

**Fachbereich Erziehungswissenschaft und Psychologie
der Freien Universität Berlin**

**Einfluss der Eigenschaftsdimension auf die Wirkung
inhibitorischer Prozesse im Paradigma der
distraktorinduzierten Blindheit**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

vorgelegt von

Dipl.-Psych. Gesche Winther

Berlin, 2017

Erstgutachter

Prof. Dr. Michael Niedeggen

Zweitgutachter

Prof. Dr. Stefan Krumm

Datum der Disputation: 26. Februar 2018

Inhalt

Abkürzungen und Fachbegriffe	4
Zusammenfassung.....	6
Abstract.....	7
Übersicht über die Teilabschnitte des Kumulus‘	8
1. Einleitung	9
1.1 Wirkweise top down geleiteter dimensionsbasierter Stimulusselektion.....	9
1.2 Einfluss verschiedener Eigenschaftsdimensionen auf Inhibitionsprozesse	14
1.3 Ziele und Gültigkeitsbereich der vorliegenden Arbeit.....	17
2. Allgemeine Methode.....	18
3. Zusammenfassung der Befunde	21
3.1 Bewirkt eine unwillkürliche Distraktorverstärkung auf Basis eines <i>target templates</i> die im DIB-Paradigma beobachtbaren Performance-Einbußen?	21
3.2 Ist der dem DIB-Effekt mutmaßlich zu Grunde liegende Inhibitionsprozess dimensionsübergreifend?	25
3.3 Hängt das Ausmaß des DIB-Effekts von der Eigenschaftsdimension, welche Distraktor und Zielreiz definiert ab?	30
4. Diskussion und Ausblick	34
5. Literatur	41
6. Originalarbeiten.....	48
7. Anteilserklärung.....	49
9. Eidesstattliche Erklärung.....	50
Danksagung	51

Abkürzungen und Fachbegriffe

Fachbegriffe, die in diesem Glossar erläutert werden, sind im Text kursiv geschrieben

ANOVA: Varianzanalyse

Attentional capture: beschreibt das Phänomen, dass ein Reiz unwillkürlich die Aufmerksamkeit auf sich zieht und infolgedessen bevorzugt verarbeitet wird (was ggf. Verarbeitungskapazitäten für andere Reize beschränkt).

Attentional set: Aufgrund von Vorerfahrungen bzw. Aufgabe sind im attentional set jene Eigenschaften, die bevorzugt verarbeitet werden sollen sowie solche Eigenschaften, die ignoriert werden sollen, gespeichert. Auf Grundlage des attentional sets wird die Aufmerksamkeit mittels Verstärkung und Inhibition zielorientiert gelenkt und der Zugang zum Arbeitsgedächtnis reguliert.

Boost: Top down geleitete neuronale Verstärkung von im ►attentional set gespeicherten Zielreizeigenschaften (Begriff aus der ► Boost and Bounce Theory).

Boost and Bounce theory of temporal attention: Theorie von Olivers und Meeter (2008), wonach der Zugang zum Arbeitsgedächtnis durch ein ►attentional set reguliert wird, in dem abgespeichert ist, welche Eigenschaften verstärkt (►boost) und welche abgeschwächt (►bounce) werden sollten. Auf Grundlage dessen wird die sensorische Aktivität moduliert.

Bottom-up Aufmerksamkeit: Stimulusgeleitete Aufmerksamkeitslenkung; Informationen werden in ausschließlicher Vorwärtsrichtung aufgrund der Stimulussalienz weitergegeben. Dies geschieht unabhängig von Aufgabe und Zielen.

Bounce: Neuronale inhibitorische Reaktion auf im ►attentional set gespeicherte Stimuli, welche Distraktoreigenschaften aufweisen (► Boost and Bounce Theory)

Contingent attentional capture: ► attentional capture; Ein Reiz zieht unwillkürlich die Aufmerksamkeit auf sich und wird verarbeitet, weil er (teilweise) die Eigenschaften eines vordefinierten Zielreizes aufweist (► target template)

DIB: Distraktor-induzierte Blindheit, die Präsentation multipler zielreizgleicher Distraktoren in einem ►RSVP-task bewirkt, dass ein darauffolgender Zielreiz mit geringerer Wahrscheinlichkeit wahrgenommen werden kann.

Distraktor: Störreiz, welcher für die Bearbeitung einer Aufgabe nicht genutzt werden kann

Distractor previewing effect: Reaktionszeitenverlangsamung bei der Reaktion auf einen einzigartigen Zielreiz (Singleton), wenn im vorangegangenen Durchgang (n-1), in dem ausschließlich Distraktoren präsentiert wurden, diese die Eigenschaften aufgewiesen haben, die im aktuellen Durchgang (n) den Zielreiz definieren. Reaktionszeitenbeschleunigung, wenn im vorangegangenen Durchgang (n-1) die Distraktorstimuli die Eigenschaften aufgewiesen haben, die im aktuellen Durchgang (n) ebenfalls die Distraktoren definieren.

Distractor template: vordefinierte Schablone, welche Distraktoreigenschaften beinhaltet, auf deren Grundlage Stimuli, welche diese Eigenschaften aufweisen, unwillkürlich inhibiert werden

Eigenschaftsdimensionen: Dimensionen, nach denen Stimuli definiert werden können, beispielsweise Farbe, Orientierung, Bewegung, Größe, Form etc., diese Dimensionen sind weiter unterteilbar in die einzelnen Eigenschaften (z.B. Dimension= Farbe; Eigenschaft= rot)

EKP: Ereigniskorreliertes Potential; An der Kopfoberfläche messbare, gemittelte elektrophysiologische Reaktion auf ein bestimmtes Ereignis, ein EKP wird anhand von Latenz (Zeitpunkt des Auftretens in Relation zum Ereignis), Polarität (Negativierung versus Positivierung) und Topographie (räumliche Verteilung auf der Skalpoberfläche) definiert.

EEG: Elektroenzephalographie

Feature based attention: Aufmerksamkeitslenkung anhand der Eigenschaft bzw. der Eigenschaftsdimension eines Reizes.

Frontale Negativität: typisches, im ► DIB-Paradigma beobachtbares ► ereigniskorreliertes Potential, welches ca. 250- 450 ms nach Distraktorpräsentation auftritt. Die frontale Negativität steigt in ihrer Amplitude mit steigender Anzahl vorausgegangener Distraktoren und gilt als Korrelat des der DIB zu Grunde liegenden Inhibitionsprozesses.

Gating: beschreibt den Vorgang der Zugangsregulation zum Arbeitsgedächtnis auf Grundlage der Stimuluseigenschaften durch inhibitorische und exzitatorische Prozesse (► Boost and Bounce theory).

Grand Average: mittlere EEG-Kurve (gemittelt über alle Probanden sowie pro Proband über alle Durchgänge einer Bedingung).

Probe-Distraktoren: Distraktoren, anhand derer die EEG-Aufzeichnung in relevante, zu analysierende Abschnitte segmentiert wird.

RDK: Random dot kinematogram; Darbietung einer Anzahl sich zufällig bewegender Punkte auf dem Bildschirm.

RSVP: Rapid Serial Visual Presentation; schnelle zeitliche Abfolge visueller Reize auf dem Bildschirm.

SOA: Stimulus onset asynchrony; definiert den zeitlichen Abstand der Darbietung zweier Reize in einer ► RSVP-Sequenz

Target template: vordefinierte Schablone, welche Zielreizeigenschaften beinhaltet, auf deren Grundlage Stimuli, welche diese Eigenschaften aufweisen, unwillkürlich hervorgehoben und bevorzugt weiterverarbeitet werden

Top-down Aufmerksamkeit: Aufgaben-/Zielgeleitete Aufmerksamkeitslenkung; Aufgrund bekannter Aufgabenziele wird die Aufmerksamkeit dahingehend gelenkt, dass relevante Stimuli verstärkt und irrelevante Stimuli inhibiert werden.

Zusammenfassung

Top-down-geleitete Aufmerksamkeitsmodulation beruht auf zwei komplementären Prozessen: Relevante Stimuli werden attentional hervorgehoben und irrelevante Stimuli inhibiert (Driver, 2001). Während Verstärkungsprozesse in ihrem Auftreten und ihrer Ausprägung von der Dimension der Stimuluseigenschaften beeinflusst sind, ist die diesbezügliche Befundlage in Bezug auf Inhibitionsprozesse weniger eindeutig (Girelli & Luck, 1997; Lange-Malecki & Treue, 2012; Sakagami et al., 2006). Das Paradigma der distraktorinduzierten Blindheit (DIB) scheint geeignet, die Frage nach der Dimensionsunabhängigkeit inhibitorischer Mechanismen zu untersuchen: In einer raschen Reizsequenz wird mittels Tastendruck auf einen Zielreiz, welcher durch einen gleichzeitigen oder vorangehenden Hinweisreiz als solcher gekennzeichnet ist, reagiert. Wenn in dem Zeitraum vor Präsentation des Hinweisreizes zielreizgleiche Distraktoren präsentiert werden, sinkt die Zielreizdetektionsrate. Dies geschieht mutmaßlich aufgrund einer distraktorinduzierten unwillkürlichen Zielreizinhibition (Sahraie et al., 2001). Alternativ ist es jedoch ebenfalls denkbar, dass eine unwillkürliche Distraktorverstärkung verantwortlich für den Effekt ist, welche verhindert, dass der zeitlich nachfolgende Zielreiz ausreichend Verarbeitungskapazitäten zur Verfügung hat. Diese Alternativerklärung wurde in der vorliegenden Arbeit zunächst ausgeschlossen, um im Anschluss untersuchen zu können, inwieweit die Effekte tatsächlich dimensionsübergreifend sind. Dafür wurde das DIB-Paradigma, welches bisher nur mit bewegungsassoziierten Reizen durchgeführt wurde, mit farbigen Reizen getestet. Wenn Hinweis- und Zielreiz gleichzeitig präsentiert wurden, bewirkten zielreizgleiche Farb-Distraktoren eine Reduktion der Trefferquote. Je mehr Distraktoren präsentiert wurden, desto stärker war dieser Effekt. Korrespondierend dazu steigerte sich mit steigender Distraktoranzahl eine frontale Negativität im distraktorkorrelierten EEG-Potential. All diese Effekte waren in vorherigen Studien in Bezug auf Bewegungs-DIB beobachtet worden (Niedeggen et al., 2012). Dies wurde so interpretiert, dass der mutmaßlich zu Grunde liegende Inhibitionsprozess in seiner grundlegenden Natur dimensionsübergreifend ist. Im Folgenden konnte jedoch gezeigt werden, dass die Effektivität dieses Prozesses keineswegs unabhängig von der Dimension der visuellen Eigenschaft ist: Der Farb-DIB-Effekt war unter gleichen Bedingungen wesentlich stärker ausgeprägt als der Bewegungs-DIB-Effekt. Die Daten legen den Schluss nahe, dass für DIB kein unwillkürlicher Distraktorverstärkungsprozess, sondern vielmehr ein dimensionsübergreifender Inhibitionsprozess verantwortlich ist, der in seiner Effektivität von den distraktor- und zielreizdefinierenden Dimension abhängig ist.

Abstract

Top-down-modulated attention relies on two complementary processes: Relevant stimuli are attentionally enhanced and irrelevant stimuli are inhibited (Driver, 2001). While enhancement processes are known to be influenced by the stimulus dimension that defines target and distractors, evidence is less consistent with regard to inhibition processes (e.g. Girelli & Luck, 1997; Lange-Malecki & Treue, 2012; Sakagami et al., 2006). The distractor induced blindness (DIB) paradigm appears suitable to address the question of whether inhibitory mechanisms depend on the feature dimension. Participants are instructed to respond by button press to a target which is signaled by a concurrent or preceding cue in a rapid stream of events. If target-like distractors are presented prior to the cue, target detection rates decrease. It has been suggested that a distractor-induced involuntary target inhibition is responsible for this effect (Sahraie et al., 2001). However, it is also possible, that the effect is due to an involuntary enhancement of distractor stimuli that requires processing capacities that are hence not available for target processing. This alternative explanation was ruled out in a first study before the dimension comprehensiveness of the effect was analyzed. The latter was implemented by extending the DIB-paradigm – which previously had only been tested using dynamic stimuli – to color stimuli. The characteristic distractor-induced reduction of the target detection rate was particularly expressed when cue and target were presented in temporal proximity. The more distractors were presented, the more pronounced was the effect on target detection rates. Correspondingly, a frontal negativity in the distractor correlated EEG potential increased with an increasing number of distractors. All those effects have previously been observed in DIB tasks using dynamic stimuli (Niedeggen et al., 2012). This was interpreted in favor of a dimension comprehensive inhibition process underlying the DIB effect. It was then shown that the effectivity of the process depended on the dimension of the visual feature: In a similar setting, the color-DIB-effect was significantly more pronounced than the motion-DIB-effect. The data suggest that instead of an involuntary distractor enhancement process, an involuntary target inhibition process is responsible for DIB. The latter is dimension comprehensive and depends in its effectiveness on the distractor and target defining feature dimension.

Übersicht über die Teilabschnitte des Kumulus‘

Einleitung

Zunächst wird die grundlegende Wirkweise von top down geleiteter Stimulusselektion erläutert, und die Rolle von Inhibitionsprozessen (im Gegensatz von Verstärkungsprozessen) dargelegt, bevor der mögliche Einfluss verschiedener Eigenschaftsdimensionen speziell auf Inhibitionsprozesse betrachtet wird

Allgemeine Methode

Das in allen Studien verwendete Paradigma der distraktorinduzierten Blindheit wird beschrieben und erklärt. Dabei wird auf die Modifizierbarkeit des Paradigmas, sowie in der vorliegenden Arbeit verwendete unabhängige und abhängige Variablen eingegangen.

Zusammenfassungen

In diesem Abschnitt werden die bereits veröffentlichten bzw. eingereichten Originalarbeiten, aus denen sich diese Arbeit zusammensetzt, umrissen. Es wird jeweils ein Überblick über Fragestellung, Methode, Ergebnisse und deren Bedeutung gegeben.

Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Studien werden in ihrer Gesamtheit diskutiert. Im Anschluss werden mögliche Ursachen für die Befundlage diskutiert und ein Modell der Stimulusinhibition unter Einbeziehung mutmaßlicher stimulusbasierter Einflussfaktoren vorgestellt. Abschließend wird ein kurzer Ausblick bezüglich potentieller zukünftiger Forschung unter Berücksichtigung der inhaltlichen Relevanz gegeben.

Anmerkung zur Form: In der vorliegenden Arbeit wird in Bezug auf personenbezogene Information die männliche Form verwendet. Dies soll der besseren Lesbarkeit dienen, hat jedoch keine inhaltliche Bedeutung. Vielmehr sind Pronomen sowie personenbezogene Bezeichnungen als geschlechtsneutral zu verstehen.

1. Einleitung

1.1 Wirkweise top down geleiteter dimensionsbasierter Stimulusselektion

Objekte können in Hinblick auf unterschiedliche Dimensionen visueller Eigenschaften zerlegt werden. In Bezug auf primäre visuelle Eigenschaftsdimensionen, wie Farbe Bewegung, Orientierung oder Größe ist bekannt, dass sie unabhängig (Treisman, 1988) und spezifisch (Schandry, 2003; Tootell & Nasr, 2017; Vaina, 1994; Zeki et al., 1991) verarbeitet werden. Bereits sehr früh in der Wahrnehmung, vom Zeitpunkt an, zu dem ein visuelles Perzept auf unsere Retina projiziert wird (Zeki & Shipp, 1988), kodieren spezifische Zellen für unterschiedliche Dimensionen (oder Module, Treisman, 1988). Die neurophysiologische Weiterverarbeitung der jeweiligen Dimension hängt mutmaßlich von der mit dieser Dimension zusammenhängenden Funktion ab (Milner & Goodale, 2006). Man nimmt an, dass Dimensionen, welche für die Identifizierung von Objekten essentiell sind, überwiegend über den ventralen Pfad verarbeitet werden, welcher vom visuellen zum inferotemporalen Kortex projiziert. Von Dimensionen, welche in Bezug zu räumlichen Zusammenhängen oder direkt zu Aktionen stehen nimmt man an, dass sie überwiegend entlang des dorsalen Pfades verarbeitet werden, welcher vom visuellen zum parietalen Kortex projiziert (Mishkin et al., 1983; Milner and Goodale, 2006).¹

Ob eine Reizeigenschaft angesichts der systemüberfordernden Menge an verfügbaren Reizen jedoch überhaupt weiterverarbeitet wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Eine erhebliche Rolle bei der Selektion der Reize spielen aufmerksamkeitsbasierte Prozesse (Houghton & Tipper, 1994). Neben einer rein durch die Stimuluseigenschaft determinierten Aufmerksamkeitslenkung (*Bottom-up*; z.B. durch physikalische Salienz), ist es vor allem die willentliche, von den Motiven und Zielen des jeweiligen Subjekts bzw. vom individuell relevanten Kontext abhängige Aufmerksamkeitslenkung (*Top-down*), auf deren Basis ein Stimulus weiterverarbeitet wird (Theeuwes, 2010). Insbesondere klassische Theorien selektiver Aufmerksamkeit gehen davon aus, dass *top-down* geleitete attentionale Selektion in erster Linie mittels Zielreizverstärkung funktioniert (Vgl. „Spotlight-Metapher“, Posner, 1980; Brefczynski & DeYoe, 1999; „Zoom lense-Metapher“, Eriksen, & James, 1986). Gerade

¹ Es sollte angemerkt werden, dass diese Sichtweise sehr vereinfacht dargestellt ist. Üblicherweise wird man in der Umwelt gleichzeitig mit räumlichen sowie objektspezifischen Informationen konfrontiert, die nicht unabhängig voneinander sind. Eine strenge Separierung der beiden Pfade würde schon aus diesem Grund wenig Sinn machen. Es gibt viel Evidenz für die Beteiligung beider Pfade bei der Verarbeitung visueller Eigenschaften bzw. für deren Interaktion, z.B. Claeys et al., 2004; Faillenot et al., 2001, and Ferrera et al., 1994

1. Einleitung

aktuellere Theorien nehmen hingegen meist explizit eine zusätzliche inhibitorische Komponente der Stimulusselektion an (Hasher et al., 2007; Houghton & Tipper, 1994; Olivers & Meeter, 2008, aber siehe MacLeod, 2003).

Ein Beispiel für eine solche Theorie ist die *Boost and Bounce Theory of Temporal Attention* von Olivers und Meeter (2008, siehe Abb. 1). Die Autoren gehen von zwei Ebenen der *Top-down* geleiteten Stimulusselektion aus: In der sensorischen Verarbeitungsebene werden Eigenschaftsrepräsentationen aktiviert. Diese sind im System separat repräsentiert und hierarchisch sortiert (von simpel zu komplex). In der Ebene des Arbeitsgedächtnisses werden die Regeln einer Aufgabe implementiert und aufrechterhalten, um relevanten Input mit der relevanten Antwort zu paaren. Durch das Arbeitsgedächtnis wird außerdem verhindert, dass irrelevante Information diese Prozesse stört. Dies geschieht durch einen Input-Filter (*attentional set*), welcher auf Basis relativ weit gefasster Kategorien (z.B. Zielreiz = Buchstabe), den Zugang relevanter Information ermöglicht und den Zugang irrelevanter Information verhindert (*gating*). Wenn eine Stimuluseigenschaft in die Zielreizkategorie fällt, bewirkt der dazugehörige Stimulus eine reaktive Verstärkung (*boost*). Andersherum bewirkt ein Stimulus, dessen Eigenschaften in die Distraktorkategorie fallen, eine reaktive Inhibition (*bounce*) (Olivers & Meeter, 2008; siehe auch Bundesen et al., 2005; Desimone & Duncan, 1995; Driver, 2001; Houghton & Tipper, 1994; Lavie, 2000; Wolfe, 1994).

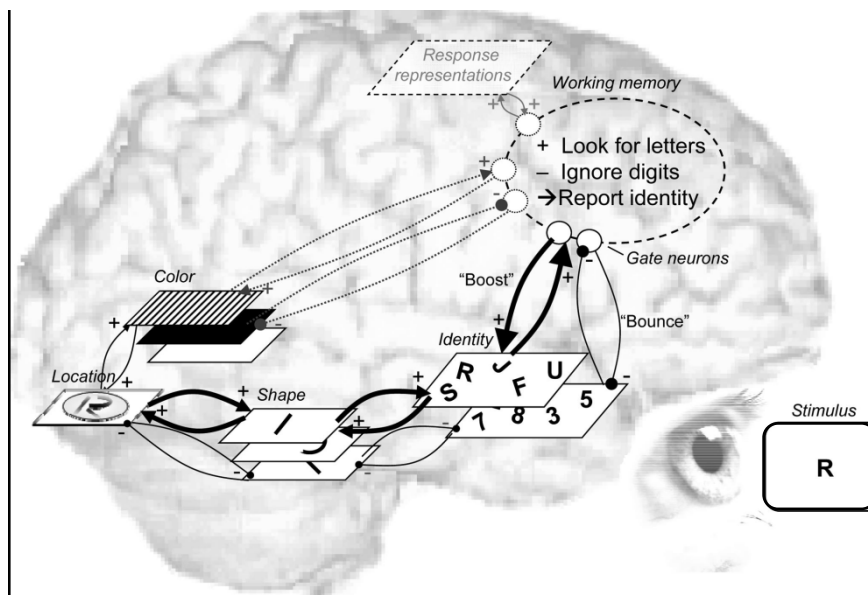


Abbildung 1: grafische Veranschaulichung der *Boost and Bounce theory of temporal attention*. Das *attentional set* (oben rechts) beinhaltet Informationen über Zielreizkategorien (hier: Buchstaben) und Distraktorkategorien (hier: Zahlen). Es bewirkt auf Basis dessen über *gating*-Neurone eine Verstärkung (*boost*; „+“) oder Inhibition (*bounce*; „-“) der jeweiligen Stimuluseigenschaften (in diesem Beispiel Ort, Farbe, Bewegung und Identität) Grafik aus Olivers und Meeter (2008)

1. Einleitung

Attentional sets können also beides beinhalten: Informationen über zu verstärkende Zielreizeigenschaften und Informationen über zu inhibierende Distraktoreigenschaften. Die daraus resultierenden Verstärkungs- und Inhibitionsprozesse beruhen jedoch auf unterschiedlichen neuronalen Netzwerken und agieren teilweise unabhängig voneinander (Wood & Simons, 2017). Der Unterscheidbarkeit halber, wird deshalb im Folgenden eine Unterteilung des *attentional sets* in *target template* (→Verstärkung von Zielreizeigenschaften: Awh et al., 2006; Vickery et al., 2005) und *distractor template* (→Inhibition von Distraktoreigenschaften: Ariga & Kawahara, 2004; Arita et al., 2012; Watson & Humphreys, 1997; Zhang et al., 2009) vorgenommen² und explizit zwischen Verstärkungs- und Inhibitionsprozessen unterschieden. In dieser Arbeit stehen die Folgen der Inhibitionsprozesse, welche auf postsensorischen Regulationsprozessen beruhen, im Vordergrund (s.u., Hay et al., 2006; Hesselmann et al., 2006; 2009; Michael et al., 2011; 2012; Milders et al., 2004; Niedeggen et al., 2004; 2012; 2015; Sahraie et al., 2001; Shin et al., 2008; Vogel et al., 1998).

Sowohl Verstärkungs- als auch Inhibitionsprozesse optimieren die Ressourcennutzung durch ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis und erleichtern beziehungsweise ermöglichen somit die Bearbeitung der Aufgabe (Bundesen, 1990). Sie können jedoch auch zu Fehlern in der Stimulusselektion führen. Dies geschieht nach Olivers und Meeter (2008) aus zwei Gründen: Zum einen sind *target* und *distractor templates* – wenn sie erst einmal aufgebaut sind – im individuellen Fall nicht willkürlich steuerbar. Vielmehr bewirken sie jedes Mal, wenn ein Stimulus Distraktoreigenschaften aufweist, eine unwillkürliche inhibitorische Reaktion beziehungsweise wenn ein Stimulus Zielreizeigenschaften aufweist, eine unwillkürliche Verstärkungsreaktion. Zum anderen ist zwecks Effizienz die jeweilige Kategorie, welche Distraktor- und Zielreiz definiert, relativ weit gefasst. Es werden also keine spezifischen Objekte (z.B. Distraktor = ein 3 cm großer grüner Frosch mit braunen Punkten) im *template* hinterlegt, sondern vielmehr übergreifendere Eigenschaften definiert (z.B. Distraktor = grün und klein etc.). Diese Ungenauigkeit ist zwar ökonomisch sinnvoll, bietet jedoch Raum für Fehlkategorisierungen (Olivers & Meeter, 2008).

² Anders als andere Autoren (z.B. Arita et al., 2012; Töllner et al., 2015) schlagen Olivers und Meeter (2008) diese explizite Unterscheidung nicht vor.

1. Einleitung

Wenn Distraktoren Zielreizeigenschaften aufweisen, kann dies auf Basis des *target templates* zu einer unwillkürlichen Verstärkung dieser Distraktorreize führen (*Contingent attentional capture*; Folk et al., 1992): Diese bewirkt, dass zunächst weniger Ressourcen für den Zielreiz verfügbar sind, welcher somit nur verzögert oder sogar gar nicht verarbeitet wird. Mit anderen Worten: Weil seine Eigenschaften mit den im *target template* abgespeicherten Eigenschaften übereinstimmen, zieht der irrelevante Reiz die Aufmerksamkeit auf sich und wird bis zu einem gewissen Grad verarbeitet, bevor die Aufmerksamkeit wieder gelöst und auf den eigentlichen Zielreiz gelenkt werden kann (Folk et al., 1992). Dieser zeitaufwändige Prozess ist auch dann beobachtbar, wenn Zielreiz und Distraktor räumlich nicht separiert sind, sondern stattdessen zu unterschiedlichen Zeitpunkten innerhalb einer Reizabfolge präsentiert werden (zunächst der Distraktor, dann der Zielreiz; Folk et al., 2008; Ghorashi et al., 2003).

Wenn der Zielreiz Distraktoreigenschaften aufweist, kann dies auf Basis des *distractor templates* zu einer unwillkürlichen Unterdrückung und damit zu einer unzureichenden Weiterverarbeitung dieses Zielreizes führen (Lleras et al., 2008; Loach & Marí-Beffa, 2003; Olivers & Humphreys, 2003; Olivers & Watson, 2006; Tipper, 1985; Zhang et al., 2009). Ein Beispiel hierfür ist das in der vorliegenden Arbeit verwendete Paradigma der distraktorinduzierten Blindheit (DIB): In einer raschen Reizsequenz wird ein Zielreiz dargeboten, dessen Erscheinen durch einen gleichzeitig oder kurz vorher präsentierten Hinweisreiz angekündigt wird (Abb. 2; genaue Aufgabe: siehe Methodenteil). Distraktoren, die durch die gleiche Eigenschaftsdimension wie der Zielreiz definiert sind (Michael et al., 2011; 2012; Niedeggen et al., 2012), führen zu einer Reduktion der Detektionswahrscheinlichkeit – wenn Hinweisreiz und Zielreiz gleichzeitig oder mit einer *stimulus onset asynchrony* (SOA: zeitlicher Abstand zwischen zwei Reizen) von weniger als 300 ms nacheinander präsentiert werden (Sahraie et al., 2001). Dieser Effekt verstärkt sich mit steigender Distraktoranzahl (Hesselmann et al., 2006).

1. Einleitung

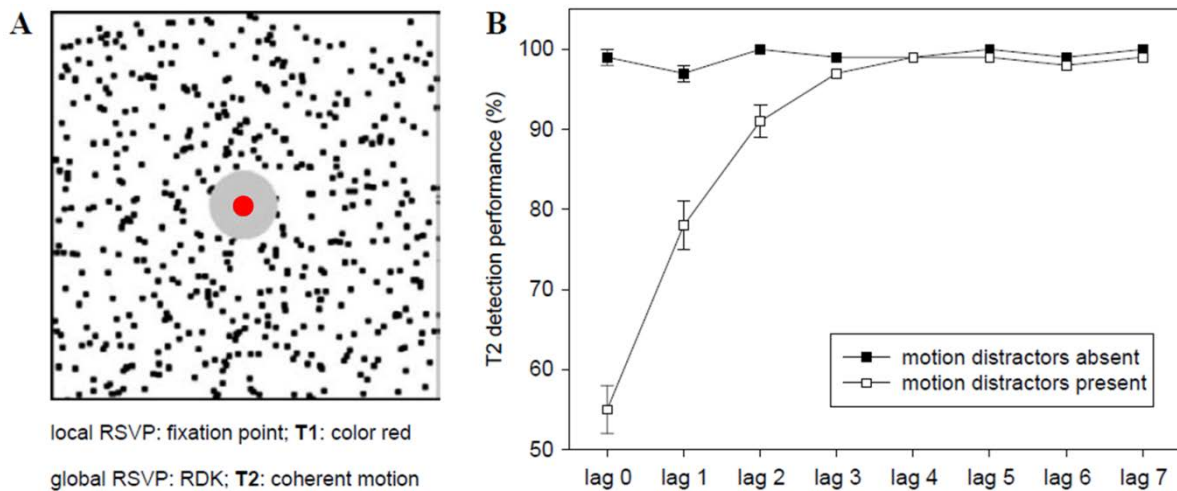


Abbildung 2: DIB-Paradigma. A: Stimulusaufbau: Ein vorübergehend roter Fixationspunkt dient als Hinweisreiz (hier: T1), eine kohärente Bewegung aller Punkte in der Peripherie dienen ab Hinweisreizpräsentation als Zielreiz (hier: T2). Kohärente Bewegungen vor der Hinweisreizpräsentation dienen als Distraktoren. B: Zielreizdetektion (Trefferquote in %; Y-Achse) in Abhängigkeit von Hinweisreiz-Zielreiz-SOA (X-Achse; lag 0 = SOA 0ms; lag 1 = SOA 100ms usw.) und von der Anwesenheit multipler Distraktoren (schwarze Quadrate = Distraktoren anwesend; weiße Quadrate = Distraktoren abwesend). Abbildung aus Hesselmann et al., 2006.

Dies wird damit erklärt, dass sich auf Basis des *distractor templates* in Reaktion auf die Distraktoren ein kumulativer Inhibitionsprozess aufbaut, welcher sich erst mit Präsentation des Hinweisreizes löst. Distraktoren werden aufgrund dieses postsensorisch wirkenden Mechanismus‘ nicht im Arbeitsgedächtnis aktualisiert – mutmaßlich damit sie nicht die Performance gefährden (Niedeggen et al., 2012, vgl. Olivers & Meeter, 2008). Distraktorgleiche Zielreize, die präsentiert werden, bevor sich die Inhibition komplett gelöst hat, sind jedoch ebenfalls vom Inhibitionsprozess betroffen, was eine reduzierte Detektionswahrscheinlichkeit zur Folge hat. Der Zielreiz wird mit anderen Worten deshalb unwillkürlich unterdrückt, weil er Eigenschaften aufweist, die im *distractor template* abgespeichert sind, welches zu diesem Zeitpunkt aktiv ist. Als elektrophysiologisches Korrelat der Inhibition gilt eine frontale Negativität im ereigniskorrelierten Potential (EKP) des Distraktors, welche sich mit steigender Distraktoranzahl vergrößert (Niedeggen et al., 2004; 2012; 2015; siehe auch Bartholow et al., 2005; Folstein et al., 2008; Zhang et al., 2009 für vergleichbare inhibitionsassoziierte EEG-Komponenten).

Wie aus der Beschreibung der Konstrukte und der exemplarischen Paradigmen hervorgeht, ist im experimentellen Setting nicht zwangsläufig direkt feststellbar, ob Distraktorinterferenzeffekte auf einem *target template* basieren oder ob sie auf einem *distractor template* basieren, ob sie also auf eine unwillkürliche Distraktorverstärkung oder

auf eine unwillkürliche Zielreizinhibition zurückzuführen sind. In beiden Fällen kommt es auf der Verhaltensebene üblicherweise zu verlangsamten Reaktionszeiten sowie gegebenenfalls zu reduzierten Zielreizdetektionsraten (Folk et al., 1992; Ghorashi et al., 2003; Loach & Marí-Beffa, 2003; Niedeggen et al., 2012; Olivers & Watson, 2006; Zhang, Zhou & Martens, 2009). Grundlegende Charakteristika wie die Abhängigkeit von Distraktor- und Zielreizgleichheit werden von beiden Phänomenen geteilt (Michael et al., 2011; Niedeggen et al., 2012; Folk et al., 2008). Man muss also zunächst prüfen, inwieweit die Effekte durch den einen oder den anderen Prozess beeinflusst sind, um zum Beispiel Schlussfolgerungen bezüglich Einflussfaktoren speziell auf Inhibition ziehen zu können. Die Untersuchung des Einflusses visueller Eigenschaftsdimensionen ist hierfür ein typischer Fall.

1.2 Einfluss verschiedener Eigenschaftsdimensionen auf Inhibitionsprozesse

Die Befundlage weist relativ eindeutig darauf hin, dass sich verschiedene Eigenschaftsdimensionen wie Farbe, Form oder Bewegung differentiell auf Verstärkungsprozesse auswirken (Liu et al., 2011; Zanto et al., 2010). Dies gilt auch für den Effekt unwillkürlicher Distraktorverstärkung, welcher bei Bewegungsreizen deutlich stärker ausgeprägt ist als bei Farb- oder Orientierungsreizen (Girelli & Luck, 1997). Ob unwillkürliche Inhibitionsprozesse ebenfalls differentiell von unterschiedlichen Eigenschaftsdimensionen getriggert werden, ist hingegen unklar. Die meisten Modelle, welche einen inhibitorischen Anteil der Stimulusselektion postulieren, gehen davon aus, dass die zu Grunde liegenden inhibitorischen Prozesse zentraler Natur und somit eher dimensionsunspezifisch sind (Baddeley, 1996; Hasher et al., 2007; Houghton & Tipper, 1994; Olivers & Meeter, 2008; Roberts & Hall, 2004). Diese Annahme wird von neurophysiologischen Daten (Cai & Leung, 2009; Mao & Wang, 2007; Wager & Smith, 2003) gestützt. So untersuchten Cai und Leung (2009) den Einfluss der Eigenschaftsdimension auf die Aktivierung des Gyrus frontalis inferior (IFG). Diese Hirnregion gilt als maßgeblich für die Initiierung von Inhibitionsprozessen verantwortlich (Aron et al., 2004; Nee et al., 2012). In einer fMRT-Studie bekamen die Probanden die Aufgabe, auf ein Stopp-Signal hin die Ausführung einer geplanten Reaktion zu stoppen. Das Ausmaß der Aktivierung des IFG in Folge der Präsentation des Stopp-Signals war dabei nicht davon abhängig, ob das Stopp-Signal durch Orientierung oder durch Farbe definiert war.

Auch auf der Verhaltensebene wurden bereits dimensionsübergreifende Effekte inhibitorischer Prozesse gezeigt. So demonstrierten Ariga und Kawahara (2004), dass der

1. Einleitung

sogenannte *distractor previewing effect* gleichermaßen von verschiedenen visuellen Eigenschaftsdimensionen erzeugt werden kann. In diesem Paradigma gibt es zwei Arten von Durchgängen. In sogenannten Beobachtungsdurchgängen wird eine Anzahl Stimuli präsentiert, die alle gleich aussehen. In sogenannten Suchdurchgängen unterscheidet sich einer der Stimuli von den übrigen gleichartigen Stimuli (= Singleton). Aufgabe der Probanden ist es, ausschließlich auf den Singleton mit Tastendruck zu reagieren-unabhängig davon, welche genaue Eigenschaftsausprägung der Singleton (Zielreiz) und die übrigen gleichartigen Stimuli (Distraktoren) haben. Eine Reaktion ist also nur in Suchdurchgängen, nicht aber in Beobachtungsdurchgängen erforderlich. Anhand dieses Aufbaus konnte gezeigt werden, dass die Reaktionsgeschwindigkeit davon abhängig ist, welche Stimuli im Durchgang vor dem Zielreiz gezeigt werden. Wenn davor ein Beobachtungsdurchgang (nur Distraktoren) präsentiert wird, in dem die Distraktoren die gleichen Eigenschaften aufweisen wie der aktuell präsentierte Zielreiz, wird signifikant langsamer reagiert als wenn ein Beobachtungsdurchgang präsentiert wurde, in dem die Distraktoren die gleichen Eigenschaften aufweisen wie die aktuell präsentierten Distraktoren. Dieser sogenannte *distractor previewing effect* in den Reaktionszeiten wird darauf zurückgeführt, dass die Distraktoren im Betrachtungsdurchgang ein vorübergehendes *distractor template* etablieren, weshalb im darauffolgenden Suchdurchgang solche Reize, die dieselbe Eigenschaft aufweisen, inhibiert werden (Ariga & Kawahara, 2004; Shin et al., 2008). Der *distractor previewing effect* ist unabhängig davon, anhand welcher Eigenschaftsdimension die Reize definiert werden (Ariga & Kawahara, 2004). Ähnliches gilt für die inhibitorischen Prozesse, welche dem negativen Flanker-Effekt (Reaktionszeitverlangsamung, wenn ein Zielreiz von zwei inkongruenten Distraktoren flankiert wird, B.A. Eriksen & Eriksen, 1974) zu Grunde liegen. Lange-Malecki und Treue zeigten 2012, dass auch hier kein grundlegender Unterschied zwischen den von Form- versus Bewegungsreizen ausgelösten Effekten besteht.

Zumindest auf neurophysiologischer Ebene haben andere Autoren aber durchaus Unterschiede zwischen inhibitorischen Reaktionen auf verschiedene Eigenschaftsdimensionen gefunden (Nee et al., 2012; Zanto et al., 2010; 2011). So sind nach Zanto und Kollegen (Zanto et al., 2010; 2011) andere Hirnareale in die inhibitorische Verarbeitung von Farbreizen involviert als in die inhibitorische Verarbeitung von Bewegungsreizen. Übereinstimmend damit fanden auch Sakagami und Kollegen (2001) anhand von Einzelzelleableitungen heraus, dass inhibitorische Reaktionen von der Eigenschaftsdimension abhängen können. Dies wurde anhand eines Go/NoGo-tasks

1. Einleitung

untersucht. Auf ein häufig dargebotenes Go-Signal sollte mittels Tastendruck reagiert werden, wohingegen eine Antwort in Folge eines seltenen NoGo-Signals unterdrückt werden sollte. Auf ein mittels Farbe definiertes NoGo-Signal, reagierten sogenannte Go-Typ-Zellen im ventrolateralen präfrontalen Kortex mit einer Aktivitätsreduktion, wohingegen sogenannte NoGo-Typ-Zellen mit gesteigerter Aktivität reagierten. Dieses Muster, welches als Korrelat der Initiierung des Inhibitionsprozesses interpretiert wurde, zeigte sich nicht, wenn das NoGo-Signal durch Bewegungen definiert war. Sakagami und Kollegen (2001; 2006) schlussfolgerten, dass solche Dimensionen, die –wie Farbe– vornehmlich ventral verarbeitet werden, eine direktere reaktive Inhibition hervorrufen als solche, die – wie Bewegung – vornehmlich dorsal verarbeitet werden. Einen ersten Hinweis für mögliche Auswirkungen dieser unterschiedlichen Verarbeitung auf das Verhalten, liefern die Daten von Ariga und Kawahara (2004). Der im *distractor previewing Paradigma* beobachtbare Reaktionszeiteneffekt (siehe oben), scheint stärker ausgeprägt zu sein, wenn Distraktor- und Zielreizeigenschaften durch Farben definiert sind als wenn sie durch Bewegung definiert sind. Wenn Farbreize genutzt werden, zeigt sich darüber hinaus ein signifikanter *distractor previewing effect* auf die Trefferquoten, was bei Bewegungsreizen nicht der Fall ist.

Wie aus den oben beschriebenen Studien hervorgeht, ist die Befundlage nicht nur widersprüchlich, sie ist darüber hinaus auch recht spärlich. Zusätzlich gilt zu beachten, dass die genannten Befunde zur Verhaltensinhibition nicht unbegrenzt auf andere Arten der Inhibition (wie die Reduktion von Distraktorinterferenz, die in dieser Arbeit im Fokus steht) übertragbar sind – auch wenn von einer gemeinsamen konzeptuellen sowie neuronalen Grundlage ausgegangen werden kann (Friedman & Miyake, 2004; Blasi et al., 2006). Die oben genannten Daten können daher nur als erste Anhaltspunkte für folgende Annahme verstanden werden: Inhibitionsprozesse scheinen zwischen den Eigenschaftsdimensionen grundlegend vergleichbar zu sein (Ariga & Kawahara, 2004; Cai & Leung, 2009; Lange-Malecki & Treue, 2012; Mao & Wang, 2007; Wager & Smith, 2003). Es gibt jedoch erste Evidenz dafür, dass sich die Stärke beziehungsweise die Effektivität der Inhibitionsprozesse durchaus zwischen den einzelnen Eigenschaftsdimensionen unterscheiden kann. Konkret gibt es Hinweise, dass Inhibitionsprozesse, welche durch Farbreize hervorgerufen werden, effektiver sind als solche, die durch Bewegungsreize hervorgerufen werden (Ariga und Kawahara, 2004; Sakagami et al., 2001; 2006). Bis dato gibt es jedoch keine kontrollierten behavioralen Daten, welche einen direkten Vergleich auf Verhaltensebene erlauben würden.

1.3 Ziele und Gültigkeitsbereich der vorliegenden Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Effekt von verschiedenen primären visuellen Eigenschaftsdimensionen auf Inhibitionsprozesse zu untersuchen. Hierbei soll einerseits erforscht werden, ob die dem DIB-Paradigma zu Grunde liegenden Inhibitionsprozesse grundlegend dimensionsübergreifend sind (ob sie also unabhängig von der Eigenschaftsdimension vergleichbare Effekte bewirken), andererseits soll analysiert werden, ob sich die Stärke beziehungsweise die Effektivität des Inhibitionsprozesses zwischen einzelnen Eigenschaftsdimensionen unterscheidet. Genau genommen ist die Arbeit also auf die Auswirkung von Inhibitionsprozessen auf die Zielreizdetektion im Kontext zeitlicher dimensionsbasierter Aufmerksamkeit (*feature based attention*) fokussiert. Inhibition sei in dieser Arbeit ausdrücklich als postsensorischer, zentraler, auf einem frontoparietalen Netzwerk beruhender (Aron et al., 2004; Blasi et al., 2006; Mao & Wang, 2007; Roberts & Hall, 2008; Zanto et al., 2010) Prozess definiert. Es wird dementsprechend davon ausgegangen, dass Inhibition als Teil kognitiver Kontrolle auf einer höheren Verarbeitungsebene ansetzt (Brydges et al., 2012; Hasher et al., 2007; Houghton & Tipper, 1994; Vogel et al., 1998). Die Tatsache, dass dieser Prozess, wie vielfach beobachtet, auch Auswirkungen auf sensorische Verarbeitung haben kann (Bridwell & Srinivasan, 2012; Geng, 2014; Treue, 2001), ist für Zielsetzung und Fragestellungen dieser Arbeit nicht relevant. Funktional wichtiger ist in diesem Zusammenhang die Annahme, dass durch Inhibition der Zugang zum Arbeitsgedächtnis reguliert wird indem das Aktualisieren der inhibierten Information im Arbeitsgedächtnis verhindert wird (Niedeggen et al., 2012; 2015; Olivers & Meeter, 2008; Vogel & Luck, 2002). Inhibierte Reize werden deshalb mit geringerer Wahrscheinlichkeit weiterverarbeitet (Geng, 2014) und bewusst berichtet (Niedeggen et al., 2012; Olivers & Meeter, 2008).

Zur Untersuchung des Effektes visueller Eigenschaftsdimensionen auf Inhibitionsprozesse, wurde das DIB-Paradigma genutzt. Um die Eignung des DIB-Paradigmas im Sinne des oben formulierten Ziels dieser Arbeit zu testen, sollte zunächst ausgeschlossen werden, dass es sich bei DIB um eine Folge unwillkürlicher Verstärkungsprozesse handelt. Im Anschluss konnte untersucht werden, inwiefern sich der den DIB-Effekten zu Grunde liegende Inhibitionsprozess beziehungsweise seine Wirkung auf die Zielreizdetektion in Ausprägung und Ausmaß zwischen den einzelnen Eigenschaftsdimensionen unterscheidet. Hierfür war die Erweiterung des Paradigmas auf eine andere primäre visuelle Eigenschaftsdimension, welche Distraktor- und Zielreiz definiert, notwendig, wobei die Dimension "Farbe" genutzt wurde.

2. Allgemeine Methode

In allen Experimenten der vorliegenden Arbeit wurde das DIB-Paradigma verwendet. Dieses basiert auf der Aufgabe zur aufmerksamkeitsinduzierten Bewegungsblindheit, welche erstmalig durch Sahraie et al. (2001) vorgestellt wurde. Hierbei handelt es sich um einen sogenannten *rapid serial visual presentation (RSVP) task*, bei dem die Stimuli sequentiell in enger zeitlicher Abfolge dargeboten werden. Diese Form der Reizdarbietung ist besonders geeignet, die Grenzen der zeitlichen Auflösung von Aufmerksamkeit zu erforschen. RSVP-Aufgaben können als Äquivalent visueller Suche interpretiert werden, wobei diese nicht in der räumlichen sondern vielmehr in der zeitlichen Dimension stattfindet (Yasher & Lamy, 2010).

Im DIB-Paradigma werden zwei solcher RSVP-Sequenzen parallel präsentiert. Die lokale Sequenz, im Zentrum des Bildschirms, besteht typischerweise aus einem Fixationspunkt, welcher im 10Hz-Takt die Farbe wechselt. Zeitlich parallel wird in der Peripherie ein sogenanntes *random dot kinematogram (RDK)* gezeigt, welches aus einer „Wolke“ sich zufällig bewegender Punkte besteht. Aufgabe ist es, nach jedem Durchgang anzugeben, ob sich die peripheren Punkte zeitgleich mit beziehungsweise nach einem Hinweisreiz (typischerweise roter Fixationspunkt, Dauer: 100ms) alle gleichzeitig in dieselbe Richtung (oben, unten, rechts oder links) bewegt haben. Im Zeitintervall vor der Darbietung des Zielreizes werden intermittierend Sequenzen kohärenter Bewegungen der Punkte präsentiert (Distraktoren), welche ignoriert werden sollen. Sowohl Hinweis- als auch Zielreiz werden maximal einmal pro Durchgang gezeigt (siehe Abb. 3).

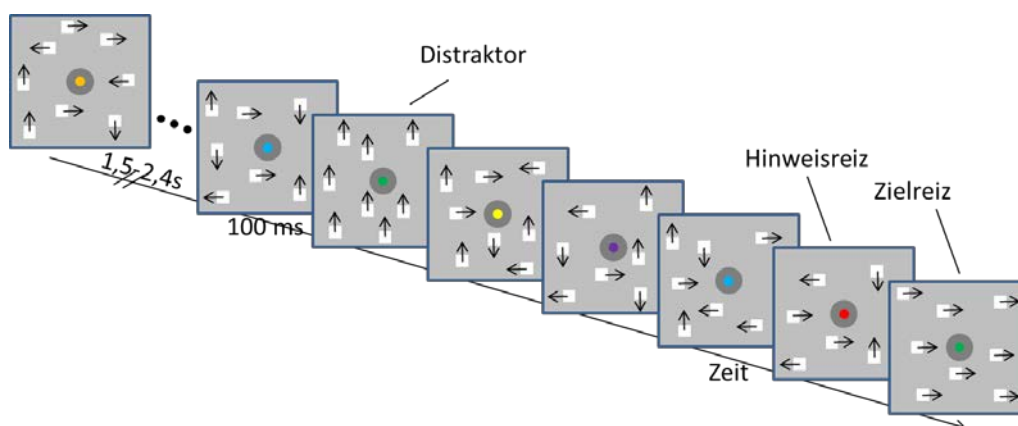


Abbildung 3: prototypischer Ablauf eines Durchganges im DIB-Paradigma. Zunächst bewegen sich alle peripheren Punkte (hier: weiß) zufällig über den Bildschirm (die Bewegungsrichtung ist jeweils durch Pfeile skizziert), während im 10Hz-Takt der Fixationspunkt seine Farbe wechselt. Kohärente Bewegungen aller Punkte vor dem Hinweisreiz (roter Fixationspunkt) werden als Distraktor definiert, kohärente Bewegungen nach Hinweisreizpräsentation als Zielreiz.

2. Allgemeine Methode

Das DIB-Paradigma hat den Vorteil, dass Distraktor und Zielreiz immer zeitlich separat präsentiert werden, was eine Trennung der Effekte und eine Erfassung spezifischer ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs) ermöglicht. Anders als bei anderen Paradigmen, die mutmaßlich auf der Wirkung von Inhibitionsprozessen basieren (Olivers & Watson, 2006; Watson & Humphreys, 1997; Zhang et al., 2009), kann man im DIB-Paradigma außerdem das Ausmaß des Effekts/ der Inhibition relativ einfach manipulieren, indem man die Anzahl der Distraktoren ändert (Hesselmann et al., 2006). Ein weiterer entscheidender Vorteil des Paradigmas ist die Robustheit des Effektes gegenüber der Manipulation einzelner Parameter.

Bereits 2011 wurde von Michael und Kollegen eine Version des Paradigmas etabliert, bei der in der globalen Sequenz (RDK in der Peripherie) Balken anstelle von Punkten gezeigt werden. Distraktor- und Zielreizereignisse bestehen in dieser Version aus einem Orientierungswechsel aller Balken von rechts (45°-Neigung) nach links (315°-Neigung) oder vice versa. In verschiedenen Studien konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass das Paradigma robust gegenüber Veränderungen in der Anzahl der Durchgänge, der Verteilung der Bedingungen (z.B. Anteil von Durchgängen mit/ ohne Distraktor, Anzahl von Durchgängen mit unterschiedlichen SOAs, Anzahl von Kontrollbedingungen, Niedeggen et al., 2004; Hesselmann et al., 2006; Michael et al., 2011; 2012; etc.) oder auch in der Natur des Hinweisreizes (z.B. Buchstabe statt Farbe: Hay et al., 2006) ist. Das grundlegende Phänomen der DIB bleibt von solchen Manipulationen unberührt, die Höhe des Effektes wird jedoch gegebenenfalls beeinflusst (z.B. verstärkt ein schwieriger zu entdeckender Hinweisreiz den DIB-Effekt, Hay et al., 2006; Sahraie et al., 2001). Auch in der vorliegenden Arbeit unterschieden sich einzelne grundlegende Parameter zwischen den Studien beziehungsweise von den Parametern vorangegangener DIB-Studien (siehe Tabelle 1).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Faktoren „Zielreizposition“, „Distraktorpräsenz“ bzw. „-anzahl“ sowie „Distraktorposition (zur EEG- Analyse)“ variiert. Effekte dieser unabhängigen Variablen waren – zumindest in Bezug auf Bewegungs- oder Orientierungsreize – bereits bekannt (siehe Einleitung), was einen Vergleich mit vorherigen Studien erst ermöglichte. Die so gewonnenen Erkenntnisse wurden genutzt, um die Wirkung des Faktors „Distraktor- und Zielreizdimension“ untersuchen zu können.

Ähnliches gilt für die abhängigen Variablen „Zielreizdetektionsrate“ und „frontale Negativität im distraktorkorrelierten Potential“ (EEG). Erstere wurde in allen vorliegenden Experimenten, letztere in allen EEG-Experimenten analysiert, was eine Vergleichbarkeit zu

2. Allgemeine Methode

vorherigen Studien, bei denen diese Maße auch erhoben wurden (z.B. Niedeggen et al., 2004; 2012; 2015), gewährleistet. Inhaltlich spiegelt die Trefferquote in diesem Kontext mutmaßlich eine bewusste Zielreizverarbeitung wieder (Niedeggen et al., 2004; Olivers & Meeter, 2008), wohingegen die frontale Negativität als elektrophysiologisches Korrelat des zu Grunde liegenden Inhibitionsprozesses gilt (Niedeggen et al., 2004; 2012; 2015). Ergänzend wurde in Studie 1 die Reaktionszeit erhoben. Reaktionszeiten und Trefferquoten reagieren bei unterschiedlichen Aufgabenarten unterschiedlich sensibel (Prinzmetal et al., 2005; Santee & Egeth, 1982; van Ede et al., 2012). Insbesondere in *attentional capture*-Studien, bei denen die Distraktoreffekte auf unwillkürlichen Verstärkungsprozessen beruhen, gelten sie als essentielles Maß (Folk et al., 1992; siehe Studie 1, Manuskript Nr. 1, Winther und Niedeggen, 2017a).

	Studie 1	Studie 2	Studie 3	
Unabhängige Variablen	Zielreizposition	Ja (0 ms vs. 100 ms vs. 200 ms vs. 500 ms)	Ja (0ms vs. 400ms)	Nein
	Distraktorpräsenz	Ja (0 vs. 1 Distraktor)	Ja (0 vs. 6-10 Distraktoren)	Nein
	Distraktoranzahl	Nein	Nein	Ja (2-3 Distraktoren vs. 6-7 Distraktoren)
	Eigenschaftsdimension	Nein	Nein	Ja (Farbe vs. Bewegung)
	Distraktorposition (EEG)	Nein	Ja (früh vs. mittel vs. spät)	Nein
Abhängige Variablen	Trefferquote in %	Ja	Ja	Ja
	Reaktionszeiten	Ja	Nein	Nein
	frontale Negativität im distraktorkorrelierten Potential (EEG)	Nein	Ja	Nein
Weitere wesentliche Parameter	Distraktor- und Zielreiz	Orientierungswechsel	Farbwechsel	Farbwechsel, kohärente Bewegungen
	Hinweisreiz	Roter Fixationspunkt	Zwei weiße Punkte rechts und links vom Fixationspunkt	Zwei weiße Punkte rechts und links vom Fixationspunkt
	Induktion von Zeitdruck	Ja, zwecks reliabler Reaktionszeiterfassung	Nein	Nein

Tabelle 1: Übersicht der verschiedenen in den drei Studien genutzten Parameter und Variablen. Die Angaben beziehen sich auf die Hauptexperimente der jeweiligen Studien. Bei den Unabhängigen Variablen sind die jeweiligen Stufen in Klammern angegeben. Auf Gründe und Spezifika wird im Methodenteil der jeweiligen Studien eingegangen.

3. Zusammenfassung der Befunde

3.1 Bewirkt eine unwillkürliche Distraktorverstärkung auf Basis eines *target templates* die im DIB-Paradigma beobachtbaren Performance-Einbußen?

Fragestellung und Methode

Bis dato wurde angenommen, dass eine auf einem *distractor template* beruhende Zielreizinhibition für die verringerte Zielreizdetektionsrate im DIB-Paradigma verantwortlich ist (Sahraie et al., 2001; Niedeggen et al., 2012; 2015). Alternativ wäre es jedoch ebenfalls denkbar, dass der DIB-Effekt dadurch hervorgerufen wird, dass der letzte Distraktor in der Sequenz unwillkürlich die Aufmerksamkeit auf sich zieht. Dieser Idee folgend, würde die zielreizgleichen Distraktoren im DIB-Paradigma aufgrund ihrer im *target template* hinterlegten Zielreizeigenschaften verstärkt und infolgedessen bevorzugt verarbeitet. Eine solche Verarbeitung würde begrenzte Ressourcen beanspruchen. Wenn ein Distraktor – so wie das beim letzten Distraktor in der Sequenz der Fall ist – in zeitlich nahem Abstand zum Zielreiz präsentiert wird, würden diese Ressourcen nicht beziehungsweise nur verzögert zur Verarbeitung des Zielreizes zur Verfügung stehen. Es wird davon ausgegangen, dass im Falle zweier kurz nacheinander präsentierter Stimuli nicht die bewusste Wahrnehmung sondern in erster Linie die Antwortselektion von Kapazitätsbegrenzungen der Ressourcen betroffen ist (siehe Marois & Ivanoff, 2005). Das bedeutet, dass die Reaktionszeiten auch bei korrekter Zielreizentdeckung verlangsamt würden. Im Falle eines transienten Zielreizes, der präsentiert wird während der Distraktor noch initial verarbeitet wird, ist ein gänzlichliches Zielreizverpassen jedoch auch möglich (Folk et al., 2008). Wären diese Annahmen zutreffend, müsste ein einzelner Distraktor in zeitlich vergleichbarem Abstand wie der letzte Distraktor in der Distraktorserie im üblicherweise verwendeten DIB-Paradigma primär die Reaktionszeit verlangsamen und sekundär zu geringeren Trefferquoten führen. Daraus ergaben sich für Studie 1 folgende Hypothesen:

- Wenn im DIB-Paradigma ein einzelner zielreizgleicher Distraktor 500 – 800 ms vor dem Hinweisreiz präsentiert wird, führt dies zu einer Reduktion der Trefferquote, sowie zu einer Verlangsamung der Reaktionszeiten.
- Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der letzte Distraktor und der Zielreiz kurz hintereinander präsentiert werden (kurze Hinweisreiz-Zielreiz-SOAs).

3. Zusammenfassung der Befunde

In einem Kontrollexperiment wurde zunächst überprüft, ob der klassische DIB-Effekt auf die Zielreizdetektionsquote auch in einer Variante mit induziertem Zeitdruck persistiert. Nur so konnte eine Vergleichbarkeit zu vorherigen DIB-Studien gewährleistet werden. Gleichzeitig wurde getestet, ob auch die Reaktionszeiten bei korrekt detektierten Zielreizen von der Präsentation multipler Distraktoren beeinträchtigt sein würden. Tatsächlich bewirkten die zielreizgleichen Distraktoren bei kurzen Hinweisreiz-Zielreiz-SOAs reduzierte Trefferquoten und verlangsamte Reaktionszeiten (Experiment 1a). Dies war nicht der Fall, wenn Zielreiz und Distraktoren durch unterschiedliche Eigenschaftsdimensionen definiert waren (Experiment 1b). Diese Daten sind mit der Annahme, dass der letzte Distraktor in einer Sequenz mehrerer Distraktoren wegen seiner im *target template* gespeicherten Zielreizeigenschaften unwillkürlich hervorgehoben wird (*Contingent attentional Capture*, Folk et al., 1992), kompatibel.

Am darauffolgenden Hauptexperiment (Experiment 2, Manuskript Nr. 1, Winther & Niedeggen, 2017a) nahmen 16 Probanden teil. Alle Probanden bekamen die Aufgabe, mittels Tastendruck so schnell wie möglich zu reagieren, wenn sie zeitgleich mit oder nach der Präsentation eines Hinweisreizes (roter Fixationspunkt, siehe Abb. 4) einen Zielreiz (Orientierungswechsel aller Balken in der Peripherie, siehe Abb. 4) entdeckt hatten. In einem Teil der Durchgänge wurde 500 – 800 ms vor der Präsentation des Hinweisreizes ein aufgabenirrelevanter Orientierungswechsel (Distraktor) präsentiert (vgl. Abb. 4). Reaktionszeiten und Trefferquoten wurden jeweils in einer 2x4 messwiederholten Varianzanalyse (ANOVA) mit den Faktoren „Distraktoranwesenheit“ (anwesend vs. abwesend) und „Zielreizposition“ (SOA 0ms vs. SOA 100ms vs. SOA 200ms vs. SOA 500ms) analysiert.

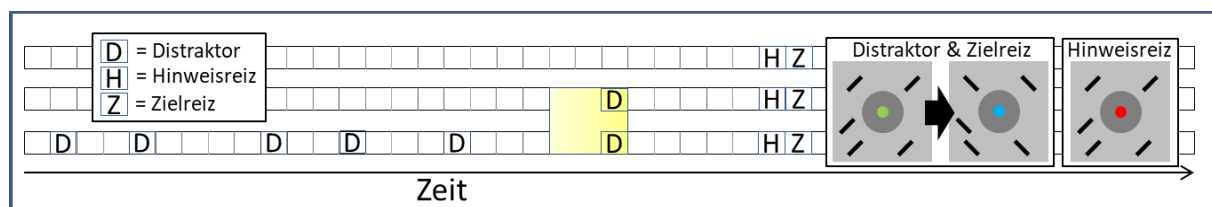


Abbildung 4: Vergleich eines DIB-Durchgangs ohne Distraktoren (obere Zeile), mit der im Hauptexperiment genutzten Ein-Distraktoren-Version (mittlere Zeile) und der klassischen Mehr-Distraktoren-Version (untere Zeile). Ein Kästchen repräsentiert einen 100-ms- Abschnitt. Der Zeitraum, in dem in der Ein-Distraktoren-Version der einzelne Distraktor präsentiert wird, ist identisch mit dem Zeitraum, in dem im Mehrdistraktordesign der letzte Distraktor präsentiert wird (500 – 800 ms vor Hinweisreizpräsentation; dargestellt in gelb). Die Hinweisreiz-Zielreiz-SOA beträgt in diesem Beispiel jeweils 100ms. Rechts: Distraktor und Zielreiz sind als Orientierungswechsel aller Balken von rechts nach links oder vice versa definiert (in diesem Bsp. Von rechts nach links), der Hinweisreiz ist als roter Fixationspunkt (Dauer: 100ms) definiert.

3. Zusammenfassung der Befunde

Zentrale Ergebnisse

Ein einzelner Distraktor hatte keinen Effekt auf die Reaktionszeiten – unabhängig davon, in welchem Abstand Hinweisreiz und Zielreiz präsentiert wurden (siehe Abb. 5). Es zeigte sich jedoch ein moderater Effekt des einzelnen Distraktors auf die Trefferquoten, welche in Durchgängen mit Distraktor reduziert waren. Dieser Effekt war desto stärker ausgeprägt, je geringer der zeitliche Abstand zwischen Hinweisreiz und Zielreiz war. Deshalb wurde posthoc ein direkter Vergleich zwischen dem Effekt des einzelnen Distraktors im Hauptexperiment und dem Effekt multipler Distraktoren im Kontrollexperiment (1a) bei gleichzeitiger Hinweisreiz- und Zielreizpräsentation (SOA 0, siehe Abb. 5B) durchgeführt. Dieser bestätigte, dass der Effekt auf die Trefferquote bei einem Distraktor signifikant geringer ist als bei mehreren Distraktoren.

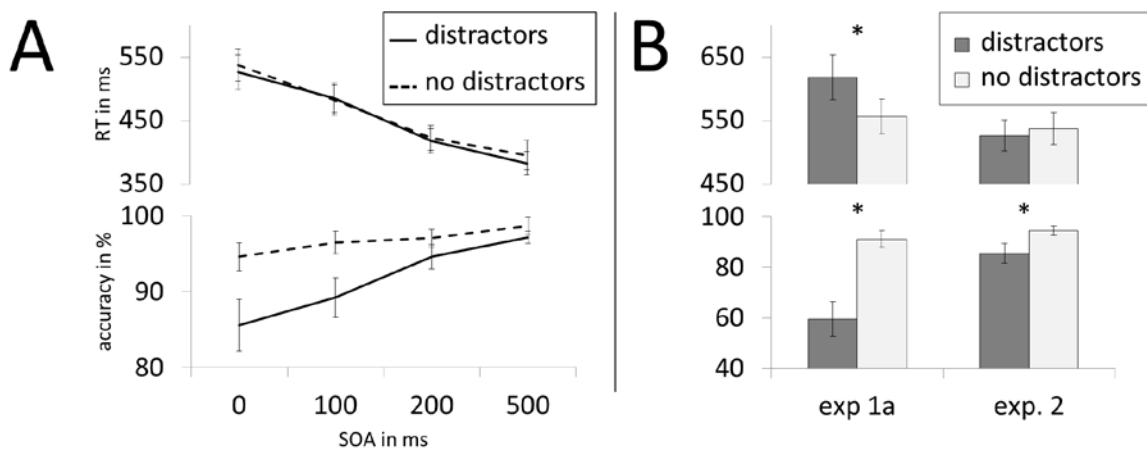


Abbildung 5: A: Trefferquoten (unten) und Reaktionszeiten (oben) pro SOA in Bedingungen mit und ohne Distraktor. B: Trefferquoten (unten) und Reaktionszeiten (oben) bei einer SOA von 0 ms in Experiment 1a (links, Kontrollexperiment: mehrere zielreizgleiche Distraktoren) und Experiment 2 (rechts, Hauptexperiment: ein zielreizgleicher Distraktor 500- 800 ms vor Hinweisreizpräsentation). Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar. Grafik aus Winther und Niedeggen (2017a).

3. Zusammenfassung der Befunde

Bedeutung der Befunde

Ein einzelner Distraktor hatte – anders als multiple Distraktoren – keinen Effekt auf die Reaktionszeiten bei korrekter Zielreizdetektion. Dies spricht klar dagegen, dass der DIB-Effekt auf unwillkürliche Distraktorverstärkung auf Basis eines *target templates* (*contingent attentional capture*, Folk et al., 1992) zurückzuführen ist. An dieser Schlussfolgerung ändert auch die Tatsache, dass ein einzelner Distraktor durchaus einen Effekt auf die Trefferquoten hatte, nichts. Es ist davon auszugehen, dass die Antwortselektion durch zwei direkt aufeinander folgende Reize stärker beeinträchtigt ist als die bewusste Wahrnehmung (Marois & Ivanoff, 2005). Daher ist es äußerst unwahrscheinlich, dass ausschließlich die Detektionsraten, nicht aber die Reaktionszeiten bei korrekter Detektion von einem Distraktor beeinflusst werden. Damit Verstärkungsprozesse als Ursache in Frage kommen, müssten darüber hinaus die Performanceeinbußen in Folge eines einzelnen Distraktors gleichwertig oder sogar stärker als bei mehreren Distraktoren sein (u.a. aufgrund von Anpassungsprozessen; Folk et al., 2009; Irons & Remington, 2013). Dies ist hier nicht der Fall.

Die vorliegenden Ergebnisse entsprechen der Annahme, dass nicht das unwillkürliche Hervorheben eines eigentlich irrelevanten Reizes (Fehl kategorisierung des *target templates*), sondern das unwillkürliche Inhibieren eines eigentlich relevanten Reizes (Fehl kategorisierung des *distractor templates*) ursächlich für das DIB-Phänomen ist. Dafür spricht auch die Erkenntnis, dass bei mehreren Distraktoren der Effekt der Reaktionszeiten ein deskriptiv ähnliches Muster wie der Effekt der Trefferquoten aufweist und dass eine höhere Anzahl von Distraktoren einen deutlich stärkeren Effekt auf diese bewirkt. Untermuert wird diese Annahme darüber hinaus von vorherigen Studien, welche ebenfalls klar für eine ursächliche Beteiligung zentraler inhibitorischer Prozesse sprechen (z.B. Hay et al., 2006; Milders et al., 2004; Niedeggen et al., 2004; 2012; 2015).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stellen eine essentielle Grundlage für die folgenden Studien dieser Arbeit dar. Um den Einfluss von visuellen Eigenschaftsdimensionen auf inhibitorische Prozesse zu analysieren, muss zunächst ausgeschlossen werden, dass die Effekte ganz oder teilweise auf eine unwillkürliche Distraktorverstärkung zurückzuführen sind. Dies wäre ansonsten ein inakzeptabler konfundierender Faktor, da es sich bei Inhibition und Verstärkung um unterschiedliche Prozesse handelt (Bridwell & Srinivasan, 2012; Zanto & Rissmann, 2015), wobei von Verstärkungsprozessen – anders als von Inhibitionsprozessen – bereits bekannt ist, dass sie von visuellen Eigenschaftsdimensionen beeinflusst sind (Girelli & Luck, 1997).

3.2 Ist der dem DIB-Effekt mutmaßlich zu Grunde liegende Inhibitionsprozess dimensionsübergreifend?

Fragestellung und Methode

DIB-Erklärungsmodelle gehen implizit davon aus, dass der den DIB-Effekten mutmaßlich zu Grunde liegende Inhibitionsprozess dimensionsübergreifend ist (Ebner et al., 2015; Niedeggen et al., 2012; Sahraie et al., 2001). Michael und Kollegen (2011) zeigten bereits, dass DIB nicht nur durch kohärente Bewegungen, sondern auch durch Orientierungswechsel ausgelöst werden kann. Dies ist jedoch nicht uneingeschränkt als Evidenz für eine Generalisierbarkeit des Effektes zu interpretieren, da die Wahrscheinlichkeit groß ist, dass Orientierungswechsel ebenfalls als (Dreh-) Bewegung wahrgenommen werden (siehe Niedeggen, 2012 für elektrophysiologische Evidenz hierfür). Es ist also unklar, ob der mutmaßlich zu Grunde liegende Inhibitionsprozess spezifisch für bewegungsassoziierte Dimensionen ist oder ob er auch durch andere Dimensionen hervorgerufen werden kann. Geht man allgemein davon aus, dass auf *distractor templates* basierende Inhibition zentral und übergreifend ist, dass der grundlegende Prozess also aufgaben- und inputunabhängig immer der gleiche ist (z.B. Lange-Malecki & Treue, 2012; Roberts & Hall, 2008), dürfte auch das DIB-Paradigma hier keine Ausnahme darstellen. So müsste der durch dynamische Eigenschaftsdimensionen hervorgerufene DIB-Effekt mit dem durch statische Eigenschaftsdimensionen hervorgerufenen DIB-Effekt vergleichbar sein. Um dies zu testen, wurde die visuelle Eigenschaftsdimension „Farbe“ gewählt. Einerseits, weil sie sich von Bewegungsreizen sowohl in ihrer frühen Verarbeitung (Schandry, 2003; Tootell & Nasr, 2017; Zeki et al., 1991; Zeki & Shipp, 1988) deutlich unterscheidet; andererseits weil Farbinformation eine andere Funktion als Bewegung erfüllt, insofern als sie primär zur Objektidentifikation genutzt wird, während Bewegungsinformation auch für die Initiierung und Anpassung einer Reaktion notwendig ist (Milner & Goodale, 2006, Sakagami et al., 2006). Während eine differentielle Wirkung von Farb- und Bewegungsreizen auf attentionale Verstärkungsprozesse bekannt ist (Girelli & Luck, 1997; Liu et al., 2011; Zanto et al., 2010), ist die Befundlage in Bezug auf inhibitorische Prozesse widersprüchlich, wobei die vorhandene Evidenz eher für dimensionsübergreifende Prozesse spricht (Cai & Leung, 2009; Lange-Malecki & Treue, 2012; Mao & Wang, 2007; Nee et al., 2012, siehe Einleitung). Da das DIB-Erklärungsmodell nicht davon ausgeht, dass es einen grundsätzlichen Unterschied zwischen inhibitorischen Prozessen gibt, welche durch verschiedene Dimensionen hervorgerufen wurden (Ebner et al., 2015; Michael et al., 2011; Niedeggen et al.,

3. Zusammenfassung der Befunde

2012; Sahraie et al., 2001, siehe auch Hasher et al., 2007; Katzner et al., 2009; Roberts & Hall, 2008 für allgemeinere Theorien), wurden folgende Hypothesen formuliert:

- Wenn im DIB-Paradigma zielreizgleiche Farbwechsel als Distraktoren präsentiert werden, führt dies in Durchgängen mit gleichzeitiger Hinweisreiz-Zielreiz-Präsentation zu einer Reduktion der Trefferquote.
- Auf elektrophysiologischer Ebene zeigt sich in Reaktion auf die Distraktoren eine frontale Negativität im ereigniskorrelierten Potential, welche mit steigender Distraktoranzahl stärker wird.

In Experiment 1 (Studie 2, Manuskript Nr. 2, Winther und Niedeggen, 2017b), gingen die Daten von 17 Probanden ein. Aufgabe der Probanden war es, nach jedem Durchgang per Tastendruck anzugeben, ob zeitgleich mit bzw. nach dem Hinweisreiz (zwei zentrale weiße Punkte, siehe Abb. 6) ein Farbwechsel der peripheren Punkte (siehe Abb. 6) stattgefunden hatte (ja/nein). In einem Teil der Durchgänge wurden vor dem Hinweisreiz zielreizgleiche Distraktoren präsentiert. Die Trefferquoten wurden mit Hilfe einer 2x2 ANOVA mit den Innersubjektfaktoren „Distraktoranzwesenheit“ (anwesend vs. abwesend) und „Zielreizposition“ (SOA 0 ms vs. SOA 400 ms) analysiert. Reaktionszeiten wurden im Gegensatz zu Studie 1 nicht erhoben, weil ihre Analyse zur Beantwortung der Fragestellung nicht notwendig war und weil durch den Verzicht auf eine Zeitdruck-Variante eine optimale Vergleichbarkeit mit vorangegangenen Studien gewährleistet werden konnte (Design vgl. Niedeggen et al., 2012). Während die Probanden die Aufgabe bearbeiteten, wurden die elektrophysiologischen Daten von 32 aktiven Elektroden aufgezeichnet (siehe Methodenteil Manuskript Nr. 2, Winther und Niedeggen, 2017b). Im Anschluss wurde das distraktorkorrelierte Potential an den frontalen Elektroden in Abhängigkeit von der „Distraktorposition“ (früh [2. Distraktor] vs. mittel [4. – 5. Distraktor] vs. spät [6. – 8. Distraktor], siehe Abb. 6) analysiert.



Abbildung 6: links: schematische Darstellung Stimuluskonfiguration in Experiment 1. Distraktor- und Zielreize sind durch einen Farbwechsel von rosa zu grün oder vice versa definiert (in diesem Beispiel von rosa zu grün), der Hinweisreiz besteht aus der gleichzeitigen Präsentation zweier weißer Punkte rechts und links vom Fixationspunkt. rechts: Beispielpuffer der drei möglichen *Distraktor-Probe*-Positionen (rot umrahmt). Ein Kästchen repräsentiert einen 100-ms-Abschnitt.

3. Zusammenfassung der Befunde

Zentrale Ergebnisse und Zwischenfazit

Wenn Distraktoren im Zeitabschnitt vor dem Hinweisreiz gezeigt wurden, führte dies bei gleichzeitiger Hinweisreiz- und Zielreizpräsentation zu einer signifikanten Reduktion der Zielreizdetektionrate (siehe Abb. 7). Darüber hinaus evozierten Distraktoren eine frontale Negativität, die mit steigender Anzahl von Distraktoren zunahm (früh<mittel<spät; siehe Abb. 7). Der Effekt, den Farbdistraktoren auf Zielreizdetektionsrate und frontale Negativität haben, legt nahe, dass die grundlegenden Inhibitionsprozesse, die durch Farb- und Bewegungs- bzw. Orientierungsstimuli hervorgerufen werden, durchaus vergleichbar sind. Weitere Evidenz für die Vergleichbarkeit der Prozesse wurde durch zwei nachfolgende Kontrollexperimente gesammelt, welche außerdem im Detail die Abhängigkeit des DIB-Effektes von der Distraktor-Zielreizekongruenz untersuchten.

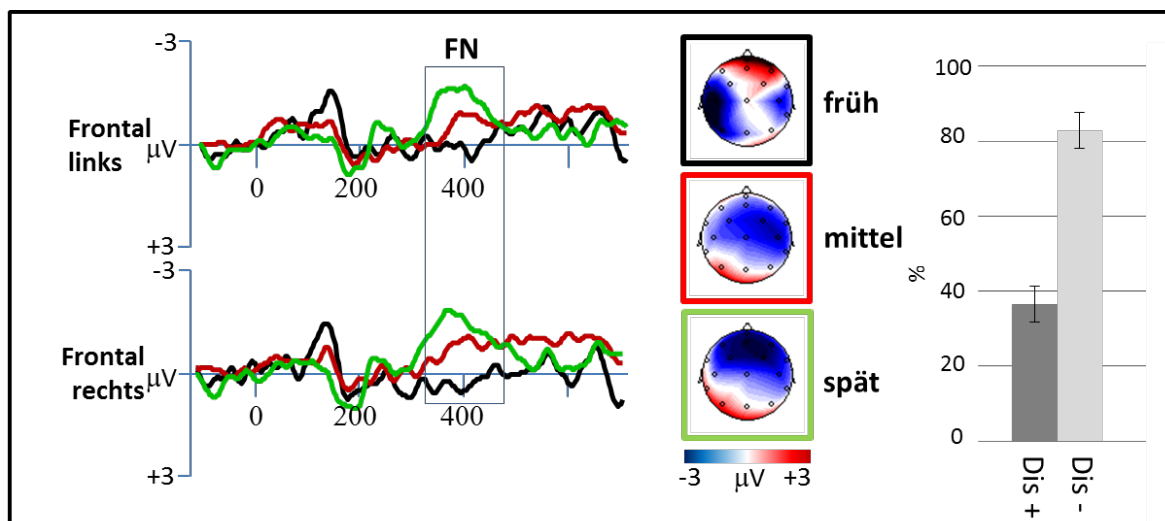


Abbildung 7: links: *Grand Average* des frontal- linken (FC2, F4, F8) und frontal rechten (FC1, F3, F7) Elektrodenclusters, Zeitfenster der frontalen Negativität: jeweils 325 – 475 ms nach frühen (schwarz), mittleren (rot) und späten (grün) Distraktoren. Mitte: Topographische Verteilung der kortikalen Aktivität (blau = negativ; weiß = neutral; rot = positiv) je Distraktorposition. Rechts: Prozentuale Trefferquote in Durchgängen mit (dunkelgrau) und ohne (hellgrau) Distraktoren bei einer Hinweisreiz-Zielreiz SOA von 0 ms. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar.

Zusammenfassung Kontrollexperimente

Es wird angenommen, dass die Stärke inhibitorischer Prozesse maßgeblich von der Zielreiz-Distraktorähnlichkeit abhängt (Olivers & Meeter, 2008). Je ähnlicher sich Zielreiz- und Distraktoren sind, desto größer ist die Gefahr, dass beispielsweise fälschlich auf Distraktoren reagiert wird und desto größer ist die Notwendigkeit einer aktiven

3. Zusammenfassung der Befunde

Abgrenzung, zum Beispiel auf Basis eines *distractor templates* (Olivers & Meeter, 2008). Die im Anschluss an das oben beschriebene Experiment 1 durchgeführten DIB-Kontrollexperimente zeigten, dass – genau wie bei dynamischen Reizen (Michael et al., 2011; 2012; Niedeggen et al., 2012) – auch die Wirkung von Farbdistraktoren stark von der Distraktor-Zielreizekongruenz abhängig ist: In Experiment 2 (n = 15) bewirkten multiple Farbdistraktoren weder einen Effekt auf die Detektion des Bewegungs-Zielreizes, noch riefen sie eine frontale Negativität hervor. In Experiment 3 (n = 15) wurde die Abhängigkeit des Effektes von der Distraktor-Zielreizekongruenz weitergehend untersucht. Sowohl Distraktoren als auch Zielreiz bestanden aus einer kohärenten Bewegung. Zusätzlich wurde an einer frühen, mittleren oder späten Position in der Distraktor-Sequenz ein zielreizeinkongruenter Farbdistraktor präsentiert. Wie erwartet bewirkten die zielreizegleichen Bewegungsdistraktoren eine Reduktion der Trefferquote, wenn Hinweisreiz und Zielreiz gleichzeitig präsentiert wurden (siehe Abb.8). Man kann also davon ausgehen, dass der mutmaßlich auf einem *distractor template* beruhende Inhibitionsprozess durch die Bewegungsdistraktoren angestoßen wurde. Trotzdem bewirkte der zielreizeinkongruente Farbdistraktor keine frontale Negativität. Es ist also davon auszugehen, dass Farbdistraktoren nur dann eine inhibitorische Reaktion hervorrufen, wenn sie Zielreizeigenschaften aufweisen. Dies gilt selbst dann, wenn der Inhibitionsprozess bereits durch zielreizegleiche Distraktoren initiiert wurde.

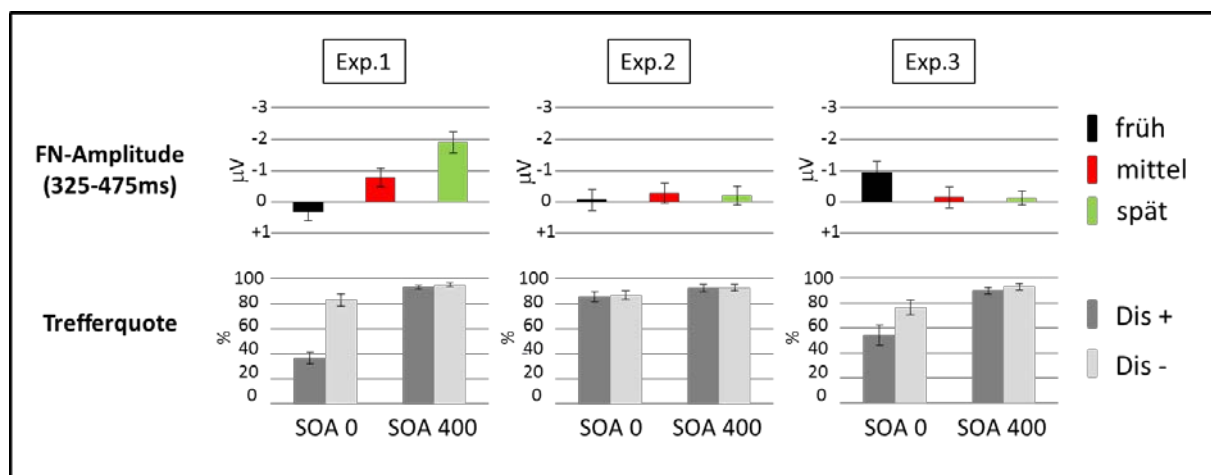


Abbildung 8: modifiziert nach Winther und Niedeggen (2017b). oben: *Grand Average* der frontalen Negativität (Mittelwert 325 – 475 ms nach Distraktorpräsentation), separat für früh (schwarz), mittel (rot) oder spät (grün) in der Distraktorsequenz präsentierte *Probe*-Distraktoren. Unten: Trefferquoten in Durchgängen mit (dunkel) und ohne Distraktoren (hell), unterteilt nach SOA. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar. Exp. 1 (links): Distraktoren, *Probe* und Zielreiz = Farbwechsel, Exp. 2 (mitte) = Distraktoren und *Probe* = Farbwechsel, Zielreiz = Bewegung, Exp. 3 (rechts): Distraktor und Zielreiz = Bewegung, *Probe* = Farbwechsel.

3. Zusammenfassung der Befunde

Bedeutung der Befunde

In Studie 2 konnte gezeigt werden, dass behaviorale sowie elektrophysiologische Distraktoreffekte im DIB-Paradigma von Farbdistraktoren in vergleichbarem Maße hervorgerufen werden, wie das bei Bewegungs- und Orientierungsdistraktoren der Fall ist. Dass der DIB-Effekt nur dann auftrat, wenn Zielreiz und Distraktoren durch dieselbe Eigenschaftsdimension definiert waren (Exp. 2 und 3), spricht dafür, dass die Bedingungen für das Auftreten des Effektes bei Farb-DIB die gleichen sind wie bei Bewegungs- und Orientierungs-DIB. Dies passt zu den Erkenntnissen einer ergänzenden unveröffentlichten Kontrollstudie (siehe Anhang 1), wonach die Stärke der Farb-DIB, ebenso wie die Stärke der Bewegungs- und Orientierungs-DIB (Hesselmann et al., 2006; Sahraie et al., 2001; Studie 1, Manuskript Nr. 1, Winther & Niedeggen, 2017a), von der Distraktoranzahl und von der Hinweisreiz-Zielreiz-SOA abhängig ist. Sowohl die grundlegenden DIB-Effekte als auch die Entstehungsvoraussetzungen und Einflussfaktoren gleichen sich also zwischen den Eigenschaftsdimensionen. Dies stellt weitere Evidenz für die Annahme dimensionsübergreifender zentraler Inhibitionsprozesse (Ebner et al., 2015; Hasher et al., 2007; Roberts & Hall, 2008) dar und ergänzt die Erkenntnisse vorhandener neurophysiologischer (Cai & Leung, 2009; Mao & Wang, 2007; Wager & Smith, 2003) und behavioraler Studien (Ariga & Kawahara, 2004; Lange-Malecki & Treue, 2001). Die Auswirkung von Inhibitionsprozessen auf die Zielreizdetektion im Kontext zeitlicher dimensionsbasierter Aufmerksamkeit (*feature based attention*) scheint sich also nicht grundlegend zwischen den einzelnen Eigenschaftsdimensionen zu unterscheiden.

Die Tatsache, dass die Prozesse – ebenso wie dies bereits für dynamische Stimuli gezeigt wurde (Michael et al., 2011; 2012; Niedeggen et al., 2012) – in hohem Maße von der Distraktor-Zielreiz-Kongruenz abhängig sind, lässt folgenden Schluss zu: Das dem Inhibitionsprozess zu Grunde liegende *distractor template* ist einerseits adaptierbar auf unterschiedliche Dimensionen, andererseits aber auch in hohem Maße spezifisch in Bezug auf die Zielreizkongruenz. Distraktoren werden mutmaßlich nur dann unterdrückt, wenn sie die Performance gefährden könnten (Olivers & Meeter, 2008). Dies ermöglicht eine flexible und gleichzeitig in Bezug auf die Ressourcennutzung (Bettencourt & Somers, 2009) ökonomische Reaktion auf unterschiedlichste Reizkonfigurationen.

3.3 Hängt das Ausmaß des DIB-Effekts von der Eigenschaftsdimension, welche Distraktor und Zielreiz definiert ab?

Fragestellung und Methode

Es konnte gezeigt werden, dass DIB nicht nur von dynamischen, Eigenschaftsdimensionen hervorgerufen wird, sondern dass auch Farbreize diesen Effekt induzieren können. Dieser basiert mutmaßlich auf einem *distractor template*, welches verschiedenste Distraktordimensionen beinhalten kann, die infolgedessen jeweils auf gleichem Wege inhibiert werden. Bei einem direkten Vergleich der Trefferquoten zwischen Farb-DIB und Orientierungs-DIB (Studie 1 verglichen mit den Daten einer unveröffentlichten Kontrollstudie, welche bei gleichem Design Farbreize verwendete, siehe Anhang 1) bzw. zwischen Farb-DIB und Bewegungs-DIB (behaviorale Daten Studie 2, Exp. 1 vs. Exp. 3) deutet sich jedoch an, dass das Ausmaß des Farb-DIB-Effekts eventuell stärker als das der Orientierungs- und Bewegungs-DIB-Effekte ist. Diese Daten sind allerdings mit Vorsicht zu interpretieren, da sich die jeweiligen Designs nicht nur in Bezug auf Distraktor- und Zielreizdimension, sondern auch in der Art des Hinweisreizes (Farbwechsel in Studie 1 vs. gleichzeitige weiße Punkte in der unveröffentlichten Kontrollstudie, siehe Anhang 1) bzw. in der Anzahl der Distraktoren (Studie 2: 6 – 10 zielreizgleiche Distraktoren in Exp.1 vs. 5 – 9 zielreizgleiche Distraktoren in Exp. 3) unterschieden. Beides hat bekanntermaßen Einfluss auf die Stärke des DIB-Effektes (Hay et al., 2006; Hesselmann et al., 2006; Sahraie et al., 2001). In der vorliegenden Studie wurde deshalb untersucht, ob der Unterschied zwischen den Eigenschaftsdimensionen bei einem direkten kontrollierten Vergleich erhalten bleibt. Ein solcher Unterschied zwischen den Dimensionen wäre im Einklang mit den Ergebnissen von Sakagami und Kollegen (2001; 2006; 2007), welche besagen, dass Farbreize unmittelbarer Inhibitionsprozesse hervorrufen als Bewegungsreize. Die Autoren postulieren, dass der ventrale und der dorsale visuelle Verarbeitungspfad anatomisch weiter reichen als bis dato angenommen: Der verlängerte dorsale Pfad – über den Bewegung verarbeitet werde – sei eher für die Ausführung motorischer Reaktionen verantwortlich und der verlängerte ventrale Pfad – über den Farbe verarbeitet werde – eher für bewusste Entscheidungen und inhibitorische Kontrolle (Sakagami et al., 2006). Ob diese Unterscheidung allerdings tatsächlich direkte, auf der Verhaltensebene beobachtbare Auswirkungen hat, ist angesichts der spärlichen und teils widersprüchlichen Befundlage (Cai & Leung, 2009; Lange-Malecki & Treue, 2012; Sakagami et al., 2006) nach wie vor unklar. Eine Studie von Ariga und Kawahara (2004) lieferte zwar einen ersten Hinweis dafür, dass auch auf der Verhaltensebene Farbreize stärkere Inhibitionseffekte bewirken als Bewegungsreize, indem

3. Zusammenfassung der Befunde

sie zeigten, dass der sogenannte *distractor previewing effect* für letztere geringer ausgeprägt ist (siehe Einleitung), ihre Studie war jedoch nicht auf einen direkten Vergleich der Stärke der Effekte ausgelegt, weshalb die Stimulus-Salienz und damit die grundlegende Vergleichbarkeit nicht kontrolliert wurde. Vor diesem Hintergrund wurde in Studie 3 der Fragestellung nachgegangen, ob bzw. inwieweit sich das Ausmaß des DIB-Effekts zwischen einzelnen Dimensionen unterscheidet. Weil in einem vorgeschalteten Pilotexperiment Orientierungsreize in unserem Design distraktorunabhängig weniger salient waren, beschränkten wir uns hierbei auf den Vergleich von Farb- und Bewegungs-DIB. Basierend auf unseren vorherigen Studien sowie auf den Befunden von Ariga & Kawahara (2004) und Sakagami und Kollegen (2001; 2006; 2007), lautete die Hypothese wie folgt:

- Die Präsentation zielreizgleicher Farbdistraktoren führt zu einer niedrigeren Trefferquote als die Präsentation zielreizgleicher Bewegungsdistraktoren

Würde man in der vorliegenden Studie die Eigenschaftsdimension als weiteren Einflussfaktor auf die Stärke des Effektes identifizieren, hätte man damit eine weitergehende Möglichkeit, die Grenzen des Inhibitionsprozesses – etwa durch die Kombination zweier starker Einflussfaktoren – zu testen. Dieser Idee folgend, sollte explorativ die Frage untersucht werden, ob sich ein eventueller Unterschied zwischen den Eigenschaftsdimensionen mit steigender Distraktoranzahl verändert. Würde sich ein eventueller Unterschied zwischen den Eigenschaftsdimensionen mit steigender Anzahl von Distraktoren noch vergrößern, spräche dies für eine zunehmende Sensitivierung des Inhibitionsprozesses je stärker dieser getriggert wird. Würde sich ein eventueller Unterschied hingegen reduzieren, spräche dies eher für eine Sättigung des Effektes, das heißt, dass eine Zunahme nur in einem gewissen Rahmen möglich ist und die Inhibition sich danach nicht mehr beziehungsweise in deutlich geringerem Maße steigert. Natürlich wäre auch eine lineare, rein additive Steigerung des Inhibitionsprozesses denkbar.

3. Zusammenfassung der Befunde

Für Studie 3 (Manuskript Nr. 3, Winther & Niedeggen, submitted) wurden die Daten von 62 Probanden analysiert. Die Probanden hatten die Aufgabe, mittels Tastendruck anzugeben, ob gleichzeitig mit dem Hinweisreiz (zwei weiße Punkte, siehe Abb. 9) eine kohärente Bewegung bzw. ein Farbwechsel (siehe Abb. 9) detektiert worden war (ja/nein). Alle Probanden durchliefen insgesamt 2 Blöcke, wobei in einem der Blöcke Zielreiz und Distraktoren durch Farbwechsel und in dem anderen Block Zielreiz und Distraktoren durch eine kohärente Bewegung definiert waren (ausbalanciert). Wenn ein Zielreiz gezeigt wurde, geschah dies gleichzeitig mit der Hinweisreizpräsentation (SOA 0). Die Trefferquoten wurden mit Hilfe einer 2x2 ANOVA mit den Innersubjektfaktoren „Distraktoranzahl“ (wenige vs. viele) und „Dimension“ (Farbe vs. Bewegung) analysiert. Um sicherzustellen, dass eventuelle Differenzen zwischen den Dimensionen tatsächlich auf die Distraktorwirkung zurückzuführen sind und nicht etwa auf Unterschiede in der Zielreizsalienz, wurden auch Kontrolldurchgänge ohne Distraktoren zwischen den Dimensionen verglichen. Auf eine Analyse der Reaktionszeiten wurde weiterhin verzichtet, weil die Fragestellung in ausreichendem Maße durch den Vergleich der Trefferquoten beantwortet werden konnte. Außerdem unterscheiden sich die verschiedenen Eigenschaftsdimensionen – unabhängig von der Salienz – in ihrer Verarbeitungszeit (Linares & Lopez-Moliner, 2006) was einen Vergleich auf Grundlage von Reaktionszeiten erschweren würde.

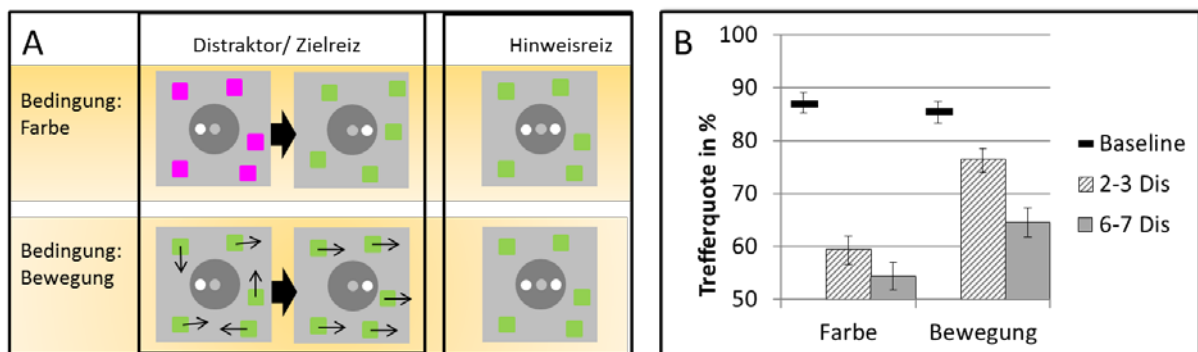


Abbildung 9: A: Schematische Darstellung von Distraktor, Hinweisreiz und Zielreiz. Bedingung Farbe (oben): Distraktoren und Zielreiz sind durch einen Farbwechsel von rosa zu grün oder vice versa definiert (in diesem Beispiel von rosa zu grün). Bedingung Bewegung (unten): Distraktor und Zielreiz sind durch eine kohärente Bewegung (in diesem Beispiel nach rechts) gekennzeichnet. Der Hinweisreiz besteht jeweils aus zwei weißen Punkten beidseitig des Fixationspunktes. B: Trefferquoten in Durchgängen mit wenigen (2-3 Dis, schraffiert) und vielen (6-7 Dis, einfarbig) Distraktoren bzw. ohne Distraktoren (Baseline, schwarz), separat dargestellt für die Farb-DIB-Version (links) und die Bewegungs-DIB-Version (rechts). Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar.

3. Zusammenfassung der Befunde

Zentrale Ergebnisse

In Kontrollbedingungen ohne Distraktor fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen des Farb- und Bewegungsblockes. Dies spricht dafür, dass die Salienz von Farbe und Bewegung vergleichbar ist und Unterschiede im Distraktoreffekt der Eigenschaftsdimensionen tatsächlich auf die Distraktorwirkung und nicht auf eine differentielle Zielreizverarbeitung oder ähnliches zurückzuführen ist.

Der Hypothese entsprechend hatten die Probanden in Folge von Farbdistraktoren geringere Zielreizdetektionsraten als in Folge von Bewegungsdistraktoren. Allgemein war die Trefferquote darüber hinaus in Durchgängen mit vielen Distraktoren geringer, als in solchen Durchgängen mit wenigen Distraktoren. Während wenige Farb-Distraktoren im Vergleich zu Bewegungsdistraktoren bereits einen starken Distraktoreffekt bewirkten, welcher sich mit steigender Distraktoranzahl nur noch geringfügig steigerte, war die Zunahme des Effektes mit steigender Anzahl von Bewegungsdistraktoren deutlich stärker ausgeprägt (siehe Abb. 9B).

Bedeutung der Befunde

Die Daten lassen den Schluss zu, dass der durch Farbdistraktoren initiierte Inhibitionsprozess effektiver ist als der durch Bewegungsdistraktoren ausgelöste. Man kann also annehmen, dass zwar alle primären visuellen Eigenschaftsdimensionen vergleichbare Hemmungsprozesse hervorrufen (siehe Studie 2), dass aber deren Effektivität klar abhängig von der Dimension ist. Dies ist im Einklang mit den in Studie 2 erhobenen Daten und denen von Ariga und Kawahara (2004), welche ebenfalls nahelegten, dass ein durch Farbreize ausgelöster inhibitorischer Effekt stärker als ein durch Bewegungsreize ausgelöster inhibitorischer Effekt ist. Ein möglicher Erklärungsansatz ist die Hypothese von Sakagami et al. (2006), welche besagt, dass Dimensionen, welche, wie Farbe, vornehmlich im ventralen Pfad verarbeitet werden, direkter gehemmt werden als solche, die, wie Bewegungen, im dorsalen Pfad verarbeitet werden.

Darüber hinaus legt die Tatsache, dass die Zunahme des Distraktoreffektes mit steigender Anzahl von Distraktoren bei Farbreizen weniger ausgeprägt ist, nahe, dass der DIB-Effekt nicht linear ansteigt, sondern vielmehr an einem bestimmten Punkt eine Sättigung erfährt, sodass weitere Distraktoren nicht unbegrenzt zu noch niedrigeren Detektionsraten führen. Obgleich diese Erklärung sowohl sparsam als auch naheliegend ist, müsste die Anzahl der Distraktoren sowie eventuell weiterer Dimensionen systematisch variiert werden, um eindeutige Schlüsse ziehen zu können.

4. Diskussion und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde zunächst gezeigt, dass ein einzelner Distraktor anders als multiple Distraktoren keine Verlangsamung der Reaktionszeiten bewirkt, woraus geschlossen wurde, dass DIB nicht auf eine unwillkürliche Distraktorverstärkung zurückzuführen ist. Im Anschluss wurde demonstriert, dass zielreizgleiche Farbdistraktoren eine Reduktion der Trefferquote bewirken, wenn Hinweisreiz und Zielreiz zeitgleich präsentiert werden und dass dieser Effekt mit steigender Distraktoranzahl zunimmt, begleitet von einer ebenfalls zunehmenden frontalen Negativität im EKP. All diese Charakteristika der DIB wurden in früheren Studien auch bei Bewegungs- und Orientierungsreizen identifiziert (Hesselmann et al., 2006; Michael et al., 2011; 2012; Niedeggen et al., 2004; 2012; 2015; Sahraie et al., 2001). Zusätzlich zeigte sich, dass der Farb-DIB-Effekt deutlich stärker ausgeprägt ist als der Bewegungs-DIB-Effekt. Als Ganzes betrachtet unterstützen diese Ergebnisse die Annahme, dass DIB-Effekte auf Inhibitionsprozesse zurückzuführen sind. Darüber hinaus legen sie nahe, dass diese Prozesse in ihrer grundlegenden Natur zwar dimensionsübergreifend sind, dass sich ihre Effektivität jedoch zwischen den einzelnen Dimensionen unterscheidet. Diese Erkenntnisse werden im Folgenden in Bezug auf ihre Bedeutung diskutiert.

Zunächst einmal untermauern die Daten in ihrer Gesamtheit die Theorie, dass die beobachtbare „Blindheit“ auf einen zentralen Inhibitionsprozess zurückzuführen ist. Bereits in früheren Studien wurden diverse Alternativerklärungen für das DIB-Phänomen ausgeschlossen (z.B. Unsicherheit bezüglich zeitlicher Abfolge von Hinweis- und Zielreiz, Hesselmann et al., 2006; Maskierungseffekte, Niedeggen et al., 2004, Sahraie et al., 2001; räumliche Aufmerksamkeit, Hesselmann et al., 2009). Mit dem Befund, dass unwillkürliche Verstärkungsprozesse nicht zum Effekt beitragen (Studie 1) wurde dahingehend eine weitere Lücke geschlossen. Zusätzlich wurden im Rahmen dieser Arbeit frühere Ergebnisse, die für einen auf einem *distractor template* basierenden Inhibitionsprozess und gegen einen auf einem *target template* basierenden Verstärkungsprozess sprechen, repliziert: Dies gilt insbesondere für die reduzierte Trefferquote (siehe Studie 1 und 3) und steigende frontale Negativität (Studie 2) mit steigender Distraktoranzahl (Hesselmann et al., 2006; Niedeggen et al., 2004; 2012). Ein solcher Effekt wäre in Hinblick auf unwillkürliche Verstärkung nicht zu erwarten, da davon auszugehen ist, dass a) bei RSVP-Aufgaben nur ein Stimulus auf einmal verstärkt wird und sich die Verstärkung durch mehrere erfolglose Wiederholungen nicht summiert (Olivers & Meeter, 2008) und b) in Bezug auf unwillkürliche

4. Diskussion und Ausblick

Distraktorverstärkung bekannt ist, dass eine repetitive Stimulusdarbietung eher zu einer Reduktion des Effektes führt (Folk et al., 2009; Irons & Remington, 2013). Ähnliches gilt auch für andere Alternativerklärungen wie Maskierungseffekte. Eine Steigerung der Inhibition bei repetitiver Distraktordarbietung macht hingegen Sinn wenn man davon ausgeht, dass jede Distraktorpräsentation das im Arbeitsgedächtnis verankerte *distractor template* bestätigt und die Assoziation damit verstärkt. Dass es sich hierbei um einen durch Aufgabenziele determinierten Prozess handelt, wird durch die Tatsache untermauert, dass die Effekte auch in den vorliegenden Studien (Studie 1 und 2) ausschließlich dann ausgelöst wurden, wenn Distraktoren und Zielreiz durch dieselbe visuelle Eigenschaftsdimension definiert wurden (Michael et al., 2011; 2012; Niedeggen et al., 2012). Der Befund, dass der DIB-Effekt nicht unmittelbar auf Verstärkungsprozesse sondern vielmehr mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Inhibitionsprozesse zurückzuführen ist, bedeutet nicht nur für sich gesehen einen relevanten Erkenntnisgewinn, sondern ist darüber hinaus essentielle Voraussetzung für die nachfolgenden Überlegungen.

Die Daten unterstützen Modelle selektiver Aufmerksamkeit bzw. exekutiver Funktionen, welche ein inhibitorisches Modul explizit einbeziehen (zum Beispiel Hasher et al., 2007; Houghton & Tipper, 1994; Olivers & Meeter, 2008). Diese differenzieren üblicherweise nicht zwischen unterschiedlichem visuellem Input, was in Bezug auf die grundlegenden Inhibitionsprozesse auch von unseren Daten (Studie 2 und 3) untermauert wird (siehe auch z.B. Ariga & Kawahara, 2004 für weitere empirische Evidenz). Dies erscheint vor allem aus zwei Gründen logisch: Es wird davon ausgegangen, dass *distractor templates* an einer höheren Verarbeitungsebene ansetzen (Niedeggen et al., 2002; 2004; Olivers & Meeter, 2008), an einem Punkt also an dem die differentielle Verarbeitung einzelner Eigenschaftsdimensionen wenn überhaupt eine untergeordnete Rolle zu spielen scheint (Mishkin et al., 1983; Tootell & Nasr, 2017; Wager & Smith, 2003). Darüber hinaus ist der Zweck eines *distractor templates* die Vermeidung von Interferenzen durch irrelevante Reize. Alle visuellen Eigenschaftsdimensionen können potentiell auf vergleichbare Art interferieren, weswegen es auch Sinn macht, dass alle Dimensionen demselben Inhibitionsmechanismus unterliegen. Obwohl die Annahme eines dimensionsübergreifenden Mechanismus naheliegend ist und auch in den meisten Theorien zumindest implizit vertreten wird (siehe oben), ist die Anzahl der Studien, die dieser Frage explizit nachgeht, bisher sehr gering. Schlüsse aus bereits vorhandenen Studien können nicht zwangsläufig auf dimensionsbasierte Inhibition im Kontext zeitlicher Aufmerksamkeit

übertragen werden. Die vorliegende Arbeit ergänzt die Befundlage in diesem Punkt. Es ist dabei allerdings zu bedenken, dass auch die vorliegenden Ergebnisse singular gesehen nicht unbegrenzt verallgemeinert werden können. Bisher wurde im DIB-Paradigma ausschließlich die Wirkung bewegungsassoziierter Reize und nun im Rahmen dieser Arbeit zusätzlich die Wirkung von Farbreizen untersucht. Dementsprechend ist nicht komplett auszuschließen, dass der DIB-Effekt bei einer anderen primären Eigenschaftsdimension wie z.B. Form nicht vorhanden wäre beziehungsweise ein gänzlich anderes Muster aufweisen würde. Dies ist jedoch äußerst unwahrscheinlich. Die Eigenschaftsdimensionen Farbe und Bewegung wurden deshalb gewählt, weil sie sich in Bezug auf neuronale Verarbeitung und mutmaßliche Funktion im visuellen System (Schandry, 2003; Vaina, 1994; Zeki et al., 1991; Zeki & Shipp, 1988) stark unterscheiden. Aus theoretischen Erwägungen würde es daher wenig Sinn ergeben, dass andere Dimensionen, welche den getesteten Dimensionen ähnlicher sind (wie z.B. Form, siehe Robertson, 2003; Vaina, 1994), grundlegend andere Prozesse induzieren. Auch existiert keine empirische Evidenz, die diese Annahme nahelegen würde. Im Gegenteil: Eine Studie von Ariga und Kawahara (2004) liefert überzeugende Evidenz, dafür, dass dimensionsbasierte Inhibitionsprozesse sich nicht auf primäre visuelle Eigenschaftsdimensionen beschränken: Der oben beschriebene *distractor previewing effect*, welcher –genau wie der DIB-Effekt – als Maß für eigenschaftsbasierte Inhibitionsprozesse gilt (Ariga & Kawahara, 2004; Lleras et al., 2008; Shin et al., 2008), kann auch von komplexen und/oder abstrakten Stimuli ausgelöst werden. So bewirkten zum Beispiel Farbwörter eine inhibitorische Reaktion, die sich im Anschluss auf die Verarbeitung gezeigter Farbreize auswirkte (Ariga & Kawahara, 2004). Es erscheint dementsprechend sogar denkbar, dass die in der Gesamtschau der Daten plausible Annahme eines zentralen, übergreifenden Inhibitionsprozesses sich auch auf Eigenschaftsdimensionen innerhalb anderer Sinnesmodalitäten ausweiten ließe, sofern diese das Potential haben, als Distraktor zu fungieren (siehe Ramautar et al., 2006 für ein Beispiel im Bereich der Verhaltensinhibition).

Auf der anderen Seite zeigen die Ergebnisse von Studie 3, dass die Effektivität des Prozesses eben nicht komplett unabhängig von der Eigenschaftsdimension ist. Farb-induzierte Inhibitionsprozesse scheinen effektiver zu sein als bewegungsinduzierte Inhibitionsprozesse. Dies legt die Vermutung nahe, dass sich die differentielle neuronale Verarbeitung dieser beiden Eigenschaftsdimensionen bis in die an den Inhibitionsprozessen mutmaßlich beteiligten präfrontalen Areale auswirkt (siehe auch Nee et al., 2012; Sakagami et al., 2006). In der Tat werden Farb- und Bewegungsreize –insbesondere in der frühen Verarbeitung– bevorzugt von unterschiedlichen Neuronenpopulationen verarbeitet. Dies gilt einerseits für

die Trennung in parvo- und magnozellige Verarbeitung (Tootell & Nasr, 2017) bzw. in die spezifischen farb- bzw. bewegungsverarbeitenden Hirnareale (Bewegung: MT+; Farbe: V4/V8; Watson et al., 1993; McKeefry & Zeki, 1997; Hadjikhani et al., 1998), andererseits zumindest teilweise auch für die Separierung in dorsalen und ventralen Pfad (z.B. Vaina, 1994). Unsere Ergebnisse reihen sich ein in die Befunde von Sakagami et al. (2001; 2006; 2007), welche eine direktere Verarbeitung von Farbreizen als von Bewegungsreizen postulierten. Sie passen auch zur der Annahme von Nee und Kollegen (2012), wonach sich die Trennung des ventralen und dorsalen Verarbeitungspfades bis in präfrontale Areale fortsetzt und damit die exekutiven Funktionen des Arbeitsgedächtnisses beeinflusst. Mit der vorliegenden Arbeit wurde empirische Evidenz dafür geliefert, dass ein Inhibitionsprozess im Kontext dimensionsbasierter Aufmerksamkeit in seiner Effektivität von der Eigenschaftsdimension abhängig ist und dass sich dies auch klar auf der Verhaltensebene bemerkbar macht. Geht man von einer evolutionären Perspektive aus, so macht es durchaus Sinn, dass Eigenschaftsdimensionen wie Bewegungen, auf die gegebenenfalls direkt reagiert werden muss, weniger effektiv unterdrückt werden können, da eine fehlerhafte Inhibition hier mit wesentlich gravierenderen Folgen verbunden wäre (z.B. das Übersehen eines anschleichenden Raubtiers) als dies bei einer fehlerhaften Inhibition statischer, vornehmlich zur Objektidentifikation und weitergehenden Kognition notwendigen Eigenschaftsdimensionen wie Farbe (Braddick et al., 2003; Tanaka et al., 2001) der Fall wäre.

Eigenschaftsbasierte Einflussfaktoren auf inhibitorische Prozesse wurden, wie das Beispiel der Eigenschaftsdimensionen zeigt, bis dato nicht umfassend erforscht. In Theorien dimensionsbasierter Selektion spielen solche Einflussfaktoren eine entsprechend untergeordnete Rolle (z.B. Bundesen, 1990; Bundesen et al., 2005; Houghton & Tipper, 1994; Lavie, 2000). Auch die *boost and bounce* Theorie von Olivers und Meeter (2008) geht nur am Rande darauf ein. Nach ihrer Aussage wird die Stärke des *gatings* vor allem durch die Stimulussalienz und die Ähnlichkeit von Distraktor- und Zielreiz beeinflusst. Unsere Daten legen jedoch nahe, dass eine darüber hinausgehende Ergänzung und Konkretisierung weiterer Einflussfaktoren (wie die Eigenschaftsdimension) zum Verständnis inhibitorischer Prozesse notwendig ist.

4. Diskussion und Ausblick

Deshalb wird hier ein um stimulusabhängige Einflussfaktoren³ erweitertes Modell der *top-down* modulierten dimensionsbasierten Stimulusinhibition vorgeschlagen (siehe Abb. 10), welches sich an die *Boost und Bounce-Theorie* von Olivers und Meeters (2008) sowie an das DIB-Erklärungsmodell (Sahraie et al., 2001; Niedeggen et al., 2015) anlehnt. Übereinstimmend mit diesen beiden Theorien wird davon ausgegangen, dass die Stimulusselektion, sofern möglich, neben *target templates* auch von *distractor templates* reguliert wird (siehe oben, *attentional set* nach Olivers und Meeter, 2008). Diese beschränken den Zugang zum Arbeitsgedächtnis, werden andererseits aber auch von Information aus selbigem gespeist. Es ist davon auszugehen, dass es sich hierbei um Prozesse auf einer höheren Verarbeitungsebene handelt (Niedeggen et al., 2002; 2015; siehe auch Vogel et al., 1998; Vogel & Luck, 2002), welche dimensionsübergreifend sind (siehe Studie 2; auch Ariga & Kawahara, 2004).

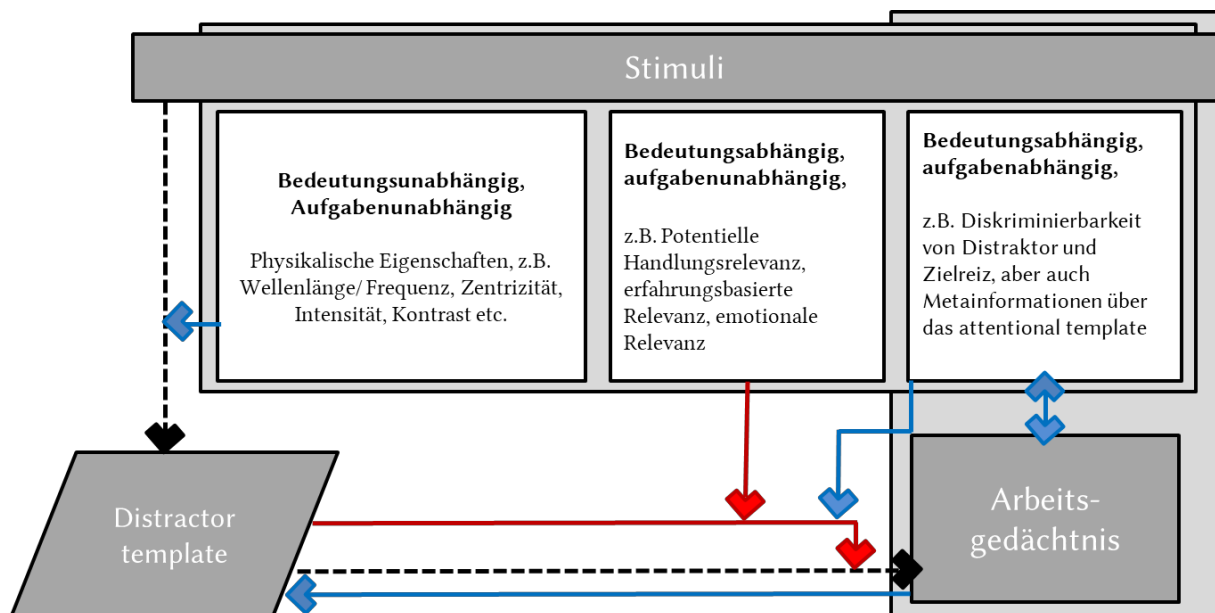


Abbildung 10: Prototypisches Modell der Stimulusinhibition unter Einbezug stimulusbasierter Einflussfaktoren (weiße Kästen), welche die Stärke des Effektes modulieren. Gestrichelte, schwarze Pfeile skizzieren den Weg der Stimulusverarbeitung eines Stimulus', welcher Distraktoreigenschaften aufweist. Rote Pfeile beschreiben eine inhibitorische Wirkung. So führt eine erhöhte Stimulusrelevanz dazu, dass die inhibitorische Wirkung des *distractor templates* gehemmt und dementsprechend in ihrer Effektivität verringert wird. Blaue Pfeile bezeichnen einen Effekt mit nicht näher spezifizierter (weil von der jeweiligen Ausprägung abhängiger) Wirkungsrichtung.

³ Das Modell beschränkt sich auf stimulusbezogene Einflussfaktoren, es ist davon auszugehen, dass personenbezogene Faktoren und Umweltfaktoren wie Stress, Motivation, Intelligenz, Tageszeit etc. ebenfalls einen Einfluss auf die Effektivität von Verstärkungs- und Inhibitionsprozessen haben (z.B. Kraemer et al., 2000).

4. Diskussion und Ausblick

Die Stärke des Effektes wird durch verschieden zu kategorisierende Einflussfaktoren moduliert, wobei deren Wirkung mutmaßlich nonlinear und innerhalb eines gewissen Spielraums begrenzt ist (siehe Sättigung des Effekts der Distraktoranzahl, Studie 3). Das heißt, je stärker die Inhibition ist, desto geringer ist die Steigerung derselben, wenn ein weiterer verstärkender Einflussfaktor hinzukommt.

Hierbei scheint eine Kategorisierung der Faktoren auf zwei verschiedenen Ebenen, nämlich einerseits auf Ebene der Aufgabenabhängigkeit und andererseits der Bedeutungsabhängigkeit, sinnvoll. Letztere Ebene ist hierbei insofern übergeordnet, als Aufgabenabhängigkeit nur dann möglich ist, wenn Bedeutungsabhängigkeit gegeben ist. Bedeutungsunabhängige, ausschließlich vom Stimulus ausgehende Einflussfaktoren beeinflussen – aufgabenunabhängig – die „physikalische Salienz“. Ihre Ausprägung bestimmt maßgeblich, ob ein Reiz überhaupt postsensorisch verarbeitet wird (Johnston & Dark, 1986; Theeuwes, 2010; Treue, 2001) und damit in die *distractor templates*, welche in einer späteren Verarbeitungsstufe agieren (Olivers & Meeter, 2008; Niedeggen et al., 2002; 2004), eingespeist werden kann. Die unterschiedliche Effizienz der Farb-DIB und Bewegungs-DIB trotz Konstanthaltung aufgabenspezifischer Faktoren (Studie 3) lässt sich am besten durch die Existenz bedeutungsabhängiger, jedoch aufgabenunabhängiger Einflussfaktoren erklären: Dabei führt eine erhöhte Bedeutung/ Relevanz des Stimulus‘ zu ineffektiveren Inhibitionsprozessen. Neben der emotionalen (Williams et al., 1996) und der erfahrungsbasierten Relevanz (Vertrautheit bis hin zur Automatisiertheit, MacLeod, 1991) spielt hier mutmaßlich die potentielle Handlungsrelevanz eine Rolle: Je größer die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein Reiz potentiell (wie Bewegung) eine sofortige Reaktion notwendig macht, desto weniger effektiv wirkt ein *distractor template*. Zusätzlich ist die Existenz bedeutungs- und aufgabenabhängiger Faktoren sehr wahrscheinlich. Auch hierfür liefert die vorliegende Arbeit Evidenz. Ein Beispiel wäre die Ähnlichkeit von Distraktor und Zielreiz, welche ein *distractor template* überhaupt erst nötig macht (siehe Spezifität in Studie 1 und 2, aber auch Niedeggen et al., 2012 bzw. Olivers & Meeter, 2008). Auch Metainformationen, z.B. in Bezug auf den Erfolg des *distractor templates* gehören in diese Kategorie. So könnte ein wiederholt erfolgreich angewendetes *distractor template* eine Verstärkung desselben bewirken (Abhängigkeit von der Distraktoranzahl in Studie 1 und 3 sowie Hesselmann et al., 2006). Anders als die beiden anderen Kategorien, welche per Definition „fest verdrahtet“ sind beziehungsweise durch das Langzeitgedächtnis beeinflusst werden, ist diese letzte Kategorie mutmaßlich flexibler, da sie direkt durch das Arbeitsgedächtnis determiniert ist.

4. Diskussion und Ausblick

Zur Prüfung dieser Annahmen würde es sich anbieten, den Effekt weiterer visueller – auch komplexer – Stimuluseigenschaften unter Einbezug psychophysiologischer Maße zu analysieren. Eine systematische Variation einzelner mutmaßlicher Einflussfaktoren wäre dabei sinnvoll. In einem weiteren Schritt wäre es denkbar, das Paradigma auch auf andere Modalitäten auszuweiten.

In Bezug auf dimensionsbasierte Inhibitionsprozesse, die Bedingungen ihres Auftretens und ihre Einflussfaktoren erweitert die vorliegende Arbeit nicht nur unser Wissen sondern schafft auch eine Basis für weitere Forschung. Die Fragestellungen sind hierbei klar der Grundlagenforschung zuzuordnen. Die Thematik ist jedoch auch für anwendungsbezogenere Arbeit relevant. So wird ein Defizit im Umgang mit Distraktorinterferenz in Form mangelnder inhibitorischer Fähigkeiten mit einer Reihe psychischer Erkrankungen (z.B. Schizophrenie: Westerhausen et al., 2011; Zwangsstörungen: Enright & Beech, 1993; ADHD: Nigg, 2000) aber auch mit der natürlichen Verlangsamung bestimmter Prozesse im Alter (Dempster, 1992; Milham et al., 2002) in Verbindung gebracht. Ein umfassendes Verständnis inhibitorischer Prozesse wird gerade in diesem Bereich hilfreich für Diagnose und Therapie sein.

Die zielorientierte Steuerung der Stimuluselektion gehört zu den grundlegendsten Mechanismen im Bereich der Kognition ohne die höhere kognitive Funktionen schwerlich möglich wären (Hasher et al., 2007). Auch deshalb ist ein Verständnis der Variablen, die Einfluss auf diese Prozesse haben, essentiell.

5. Literatur

- Ariga, A., & Kawahara, J. I. (2004). The perceptual and cognitive distractor-previewing effect. *Journal of Vision*, 4(10), 5-5.
- Arita, J. T., Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2012). Templates for rejection: configuring attention to ignore task-irrelevant features. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 38(3), 580.
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(4), 170–177.
- Awh, E., Vogel, E. K., & Oh, S. H. (2006). Interactions between attention and working memory. *Neuroscience*, 139(1), 201-208.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews. Neuroscience*, 4(10), 829.
- Bartholow, B. D., Pearson, M. A., Dickter, C. L., Sher, K. J., Fabiani, M., & Gratton, G. (2005). Strategic control and medial frontal negativity: Beyond errors and response conflict. *Psychophysiology*, 42(1), 33-42.
- Bettencourt, K. C., & Somers, D. C. (2009). Effects of target enhancement and distractor suppression on multiple object tracking capacity. *Journal of vision*, 9(7), 9-9.
- Blasi, G., Goldberg, T. E., Weickert, T., Das, S., Kohn, P., Zolnick, B., ... & Mattay, V. S. (2006). Brain regions underlying response inhibition and interference monitoring and suppression. *European Journal of Neuroscience*, 23(6), 1658-1664.
- Braddick, O., Atkinson, J., & Wattam-Bell, J. (2003). Normal and anomalous development of visual motion processing: Motion coherence and 'dorsal-stream vulnerability.' *Neuropsychologia*, 41(13), 1769–1784.
- Brefczynski, J. A., & DeYoe, E. A. (1999). A physiological correlate of the 'spotlight' of visual attention. *Nature neuroscience*, 2(4), 370-374.
- Bridwell, D. A., & Srinivasan, R. (2012). Distinct attention networks for feature enhancement and suppression in vision. *Psychological science*, 23(10), 1151-1158.
- Brydges, C. R., Clunies-Ross, K., Clohessy, M., Lo, Z. L., Nguyen, A., Rousset, C., ... & Fox, A. M. (2012). Dissociable components of cognitive control: an event-related potential (ERP) study of response inhibition and interference suppression. *PLoS One*, 7(3), e34482.
- Bundesen, C. (1990). A theory of visual attention. *Psychological review*, 97(4), 523.
- Bundesen, C., Habekost, T., & Kyllingsbæk, S. (2005). A neural theory of visual attention: Bridging cognition and neurophysiology. *Psychological Review*, 112, 291–328
- Cai, W., & Leung, H. C. (2009). Cortical activity during manual response inhibition guided by color and orientation cues. *Brain research*, 1261, 20-28.

- Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: Toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental review*, 12(1), 45-75.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual review of neuroscience*, 18(1), 193-222.
- Driver, J. (2001). A selective review of selective attention research from the past century. *British Journal of Psychology*, 92(1), 53-78.
- Ebner, C., Schroll, H., Winther, G., Niedeggen, M., & Hamker, F. H. (2015). Open and closed cortico-subcortical loops: A neuro-computational account of access to consciousness in the distractor-induced blindness paradigm. *Consciousness and cognition*, 35, 295-307.
- Enright, S. J., & Beech, A. R. (1993). Further evidence of reduced cognitive inhibition in obsessive-compulsive disorder. *Personality and Individual Differences*, 14(3), 387-395.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 16(1), 143-149.
- Eriksen, C. W., & James, J. D. S. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & psychophysics*, 40(4), 225-240.
- Faillenot, I., Sunaert, S., Van Hecke, P., & Orban, G. A. (2001). Orientation discrimination of objects and gratings compared: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, 13(3), 585-596.
- Ferrera, V. P., Rudolph, K. K., & Maunsell, J. H. (1994). Responses of neurons in the parietal and temporal visual pathways during a motion task. *Journal of Neuroscience*, 14(10), 6171-6186.
- Folk, C. L., Ester, E. F., & Troemel, K. (2009). How to keep attention from straying: Get engaged! *Psychonomic Bulletin & Review*, 16, 127-132.
- Folk, C. L., Leber, A. B., & Egeth, H. E. (2008). Top-down control settings and the attentional blink: Evidence for nonspatial contingent capture. *Visual Cognition*, 16(5), 616-642.
- 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, 1030-1030.
- Folstein, J. R., & Van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: a review. *Psychophysiology*, 45(1), 152-170.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *Journal of experimental psychology: General*, 133(1), 101.
- Geng, J. J. (2014). Attentional mechanisms of distractor suppression. *Current Directions in Psychological Science*, 23(2), 147-153.

- Ghorashi, S. M., Zuvic, S. M., Visser, T. A., & Di Lollo, V. (2003). Focal distraction: Spatial shifts of attentional focus are not required for contingent capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(1), 78.
- Girelli, M., & Luck, S. J. (1997). Are the same attentional mechanisms used to detect visual search targets defined by color, orientation, and motion?. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(2), 238-253.
- Hasher, L., Lustig, C., & Zacks, R. T. (2007). Inhibitory mechanisms and the control of attention. *Variation in working memory*, 19, 227-249.
- Hay, J. L., Milders, M. M., Sahraie, A., & Niedeggen, M. (2006). The effect of perceptual load on attention-induced motion blindness: The efficiency of selective inhibition. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 32(4), 885.
- Hesselmann, G., Allan, J. L., Sahraie, A., Milders, M., & Niedeggen, M. (2009). Inhibition related impairments of coherent motion perception in the attention-induced motion blindness paradigm. *Spatial vision*, 22(6), 493-509.
- Hesselmann, G., Niedeggen, M., Sahraie, A., & Milders, M. (2006). Specifying the distractor inhibition account of attention-induced motion blindness. *Vision Research*, 46(6), 1048-1056.
- Houghton G., & Tipper, S. P. (1994). A model of inhibitory mechanisms in selective attention. In: Dagenbach D, Carr TH, editors. *Inhibitory processes in attention, memory, and language*. San Diego (CA): Academic Press; p. 53–112.
- Irons, J. L., & Remington, R. W. (2013). Can attentional control settings be maintained for two color-location conjunctions? Evidence from an RSVP task. *Attention Perception & Psychophysics*, 75, 862-875.
- Johnston, W. A., & Dark, V. J. (1986). Selective attention. *Annual review of psychology*, 37(1), 43-75.
- Katzner, S., Busse, L., & Treue, S. (2009). Attention to the color of a moving stimulus modulates motion-signal processing in macaque area MT: evidence for a unified attentional system. *Frontiers in systems neuroscience*, 3.
- Kraemer, S., Danker-Hopfe, H., Dorn, H., Schmidt, A., Ehlert, I., & Herrmann, W. M. (2000). Time-of-day variations of indicators of attention: performance, physiologic parameters, and self-assessment of sleepiness. *Biological psychiatry*, 48(11), 1069-1080.
- Lavie, N. (2000). Selective attention and cognitive control: Dissociating attentional functions through different types of load. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII* (pp. 175–194). Cambridge, MA: Bradford, MIT Press.
- Lange-Malecki, B., & Treue, S. (2012). A flanker effect for moving visual stimuli. *Vision research*, 62, 134-138.
- Lleras, A., Kawahara, J. I., Wan, X. I., & Ariga, A. (2008). Intertrial inhibition of focused attention in pop-out search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 70(1), 114-131.

5. Literatur

- Linares, D., & Lopez-Moliner, J. (2006). Perceptual asynchrony between color and motion with a single direction change. *Journal of Vision*, 6(9), 10-10.
- Liu, T., Hospadaruk, L., Zhu, D. C., & Gardner, J. L. (2011). Feature-specific attentional priority signals in human cortex. *Journal of Neuroscience*, 31(12), 4484-4495.
- Loach, D., & Marí-Beffa, P. (2003). Post-target inhibition: A temporal binding mechanism?. *Visual Cognition*, 10(5), 513-526.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological bulletin*, 109(2), 163.
- MacLeod, C. M., Dodd, M. D., Sheard, E. D., Wilson, D. E., & Bibi, U. (2003). In opposition to inhibition. *Psychology of learning and motivation*, 43, 163-215.
- Mao, W., & Wang, Y. (2007). Various conflicts from ventral and dorsal streams are sequentially processed in a common system. *Experimental brain research*, 177(1), 113-121.
- Marois, R., & Ivanoff, J. (2005). Capacity limits of information processing in the brain. *Trends in cognitive sciences*, 9(6), 296-305.
- Michael, L., Hesselmann, G., Kiefer, M., & Niedeggen, M. (2011). Distractor-induced blindness for orientation changes and coherent motion. *Vision research*, 51(15), 1781-1787.
- Michael, L., Kiefer, M., & Niedeggen, M. (2012). The influence of distracter and target features on distracter induced blindness. *Advances in cognitive psychology*, 8(1), 62.
- Milham, M. P., Erickson, K. I., Banich, M. T., Kramer, A. F., Webb, A., Wszalek, T., & Cohen, N. J. (2002). Attentional control in the aging brain: insights from an fMRI study of the stroop task. *Brain and cognition*, 49(3), 277-296.
- Milders, M., Hay, J., Sahraie, A., & Niedeggen, M. (2004). Central inhibition ability modulates attention-induced motion blindness. *Cognition*, 94(2), B23-B33.
- Milner, D., & Goodale, M. (2006). *The visual brain in action*. Oxford University Press.
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in neurosciences*, 6, 414-417.
- Nee, D. E., Brown, J. W., Askren, M. K., Berman, M. G., Demiralp, E., Krawitz, A., & Jonides, J. (2012). A meta-analysis of executive components of working memory. *Cerebral cortex*, 23(2), 264-282.
- Niedeggen, M., Busch, N. A., & Winther, G. N. (2015). The state of a central inhibition system predicts access to visual targets: An ERP study on distractor-induced blindness (DIB). *Consciousness and cognition*, 35, 308-318.
- Niedeggen, M., Hesselmann, G., Sahraie, A., Milders, M., & Blakemore, C. (2004). Probing the prerequisites for motion blindness. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(4), 584-597.

5. Literatur

- Niedeggen, M., Michael, L., & Hesselmann, G. (2012). Closing the gates to consciousness: Distractors activate a central inhibition process. *Journal of cognitive neuroscience*, 24(6), 1294-1304.
- Niedeggen, M., Sahraie, A., Hesselmann, G., Milders, M., & Blakemore, C. (2002). Is experimental motion blindness due to sensory suppression? An ERP approach. *Cognitive Brain Research*, 13(2), 241-247.
- Nigg, J. T. (2001). Is ADHD a disinhibitory disorder?. *Psychological bulletin*, 127(5), 571.
- Olivers, C. N., & Humphreys, G. W. (2003). Visual marking inhibits singleton capture. *Cognitive Psychology*, 47(1), 1-42.
- Olivers, C. N., & Meeter, M. (2008). A boost and bounce theory of temporal attention. *Psychological review*, 115(4), 836.
- Olivers, C. N., & Watson, D. G. (2006). Input control processes in rapid serial visual presentations: Target selection and distractor inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(5), 1083.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Prinzmetal, W., McCool, C., & Park, S. (2005). Attention: Reaction time and accuracy reveal different mechanisms. *Journal of Experimental Psychology*, 134, 73-92.
- Ramautar, J. R., Kok, A., & Ridderinkhof, K. R. (2006). Effects of stop-signal modality on the N2/P3 complex elicited in the stop-signal paradigm. *Biological psychology*, 72(1), 96-109.
- Roberts, K. L., & Hall, D. A. (2008). Examining a supramodal network for conflict processing: a systematic review and novel functional magnetic resonance imaging data for related visual and auditory stroop tasks. *Journal of cognitive neuroscience*, 20(6), 1063-1078.
- Robertson, L. C. (2003). Binding, spatial attention and perceptual awareness. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(2), 93-102.
- Sahraie, A., Milders, M., & Niedeggen, M. (2001). Attention induced motion blindness. *Vision Research*, 41(13), 1613-1617.
- Sakagami, M., Pan, X., & Uttl, B. (2006). Behavioral inhibition and prefrontal cortex in decision-making. *Neural networks*, 19(8), 1255-1265.
- Sakagami, M., & Pan, X. (2007). Functional role of the ventrolateral prefrontal cortex in decision making. *Current opinion in neurobiology*, 17(2), 228-233.
- Sakagami, M., Tsutsui, K. I., Lauwereyns, J., Koizumi, M., Kobayashi, S., & Hikosaka, O. (2001). A code for behavioral inhibition on the basis of color, but not motion, in ventrolateral prefrontal cortex of macaque monkey. *Journal of Neuroscience*, 21(13), 4801-4808.

5. Literatur

- 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 and Performance*, 8(4), 489.
- Schandry, R. (2003). Das visuelle System. *Biologische Psychologie*, 242-270.
- Shin, E., Wan, X. I., Fabiani, M., Gratton, G., & Lleras, A. (2008). Electrophysiological evidence of feature-based inhibition of focused attention across consecutive trials. *Psychophysiology*, 45(5), 804-811.
- Tanaka, J., Weiskopf, D., & Williams, P. (2001). The role of color in high-level vision. *Trends in cognitive sciences*, 5(5), 211-215.
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta psychologica*, 135(2), 77-99.
- Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37(4), 571-590.
- Töllner, T., Conci, M., & Müller, H. J. (2015). Predictive distractor context facilitates attentional selection of high, but not intermediate and low, salience targets. *Human Brain Mapping*, 36(3), 935-944.
- Tootell, R. B., & Nasr, S. (2017). Columnar Segregation of Magnocellular and Parvocellular Streams in Human Extrastriate Cortex. *Journal of Neuroscience*, 37(33), 8014-8032.
- Treisman, A. (1988). Features and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *The quarterly journal of experimental psychology*, 40(2), 201-237.
- Treue, S. (2001). Neural correlates of attention in primate visual cortex. *Trends in neurosciences*, 24(5), 295-300.
- van Ede, F., de Lange, F. P., & Maris, E. (2012). Attentional cues affect accuracy and reaction time via different cognitive and neural processes. *The Journal of Neuroscience*, 32, 10408-10412.
- Vaina, L. M. (1994). Functional segregation of color and motion processing in the human visual cortex: clinical evidence. *Cerebral Cortex*, 4(5), 555-572.
- Vickery, T. J., King, L. W., & Jiang, Y. (2005). Setting up the target template in visual search. *Journal of Vision*, 5(1), 8-8.
- Vogel, E. K., Luck, S. J., & Shapiro, K. L. (1998). Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(6), 1656.
- Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2002). Delayed working memory consolidation during the attentional blink. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 739-743.
- Wager, T. D., & Smith, E. E. (2003). Neuroimaging studies of working memory. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3(4), 255-274.

5. Literatur

- Watson, D. G., & Humphreys, G. W. (1997). Visual marking: prioritizing selection for new objects by top-down attentional inhibition of old objects. *Psychological review*, 104(1), 90.
- Westerhausen, R., Kompus, K., & Hugdahl, K. (2011). Impaired cognitive inhibition in schizophrenia: a meta-analysis of the Stroop interference effect. *Schizophrenia Research*, 133(1), 172-181.
- Williams, J. M. G., Mathews, A., & MacLeod, C. (1996). The emotional Stroop task and psychopathology. *Psychological bulletin*, 120(1), 3.
- Wolfe, J. M. (1994). Guided search 2.0 a revised model of visual search. *Psychonomic bulletin & review*, 1(2), 202-238.
- Wood, K., & Simons, D. J. (2017). The role of similarity in inattention blindness: Selective enhancement, selective suppression, or both?. *Visual Cognition*, 1-9.
- Yashar, A., & Lamy, D. (2010). Intertrial repetition facilitates selection in time: Common mechanisms underlie spatial and temporal search. *Psychological Science*, 21(2), 243-251.
- Zanto, T. P., & Rissman, J. (2015). Top-down suppression. *Brain Mapping: An Encyclopedic Reference*, 3, 261-267.
- Zanto, T. P., Rubens, M. T., Bollinger, J., & Gazzaley, A. (2010). Top-down modulation of visual feature processing: the role of the inferior frontal junction. *Neuroimage*, 53(2), 736-745.
- Zanto, T. P., Rubens, M. T., Thangavel, A., & Gazzaley, A. (2011). Causal role of the prefrontal cortex in top-down modulation of visual processing and working memory. *Nature neuroscience*, 14(5), 656-661.
- Zeki, S., & Shipp, S. (1988). The functional logic of cortical connections. *Nature*, 335(6188), 311-317.
- Zeki, S., Watson, J. D., Lueck, C. J., Friston, K. J., Kennard, C., & Frackowiak, R. S. (1991). A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex. *Journal of neuroscience*, 11(3), 641-649.
- Zhang, D., Zhou, X., & Martens, S. (2009). The impact of negative attentional set upon target processing in RSVP: An ERP study. *Neuropsychologia*, 47(12), 2604-2614.

6. Originalarbeiten

Die Dissertation basiert auf folgenden Forschungsartikeln:

Winther, G. N., & Niedeggen, M. (2017a). Distractor-Induced Blindness: A Special Case of Contingent Attentional Capture?. *Advances in cognitive psychology*, 13(1), 52-63.

Winther, G. N., & Niedeggen, M. (2017b). Adaptability and specificity of inhibition processes in distractor-induced blindness. *Psychophysiology*, 54(12), 1882-1898.

Winther, G. N., & Niedeggen, M. (submitted in *visual Cognition*) Differential activation of a central inhibition system by motion and colour distractors.

7. Anteilserklärung

Winther, G. N., & Niedeggen, M. (2017). Distractor-Induced Blindness: A Special Case of Contingent Attentional Capture?. *Advances in cognitive psychology*, 13(1), 52.

- Entwicklung der Konzeption (in Teilen)
- Literaturrecherche (mehrheitlich)
- Versuchsdesign (mehrheitlich)
- Datenerhebung (vollständig)
- Datenauswertung (vollständig)
- Ergebnisdiskussion (mehrheitlich)
- Anfertigung der ersten Version des Manuskripts (vollständig)
- Einreichung des Manuskripts und Korrespondenz (mehrheitlich)
- Überarbeitung des Manuskripts (mehrheitlich)

Winther, G. N., & Niedeggen, M. (2017). Adaptability and specificity of inhibition processes in distractor-induced blindness. *Psychophysiology*.

- Entwicklung der Konzeption (mehrheitlich)
- Literaturrecherche (mehrheitlich)
- Versuchsdesign (in Teilen)
- Datenerhebung (vollständig)
- Datenauswertung (in Teilen)
- Ergebnisdiskussion (mehrheitlich)
- Anfertigung der ersten Version des Manuskripts (vollständig)
- Einreichung des Manuskripts und Korrespondenz (mehrheitlich)
- Überarbeitung des Manuskripts (mehrheitlich)

3. Winther, G. N., & Niedeggen, M. (submitted in visual Cognition) Differential activation of a central inhibition system by motion and colour distractors.

- Entwicklung der Konzeption (mehrheitlich)
- Literaturrecherche (mehrheitlich)
- Versuchsdesign (mehrheitlich)
- Datenerhebung (vollständig)
- Datenauswertung (vollständig)
- Ergebnisdiskussion (mehrheitlich)
- Anfertigung der ersten Version des Manuskripts (vollständig)
- Überarbeitung des Manuskripts (in Teilen)
- Einreichung des Manuskripts (mehrheitlich)

9. Eidesstattliche Erklärung

Eidesstattliche Erklärung nach § 7 Abs. 4 der Gemeinsamen Promotionsordnung zum Dr. rer. nat./Ph. D. des Fachbereichs Erziehungswissenschaft und Psychologie der Freien Universität Berlin vom 8. August 2016:

Hiermit erkläre ich, dass ich nur die angegebenen Hilfsmittel und Hilfen benutzt habe. Auf dieser Grundlage habe ich die Arbeit selbstständig und ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst. Weiterhin erkläre ich, dass die Dissertation weder in Teilen noch in ihrer Gesamtheit einer anderen wissenschaftlichen Hochschule zur Begutachtung in einem Promotionsverfahren vorliegt oder vorgelegen hat.

Datum

Unterschrift

Danksagung

Zuallererst möchte ich meinem Doktorvater Michael Niedeggen für die umfangreiche Unterstützung in den letzten Jahren danken. Ich habe besonders die angenehme und freundliche Arbeitsatmosphäre, seine Erreichbarkeit, die inspirierenden wissenschaftlichen Diskussionen und die fachlichen Ratschläge geschätzt.

Ich bedanke mich bei Prof. Dr. Stefan Krumm für die kurzfristige Übernahme der Zweitbegutachtung der Arbeit sowie bei den Kommissionsmitgliedern Prof. Dr. Felix Blankenburg, Prof. Dr. Hauke Heekeren und Dr. Sascha Tamm.

Guido Hesselmann danke ich für die hilfreichen fachlichen Gespräche genauso wie für die Hilfe bei der C++ Programmierung. Ein herzlicher Dank geht außerdem an Anja Kühnel, Sarah Weschke, Alex Lubitz, Katharina Schuck und Ina Nordwald für die schöne Atmosphäre und den tollen Austausch- nicht nur aber natürlich auch bei wissenschaftlichen und organisatorischen Fragen. Ich danke darüber hinaus allen studentischen Helfern für die Unterstützung bei der Datenerhebung.

Nicht zuletzt gilt mein Dank meiner Familie für ihren tatkräftigen und emotionalen Rückhalt! Besonders Liese und Conny haben mir unendlich geholfen, indem sie so viele Stunden auch spontan gebabysittet und mir so für das Schreiben, besonders in der letzten Phase, den Rücken freigehalten haben. Danke Patrick, für Liebe und Unterstützung, fürs Zeit nehmen und Zeit schenken, fürs Zuhören, für die Ratschläge und für Levke und das Bauchbaby, die die Doktorandenzeit nochmal so schön gemacht haben.

Schön, dass es euch alle gibt.