbeitung zustande gekommen sein, entweder auf Entscheidungsebene, oder sogar direkt auf der Ebene der motorischen Prozesse. Unterstützt wird diese Annahme von der bereits kurz beschriebenen Theorie von Prinzmetal et al. (2005), der zufolge RT-Effekte auf Mechanismen, die späte Verarbeitungsebenen beeinflussen (Entscheidungsprozesse oder Verringerung der Unsicherheit), zurückzuführen sind, während Genauigkeitseffekte durch die Beeinflussung früher und mittlerer Ebenen zustande kommen. Diese positiven Reaktionszeiteffekte sollten unabhängig von der Art des Cueings auftreten. Konsistent mit dieser Annahme fanden wir positive Effekte der Aufmerksamkeit auf die Reaktionszeiten bei der Verwendung peripherer, aber auch prädiktiver und nicht-prädiktiver zentraler Cues. Prinzmetal et al. (2005) verwendeten in ihren Experimenten nur peripheres Cueing, unsere Ergebnisse legen nahe, dass sich ihre Theorie diesbezüglich auch auf zentrales Cueing ausweiten lässt. Solche späten Mechanismen können allerdings nicht die von nicht-stationären Modellen räumlicher Aufmerksamkeit propagierte Beschleunigung der Verarbeitungsrate erklären. Weitere Untersuchungen sind nötig, um diese Gegensätze aufzuklären.

Jedoch finden Yeshurun und Levy (2003), sowie Yeshurun (2004) erstaunlicherweise keine solchen Reaktionszeitvorteile, sondern nur Effekte auf die zeitliche Auflösung. Yeshuruns Befunde stehen somit nicht nur im Widerspruch zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie, sondern auch zu vielen anderen Cueing-Studien, die RT-Effekte bei Diskriminationsaufgaben finden (z.B. Henderson, 1991; 1996; Prinzmetal et al., 2005; Snowden et al., 2001). Dieser Unterschied zu den Ergebnissen von Yeshurun und Levy (2003) und Yeshurun (2004) könnte an der Instruktion der Probanden gelegen haben, da sie ihre Probanden anscheinend anwies so korrekt wie möglich zu sein, ohne dass die Geschwindigkeit eine Rolle spielte (zumindest bei Yeshurun 2004 so beschrieben). Die Probanden der vorliegenden Studie hingegen

sollten so genau und so schnell wie möglich reagieren, auch wenn die Betonung auf die Genauigkeit gelegt wurde (wie auch bei Henderson, 1991).

Der Unterschied könnte aber auch darin begründet sein, dass Yeshurun und ihre Kollegen valide mit neutralen Bedingungen verglichen haben. In unserer Studie, sowie den Studien von Henderson (1991; 1996) und Snowden et al. (2001) wurden hingegen valide und invalide Bedingungen miteinander verglichen. Während Yeshurun also Unterschiede zwischen Lenkung der Aufmerksamkeit und keiner Lenkung und damit den Effekt der Aufmerksamkeitszuwendung vergleichen, kommt es in unseren Experimenten zu einem Vergleich zwischen Aufmerksamkeitshinlenkung und gezielter Weglenkung. Yeshurun und Levy (2003) finden keine Aufmerksamkeitseffekte auf die Reaktionszeiten, aber Effekte auf die Genauigkeit, während wir sowohl RT- als auch Genauigkeitseffekte finden. Demzufolge könnten die Aufmerksamkeits-effekte auf die Genauigkeit hauptsächlich den Effekt der Aufmerksamkeitszuwendung widerspiegeln, während die Reaktionszeiteffekte den Effekt der Aufmerksamkeitsweglenkung wiedergeben könnten, das bedeutet die Verlangsamung (Hemmung) der Reaktionen bei falscher Aufmerksamkeitslenkung.

Mechanismen der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit

Insgesamt macht die vorliegende Arbeit deutlich, dass es nötig ist, sich vom Konzept des einheitlichen Aufmerksamkeitssystems zu trennen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit weisen darauf hin, dass es mindestens zwei verschiedene Aufmerksamkeitssysteme gibt, die auf getrennte Ressourcen und unterschiedliche Mechanismen zurückgreifen.

Exogene Aufmerksamkeit, aktiviert durch nicht-prädiktive periphere oder zentrale Cues, verschlechterte die Diskriminationsleistung in einer TOJ Aufgabe. Endogene Aufmerksamkeit hingegen, aktiviert durch einen prädiktiven zentralen Cue, verbesserte die Diskriminationsleistung in derselben Aufgabe. Diese gegensätzlichen Ergebnisse scheinen durch Aufmerksamkeitseinflüsse auf unterschiedlichen Ebenen der Reizverarbeitung zustande gekommen zu sein. Dabei scheint exogen gelenkte Aufmerksamkeit die Informationsverarbeitung auf sehr frühen Ebenen zu beeinflussen, indem sie direkt auf die Verarbeitung der visuellen Signale wirkt. Endogene Aufmerksamkeit scheint eher auf späteren Ebenen der Reizverarbeitung ihren Einfluss auszuüben, möglicherweise durch Rauschschluss oder Effekte auf Entscheidungsebene. Unabhängig von den Effekten auf die Diskriminationsleistung scheinen

sowohl endogene als auch exogene Aufmerksamkeit die Reaktionszeiten zu verkürzen. Dies könnte auf späten Verarbeitungsebenen, wie der Ebene der Entscheidung oder sogar Handlungsauswahl geschehen, möglicherweise insbesondere durch die Hemmung der Reaktionen aufgrund der Weglenkung von Aufmerksamkeit verursacht (Abb. 3.2).

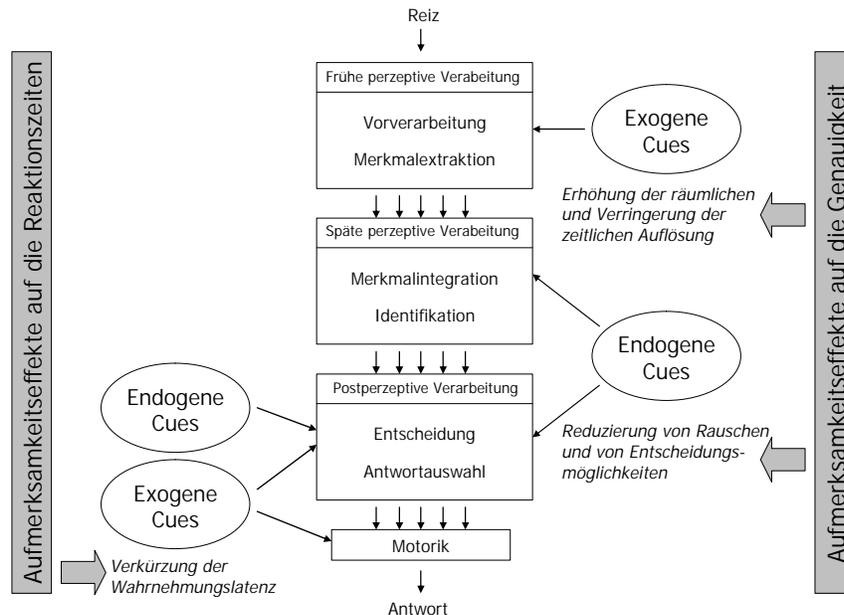


Abbildung 3.2: Schematische Übersicht der möglichen Aufmerksamkeitswirkungen von exogenen und endogenen Cues.

Die Inhibitionshypothese von Yeshurun und Levy (2003) scheint dabei, wie unsere Ergebnisse zeigen, ein besonders interessanter Mechanismus zu sein, um die Wirkweise exogener Aufmerksamkeit zu verstehen. Sie kann als einzige der vorgestellten Aufmerksamkeitstheorien erklären, dass exogene Aufmerksamkeit sowohl die räumliche Auflösung erhöhen als auch die zeitliche Auflösung sowohl bei der Lückenentdeckung, als auch bei der Diskrimination der Reihenfolge verringern kann.

In weiteren Experimenten könnten auch noch andere zeitliche Aufgaben als die hier dargestellten untersucht werden, wie z.B. Zeitdauerdiskrimination oder die Diskrimination der Bewegungskohärenz von Punktwolken. Auch die Ausnutzung der unterschiedlichen Eigenschaften des parvo- und magnozellulären Systems könnte die weitere Überprüfung der Inhibitionshypothese erlauben. Wie schon in der Einleitung beschrieben sind der magno- und der parvozelluläre Pfad unterschiedlich sensitiv für Kontraste. Bei hohen zeitlichen Frequenzen scheint die Kontrastsensitivität des magnozellulären Pfades ein Mehrfaches des parvozellulären Pfades zu betragen. Bei

niedrigen räumlichen und zeitlichen Frequenzen hingegen scheint das parvozelluläre System die höhere Kontrastsensitivität zu haben (z.B. Merigan & Maunsell, 1993; Schiller & Logothetis, 1990). Der Kontrast eines visuellen Reizes, der mit einer hohen zeitlichen Frequenz dargeboten wird, sollte nach der Inhibitionshypothese unter Aufmerksamkeitseinfluss schlechter wahrgenommen werden als ohne Aufmerksamkeit. Bei einem Reiz mit niedrigen zeitlichen oder räumlichen Frequenzen sollte man hingegen genau das Gegenteil erwarten können. In der Tat konnte ein Teil dieser Hypothese bereits bestätigt werden. Mit Reizen, die eine niedrige (zeitliche und) räumliche Frequenz besitzen, konnte gezeigt werden, dass Aufmerksamkeit die Kontrastsensitivität erhöht (vgl. z.B. Pestilli & Carrasco, 2005, Kapitel 1.3.2). Je mehr Evidenz so für die Inhibitionshypothese angesammelt werden kann, desto wichtiger wird es sein, die Gültigkeit von Studien zu überprüfen, die einen Effekt der Aufmerksamkeit auf die Verarbeitungsrate visueller Informationen vermuten lassen. Insbesondere wäre es interessant, die Größe dieser Effekte zu überprüfen und näher zu untersuchen, was für Reaktionszeiteffekte eine erhöhte Parallelverarbeitung tatsächlich verursachen kann.

Die sorgfältige experimentelle Trennung der unterschiedlichen Cueing-Paradigmen, sowie der Vergleich der Aufmerksamkeitseffekte auf räumliche und zeitliche Diskriminationsaufgaben scheint eine viel versprechende Möglichkeit zu sein, die unterschiedlichen Mechanismen exogener („reizgebundener“) und endogener („willentlicher“) visuell-räumlicher Aufmerksamkeit in Zukunft besser zu verstehen.

4 Zusammenfassung

Seit den Anfängen der Aufmerksamkeitsforschung wird die Wirkung visuell-räumlicher Aufmerksamkeit als positiv eingeschätzt, da sie in den unterschiedlichsten Aufgaben immer wieder die Wahrnehmungsleistung verbessert. Yeshurun und Kollegen haben jedoch in neueren Studien zeigen können, dass räumliche Aufmerksamkeit auch einen negativen Einfluss auf die Wahrnehmung haben kann, wie sie es bei der Entdeckung einer zeitlichen Lücke zwischen zwei Punkten beobachten konnten (Yeshurun & Levy, 2003). Sie schlugen vor, dass diesen Ergebnissen gegensätzliche Aufmerksamkeitseffekte auf das räumliche und zeitliche Auflösungsvermögen zugrunde liegen könnten. Diese überraschenden Ergebnisse und die damit verbundene Hypothese zu überprüfen ist das Ziel der vorliegenden Arbeit.

Dazu untersuchten wir zunächst, ob sich dieser negative Effekt der Aufmerksamkeit auch auf eine andere zeitliche Aufgabe, das Reihenfolgeurteil, generalisieren lässt. In der Tat ließ sich zeigen, dass Aufmerksamkeit, wenn sie mit Hilfe peripherer Cues gelenkt wird, auch die Diskriminationsleistung der zeitlichen Reihenfolge beeinträchtigt. Dieser negative Effekt könnte jedoch auch durch die Cueingmanipulation hervorgerufen worden sein: Beim peripheren Cueing erscheinen Cue und Zielreiz nämlich kurz nacheinander an derselben Position, so dass nicht Aufmerksamkeit, sondern das Erscheinen des Cues die Verarbeitung des Zielreizes behindert haben könnte. In Experiment 2 wurde diese alternative Interferenzhypothese überprüft. Es zeigte sich, dass Interferenz tatsächlich als Erklärung des negativen Effekts in Betracht kommt. Um den tatsächlichen Aufmerksamkeitseffekt auf das zeitliche Auflösungsvermögen zu finden, verwendeten wir daher in zwei weiteren Experimenten zentrale Cues, die die Aufmerksamkeit von der Bildschirmmitte aus lenken und daher keine Interferenz hervorrufen können. Diese zentralen Cues verursachten erstaunlicherweise einen positiven oder negativen Aufmerksamkeitseffekt, je nachdem, ob sie prädiktiv bezüglich der Zielreizposition waren: Der prädiktive zentrale Cue verbesserte die Diskriminationsleistung im Reihenfolgeurteil, während der nicht-prädiktive zentrale Cue genau wie der periphere Cue einen negativen Effekt hervorrief.

Die Resultate sprechen insgesamt dafür, dass visuell-räumliche Aufmerksamkeit, wie nach der Hypothese von Yeshurun und Levy (2003) vorhergesagt, das zeitliche Auflösungsvermögen im Allgemeinen beeinträchtigt, allerdings nur unter der Verwendung peripherer oder nicht-prädiktiver zentraler Cues. Prädiktive zentrale

Cues hingegen verbessern auch das zeitliche Auflösungsvermögen. Dies spricht dafür, dass die unterschiedlichen Arten von Cues zwei separate Aufmerksamkeitssysteme ansprechen, die auf verschiedene Mechanismen zurückgreifen und somit gegensätzliche Effekte auf unsere Wahrnehmung haben, möglicherweise indem sie auf unterschiedlichen Ebenen der Verarbeitung ansetzen.

Literaturverzeichnis

- Allport, A. (1993). Attention and control: Have we been asking the wrong questions? A critical review of twenty-five years. In D. E. Meyer & S. Kornblum (Hrsg.), *Attention and performance XIV* (S. 183-218). Cambridge, MA: MIT Press.
- Ansorge, U., & Heumann, M. (2003). Top-down contingencies in peripheral cuing: The roles of color and location. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *29*, 937-948.
- Averbach, E., & Coriell, A. S. (1961). Short-term memory in vision. *Bell System Technical Journal*, *40*, 309-328.
- Awh, E., Matsukura, M., & Serences, J. T. (2003). Top-down control over biased competition during covert spatial orienting. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *29*, 52-63.
- Bair, W., Cavanaugh, J. R., Smith, M. A., & Movshon, J. A. (2002). The timing of response onset and offset in macaque visual neurons. *Journal of Neuroscience*, *22*, 3189-3205.
- Bashinski, H. S., & Bacharach, V. R. (1980). Enhancement of perceptual sensitivity as the result of selectively attending to spatial locations. *Perception & Psychophysics*, *28*, 241-248.
- Berger, A., Henik, A., & Rafal, R. (2005). Competition between endogenous and exogenous orienting of visual attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, *134*, 207-221.
- Bonnel, A.-M., Possamaï, C.-A., & Schmitt, M. (1987). Early modulation of visual input: A study of attentional strategies. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, *39*, 757-776.
- Breitmeyer, B. G., & Williams, M. C. (1990). Effects of isoluminant-background color on metacontrast and stroboscopic motion: Interactions between sustained (P) and transient (M) channels. *Vision Research*, *30*, 1069-1075.
- Briand, K. A. (1998). Feature integration and spatial attention: More evidence of a dissociation between endogenous and exogenous orienting. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *24*, 1243-1256.
- Briand, K. A., & Klein, R. M. (1987). Is posner's "beam" the same as treisman's "glue"? On the relation between visual orienting and feature integration theory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *13*, 228-241.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. Oxford: Pergamon Press.
- Cameron, E. L., Tai, J. C., & Carrasco, M. (2002). Covert attention affects the psychometric function of contrast sensitivity. *Vision Research*, *42*, 949-967.

- Carrasco, M., & McElree, B. (2001). Covert attention accelerates the rate of visual information processing. *PNAS*, *98*, 5363-5367.
- Carrasco, M., Penpeci-Talgar, C., & Eckstein, M. (2000). Spatial covert attention increases contrast sensitivity across the CSF: Support for signal enhancement. *Vision Research*, *40*, 1203-1215.
- Carrasco, M., Williams, P. E., & Yeshurun, Y. (2002). Covert attention increases spatial resolution with or without masks: Support for signal enhancement. *Journal of Vision*, *2*, 467-479.
- Carrasco, M., & Yeshurun, Y. (1998). The contribution of covert attention to the set-size and eccentricity effects in visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *24*, 673-692.
- Carver, R. A., & Brown, V. (1997). Effects of amount of attention allocated to the location of visual stimulus pairs on perception of simultaneity. *Perception & Psychophysics*, *59*, 534-542.
- Chastain, G. (1992). Is rapid performance improvement across short precue-target delays due to masking from peripheral precues? *Acta Psychologica*, *79*, 101-114.
- Chastain, G., & Cheal, M. L. (1999). Influences of target and nontarget shapes on target identification. *Psychological Research*, *62*, 266-274.
- Cheal, M., & Lyon, D. R. (1991). Importance of precue location in directing attention. *Acta Psychologica*, *76*, 201-211.
- Cheal, M., Lyon, D. R., & Hubbard, D. C. (1991). Does attention have different effects on line orientation and line arrangement discrimination? *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, *43*, 825-857.
- Chelazzi, L., & Corbetta, M. (2000). Cortical mechanisms of visuospatial attention in the primate brain. In M. S. Gazzaniga (Hrsg.), *New cognitive neurosciences*. (S. 667-686). Cambridge, MA: MIT Press.
- Cherry, E. C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *Journal of the Acoustical Society of America*, *25*, 975-979.
- Cook, E. P., & Maunsell, J. H. R. (2002). Attentional modulation of behavioral performance and neuronal responses in middle temporal and ventral intraparietal areas of macaque monkey. *Journal of Neuroscience*, *22*, 1994-2004.
- Corbetta, M., Miezin, F. M., Shulman, G. L., & Petersen, S. E. (1993). A PET study of visuospatial attention. *Journal of Neuroscience*, *13*, 1202-1226.
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Review Neuroscience*, *3*, 201-215.
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, *70*, 80-90.

- Di Lollo, V., Enns, J. T., & Rensick, R. A. (2000). Competition for consciousness among visual events: The psychophysics of reentrant visual processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, *129*, 481-507.
- Di Russo, F., & Spinelli, D. (1999). Spatial attention has different effects on the magno- and parvocellular pathways. *Neuroreport*, *10*, 2755-2762.
- Doshier, B. A., & Lu, Z.-L. (2000). Noise exclusion in spatial attention. *Psychological Science*, *11*, 139-146.
- Downing, C. J. (1988). Expectancy and visual-spatial attention: Effects on perceptual quality. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *14*, 188-202.
- Egly, R., & Homa, D. (1991). Reallocation of visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *17*, 142-159.
- Enns, J. T., Brehaut, J. C., & Shore, D. I. (1999). The duration of a brief event in the mind's eye. *Journal of General Psychology*, *126*, 355-372.
- Eriksen, C. W., & Collins, J. F. (1965). Reinterpretation of one form of backward and forward masking in visual perception. *Journal of Experimental Psychology*, *70*, 343-351.
- Eriksen, C. W., & Collins, J. F. (1969). Temporal course of selective attention. *Journal of Experimental Psychology*, *80*, 254-261.
- Eriksen, C. W., & Hoffman, J. E. (1972). Temporal and spatial characteristics of selective encoding from visual displays. *Perception & Psychophysics*, *12*, 201-204.
- Eriksen, C. W., & St. James, J. D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & Psychophysics*, *40*, 225-240.
- Eriksen, C. W., & Yeh, Y.-Y. (1985). Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *11*, 583-597.
- Folk, C. L., Leber, A. B., & Egeth, H. E. (2002). Made you blink! Contingent attentional capture produces a spatial blink. *Perception & Psychophysics*, *64*, 741-753.
- Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 1030-1044.
- Goldsmith, M., & Yeari, M. (2003). Modulation of object-based attention by spatial focus under endogenous and exogenous orienting. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *29*, 897-918.
- Green, D. M., & Swets, J. A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. Oxford: John Wiley.

- Grindley, G. C., & Townsend, V. (1968). Voluntary attention in peripheral vision and its effects on acuity and differential thresholds. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *20*, 11-19.
- Hawkins, H. L., Hillyard, S. A., Luck, S. J., Mouloua, M., Downing, C. J., & Woodward, D. P. (1990). Visual attention modulates signal detectability. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *16*, 802-811.
- Heath, R. A. (1984). Response time and temporal order judgement in vision. *Australian Journal of Psychology*, *36*, 21-34.
- Helmholtz, H. v. (1910). *Handbuch der physiologischen Optik*. Hamburg und Leipzig: Leopold Voss (ursprünglich veröffentlicht 1866).
- Henderson, J. M. (1991). Stimulus discrimination following covert attentional orienting to an exogenous cue. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *17*, 91-106.
- Henderson, J. M. (1996). Spatial precues affect target discrimination in the absence of visual noise. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *22*, 780-787.
- Hikosaka, O., Miyauchi, S., & Shimojo, S. (1993). Focal visual attention produces illusory temporal order and motion sensation. *Vision Research*, *33*, 1219-1240.
- Hirsh, I. J., & Sherrick, C. E., Jr. (1961). Perceived order in different sense modalities. *Journal of Experimental Psychology*, *62*, 423-432.
- Hoffman, J. E. (1975). Hierarchical stages in the processing of visual information. *Perception & Psychophysics*, *18*, 348-354.
- Hoffman, J. E., & Subramaniam, B. (1995). The role of visual attention in saccadic eye movements. *Perception & Psychophysics*, *57*, 787-795.
- Hopfinger, J. B., Buonocore, M. H., & Mangun, G. R. (2000). The neural mechanisms of top-down attentional control. *Nature Neuroscience*, *3*, 284-291.
- Humphreys, G. W., & Riddoch, M. J. (1993). Interactions between object and space systems revealed through neuropsychology. In D. E. Meyer & S. Kornblum (Hrsg.), *Attention and performance XIV* (S. 143-162). Cambridge, MA: MIT Press.
- Ito, M., & Gilbert, C. D. (1999). Attention modulates contextual influences in the primary visual cortex of alert monkeys. *Neuron*, *22*, 593-604.
- James, W. (1950). *The principles of psychology* (Bd. 1). New York: Dover Publications (ursprünglich veröffentlicht 1890).
- Jonides, J. (1980). Towards a model of the mind's eye's movement. *Canadian Journal of Psychology*, *34*, 103-112.

- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. In J. Long & A. Baddeley (Hrsg.), *Attention and performance IX* (S. 187-203). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Jonides, J., & Mack, R. (1984). On the cost and benefit of cost and benefit. *Psychological Bulletin*, *96*, 29-44.
- Jonides, J., & Yantis, S. (1988). Uniqueness of abrupt visual onset in capturing attention. *Perception & Psychophysics*, *43*, 346-354.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kaplan, E. (2004). The M, P, and K pathways of the primate visual system. In L. M. Chalupa & J. S. Werner (Hrsg.), *The visual neurosciences* (Bd. 1, S. 481-493). Cambridge, MA: MIT Press.
- Kastner, S. (2004). Towards a neural basis of human visual attention: Evidence from functional brain imaging. In N. Kanwisher & J. Duncan (Hrsg.), *Attention and performance XX* (S. 301-320). New York: Oxford University Press.
- Kinchla, R. A. (1980). The measurement of attention. In R. S. Nickerson (Hrsg.), *Attention and performance VIII* (S. 213-238). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Klein, R. M. (1980). Does oculomotor readiness mediate cognitive control of visual attention? In R. Nickerson (Hrsg.), *Attention and performance VIII* (S. 259-275). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Klein, R. M. (1994). Perceptual-motor expectancies interact with covert visual orienting under conditions of endogenous but not exogenous control. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *48*, 167-181.
- Klein, R. M. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 138-147.
- Klein, R. M., Kingstone, A., & Pontefract, A. (1992). Orienting of visual attention. In K. Rayner (Hrsg.), *Eye movements and visual cognition: Scene perception and reading* (S. 46-65). New York, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Koffka, K. (1950). *Principles of Gestalt psychology*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Koshino, H., Warner, C. B., & Juola, J. F. (1992). Relative effectiveness of central, peripheral, and abrupt-onset cues in visual attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, *45*, 609-631.
- LaBerge, D., & Brown, V. (1989). Theory of attentional operations in shape identification. *Psychological Review*, *96*, 101-124.
- Lambert, A., & Duddy, M. (2002). Visual orienting with central and peripheral precues: Deconfounding the contributions of cue eccentricity, cue discrimination and spatial correspondence. *Visual Cognition*, *9*, 303-336.
- Lambert, A., Wells, I., & Kean, M. (2003). Do isoluminant color changes capture attention? *Perception & Psychophysics*, *65*, 495-507.

- Lee, D. K., Koch, C., & Braun, J. (1997). Spatial vision thresholds in the near absence of attention. *Vision Research*, *37*, 2409-2418.
- Levitt, J. B., Schumer, R. A., Sherman, S. M., Spear, P. D., & Movshon, J. A. (2001). Visual response properties of neurons in the LGN of normally reared and visually deprived macaque monkeys. *Journal of Neurophysiology*, *85*, 2111-2129.
- Livingstone, M., & Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: Anatomy, physiology, and perception. *Science*, *240*, 740-749.
- Loftus, G. R. (2002). Analysis, interpretation, and visual presentation of experimental data (Bd. 4). In H. Pashler (Hrsg.), *Stevens' handbook of experimental psychology* (S. 339-390). New York: John Wiley & Sons.
- Lu, Z.-L., & Doshier, B. A. (2000). Spatial attention: Different mechanisms for central and peripheral temporal precues? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *26*, 1534-1548.
- Luck, S. J. (1998). Neurophysiology of selective attention. In H. Pashler (Hrsg.), *Attention* (S. 257-295). Hove: Psychology Press.
- Luck, S. J., Chelazzi, L., Hillyard, S. A., & Desimone, R. (1997). Neural mechanisms of spatial selective attention in areas V1, V2, and V4 of macaque visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, *77*, 24-42.
- Luck, S. J., Hillyard, S. A., Mouloua, M., & Hawkins, H. L. (1996). Mechanisms of visual-spatial attention: Resource allocation or uncertainty reduction? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *22*, 725-737.
- Luck, S. J., & Thomas, S. J. (1999). What variety of attention is automatically captured by peripheral cues? *Perception & Psychophysics*, *61*, 1424-1435.
- Lupiáñez, J., Decaix, C., Siéoff, E., Chokron, S., Milliken, B., & Bartolomeo, P. (2004). Independent effects of endogenous and exogenous spatial cueing: Inhibition of return at endogenously attended target locations. *Experimental Brain Research*, *159*, 447-457.
- Lyon, D. R. (1990). Large and rapid improvement in form discrimination accuracy following a location precue. *Acta Psychologica*, *73*, 69-82.
- Macmillan, N. A., & Creelman, C. D. (1991). *Detection theory: A user's guide*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mäkelä, P., Rovamo, J., & Whitaker, D. (1994). Effects of luminance and external temporal noise on flicker sensitivity as a function of stimulus size at various eccentricities. *Vision Research*, *34*, 1981-1991.
- Mangun, G. R. (1995). Neural mechanisms of visual selective attention. *Psychophysiology*, *32*, 4-18.

-
- Mangun, G. R., Hillyard, S. A., & Luck, S. J. (1993). Electrocortical substrates of visual selective attention. In D. E. Meyer & S. Kornblum (Hrsg.), *Attention and performance XIV* (S. 219-243). Cambridge, MA: MIT Press.
- Mattes, S., & Ulrich, R. (1998). Directed attention prolongs the perceived duration of a brief stimulus. *Perception & Psychophysics*, *60*, 1305-1317.
- Mayfrank, L., Kimming, H., & Fischer, B. (1987). The role of attention in the preparation of visually guided saccadic eye movements in man. In J. K. O'Regan & A. Levy-Schoen (Hrsg.), *Eye movements: From physiology to cognition* (S. 37-45). Amsterdam: North-Holland.
- McAuliffe, J., & Pratt, J. (2005). The role of temporal and spatial factors in the covert orienting of visual attention tasks. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, *69*, 285-291.
- Merigan, W. H., & Maunsell, J. H. R. (1993). How parallel are the primate visual pathways? *Annual Review of Neuroscience*, *16*, 369-402.
- Miller, J., & Ulrich, R. (2003). Simple reaction time and statistical facilitation: A parallel grains model. *Cognitive Psychology*, *46*, 101-151.
- Miller, J., & Ulrich, R. (2004). A computer program for Spearman-Kärber and Probit analysis of psychometric function data. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, *36*, 11-16.
- Moran, J., & Desimone, R. (1985). Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex. *Science*, *229*, 782-784.
- Motter, B. C. (1993). Focal attention produces spatially selective processing in visual cortical areas V1, V2, and V4 in the presence of competing stimuli. *Journal of Neurophysiology*, *70*, 909-919.
- Mowrer, O. H. (1941). Preparatory set (expectancy) - further evidence of its 'central' locus. *Journal of Experimental Psychology*, *28*, 116-133.
- Müller, H. J., & Findlay, J. M. (1987). Sensitivity and criterion effects in the spatial cuing of visual attention. *Perception & Psychophysics*, *42*, 383-399.
- Müller, H. J., & Findlay, J. M. (1988). The effect of visual attention on peripheral discrimination thresholds in single and multiple element displays. *Acta Psychologica*, *69*, 129-155.
- Müller, H. J., & Humphreys, G. W. (1991). Luminance-increment detection: Capacity-limited or not? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *17*, 107-124.
- Müller, H. J., & Krummenacher, J. (2002). Aufmerksamkeit. In J. Müsseler & W. Prinz (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (S. 118-177). Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.

- Müller, H. J., & Rabbitt, P. M. (1989). Reflexive and voluntary orienting of visual attention: Time course of activation and resistance to interruption. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *15*, 315-330.
- Nakayama, K., & Mackeben, M. (1989). Sustained and transient components of focal visual attention. *Vision Research*, *29*, 1631-1647.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Neumann, O. (1990). Direct parameter specification and the concept of perception. *Psychological Research*, *52*, 207-215.
- Neumann, O., Esselmann, U., & Klotz, W. (1993). Differential effects of visual-spatial attention on response latency and temporal-order judgment. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, *56*, 26-34.
- O'Connor, D. H., Fukui, M. M., Pinsk, M. A., & Kastner, S. (2002). Attention modulates responses in the human lateral geniculate nucleus. *Nature Neuroscience*, *5*, 1203-1209.
- Ogmen, H., Breitmeyer, B. G., & Melvin, R. (2003). The what and where in visual masking. *Vision Research*, *43*, 1337-1350.
- Pashler, H. E. (1998). *The psychology of attention*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Pestilli, F., & Carrasco, M. (2005). Attention enhances contrast sensitivity at cued and impairs it at uncued locations. *Vision Research*, *45*, 1867-1875.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*, 3-25.
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In H. Bouma & D. G. Bouwhuis (Hrsg.), *Attention and performance X* (S. 531-556). Hillsdale, NJ: Earlbaum.
- Posner, M. I., Nissen, M. J., & Ogden, W. C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H. L. Pick & E. Saltzman (Hrsg.), *Modes of perceiving and processing information* (S. 137-157). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Posner, M. I., Snyder, C. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, *109*, 160-174.
- Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (1975). Facilitation and inhibition in the processing of signals. In P. M. A. Rabbitt & S. Dornic (Hrsg.), *Attention and performance V* (S. 669-682). London: Academic Press.
- Pratt, J., & Quilty, L. (2002). Examining the activity-distribution model of visual attention with exogenous cues and targets. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, *55*, 627-641.

-
- Prinzmetal, W., Amiri, H., Allen, K., & Edwards, T. (1998). Phenomenology of attention: I. Color, location, orientation, and spatial frequency. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *24*, 261-282.
- Prinzmetal, W., McCool, C., & Park, S. (2005). Attention: Reaction time and accuracy reveal different mechanisms. *Journal of Experimental Psychology: General*, *134*, 73-92.
- Raab, D. H. (1962). Statistical facilitation of simple reaction times. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, *24*, 574-590.
- Reinitz, M. T. (1990). Effects of spatially directed attention on visual encoding. *Perception & Psychophysics*, *47*, 497-505.
- Remington, R. W., Johnston, J. C., & Yantis, S. (1992). Involuntary attentional capture by abrupt onsets. *Perception & Psychophysics*, *51*, 279-290.
- Reynolds, J. H., & Chelazzi, L. (2004). Attentional modulation of visual processing. *Annual Review of Neuroscience*, *27*, 611-647.
- Riggio, L., & Kirsner, K. (1997). The relationship between central cues and peripheral cues in covert visual orientation. *Perception & Psychophysics*, *59*, 885-899.
- Ristic, J., Friesen, C. K., & Kingstone, A. (2002). Are eyes special? It depends on how you look at it. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*, 507-513.
- Rizzolatti, G., Riggio, L., & Sheliga, B. M. (1994). Space and selective attention. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Hrsg.), *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing* (S. 232-265). Cambridge, MA: MIT Press.
- Rolke, B., Dinkelbach, A., Hein, E., & Ulrich, R. (eingereicht). Does attention impair temporal discrimination? Examining non-attentional accounts. *Psychological Research*.
- Santee, J. L., & Egeth, H. E. (1982). Do reaction time and accuracy measure the same aspects of letter recognition? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *8*, 489-501.
- Scharlau, I. (2004). Evidence against response bias in temporal order tasks with attention manipulation by masked primes. *Psychological Research*, *68*, 224-236.
- Scharlau, I., & Ansorge, U. (2003). Direct parameter specification of an attention shift: Evidence from perceptual latency priming. *Vision Research*, *43*, 1351-1363.
- Scharlau, I., & Neumann, O. (2003). Perceptual latency priming by masked and unmasked stimuli: Evidence for an attentional interpretation. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, *67*, 184-196.
- Schiller, P. H., & Logothetis, N. K. (1990). The color-opponent and broad-band channels of the primate visual system. *Trends in Neurosciences*, *13*, 392-398.

- Schmidt, W. C., & Klein, R. M. (1997). A spatial gradient of acceleration and temporal extension underlies three illusions of motion. *Perception, 26*, 857-874.
- Schmolesky, M. T., Wang, Y., Hanes, D. P., Thompson, K. G., Leutgeb, S., Schall, J. D., & Leventhal (1998). Signal timing across the macaque visual system. *Journal of Neurophysiology, 79*, 3272-3278.
- Schneider, K. A., & Bavelier, D. (2003). Components of visual prior entry. *Cognitive Psychology, 47*, 333-366.
- Schneider, W. X. (1993). Space-based visual attention models and object selection: Constraints, problems, and possible solutions. *Psychological Research/Psychologische Forschung, 56*, 35-43.
- Sekuler, A. B., & Bennett, P. J. (2001). Generalized common fate: Grouping by common luminance changes. *Psychological Science, 12*, 437-444.
- Shalev, L., & Tsal, Y. (2002). Detecting gaps with and without attention: Further evidence for attentional receptive fields. *European Journal of Cognitive Psychology, 14*, 3-26.
- Shaw, M. L. (1984). Division of attention among spatial locations: A fundamental difference between detection of letters and detection of luminance increments. In H. Bouma & D. G. Bouwhuis (Hrsg.), *Attention and performance X* (S. 109-121). London: Erlbaum.
- Shiffrin, R. M., & Gardner, G. T. (1972). Visual processing capacity and attentional control. *Journal of Experimental Psychology, 93*, 72-82.
- Shiu, L.-P., & Pashler, H. (1994). Negligible effect of spatial precuing on identification of single digits. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 20*, 1037-1054.
- Shore, D. I., Spence, C., & Klein, R. M. (2001). Visual prior entry. *Psychological Science, 12*, 205-211.
- Smith, P. L. (2000). Attention and luminance detection: Effects of cues, masks, and pedestals. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 26*, 1401-1420.
- Smith, P. L., Ratcliff, R., & Wolfgang, B. J. (2004). Attention orienting and the time course of perceptual decisions: Response time distributions with masked and unmasked displays. *Vision Research, 44*, 1297-1320.
- Smith, P. L., & Wolfgang, B. J. (2004). The attentional dynamics of masked detection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 30*, 119-136.
- Snowden, R. J., Willey, J., & Muir, J. L. (2001). Visuospatial attention: The role of target contrast and task difficulty when assessing the effects of cues. *Perception, 30*, 983-991.

- Solomon, J. A. (2004). The effect of spatial cues on visual sensitivity. *Vision Research, 44*, 1209-1216.
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentation. *Psychological Monographs, 74*, 1-29.
- Stelmach, L. B., & Herdman, C. M. (1991). Directed attention and perception of temporal order. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 17*, 539-550.
- Stelmach, L. B., Herdman, C. M., & McNeil, K. R. (1994). Attentional modulation of visual processes in motion perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 20*, 108-121.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. *Acta Psychologica, 30*, 276-315.
- Sternberg, S., & Knoll, R. L. (1973). The perception of temporal order: Fundamental issues and a general model. In S. Kornblum (Hrsg.), *Attention and performance IV* (S. 629-685). New York: Academic Press.
- Tipples, J. (2002). Eye gaze is not unique: Automatic orienting in response to uninformative arrows. *Psychonomic Bulletin & Review, 9*, 314-318.
- Treisman, A. (1991). Search, similarity, and integration of features between and within dimensions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 17*, 652-676.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology, 12*, 97-136.
- Treue, S., & Maunsell, J. H. R. (1996). Attentional modulation of visual motion processing in cortical areas MT and MST. *Nature, 382*, 539-541.
- Tse, P. U., Intriligator, J., Rivest, J., & Cavanagh, P. (2004). Attention and the subjective expansion of time. *Perception & Psychophysics, 66*, 1171-1189.
- Tse, P. U., Sheinberg, D. L., & Logothetis, N. K. (2003). Attentional enhancement opposite a peripheral flash revealed using change blindness. *Psychological Science, 14*, 91-99.
- Ulrich, R. (1987). Threshold models of temporal-order judgments evaluated by a ternary response task. *Perception & Psychophysics, 42*, 224-239.
- Visser, T. A., & Enns, J. T. (2001). The role of attention in temporal integration. *Perception, 30*, 135-145.
- Warner, C. B., Juola, J. F., & Koshino, H. (1990). Voluntary allocation versus automatic capture of visual attention. *Perception & Psychophysics, 48*, 243-251.
- Wright, R. D., & Richard, C. M. (1996). Inhibition-of-return at multiple locations in visual space. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 50*, 324-327.

- Yantis, S. (1993). Stimulus-driven attentional capture and attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *19*, 676-681.
- Yantis, S. (1998). Control of visual attention. In H. Pashler (Hrsg.), *Attention* (S. 223). Hove: Psychology Press.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1990). Abrupt visual onsets and selective attention: Voluntary versus automatic allocation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *16*, 121-134.
- Yeshurun, Y. (2004). Isoluminant stimuli and red background attenuate the effects of transient spatial attention on temporal resolution. *Vision Research*, *44*, 1375-1387.
- Yeshurun, Y., & Carrasco, M. (1998). Attention improves or impairs visual performance by enhancing spatial resolution. *Nature*, *396*, 72-75.
- Yeshurun, Y., & Carrasco, M. (1999). Spatial attention improves performance in spatial resolution tasks. *Vision Research*, *39*, 293-306.
- Yeshurun, Y., & Carrasco, M. (2000). The locus of attentional effects in texture segmentation. *Nature Neuroscience*, *3*, 622-627.
- Yeshurun, Y., & Levy, L. (2003). Transient spatial attention degrades temporal resolution. *Psychological Science*, *14*, 225-231.

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Elisabeth Hein
 Anschrift: Ebertstr. 25/2
 72072 Tübingen
 Geburtsdatum: 15.06.1978
 Geburtsort: Karlsruhe

Schulbildung

1984-1988	Grundschule: Schloßschule Karlsruhe-Durlach
1988-1997	Markgrafen-Gymnasium Karlsruhe-Durlach
Juni 1997	Abitur

Hochschulstudium

1997-1998	Studium der Medizin an der Université Louis Pasteur, Faculté de Medecine (Strasbourg).
1998-2002	Studium der Psychologie an der Université Louis Pasteur, Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education (Strasbourg).
Juli 2002	Maîtrise de psychologie dominante de psychologie cognitive et expérimentale (experimentelle Diplomarbeit bei Prof. Claude Bonnet)

Promotionsstudium

Seit Oktober 2002	Promotionsstudentin in der Arbeitsgruppe Allgemeine und Biologische Psychologie, Eberhard Karls Universität Tübingen und Stipendiatin des Graduiertenkollegs Kognitive Neurobiologie (Tübingen).
Aug. – Sept. 2004	Forschungsaufenthalt an der Penn State University (State College, Pennsylvania, USA) bei Cathleen Moore (PhD).

Tübingen, im November 2005