

Der Einfluss der Faktoren Farbe und Form auf den Trade-off zwischen Gedächtnis und Augenbewegung

Bachelorarbeit

**der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard Karls Universität Tübingen**

vorgelegt von

Martin, Noemi Deborah

Tübingen, August 2012

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Tübingen, den

Danksagung

Für die freundliche Unterstützung beim Lösen aller im Laufe meiner Bachelorarbeit aufgetretenen Fragen und Probleme möchte ich mich hiermit bei allen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Kognitive Neurowissenschaft bedanken.

Besonders möchte ich mich bei Dr. Heinz Bendele für die Hilfe bei allen technischen Problemen sowie bei Prof. Dr. Hanspeter A. Mallot für die regelmäßige, individuelle Beratung der Bachelorstudenten bedanken.

Besonderer Dank für die umfassende Betreuung, die große Geduld und die stets geleistete Soforthilfe gilt außerdem meinem Betreuer Dr. Gregor Hardiess.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die durch das Gehirn dynamisch optimierte Prozessierung (*Trade-Off*) zwischen den Kosten für Augenbewegungen und den Kosten für die *Arbeitsgedächtnis*-Nutzung im *Paradigma der vergleichenden visuellen Suche*. Die Kosten wurden hierbei durch den jeweils benötigten Zeitaufwand definiert. Insbesondere wurde untersucht, ob Farb- und Form-Symbole bei der Verarbeitung unterschiedlich hohe Kosten verursachen, und somit auch zu unterschiedlichen *Trade-Offs* führen. Mit dem *Multi-Komponenten-Modell des Arbeitsgedächtnisses* nach Baddeley (1974), wird angenommen, dass sich zu merkende Symbole, nach deren Wahrnehmung verbalisiert und anschließend, bis zu deren Weiterverarbeitung, in einem *artikulatorischen Prozess (verbales Rehearsal)* ‚mental wiederholt‘ werden. Durch dieses mentale Wiederholen der Symbolnamen wird verhindert, dass die gesehenen Symbole aufgrund der zeitlichen und kapazitiven Beschränkung des *Arbeitsgedächtnisses* vergessen werden, bevor sie in der aktuellen Aufgabe weiter behandelt werden können.

Im aktuellen Experiment führten die Versuchspersonen die *vergleichende visuelle Suche* zwischen zwei Spalten aus Symbolen durch. Dabei unterschieden sich die Symbole entweder in ihrer Farbe oder in ihrer Form, so dass die Probanden in jedem Durchlauf nach einem oder zwei Farb- bzw. Formfehlern zu suchen hatten. Zur Messung der Anzahl der Blicksprünge zwischen den Symbolspalten (Kosten für die Augenbewegung) bzw. der Verweildauer der Augen auf den Symbolspalten (Kosten für die *Arbeitsgedächtnis*-Nutzung) wurde eine Methode getestet und genutzt, die ohne Augenbewegungsmessung (Eye-Tracking) auskommt.

Aufgrund der höheren Präsenz von Farbnamen im Alltag wurde ein leichteres Erkennen und Verbalisieren der Farb-Symbole gegenüber den Form-Symbolen und somit eine kostengünstigere Verarbeitung erwartet, welche sich im Experiment bestätigte. Des Weiteren wurde, wie erstmals in der Arbeit von Inamdar & Pomplun (2003), die Distanz zwischen den Symbolspalten variiert. Mit größerer Distanz steigen die Kosten für die Augenbewegung an, was den *Trade-Off* in Richtung mehr *Arbeitsgedächtnis*-Nutzung verschieben sollte. Dieser Zusammenhang wurde bereits in ähnlichen Studien gefunden und konnte auch in der vorliegenden Arbeit bestätigt werden. Es konnte außerdem gezeigt werden, dass jede Versuchsperson ihren eigenen, konstanten *Trade-Off* hat. Sowohl die *Trade-Off*-Unterschiede zwischen den Versuchspersonen, als auch die *Trade-Off*-Verschiebungen zwischen den einzelnen Bedingungen (innerhalb einer Versuchsperson) korrelierten stark. In einer zusätzlichen Messreihe wurde die Auswirkung von Sprachproduktion auf den *Trade-Off* untersucht, indem die Versuchspersonen instruiert wurden, während der Suchaufgabe wiederholt sinnfreie Silben laut auszusprechen. Da Sprachverarbeitung und Sprachproduktion sehr ähnliche Prozesse sind, wurde erwartet, dass die sinnfreien Silben das *Rehearsal* der Symbolnamen unterbinden, und somit die *Arbeitsgedächtnis*-Leistung negativ beeinflussen. Es konnte gezeigt werden, dass sich der *Trade-Off* der Versuchspersonen, aufgrund der zusätzlichen Sprachproduktion, in Richtung von mehr Augenbewegungen und weniger *Arbeitsgedächtnis*-Nutzung verschiebt.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Material und Methoden	9
2.1. Stichprobe	9
2.2. Versuchsaufbau	10
2.3. Material	10
2.3.1. Stimulusbilder	10
2.3.2. Bildschirmanzeige	13
2.4. Versuchsablauf	14
2.4.1. Allgemeiner Ablauf	14
2.4.2. Ablauf eines Durchgangs	15
2.5. Versuchsdesign	15
2.6. Messung	16
2.7. Datenanalyse	16
3. Ergebnisse	19
3.1. Fehlerauswertung	19
3.2. Messreihe 1: Relevanz des Experimentes	20
3.3. Messreihe 2: Trade-Off für Farbe und Form	22
3.4. Messreihe 3: Trade-Off für Farbe und Form	28
3.5. Vergleich: Messreihe 2 und Messreihe 3	31
4. Diskussion	33
Literaturverzeichnis	39
Anhang	41

1. Einleitung

In allen Bereichen des Alltags versuchen wir immer wieder, Abläufe so zu planen, dass sie so effizient wie möglich sind. Dabei merken wir gar nicht, wie große Teile unseres Verhaltens bereits unbewusst durch unser Gehirn effizient geplant und ausgeführt werden. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit einem solchen Mechanismus, der dynamischen Optimierung des Ressourcenverbrauchs für Augenbewegungen und *Arbeitsgedächtnis*-Nutzung im *Paradigma der vergleichenden visuellen Suche* (vvS).

Gedächtnis kann als wiederabrufbare Informationsspeicherung definiert werden, wobei die Menge der zu speichernden Information begrenzt ist (Dietze et al., 2007). Dem *Mehrspeichermodell* von Atkinson & Shiffrin (1968) zufolge basiert das Speichern von Information im Gedächtnis auf dem Zusammenspiel von drei verschiedenen Speichern (Abb. 1.1), zwischen denen die Information ausgetauscht und modifiziert wird. Demnach gibt es einen *Sensorischen Speicher* (auch *sensorisches Register*), ein *Kurzzeitgedächtnis* (KZG) und ein *Langzeitgedächtnis* (LZG).

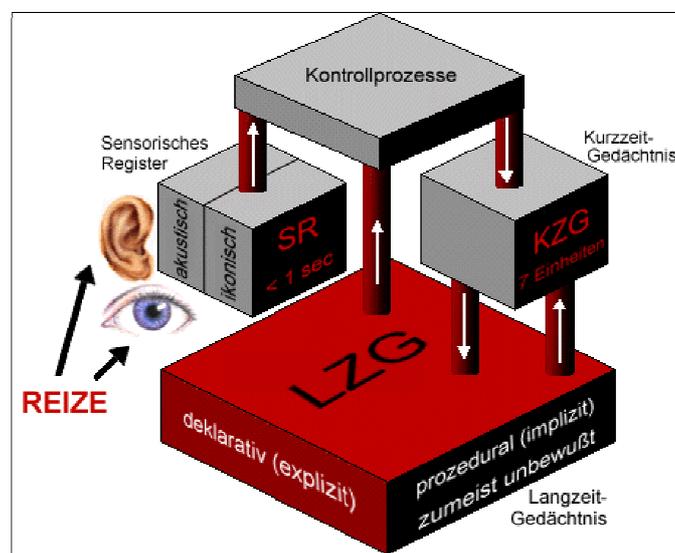


Abb. 1.1: Die Abbildung zeigt das Mehrspeichermodell des Gedächtnisses nach Atkinson & Shiffrin (1968). Das Gedächtnis besteht demnach aus dem Sensorischen Register (SR), dem Kurzzeitgedächtnis (KZG) und dem Langzeitgedächtnis. Der Informationsaustausch zwischen den verschiedenen Speichern wird durch zentrale Kontrollprozesse geregelt.

Quelle: <http://www.supplement.de/supplement/gedaech/gedh.htm>

Nachdem die Information durch die Sinnesorgane aufgenommen wurde gelangt sie zuerst in den *Sensorischen Speicher*. Der *Sensorische Speicher* kann weiter unterteilt werden in einen *ikonischen* und einen *akustischen Speicher*, in denen visuelle und auditive Informationen getrennt verarbeitet werden. Die Informationsmenge, welche abgespeichert werden kann, ist im *Sensorischen Speicher* kaum begrenzt. Die Dauer der Speicherung ist jedoch äußerst kurz (Atkinson & Shiffrin, 1968). Eingehende visuelle Information wird sehr genau im *ikonischen Speicher* repräsentiert, aber schnell wieder vergessen, wenn Sie nicht zur Weiterleitung ins *KZG* ausgewählt wird (Solso, 2005). Es kann immer nur ein kleiner Teil der sensorischen Hinweisreize zur Weiterverarbeitung ausgewählt werden, da höhere kognitive Prozesse sonst durch die Informationsfülle überfordert wären. Es kommt immer nur ein kleiner Teil, von dem, was im *sensorischen Speicher* repräsentiert war, im *KZG* an (Solso, 2005). Das *KZG* ist sowohl in der Speicherkapazität als auch in der Speicherdauer beschränkt. Wie viele Informationseinheiten gleichzeitig im *KZG* gespeichert werden können, wird derzeit noch diskutiert (Mathy & Feldman, 2012). Die Speicherdauer im *KZG* kann durch internes oder externes Wiederholen der Information (*Rehearsal*) verlängert werden (Atkinson & Shiffrin, 1968). Häufig wiederholte Information gelangt ins *LZG* – alle anderen Informationen aus dem *KZG* werden vergessen. Laut Atkinson & Shiffrin (1968) ist die Kapazität und Speicherdauer im *LZG* praktisch unbegrenzt. Informationen können immer wieder abgerufen werden, solange eine Zugriffsmöglichkeit darauf besteht. Den drei Speichern übergeordnet sind Kontrollprozesse, die den Informationsaustausch zwischen den Systemen regeln (Atkinson & Shiffrin, 1968).

Darüber, wo innerhalb dieser Speicherstrukturen das *Arbeitsgedächtnis (AG)* lokalisiert ist, und wie dessen Funktionsweise beschrieben werden kann, sind in der Wissenschaft viele unterschiedliche Theorien im Umlauf. Da das *Multi-Komponenten-Modell* nach Alan Baddeley (1974) eines der Modelle ist, die sich wissenschaftlich am besten etabliert haben, und es darüber hinaus ausreichend ist, um die Inhalte der vorliegenden Arbeit zu diskutieren, wird auf weitere *AG-Modelle* an dieser Stelle nicht näher eingegangen. Wie schon im *Mehrspeichermodell* nach Atkinson & Shiffrin (1968) gibt es auch in Baddeleys *Multi-Komponenten-Modell* (1974) eine übergeordnete Kontrollstruktur. Allerdings sind die Kontrollprozesse nicht mehr nur für die Koordination von Abspeichern, *Rehearsal* und Abruf verantwortlich, sondern regulieren die aktive Verarbeitung und kurzzeitige Abspeicherung von aufgabenrelevanter Information (Miyake & Shah, 1999). Das *AG* kann

somit als ein spezialisierter Teil des *KZGs* definiert werden als, „eine Werkbank, auf der ständig neues und altes Material verarbeitet, transformiert und miteinander kombiniert wird“ (Solso, 2005) wenn wir kognitive Aufgaben ausführen.

Das *AG* besteht laut Baddeley & Logie (1999) aus mehreren, spezialisierten Komponenten, die uns helfen, alle möglichen Arten von Aufgaben zu lösen. Diese Komponenten sind die *zentrale Exekutive*, die *phonologische Schleife* (auch *artikulatorische Schleife*) und der *visuell-räumliche Notizblock* (Abb.1.2).

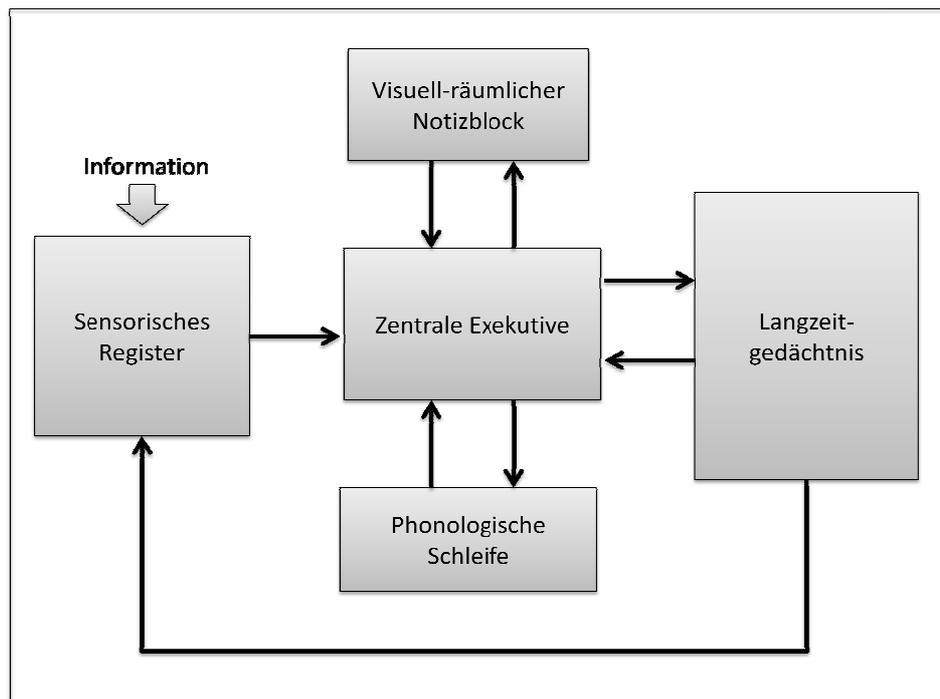


Abb. 1.2: Die Abbildung zeigt das Multi-Komponenten-Modell des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley (1974), bestehend aus zwei Speichermodulen (visuell-räumlicher Notizblock und phonologische Schleife) und der zentralen Exekutiven. Die phonologische Schleife und der visuell-räumliche Notizblock dienen dazu, verbale bzw. visuell-räumliche Information im *AG* zu halten. Die *Zentrale Exekutive* steuert den Informationsaustausch zwischen den Speichermodulen.

Die *phonologische Schleife* und der *visuell-räumliche Notizblock* sind temporäre Speicher, die dazu genutzt werden können, phonologische oder visuell-räumliche Information durch *Rehearsal* im Gedächtnis zu halten. Die *zentrale Exekutive* hat als Kontrollinstanz mehrere Funktionen: sie koordiniert die beiden temporären Speicher, aktiviert benötigte Repräsentationen im *LZG* und steuert den Aufmerksamkeitsfokus (Baddeley & Logie, 1999). Am besten kann im *AG* mit Informationen gearbeitet werden, die versprochen

werden können, da Sprache für das *Rehearsal* in der *phonologischen Schleife* sehr wichtig ist. Dieser sprachliche Verarbeitungsmechanismus macht intuitiv Sinn, da es wenige Sinneseindrücke gibt, die wir nicht durch Sprache kodieren können, was dem Menschen einen enormen Vorteil gegenüber anderen Lebewesen verschafft.

Die Gedächtnisspanne für verbale Information ist durch die Geschwindigkeit festgelegt, mit der wir eine Menge an Information innerhalb einer festen Zeitspanne (in der *phonologischen Schleife*) wiederholen können – also nicht zuletzt durch die Zeit, die wir benötigen, um ein Wort auszusprechen (Solso, 2005). Die Informationseinheiten, die wir im Gedächtnis halten wollen, müssen nacheinander in Realzeit so schnell wiederholt werden, dass nach dem Wiederholen der letzten Einheit die erste Einheit noch nicht aus dem *KZG* verschwunden ist (Baddeley, 2003). Im *AG* ist also sowohl die Speicherzeit als auch die Speicherkapazität begrenzt. Was nicht durch *Rehearsal* wiederholt werden kann, wird vergessen. Damit das *AG* beim Lösen kognitiver Aufgaben trotz dieser Limitierung durch Zeit und Speicherkapazität so optimal wie möglich arbeiten kann, müssen die Kosten, die beim Lösen der Aufgabe entstehen, insgesamt möglichst gering gehalten werden.

Ballard et al. (1995) untersuchten erstmals, bis zu welchem Grad die Kapazität des *AGs* beim Lösen ‚natürlicher‘ Aufgaben überhaupt genutzt wird (viele Studien zuvor hatten lediglich versucht, die theoretische Kapazitätsobergrenze des *AGs* anzugeben). Ballard et al. (1995) wählten hierfür eine computergestützte Muster-Kopier-Aufgabe, in der die Versuchspersonen (*Vpn*) ein vorgegebenes Muster (*model area*) aus bunten Klötzen mit neuen Klötzen (aus der *source area*) an einer anderen Stelle (*workspace*) nachbauen sollten. Der *Vpn* blieb komplett selbst überlassen, auf welchem Wege sie dieses Ziel erreicht. So konnte untersucht werden, ob die *Vpn* nach dem Platzieren eines Klotzes im *workspace* immer wieder zur *model area* zurückkehrt, um sich das Muster erneut anzusehen, oder ob sie das *AG* nutzt, um sich mehrere Klötze einzuprägen und anschließend in der *source area* zu platzieren. Ballard et al. (1995) beobachteten, dass die *Vpn* häufig zur *model area* zurück kehren, statt sich große Teile des Musters zu merken, d.h. das Muster wurde inkrementell nachgebaut, indem in jedem Durchlauf zuerst die *model area*, dann die *source area* und zum Schluss der *workspace* besucht wurde. Die Autoren schlossen daraus, dass das *AG* zwar genutzt wird aber nur in sehr geringem Maße, da die Kosten für das Memorieren höher sind als die Kosten für eine erneute Augenbewegung zurück zur *model area*. Ballard et al. (1995) vermuteten weiter, dass die

Nutzung des AGs intensiver ausfallen würde, wenn die Kosten für die inkrementelle online Beschaffung der Information höher wären. Um eine generelle Kostenminimierung zu erreichen nutzt das Gehirn eine Prozessierung, in der je nach Effizienz entweder das AG genutzt wird, oder ein anderer Mechanismus (wie beispielsweise erneute Aufnahme von Information aus der Umwelt), der den *Arbeitsgedächtnis*-Aufwand ersetzen kann (Ballard et al., 1995). Die maximale Kapazität des AG wird also nur ausgenutzt, wenn sich dadurch die Gesamtkosten minimieren lassen. Das Ergebnis ist eine Optimierung der Gesamtkosten, welche sich aus den Kosten für die AG-Nutzung und den Kosten für andere Prozesse (die AG-Nutzung ersetzen können) zusammensetzen. Dieses optimierte Kostenverhältnis bezeichnet man als den *Trade-Off* zwischen AG-Nutzung und der Nutzung anderer Prozesse. Der *Trade-Off* beschreibt also, zu welchem Anteil verschiedene Prozesse an der Lösung einer Aufgabe beteiligt sein dürfen, so dass die gesamte Aufgabe mit den geringst möglichen Kosten gelöst werden kann. Wie in der Vorgängerstudie von Inamdar & Pomplun (2003) wurden auch in der vorliegende Arbeit die Kosten definiert durch die Zeit, die zum Lösen der Aufgabe benötigt wird.

Inamdar & Pomplun (2003) untersuchten den *Trade-off* zwischen Augenbewegung und AG-Nutzung während der *vvS*. Die Experimente von Inamdar & Pomplun (2003) sollten die Frage klären, welchen Einfluss es auf die Nutzung des AGs hat, wenn die Augenbewegungen kostspieliger werden. Hierzu wurden den Vpn auf einem Bildschirm zwei Spalten, bestehend aus einfachen geometrischen Symbolen (drei verschiedener Farben und Formen), dargeboten. Aufgabe der Vpn war es, festzustellen, ob die Symbole in beiden Spalten identisch sind, oder nicht. Variiert wurde die Distanz zwischen den beiden Spalten (unabhängige Variable) – also die Länge der Augenbewegung, die durchgeführt werden muss, um ein oder mehrere Symbole der beiden Spalten miteinander zu vergleichen. Die Augenbewegung der Probanden wurde mittels Eye-Tracking gemessen. Anhand der Anzahl von Blicksprüngen, die von den Vpn zwischen den beiden Spalten gemacht wurden, schlossen die Autoren auf das Ausmaß der AG-Nutzung in den verschiedenen Distanzbedingungen. Wie erwartet, fanden Inamdar & Pomplun (2003), einen Zusammenhang zwischen der Blick-Dauer, also der Zeit, für welche der Blick in einer Bildhälfte verweilt und dem Distanzlevel. Für größere Distanzen fanden sie längere Verweilzeiten und folgerten daraus, dass die durch das Distanzlevel erhöhten Kosten für die Augenbewegung zu längeren Verarbeitungszeiten zwischen den Blicksprüngen führt. Da sie des Weiteren eine geringere Anzahl an Blicksprüngen in Durchgängen mit großer

Distanz zwischen den Spalten fanden, schlossen Inamdar & Pomplun (2003) dass die längere Verweildauer zwischen zwei Blicksprüngen mit (gegenüber den anderen Distanzbedingungen) erhöhter AG-Nutzung gleichzusetzen ist. Die Vpn passten die Nutzung des AGs an die Kosten für die Augenbewegung an und optimierten so den *Trade-off* zwischen beiden Kostenfaktoren (AG-Nutzung und Augenbewegung), um die Gesamtkosten zu minimieren.

Droll & Hayhoe (2007) untersuchten ebenfalls den *Trade-Off* zwischen Augenbewegung und AG-Nutzung und kamen zu dem Schluss, dass die *Trade-Off* Strategie ein intrinsischer, unbewusster und dauerhaft vorhandener Aspekt menschlichen Verhaltens ist. Hardiess et al. (2008) und Hardiess et al. (2011) konnten zeigen, dass es diesen *Trade-off* nicht nur zwischen AG-Nutzung und Augenbewegung sondern auch zwischen AG-Nutzung und Kopfbewegung und sogar zwischen AG-Nutzung und Laufbewegungen gibt.

Die vorliegende Arbeit baut auf der Studie von Inamdar & Pomplun (2003) auf, und untersucht den Einfluss der Stimulusmerkmale Farbe und Form auf den *Trade-off* zwischen AG und Augenbewegung, ebenfalls auf Basis des Paradigmas der vvS. Es wird angenommen, dass die Verarbeitung von Farb-Symbolen geringere Kosten verursacht als die Verarbeitung von Form-Symbolen. Dieser Kostenunterschied sollte sich im *Trade-off* bemerkbar machen. Für die ‚günstigere‘ Verarbeitung von Farben gegenüber Formen spricht, dass Farben allgemein überlernt sind und wir sie unmittelbar erkennen und verbalisieren können. Bei Formen ist dies nicht der Fall, da wir im Alltag bspw. selten damit konfrontiert werden eine Raute erkennen zu müssen. Die Abrufleistung kann jedoch allein durch Training verbessert werden. Gegenfurtner & Rieger (2000) zeigten bereits die Sonderstellung von Farben beim Abspeichern und Abrufen natürlicher Szenen. Laut Gegenfurtner & Rieger (2000) haben Farbbilder schon in einem sehr frühen Prozess der sensorischen Wahrnehmung einen entscheidenden Vorteil gegenüber Schwarz-Weiß-Bildern. Aus den Ergebnissen ihrer Studie schlossen Gegenfurtner & Rieger (2000), dass Farbe hilft, Objekte schneller zu erkennen und besser zu erinnern.

Wenn die Kosten für das Memorieren von Form-Symbolen tatsächlich höher sind als die Kosten für das Memorieren von Farb-Symbolen, sollten für die Farb-Symbole mehr Blicksprünge und kürzere Memorierungszeiten gemessen werden können als für Form-Symbole (aufgrund der erhöhten AG-Nutzung für Form-Symbole gegenüber Farb-Symbolen). Laut Hardiess et al. (2008) ist es wahrscheinlich möglich, die Gesamtkosten

(die durch den *Trade-off* minimiert werden sollen) mit der Zeit gleichzusetzen, die zum Lösen der Aufgabe benötigt wird. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass es auch andere Prozesse gibt, die ebenfalls eine Rolle spielen und die mit den zeitlichen Kosten korreliert sind (Hardiess et al., 2008).

Zusätzlich zur Variation der *Stimulusart* (Farb-Symbole vs. Form-Symbole) wurde als zweite abhängige Variable, wie im Experiment von Inamdar & Pomplun (2003), die Distanz zwischen den beiden Symbol-Spalten variiert. Bezüglich des Parameters *Distanz* wurden dieselben Ergebnisse wie bei Inamdar & Pomplun (2003) erwartet. Des Weiteren könnte es eine Interaktion zwischen den Faktoren *Stimulusart* und *Distanz* geben.

Im Gegensatz zu Inamdars & Pompluns Studie (2003) wurde bei diesem Experiment kein Eye-Tracker genutzt, sondern eine alternative, einfachere Art der Messung von Blicksprüngen und Fixationszeiten. Diese Messung funktionierte so, dass immer eine der beiden Spalten durch eine graue Maske verdeckt wurde. Die Vpn hatte die Möglichkeit, die Maske zwischen den beiden Spalten durch Klicken der Maustasten zu verschieben und so den Blick auf die gewünschte Spalte freizugeben. Es wird angenommen, dass die Anzahl der Verschiebungen der Maske mit der Anzahl der Halbfeld-Blicksprünge zwischen den beiden Symbol-Spalten gleichgesetzt werden kann. Des Weiteren wurde die Zeit zwischen zwei Verschiebungen gemessen und mit der Zeit gleichgesetzt, die Inamdar & Pomplun (2003) als Memorierungsdauer zwischen zwei Blicksprüngen annahmen. Um die Relevanz dieser Methode zu prüfen, wurde die Messung bei einigen Vpn zusätzlich mit einem Eye-Tracker durchgeführt (Messreihe 1). Anschließend wurden die Rohdaten, welche die beiden Messmethoden lieferten, verglichen. In Messreihe 2 mussten die Vpn, wie oben beschrieben, in der *vvs* Fehler zwischen den beiden Symbol-Spalten finden. Die Symbole waren entweder Formen oder Farben und die Symbol-Spalten befanden sich entweder in kurzem, mittlerem oder langem Abstand zueinander. Des Weiteren gab es eine dritte Messreihe, die eine abgeänderte Variante von Messreihe 2 darstellte und an der auch hauptsächlich dieselben Vpn wie in Messreihe 2 teilnahmen. In dieser dritten Messreihe hatten die Vpn zusätzlich die Aufgabe, während der Fehlersuche wiederholt sinnlose Silben wie „bla-blu-ble“ vor sich hin zu sagen. Auf Basis der These, dass die Vpns mehrere Symbole durch verbales *Rehearsal* der Symbol-Namen im Gedächtnis speichern, wurde erwartet, dass Sprechen das *Rehearsal* unterbindet (*irrelevant speech effect*; Baddeley, 1992). Die Gedächtnisleistung sollte demnach negativ beeinflusst werden, was zur Verschiebung des in Messreihe 2 gefundenen *Trade-offs* führen sollte. Des Weiteren

sollte durch Vergleich von Messreihe 2 und Messreihe 3 untersucht werden, ob die Doppelaufgabe (Sprachproduktion und *vvS*) einen Einfluss darauf hat, wie stark sich der *Trade-off* für Farb-Symbole vom *Tade-off* für Form-Symbole unterscheidet.

2. Material und Methoden

2.1. Stichprobe

Insgesamt wurden die Daten von $N = 18$ Vpn erhoben. Die Vpn waren Studenten unterschiedlicher Fachrichtungen der Universität Tübingen zwischen 21 und 25 Jahren ($M = 22,9$ Jahre). Dreizehn weibliche und fünf männliche Personen mit gutem oder korrigiertem Sehvermögen nahmen am Experiment teil. Die Teilnahme wurde nicht vergütet.

Es gab vier Vpn die nur an Messung 2 (ohne Doppelaufgabe) teilnahmen und drei Vpn die nur an Messung 3 (mit Doppelaufgabe) teilnahmen. Elf Vpn nahmen an beiden Messreihen teil (siehe Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Zeigt die Verteilung der $N = 18$ Vpn auf die verschiedenen Messreihen. Nicht alle Vpn nahmen an jeder Messreihe teil. Es gab $N = 4$ Vpn, die nur an Messreihe 2 teilnahmen und $N = 3$ Vpn, die nur an Messreihe 3 teilnahmen. Einige Vpn ($N = 11$) waren Teilnehmer beider Messreihen. Bei $N = 6$ Vpn wurde zusätzlich eine Augenbewegungsmessung (Messreihe 1) durchgeführt, um die Relevanz der Messmethode ohne Eye-Tracker festzustellen.

VPN-ID	mit Eye-Tracker (Messreihe 1)	ohne Doppelaufgabe (Messreihe 2)	mit Doppelaufgabe (Messreihe 3)
1		x	
2		x	x
3		x	x
4		x	x
5		x	x
6		x	
7		x	x
8		x	x
9	x	x	x
10		x	x
11		x	
12	x	x	x
13	x	x	x
14	x	x	x
15		x	
16			x
17	x		x
18	x		x

Dies kam zustande, da es im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit nicht möglich war, die Teilnahme aller Personen an beiden Messreihen zu erreichen. Außerdem wurde die Augenbewegung bei sechs der 14 Vpn, die an Messreihe 3 teilnahmen, zusätzlich zur normalen Messmethode noch mit einem Eye-Tracker gemessen.

2.2. Versuchsaufbau

Das Experiment fand in einem fensterlosen Raum mit gedimmtem Licht statt. Das Experimentalprogramm wurde mittels der *MATLAB*® Software (Version 7.13.0.564) erstellt und auf einem *HP Compaq 8200 Elite Microtower - PC* unter dem Betriebssystem *Windows XP Professional* ausgeführt. Zur Anzeige wurde ein 19'' *SAMSUNG SyncMaster931BF* Monitor mit einer Auflösung von 1280 x 1024px verwendet. Die Probanden befanden sich in einem Abstand von 50cm zum Monitor.

In Messreihe 1 gab es zusätzliche Komponenten, die der Verfolgung der Augenbewegung dienten. Die Eye-Tracker-Messung wurde durch ein *EYEGAZE SYSTEM (LC Technologies, Inc.)* mit einer zeitlichen Auflösung von 60Hz und einer Messgenauigkeit von 0,5°-1,0° sowie der zugehörigen Software realisiert. Kopfbewegungen der Vpn wurden in diesem Fall durch eine Kinnstütze unterbunden.

2.3. Material

2.3.1. Stimulusbilder

Das verwendete Material war in allen drei Messreihen identisch. In der linken und rechten Hälfte jedes Stimulusbildes befanden sich zwei, fast deckungsgleiche Spalten aus jeweils 24 Symbolen auf hellgrauem Hintergrund, die in jeder Bedingung den jeweils gleichen Abstand zur vertikalen Mittellinie des gesamten Stimulusbildes hatten. Jeweils zwei Symbole auf gleicher Höhe waren durch eine dünne schwarze Linie verbunden, welche die Probanden bei der visuellen Suche unterstützen sollte. Ein Symbol hatte eine Größe von 3° Sehwinkel.

Es gab zwei Arten von Symbolen (zwei Stimulusartbedingungen: Farbe / Form). In der Formbedingung waren alle Symbole im Bild mit schwarzer Farbe ausgefüllt und hatten

entweder die Form eines Quadrates, einer Raute, eines Dreiecks oder eines Kreises (Abb. 2.1a). In der Farbbedingung (Abb. 2.1b) hatten alle Symbole die Form eines Kreises und waren mit unterschiedlichen Farben ausgefüllt (Rot, Blau Grün und Schwarz).

Des Weiteren unterschieden sich die Stimulusbilder darin, in welchem Abstand zueinander sich die beiden Symbol-Spalten befanden. Die Symbol-Spalten konnten sich in kleinem, mittlerem oder großem Abstand (Abb. 2.1a-c) zueinander befinden (drei Distanzbedingungen: kurz/mittel/lang).

Pro Faktorstufenkombination (Farbe+kurze Distanz, Farbe+mittlere Distanz, Farbe+lange Distanz, Form+kurze Distanz, Form+mittlere Distanz, Form+lange Distanz) wurden zehn Stimulusbilder generiert. Es ergaben sich somit 30 Stimulusbilder mit Farb-Symbolen und 30 Stimulusbilder mit Form-Symbol, innerhalb derer es jeweils 20 Stimulusbilder pro Distanzbedingung gab. Die Verteilung der Symbole innerhalb eines Stimulusbildes wurde randomisiert.

Zusätzlich wurden vier Test-Stimulusbilder nach gleichem Schema (aber mit anderen Symbolen) erstellt. Insgesamt ergab sich so eine Zahl von 64 Durchgängen mit unterschiedlichen Stimulusbildern. Die Reihenfolge, in der die Stimulusbilder den Vpn dargeboten wurden, ist ebenfalls randomisiert und bei allen Vpn identisch.

Jedes Stimulusbild enthielt außerdem einen oder zwei Fehler, die durch *vvS* von den Vpn entdeckt werden sollten. Ein Fehler im Stimulusbild äußerte sich dadurch, dass zwei, durch eine Linie verbundene Symbole nicht identisch waren. Es enthielten jeweils 50% der Bilder einen bzw. zwei Fehler.

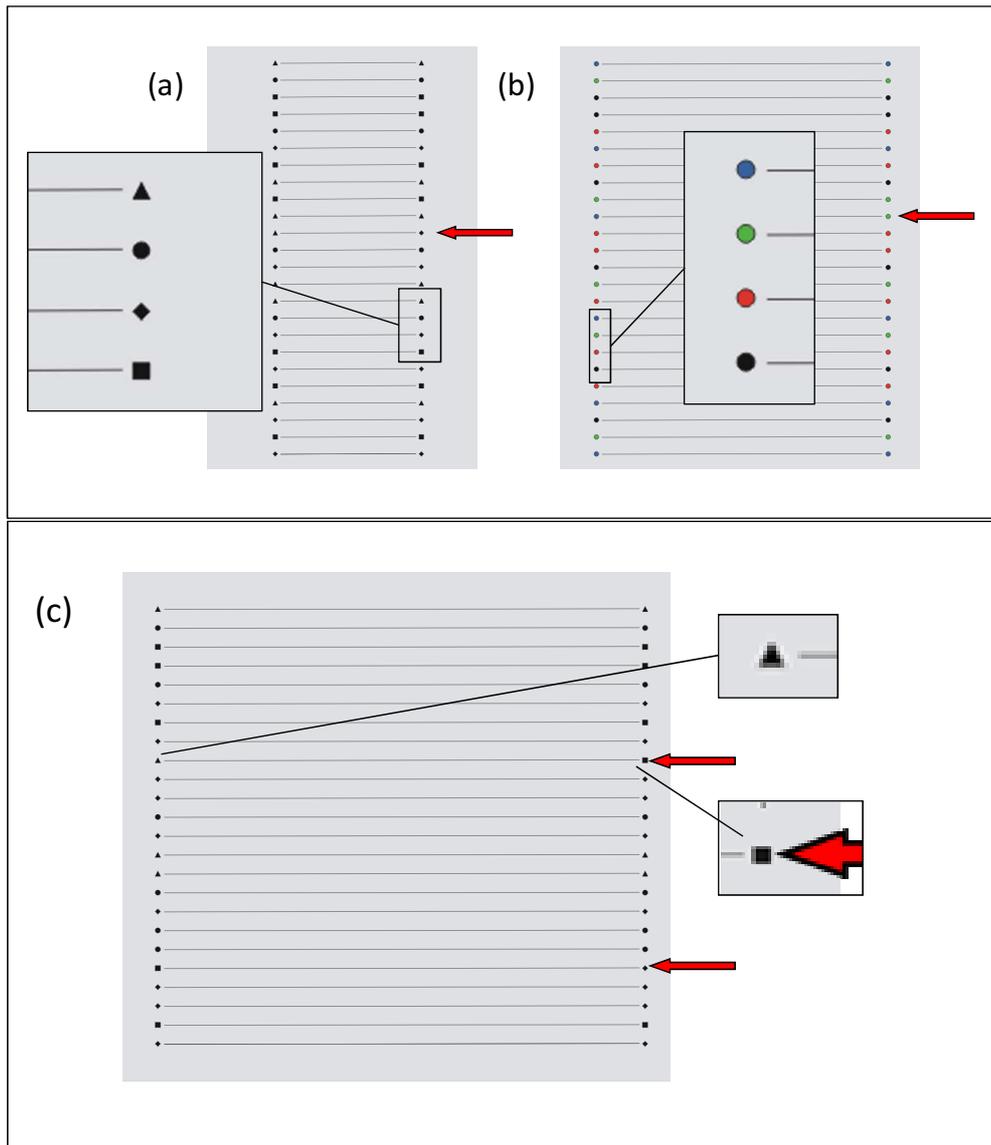


Abb. 2.1: Die Abbildung zeigt eine Auswahl der verwendeten Stimulusbilder, in denen die Vpn die vergleichende visuelle Suche durchführten. Es ist jeweils ein Bild für jede Distanzbedingung (kurz, mittel und lang) dargestellt. Außerdem zeigen die Abbildungen a und b die unterschiedlichen Stimulusartbedingungen (Form und Farbe). Die roten Pfeile zeigen jeweils auf den oder die Fehler (zwei unterschiedliche Symbole an gleicher Position der beiden Spalten), die von den Vpn in der vergleichenden visuellen Suche gefunden werden sollten. Wichtige Ausschnitte sind jeweils vergrößert dargestellt. a: Zeigt ein Stimulusbild in der Distanzbedingung „kurz“ und der Stimulusartbedingung „Form“. Der vergrößerte Ausschnitt zeigt die vier unterschiedlichen Symbole, die in der Formbedingung verwendet wurden. Im Bild gibt es einen Fehler. b: Zeigt ein Stimulusbild in der Distanzbedingung „mittel“ und der Stimulusartbedingung „Farbe“. Der vergrößerte Ausschnitt zeigt die vier unterschiedlichen Farben, die in der Farbbedingung verwendet wurden. Im Bild gibt es einen Fehler. c: Zeigt ein Stimulusbild in der Distanzbedingung „lang“ und der Stimulusartbedingung „Form“. Die vergrößerten Ausschnitte zeigen einen der beiden Fehler im Bild.

2.3.2. Bildschirmanzeige

Das eingeblendete Stimulusbild füllte die gesamte Anzeigefläche des Bildschirms aus. Instruktionen wurden auf dem Bildschirm in weißer Schriftfarbe auf grauem Hintergrund angezeigt. Das schwarz-weiße Fixationskreuz wurde ebenfalls auf grauem Hintergrund angezeigt.

Bei Anzeige eines Stimulusbildes konnten die Vpn niemals das gesamte Bild sehen. Der Bildschirm war permanent halbseitig (entweder links oder rechts) durch eine graue, die gesamte Bildschirmhälfte ausfüllende Maske verdeckt (Abb. 2.2). Die Symbole auf der verdeckten Seite waren nicht sichtbar. Sichtbar blieben nur die schwarzen Hilfslinien, die jeweils zwei Symbole verbanden. Die Hilfslinien wurden dabei je nach Distanzbedingung in unterschiedlicher Länge über das Bild mit der Auflösung von 1280 x 1024px gelegt. In der Distanzbedingung „kurz“ wurden die Hilfslinien horizontal zwischen Pixel 496 und Pixel 785, in der Distanzbedingung „mittel“ zwischen Pixel 342 und Pixel 938 und in der Distanzbedingung „lang“ zwischen Pixel 188 und Pixel 1090 über das Stimulusbild und die Maske gezeichnet. Vertikal befanden sich die Linien jeweils in einem Abstand von ca. 36px zueinander.

Die Vpn konnten selbst regulieren, welche Seite des Stimulusbildes für sie sichtbar sein sollte. Durch diese Methode der halbseitigen Abdeckung sollte verhindert werden, dass die Vpn die Symbole auf der linken und rechten Bildhälfte im peripheren Gesichtsfeld vergleichen konnten ohne Fixationen oder Sakkaden zu machen. Am oberen Rand wurde mittig außerdem noch die Nummer des Durchgangs angezeigt, in dem sich der Proband momentan befand.

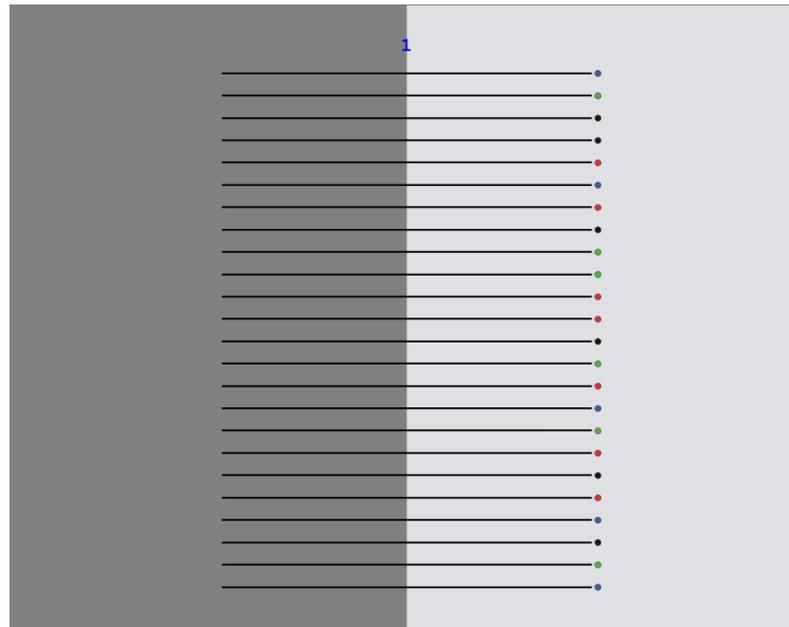


Abb. 2.2: Zeigt einen Durchgang in der Distanzbedingung „mittel“ und der Stimulusart-bedingung „Farbe“. Es gibt einen oder zwei Fehler im Bild. Im Beispielbild sind die Symbole der linken Seite durch eine dunkelgraue Maske verdeckt. Diese Maske konnte durch Drücken der Maustasten zwischen der rechten und der linken Bildhälfte verschoben werden. Die Zahl oben im Bild, zeigte den Vpn an, in welchem Durchgang Sie sich befanden (hier: Durchgang 1).

2.4. Versuchsablauf

2.4.1. Allgemeiner Ablauf

Die Vpn erhielten eine schriftliche Instruktion über Ihre Aufgabe – die vvS. Die Teilnehmer wurden darauf hingewiesen, dass es immer entweder einen oder zwei Fehler in jedem Suchbild geben kann. Des Weiteren wurden sie in Messreihe 1 (mit Eye-Tracker) angewiesen, den Kopf auf der Kinnstütze abzusetzen und so wenig wie möglich zu bewegen.

Anschließend absolvierten die Vpn vier Test-Durchgänge. Damit sollte sichergestellt werden, dass die Vpn die Aufgabe richtig verstanden hatten bevor sie durch Drücken einer Taste den ersten Experimental-Durchgang starteten. Es gab drei Blöcke bestehend aus jeweils 20 Durchgängen. Zwischen den Blöcken konnten die Vpn eine Pause machen.

In Messreihe 1 wurde die Augenbewegung während der Anzeige des Stimulusbildes für jeden Durchgang aufgezeichnet. Zusätzlich wurden die Fixationen und Blicksprünge über

Tastendruck gemessen.

Der Ablauf von Messreihe 2 und Messreihe 3 waren bis auf das Wegfallen der Eye-Tracker-Messung identisch mit dem Ablauf von Messreihe 1. In Messreihe 3 wurden die Vpn zusätzlich instruiert, während der gesamten Anzeige aller Stimulusbilder wiederholt „bla-blu-ble“ vor sich hin zu sagen. Während der Anzeige des Fixationskreuzes durften die Vpn mit dem Sprechen pausieren.

2.4.2. Ablauf eines Durchgangs

Zu Beginn eines Durchgangs wurde in der Mitte des Bildschirms für drei Sekunden das Fixationskreuz angezeigt, welches die Vpn fixieren sollten. Danach wurde das Stimulusbild eingeblendet, bei dem die Symbole der rechten Bildhälfte zu Beginn durch die Maske verdeckt waren. Die Vpn startete dann mit der *vvs* und verschob dabei die Maske so oft wie nötig zwischen der rechten und linken Bildhälfte. Sobald die Vpn wusste, wie viele Fehler sich im Suchbild befanden, beendete sie den Durchgang durch Drücken der Leertaste und nannte dem Versuchsleiter die gefundene Fehlerzahl. Es wurde für weitere zwei Sekunden ein grauer Bildschirm angezeigt, bevor der nächste Durchgang startete.

2.5. Versuchsdesign

Es handelte sich um ein 2 (*Stimulusart*: Farbe, Form) x 3 (*Distanz*: kurz, mittel, lang) Versuchsdesign mit Messwiederholung (Inner-Probanden-Design). Allen Vpn wurden dieselben Suchbilder präsentiert – es gab keine Kontrollgruppe. Ob ein Suchbild einen oder zwei Fehler enthielt, wird vernachlässigt. Als abhängige Variablen wurden die Anzahl der Blicksprünge zwischen den beiden Bildhälften sowie die Fixationszeiten zwischen den Blicksprüngen gemessen. Als unabhängige Variable wurden *Stimulusart* und *Distanz* variiert.

2.6. Messung

Messung von Fixationen und Blicksprüngen mit Eye-Tracker

Das *EYEGAZE SYSTEM (LC Technologies, Inc.)* verfolgte die Augenbewegung des linken Auges mithilfe der Pupil Center Corneal Reflection (PCCR) Methode und wurde sowohl vor dem Start der Experimental-Durchgänge als auch nach jeder Pause neu kalibriert.

Messung von Fixationen und Blicksprüngen ohne Eye-Tracker

Gemessen wurde für jeden Durchgang die Zeit vom Durchgangs-Start bis zum ersten Verschieben der Maske durch die Vpn auf die gegenüberliegende Bildschirmhälfte. Des Weiteren wurden die Zeiten zwischen zwei Verschiebungen der Maske sowie die Zeit vom letzten Verschieben der Maske bis zum Beenden des Durchgangs durch die Vpn gemessen.

2.7. Datenanalyse

Sowohl die Aufbereitung der durch das Versuchsprogramm aufgezeichneten Rohdaten als auch alle statistischen Analysen wurden mit der *MATLAB*® Software (Version 7.13.0.564) durchgeführt. Schaubilder wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm *Microsoft Excel 2007* erstellt.

Der Prozentsatz falscher Antworten (Fehleranzahl im Suchbild falsch benannt) wurde für jede Vpn ausgewertet.

Analyse der Daten aus der Messung mit Eye-Tracker

Aus den Rohdaten der Eye-Tracker-Software wurde über die Blickgeschwindigkeit zwischen zwei Messwerten eine Fixationsanalyse durchgeführt. Ergebnis dieser Analyse waren für jede als solche erkannte Fixation deren Dauer in Sekunden sowie deren x- und y-Koordinate auf dem Stimulusbild. Mithilfe der x- und y-Werte ließen sich die Fixationen in einem Schaubild abtragen. Aus diesem Schaubild und den Fixationszeit-Werten ergaben sich die für die statistische Analyse wichtigen Parameter „Anzahl der Halbfeld-

Blicksprünge pro Durchgang“ sowie *„Fixationszeit pro Halbfeld-Blicksprung“* für jede Vpn und jeden Durchgang. Fixationen auf einer Bildhälfte, zwischen denen zeitlich kein Halbfeld-Blicksprung lag, wurden zu einer Fixation zusammengefasst. Die gesamte Fixationszeit eines Durchgangs wurde aufaddiert und durch die Anzahl der Halbfeld-Blicksprünge des jeweiligen Durchgangs geteilt, um den Wert *„Fixationszeit pro Halbfeld-Blicksprung“* zu erhalten.

Analyse der Daten aus der Messung ohne Eye-Tracker

Aus den Rohdaten wurden ebenfalls die Werte *„Anzahl der Halbfeld-Blicksprünge pro Durchgang“* sowie *„Fixationszeit pro Halbfeld-Blicksprung“* für jede Vpn in jedem Durchgang ermittelt. Als Halbfeld-Blicksprünge wurden Situationen gewertet, in denen die Vpn eine der beiden Maustasten drückte, um die Maske von der einen in die andere Bildhälfte zu verschieben (und so den Blick auf die aktuell verdeckte Bildhälfte frei zu geben). Wurde dieselbe Maustaste mehrmals hintereinander gedrückt, wurde dies zu einer Fixation zusammengefasst. Wie bei der Eye-Tracker-Auswertung wurden alle Fixationszeiten eines Durchgangs aufaddiert und anschließend durch die Anzahl der Blicksprünge dieses Durchgangs geteilt um den Wert *„Fixationszeit pro Halbfeld-Blicksprung“* zu berechnen.

Die aufbereiteten Daten wurden für jede Vpn nach den sechs Bedingungen (siehe 2.3.1., zweiter Absatz) sortiert. Für jede Bedingung gab es pro Vpn 10 Messungen über die gemittelt wurde.

Auf Basis dieser gemittelten Daten wurde eine 2-faktorielle ANOVA mit Messwiederholung kalkuliert, um die Varianz bezüglich der Fixationsdauer und der Blicksprünge zwischen den verschiedenen Distanz- und Stimulusartbedingungen zu analysieren. Des Weiteren wurde der korrelative Zusammenhang zwischen der Anzahl der Blicksprünge und der Fixationszeit pro Blicksprung (*Trade-Off*) untersucht.

Vergleichende Analyse

Die aufbereiteten Rohdaten aus der Messung mit und der Messung ohne Eye-Tracker, wurden per t-Test verglichen um festzustellen, ob sich die Ergebnisse der beiden

Methoden, die im Optimalfall dasselbe messen, signifikant voneinander unterscheiden.

Für den Vergleich der Daten aus Messreihe 2 (ohne Doppelaufgabe) und Messreihe 3 (mit Doppelaufgabe) wurden nur die Datensätze der Vpn verwendet, die Teilnehmer beider Messreihen waren. Da für die lange Distanz die größten Stimulusart-Effekte erwartet wurden, wurde der mittlere *Trade-Off* für Farbe und Form in der Distanzbedingung „lang“ der Experimentalbedingung „ohne Doppelaufgabe“ mit dem *Trade-Off* für Farbe und Form in der Distanzbedingung „lang“ der Experimentalbedingung „mit Doppelaufgabe“ verglichen

3. Ergebnisse

3.1. Fehlerauswertung

Aufgrund der erhöhten Fehlerrate von über 15% wurden die Daten einer Vpn (die nur Teilnehmer von Messreihe 2 war) von der Auswertung ausgeschlossen. Bei den restlichen 14 Vpn in Messreihe 2 variierte die durchschnittliche Fehlerrate zwischen 0% und 13,3% ($M = 4,9\%$, $SD = 3\%$). In Messreihe 3 ergaben sich durchschnittliche Fehlerraten zwischen 1,7% und 13,3% ($M = 6,1\%$, $SD = 5\%$) für die 14 Teilnehmer.

Insgesamt wurde in Messreihe 2 in 5,3% der Durchgänge und in Messreihe 3 in 7,3% der Durchgänge Fehler gemacht.

Abbildung 3.1 und Abbildung 3.2 zeigen die über alle Vpn und alle Messwiederholungen gemittelte Fehlerrate für die verschiedenen Distanz- und Stimulusartbedingungen in Messreihe 2 (Abb. 3.1) und Messreihe 3 (Abb. 3.2).

In beiden Messreihen war der Unterschied zwischen der Fehlerrate in der Farbbedingung und der Fehlerrate in der Formbedingung bei der kurzen Distanz am größten.

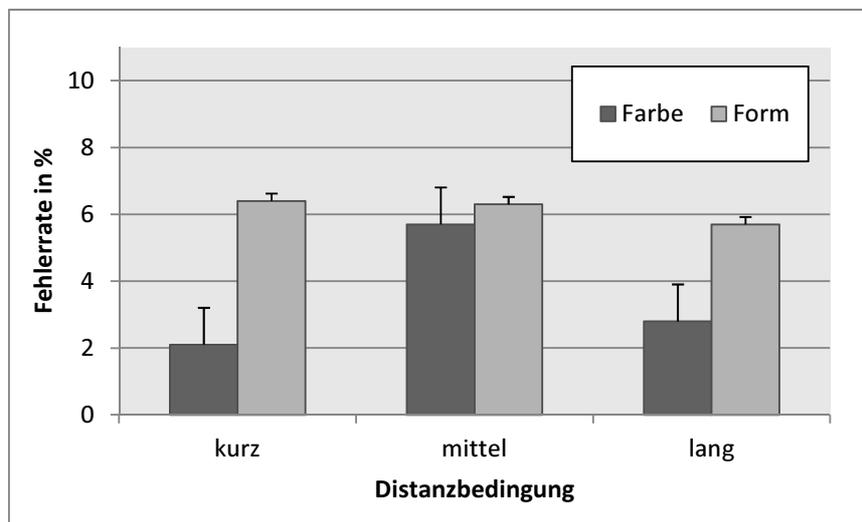


Abb. 3.1: Mittlere Fehlerrate (in %) aller Vpn der Messreihe 2 für die verschiedenen Distanz- und Stimulusartbedingungen. Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung wieder.

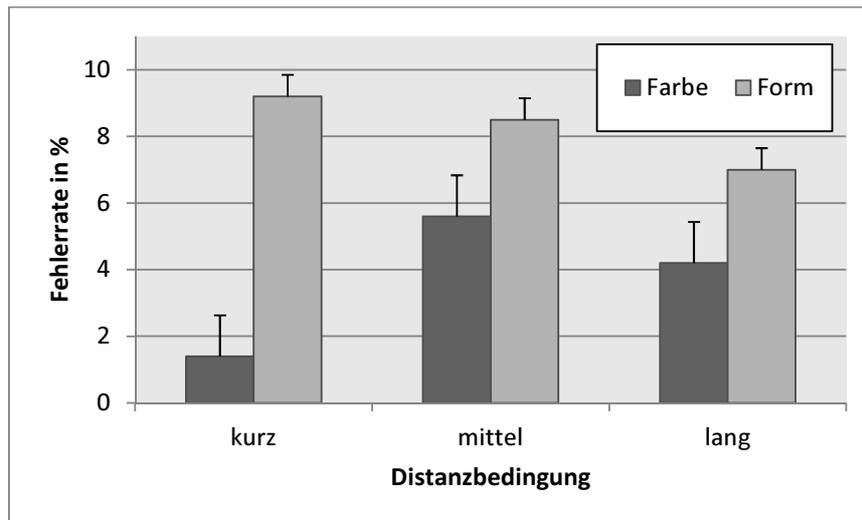


Abb. 3.2: Mittlere Fehlerrate aller Vpn der Messreihe 3 für die verschiedenen Distanz- und Stimulusartbedingungen. Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung wieder.

3.2. Messreihe 1: Relevanz des Experimentes

Für die Anzahl der Halbfeld-Blicksprünge ergab der t-Test keinen signifikanten Unterschied zwischen den Daten, welche die beiden Messmethoden (Eye-Tracker und Messung über Mausklicks) lieferten ($t(118) = 0,75$, $p = 0,45$).

Für die Fixationszeit pro Blicksprung ergaben die Messmethoden hoch signifikant unterschiedliche Ergebnisse ($t(118) = -5,23$, $p < 0,001$).

Die Abbildungen 3.3 und 3.4 zeigen den Vergleich der Ergebnisse, welche die Messmethoden für Blicksprünge bzw. Fixationsdauer lieferten (Abb. a) sowie die Korrelation zwischen den beiden Messmethoden (Abb. b). In beiden Fällen war die Korrelation zwischen den Ergebnissen der unterschiedlichen Messmethoden sehr hoch (Blicksprünge: $R^2 = 0,96$, Fixationsdauer: $R^2 = 0,89$).

Abbildung 3.4a zeigt einen ähnlichen Kurvenverlauf mit relativ konstanter Differenz zwischen den beiden Kurven für die Fixationszeit-Werte aus den beiden Messmethoden. Die Werte aus der Eye-Tracker-Messung sind mit relativ konstantem Faktor etwas kleiner als die Werte aus der Mausklick-Messung. Dies spricht gegen eine Verfälschung der Ergebnisse durch Verwendung der Messmethode ohne Eye-Tracker.

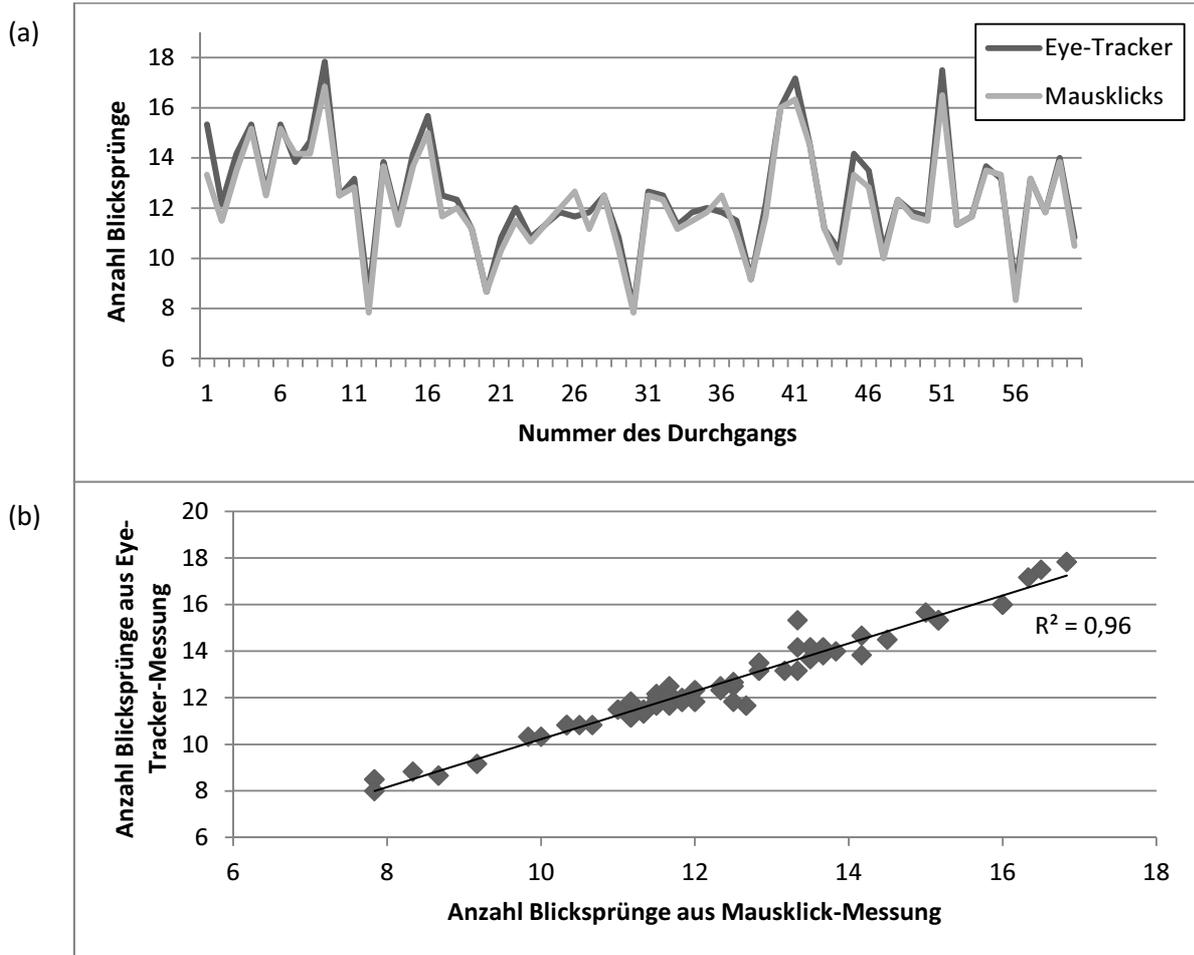


Abb. 3.3: Die Abbildung zeigt den Vergleich der Daten, welche die beiden unterschiedlichen Messmethoden (mit und ohne Eye-Tracker) für die Anzahl der Blicksprünge lieferten. a: Vergleicht die Blicksprung-Werte aus der Messung über Eye-Tracker und der Messung über Mausclicks. Die Werte beider Messungen wurden für jeden Durchgang abgetragen. b: Zeigt die Korrelation zwischen den Blicksprung-Werten aus der Eye-Tracker- und der Mausclick-Messung. Ein Datenpunkt setzt sich zusammen aus den Blicksprung-Werten beider Messungen in einem Trial.

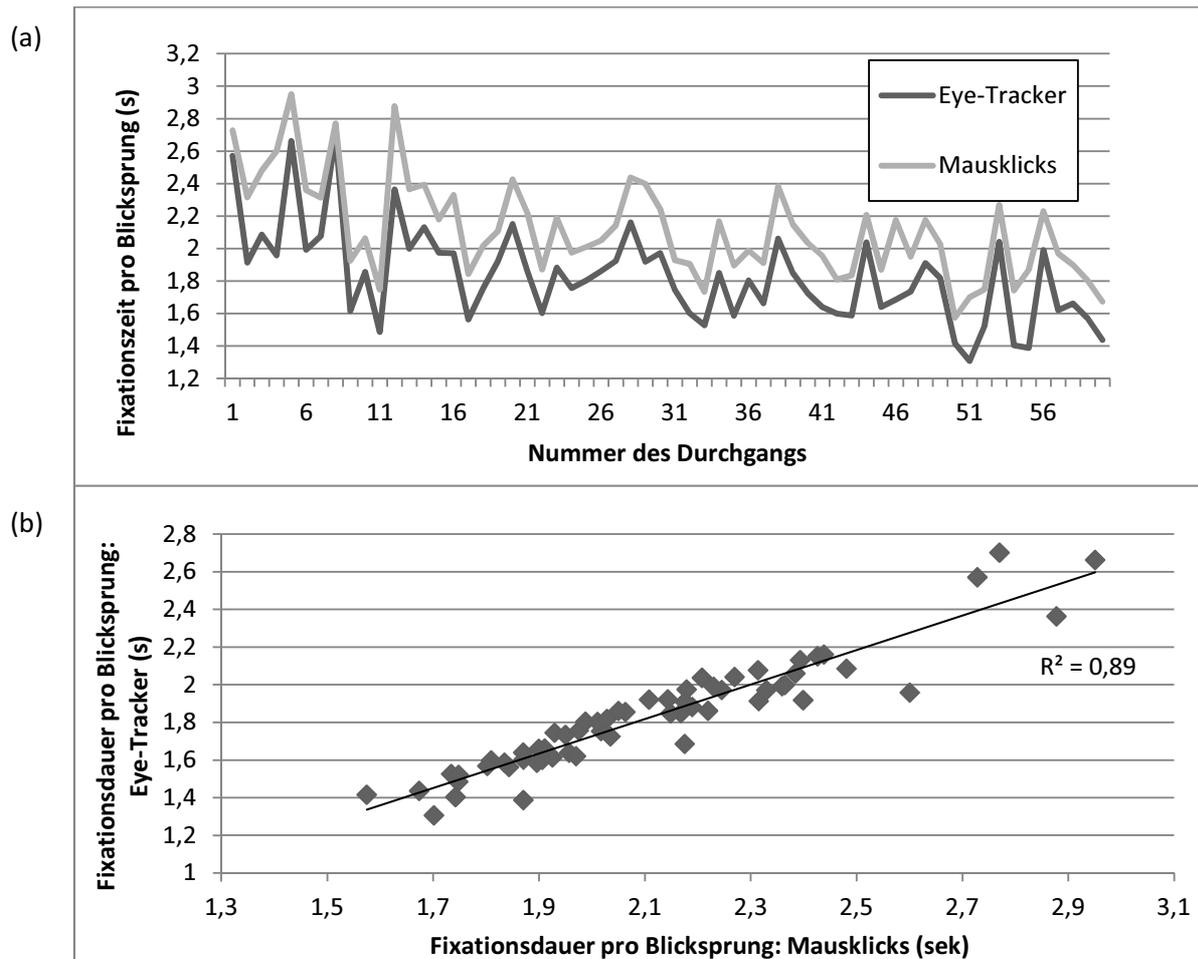


Abb. 3.4: Die Abbildung zeigt den Vergleich der Daten, welche die beiden unterschiedlichen Messmethoden (mit und ohne Eye-Tracker) für die Fixationsdauer pro Blicksprung lieferten. a: Vergleicht die Fixationszeit-Werte aus der Messung über Eye-Tracker und der Messung über Mausclicks. Die Werte beider Messungen wurden für jeden Durchgang abgetragen. b: Zeigt die Korrelation zwischen den Fixationszeit-Werten aus der Eye-Tracker- und der Mausclick-Messung. Ein Datenpunkt setzt sich zusammen aus den Fixationszeit-Werten beider Messungen in einem Trial.

3.3. Messreihe 2: Trade-Off für Farbe und Form

Ausgewertet wurden die Daten der $N = 14$ Vpn aus Messreihe 2 (ohne Doppelaufgabe). Bezüglich der Anzahl an Halbfeld-Blicksprüngen gab es keinen signifikanten Haupteffekt (2-faktorielle ANOVA mit Messwiederholung) für den Faktor *Distanz* ($F(2,26) = 0,33$, $p = 0,73$, $r = 0,21$) aber einen starken signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Stimulusart* ($F(1,13) = 6,09$, $p < 0,05$, $r = 0,52$). Die Interaktion zwischen *Distanz* und *Stimulusart* war ebenfalls signifikant ($F(2,26) = 4,09$, $p < 0,05$, $r = 0,43$). Die mittlere Standardabweichung der Anzahl an Blicksprüngen war sehr hoch ($M = 9,6$, $SD = 4,97$). Im Mittel merkten sich die Vpn in der

Farbbedingung 2,55 Symbole pro Blicksprung und in der Farbbedingung 2,45 Symbole pro Blicksprung. Abbildung 3.5 zeigt die mittlere Anzahl der Blicksprünge für alle Faktorstufenkombinationen.

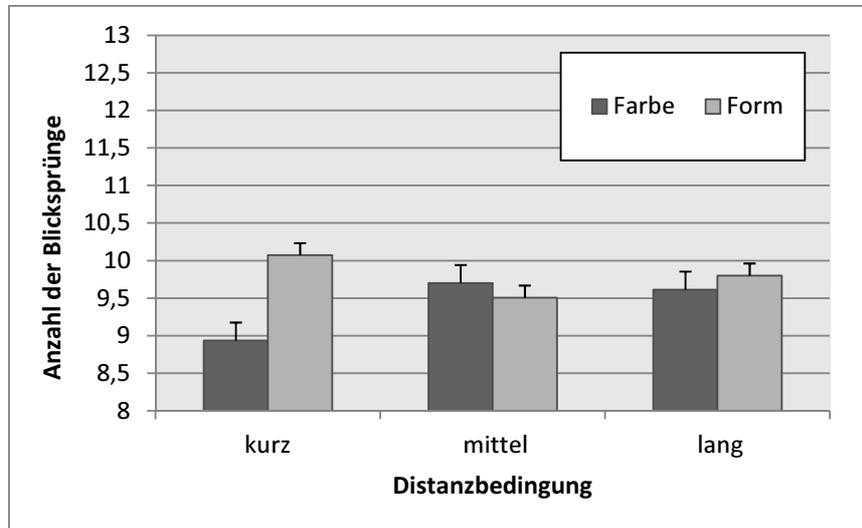


Abb. 3.5: Zeigt die mittlere Anzahl der Blicksprünge für alle Distanz- und Stimulusartbedingungen in Messreihe 2 (ohne Doppelaufgabe). Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung wieder.

Die 2-faktorielle ANOVA (mit Messwiederholung) für die Fixationszeiten pro Halbfeld-Blicksprung ergaben einen mittelstarken, signifikanten Haupteffekt für *Distanz* ($F(2,26) = 3,87$, $p < 0,05$, $r = 0,41$) und keine signifikanten Haupteffekt für *Stimulusart* ($F(1,13) = 2,24$, $p = 0,16$, $r = 0,59$). Die Interaktion zwischen *Distanz* und *Stimulusart* war mit mittlerer Effektstärke signifikant ($F(2,26) = 3,6$, $p < 0,05$, $r = 0,4$). Die mittlere Standardabweichung für die Fixationszeiten war sehr hoch ($M = 3,32s$, $SD = 2,22s$). Abbildung 3.6 zeigt die mittlere Fixationszeit pro Blicksprung in Sekunden für alle Faktorstufenkombinationen.

In Abbildung 3.7 ist zu sehen, dass alle Vpn mit Ihrer Anzahl an Blicksprüngen für Farbe und Form mehr oder weniger auf einer Gerade liegen, die durch die unterschiedlichen Distanzbedingungen insgesamt verschoben wird. Je mehr Blicksprünge eine Vpn machte, desto größer waren die Unterschiede zwischen den einzelnen Distanzbedingungen.

Bei den Fixationszeiten hebt sich die Gerade, auf der die Fixationszeit-Werte für die mittlere Distanz liegen, deutlich von den beiden Geraden für die kurze und die lange Distanz ab, welche fast aufeinander liegen (Abb. 3.8). Der Distanzeffekt ist für die Anzahl Blicksprünge deutlicher erkennbar als für die Fixationsdauer, aber auch hier liegt die Gerade für die mittlere Distanz nicht wie erwartet zwischen den Geraden für die kurze und die lange Distanz. Abbildung 3.9 zeigt den *Trade-Off* aller Vpn für alle Distanzen in der Farbbedingung. Die

Kurven werden durch die verschiedenen Distanzbedingungen verschoben, haben aber den gleichen Verlauf. Je länger die Distanz, desto länger die Fixationszeit und desto weniger Blicksprünge werden gemacht. Der *Trade-Off* einer Vpn bleibt also stabil und wird durch die Distanzbedingungen konstant verschoben. Der Unterschied des *Trade-Offs* zwischen den verschiedenen Vpn bleibt ebenfalls stabil (kurze Distanz: $R^2 = 0,8$, mittlere Distanz $R^2 = 0,71$, lange Distanz: $R^2 = 0,74$).

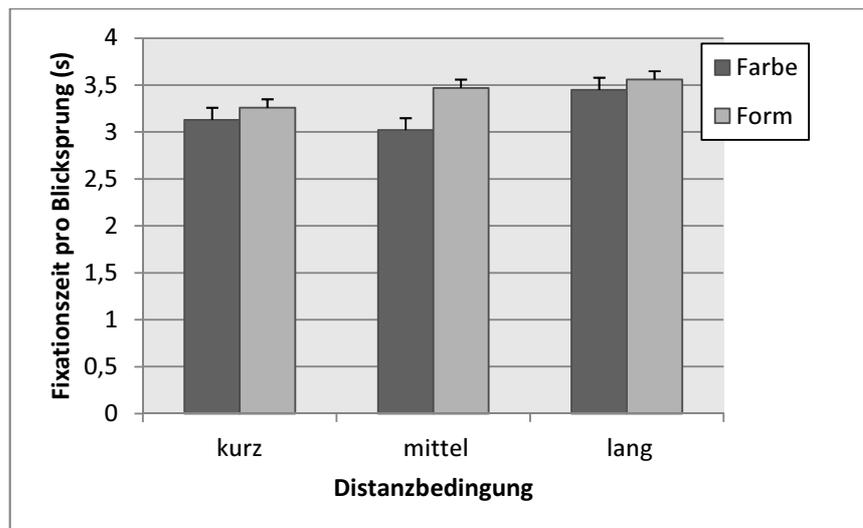


Abb. 3.6: Zeigt die Mittlere Fixationszeiten pro Blicksprung für alle Distanz- und Stimulusartbedingungen in Messreihe 2 (ohne Doppelaufgabe). Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung wieder.

In der Formbedingung (Abb. 3.10) kann man dieselben Aussagen bzgl. der Eigenschaften des *Trade-Offs* treffen (Korrelation zwischen den Vpn - kurze Distanz: $R^2 = 0,82$, mittlere Distanz $R^2 = 0,74$, lange Distanz: $R^2 = 0,78$) – allerdings sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Distanzbedingungen nicht so deutlich zu erkennen wie in der Farbbedingung. Abbildung 3.11 zeigt einen Vergleich der *Trade-Offs* für die Farb- und die Formbedingung für jede der drei Distanzbedingungen. Es ist deutlich zu erkennen worin die Interaktion zwischen den Faktoren *Stimulusart* und *Distanz* besteht: Je größer die Distanz wird, desto geringer wird der Unterschied zwischen Farb- und Formbedingung.

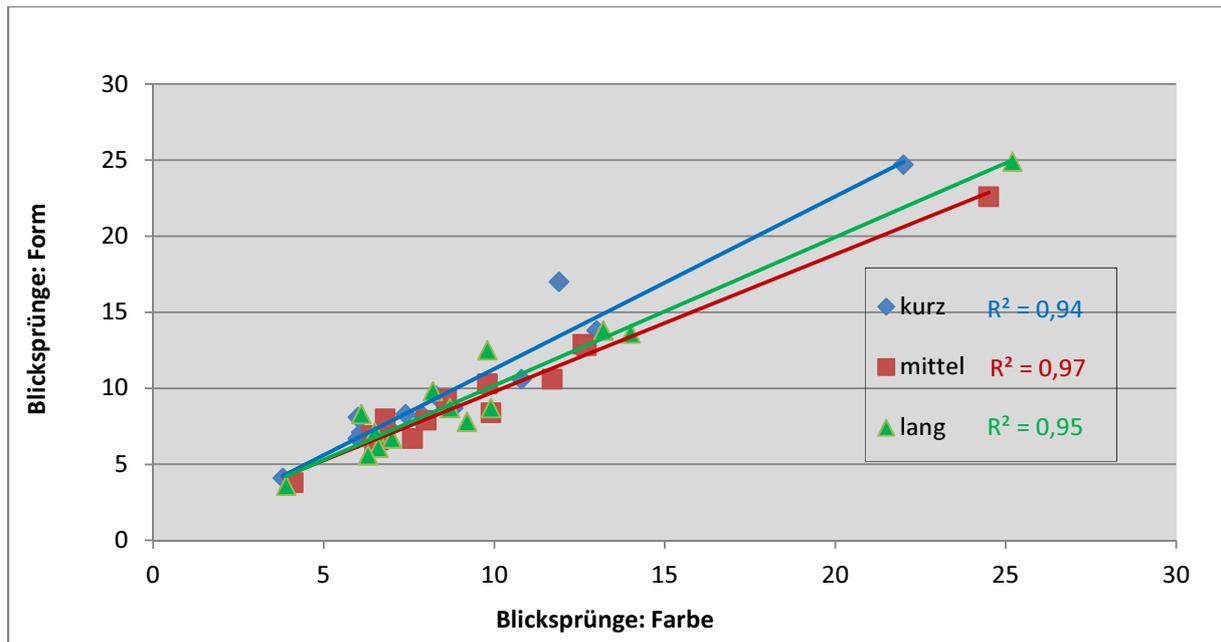


Abb. 3.7: Korrelation zwischen der Anzahl Blicksprünge in Farb-Stimulusbildern und der Anzahl Blicksprünge in Form-Stimulusbildern innerhalb der einzelnen Distanzbedingungen kurz, mittel und lang. Es ist ein Datenpunkt pro Vpn und Distanzbedingung dargestellt. Dieser setzt sich aus den Mittelwerten der Anzahl an Blicksprünge zusammen, die jeweils für Farbe und Form in den 10 Messwiederholungen der entsprechenden Distanzbedingung gemessen wurden.

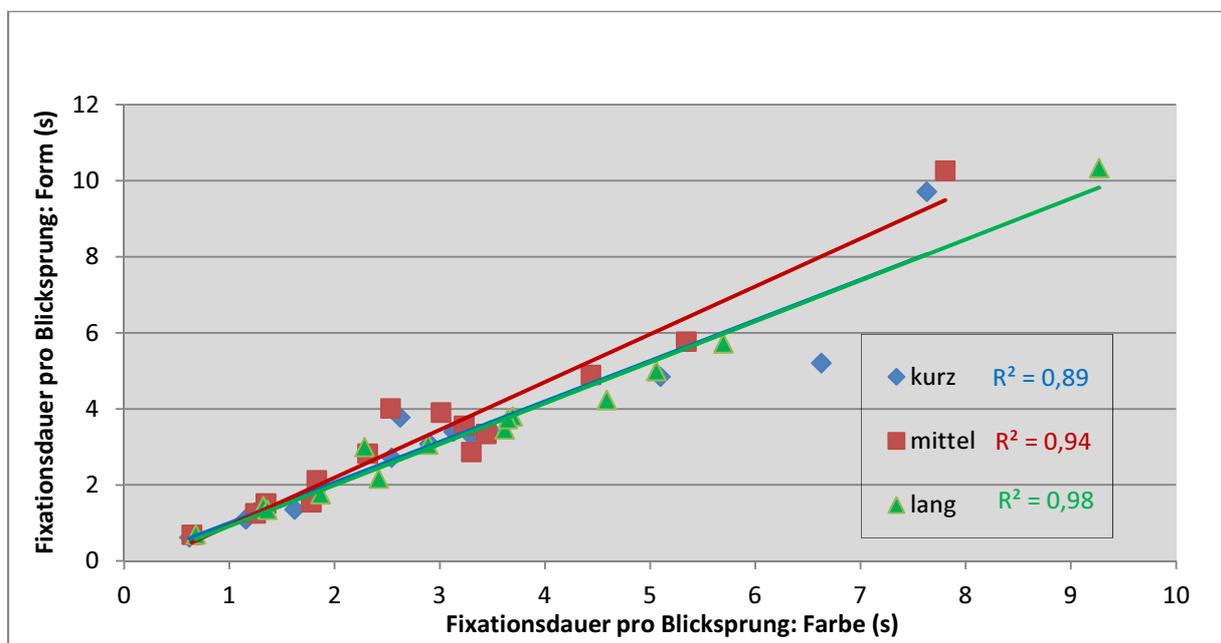


Abb. 3.8: Korrelation zwischen den Fixationszeiten in den Farb-Stimulusbildern und den Fixationszeiten in den Form-Stimulusbildern innerhalb der einzelnen Distanzbedingungen kurz, mittel und lang. Es ist ein Datenpunkt pro Vpn und Distanzbedingung dargestellt. Dieser setzt sich aus den Mittelwerten der Fixationszeiten zusammen, die jeweils für Farbe und Form in den 10 Messwiederholungen der entsprechenden Distanzbedingung pro Blicksprung gemessen wurden.

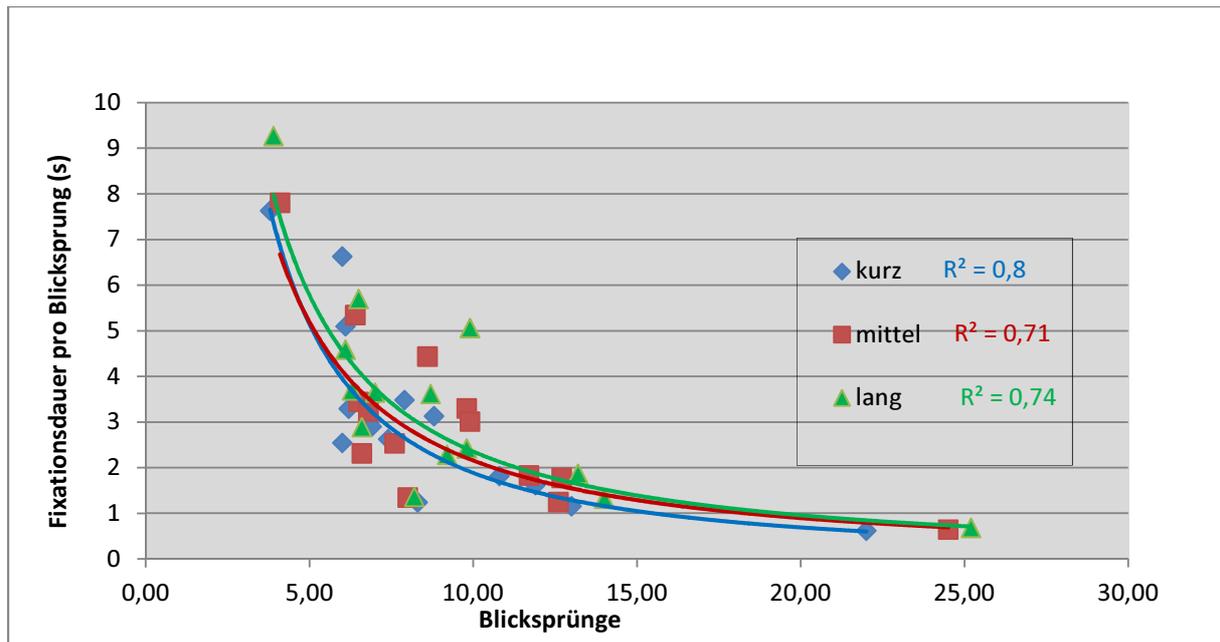


Abb. 3.9: Trade-Off in der Farbbedingung: Zeigt den korrelativen Zusammenhang zwischen der Anzahl Blicksprünge und der Fixationszeit pro Blicksprung (Trade-Off) für die drei Distanzbedingungen kurz, mittel und lang in der Stimulusartbedingung Farbe. Pro Vpn und Distanzbedingung wurde ein Datenpunkt abgetragen, der sich aus den gemittelten Blicksprüngen und den gemittelten Fixationszeiten der Vpn in der entsprechenden Bedingung zusammensetzt.

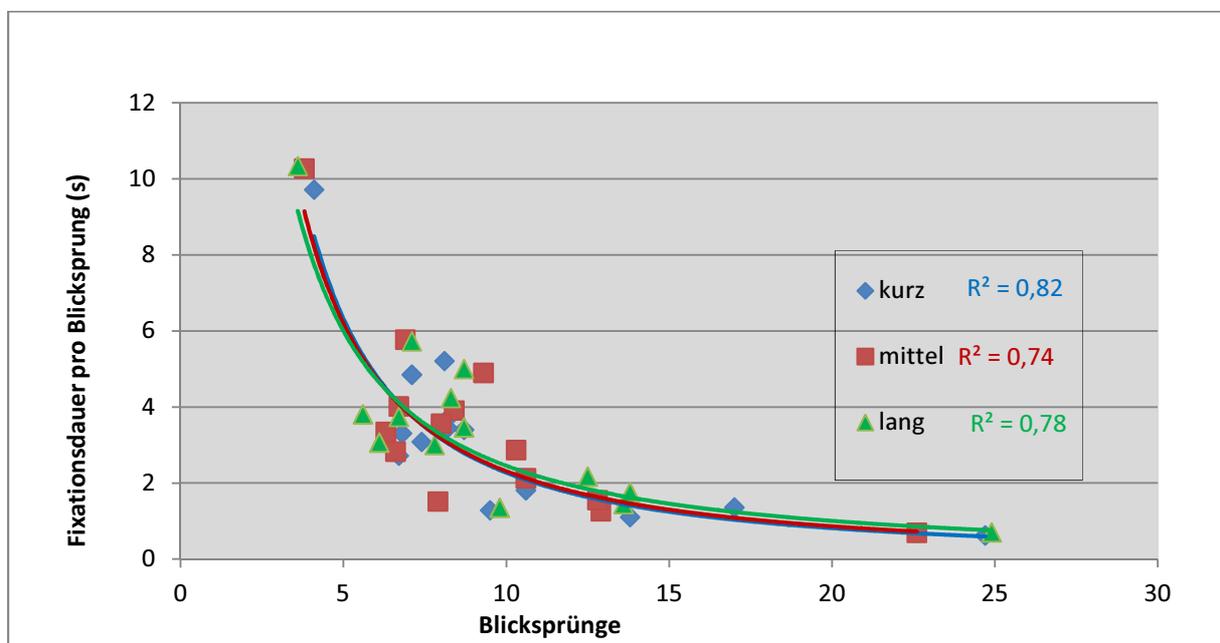


Abb. 3.10: Trade-Off in der Formbedingung: Zeigt den korrelativen Zusammenhang zwischen der Anzahl Blicksprünge und der Fixationszeit pro Blicksprung (Trade-Off) für die drei Distanzbedingungen kurz, mittel und lang in der Stimulusartbedingung Form. Pro Vpn und Distanzbedingung wurde ein Datenpunkt abgetragen, der sich aus den gemittelten Blicksprüngen und den gemittelten Fixationszeiten der Vpn in der entsprechenden Bedingung zusammensetzt.

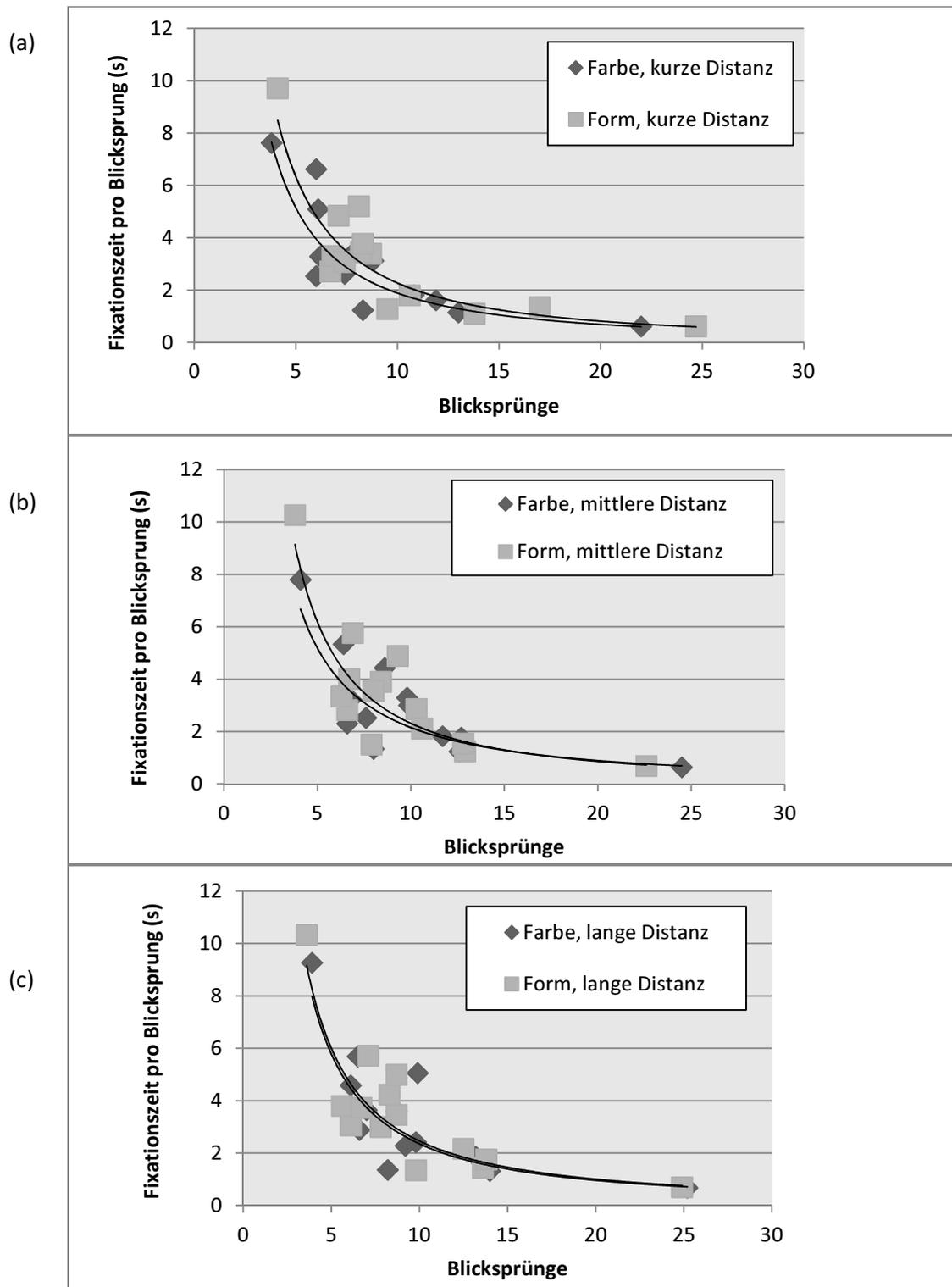


Abb. 3.11: Vergleicht den Trade-Off (Korrelation zwischen der Anzahl der Blicksprünge und der Fixationsdauer pro Blicksprung) für Farbe und Form in den unterschiedlichen Distanzbedingungen. a: Vergleicht den Trade-Off der Farbbedingung mit dem Trade-Off der Formbedingung in der Distanzbedingung „kurz“. b: Vergleicht den Trade-Off der Farbbedingung mit dem Trade-Off der Formbedingung in der Distanzbedingung „mittel“. c: Vergleicht den Trade-Off der Farbbedingung mit dem Trade-Off der Formbedingung in der Distanzbedingung „lang“.

3.4. Messreihe 3: Trade-Off für Farbe und Form

Ausgewertet wurden die Daten der $N = 14$ Vpn, die Teilnehmer von Messreihe 3 (mit Doppelaufgabe) waren.

In Messreihe 3 ergab sich für die 2-faktorielle ANOVA (mit Messwiederholung) bezüglich der Anzahl der Blicksprünge ein fast signifikanter Haupteffekt für den Faktor *Distanz* ($F(2,26) = 3,24$, $p = 0,06$, $r = 0,37$) und ein sehr signifikanter Haupteffekt mit hoher Effektstärke für die Interaktion zwischen *Distanz* und *Stimulusart* ($F(2,26) = 7,34$, $p < 0,01$, $r = 0,56$). Für den Faktor *Stimulusart* konnte kein signifikanter Haupteffekt gefunden werden ($F(1,13) = 1,99$, $p = 0,18$, $r = 0,26$). Die mittlere Standardabweichung war sehr hoch ($M = 11,88$, $SD = 6,01$). Durchschnittlich merkten sich die Vpn in der Farbbedingung 2,06 Symbole und in der Formbedingung 2,0 Symbole pro Blicksprung. Abbildung 3.12 zeigt die mittlere Anzahl der Blicksprünge für alle Faktorstufenkombinationen.

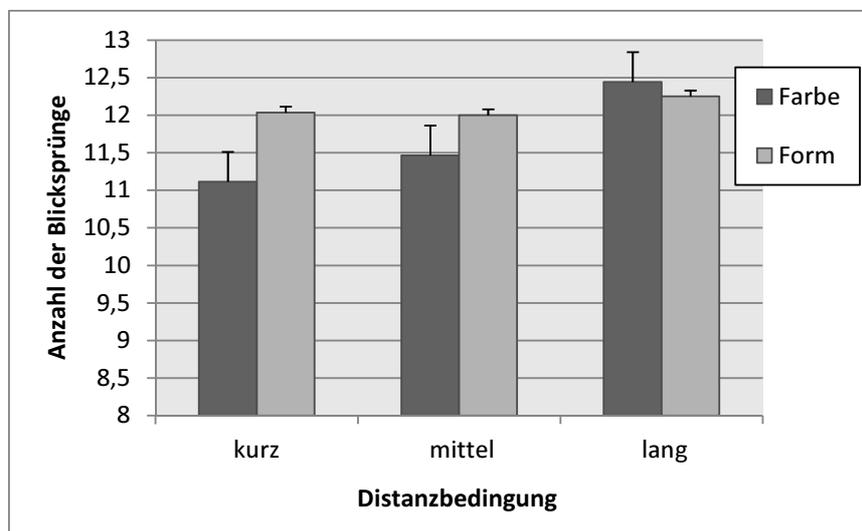


Abb. 3.12: Zeigt die mittlere Anzahl der Blicksprünge für alle Distanz- und Stimulusartbedingungen in Messreihe 3 (mit Doppelaufgabe). Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung wieder.

Bezüglich der Fixationszeiten pro Blicksprung ergab sich für Messreihe 3 ein hoch signifikanter Haupteffekt mit sehr hoher Effektstärke für den Faktor *Distanz* ($F(2,26) = 10,56$, $p < 0,001$, $r = 0,64$). Für die Interaktion zwischen *Distanz* und *Stimulusart* sowie für den Faktor *Stimulusart* konnten keine signifikanten Effekte festgestellt werden (Interaktion: $F(2,26) = 0,49$, $p = 0,62$, $r = 0,2$; *Stimulusart*: $F(1,13) = 4,29$, $p = 0,59$, $r = 0,44$). Die mittlere Standardabweichung war sehr hoch ($M = 2,06s$, $SD = 1,58s$). Abbildung 3.13 zeigt die mittleren Fixationszeiten für alle Faktorstufenkombinationen.

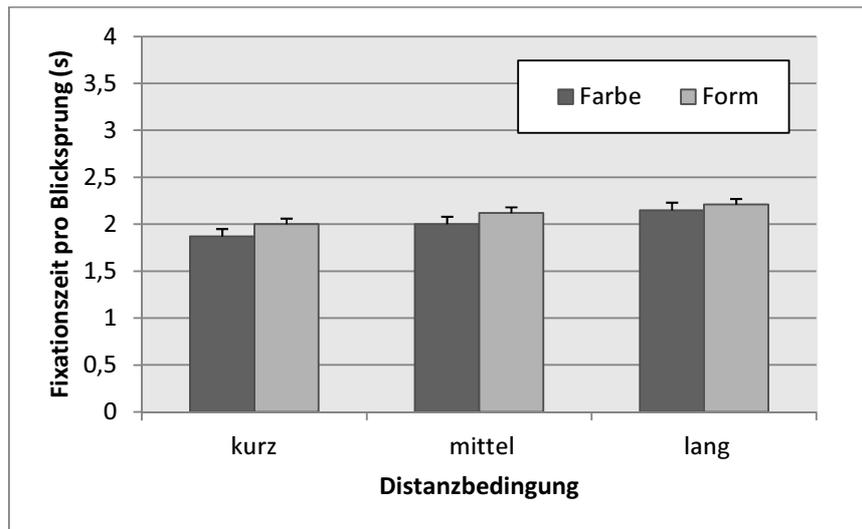


Abb. 3.13: Zeigt die mittlere Fixationszeiten pro Blicksprung für alle Distanz- und Stimulusartbedingungen in Messreihe 3 (mit Doppelaufgabe). Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung wieder.

Die Betrachtung des *Trade-Offs* (Abb. 3.14 und 3.15) liefert ähnliche Ergebnisse wie in Messreihe 2. Die Korrelation zwischen den V_{pn} ist hoch (genaue Werte im Schaubild) und durch eine Änderung der Distanzbedingung erfährt die gesamte *Trade-Off*-Kurve, auf der alle V_{pn} liegen, eine Translation in x- und y-Richtung. Wie auch in Messreihe 2 ist der Unterschied zwischen den Kurven für die einzelnen Distanzbedingungen in der Farbbedingung deutlicher zu sehen als in der Formbedingung.

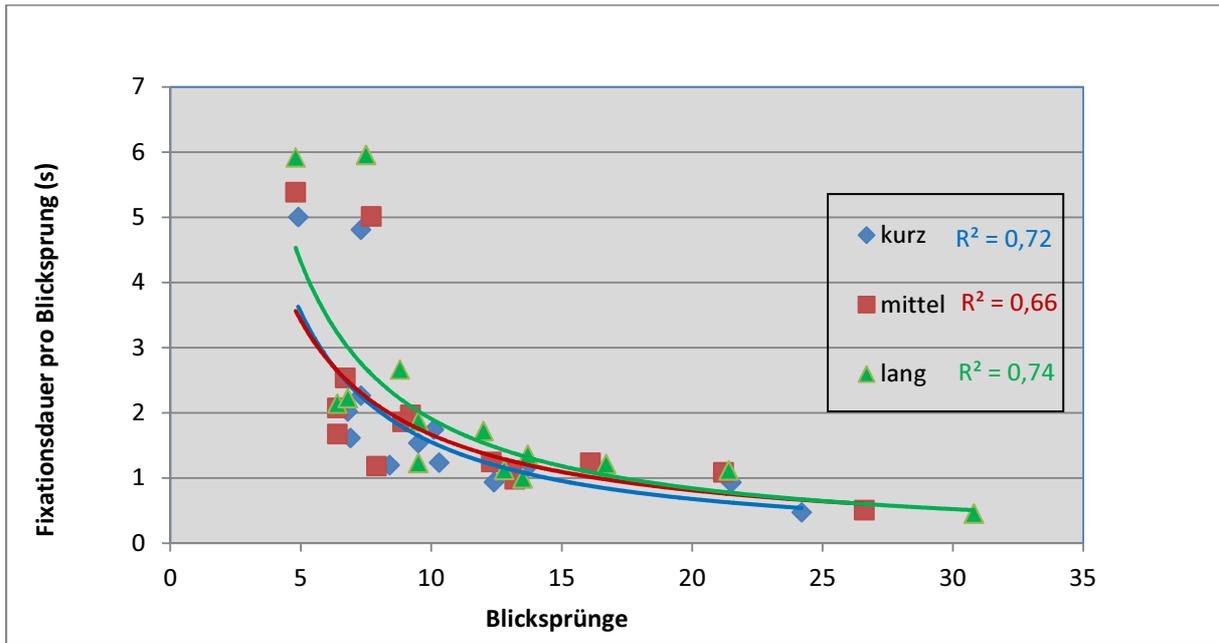


Abb. 3.14: Trade-Off in der Farbbedingung: Zeigt den korrelativen Zusammenhang zwischen der Anzahl Blicksprünge und der Fixationszeit pro Blicksprung (Trade-Off) für die drei Distanzbedingungen kurz, mittel und lang in der Stimulusartbedingung Farbe. Pro Vpn und Distanzbedingung wurde ein Datenpunkt abgetragen, der sich aus den gemittelten Blicksprüngen und den gemittelten Fixationszeiten der Vpn in der entsprechenden Bedingung zusammensetzt.

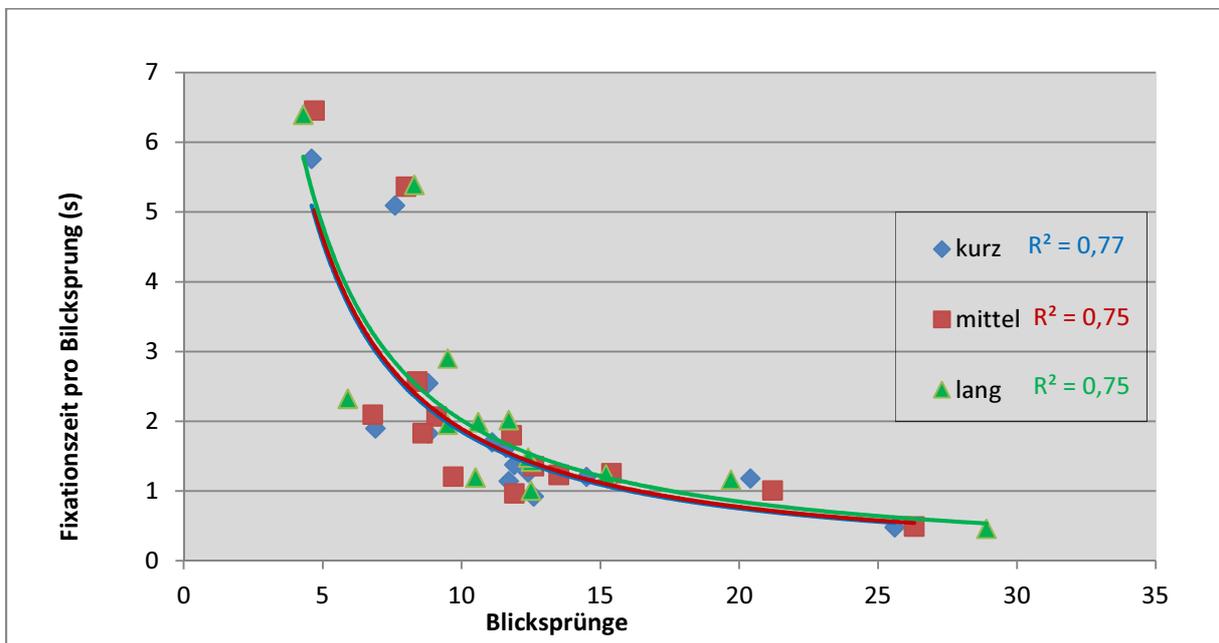


Abb. 3.15: Trade-Off in der Formbedingung: Zeigt den korrelativen Zusammenhang zwischen der Anzahl Blicksprünge und der Fixationszeit pro Blicksprung (Trade-Off) für die drei Distanzbedingungen kurz, mittel und lang in der Stimulusartbedingung Form. Pro Vpn und Distanzbedingung wurde ein Datenpunkt abgetragen, der sich aus den gemittelten Blicksprüngen und den gemittelten Fixationszeiten der Vpn in der entsprechenden Bedingung zusammensetzt.

3.5. Vergleich: Messreihe 2 und Messreihe 3

Ausgewertet wurden die Daten der $N = 11$ Vpn, die Teilnehmer von beiden Messreihen (ohne Doppelaufgabe und mit Doppelaufgabe) waren.

Abbildung 3.16 zeigt, dass die Vpn sich in Messreihe 2 (ohne Doppelaufgabe) durchschnittlich mehr Symbole pro Blicksprung merkten als in Messreihe 3 (mit Doppelaufgabe). Des Weiteren zeigt die Abbildung, dass sich die Vpn innerhalb der beiden Messreihen jeweils in der Farbbedingung mehr Symbole pro Blicksprung merken konnten als in der Formbedingung.

In den folgenden Abbildungen wurden nur Daten aus der Distanzbedingung „lang“ verglichen, da hier die größten Effekte zu erwarten waren. Abbildung 3.17 zeigt, dass der *Trade-Off* durch die Doppelaufgabe verschoben wurde – es wurden mehr Blicksprünge gemacht, und die Fixationszeiten pro Blicksprung waren kürzer. Außerdem wurde der *Trade-Off* zwischen den verschiedenen Stimulusartbedingungen verschoben. In der Formbedingung waren die Fixationszeiten tendenziell länger und die Anzahl der Blicksprünge tendenziell kürzer als in der Farbbedingung. Abbildung 3.18 zeigt den mittleren *Trade-Off* für Farbe und Form in den beiden Messreihen (mit Doppelaufgabe und ohne Doppelaufgabe). Es ist zu erkennen, dass sich der mittlere *Trade-Off* für Farbe und Form in der Experimentalbedingung „ohne Doppelaufgabe“ deutlich voneinander unterscheidet, während in der Experimentalbedingung „mit Doppelaufgabe“ nur noch ein geringer Unterschied zwischen dem mittleren *Trade-Off* für Farbe und dem mittleren *Trade-Off* für Form zu erkennen ist.

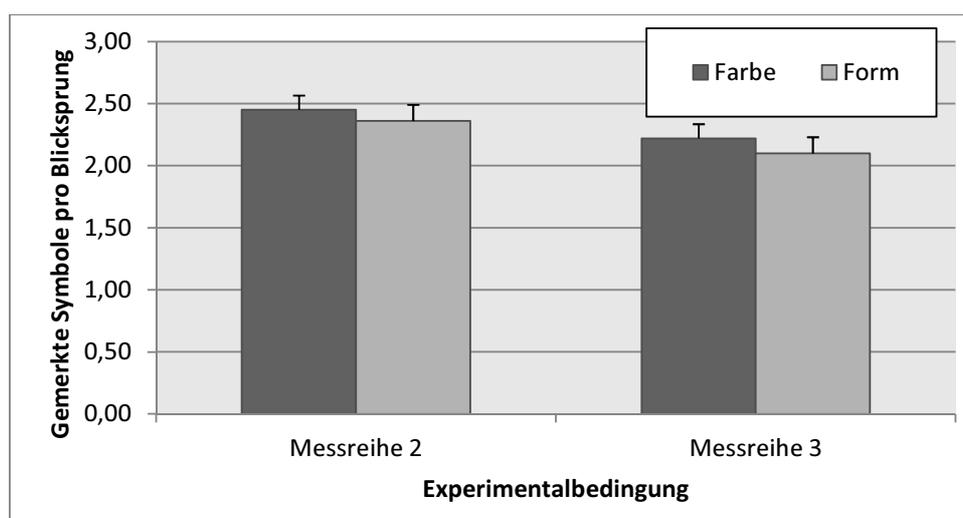


Abb. 3.16: Zeigt die mittlere Anzahl der gemerkten Symbole pro Blicksprung für die Farb- und die Formbedingung in den beiden Experimentalbedingungen (mit und ohne Doppelaufgabe). Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung wieder.

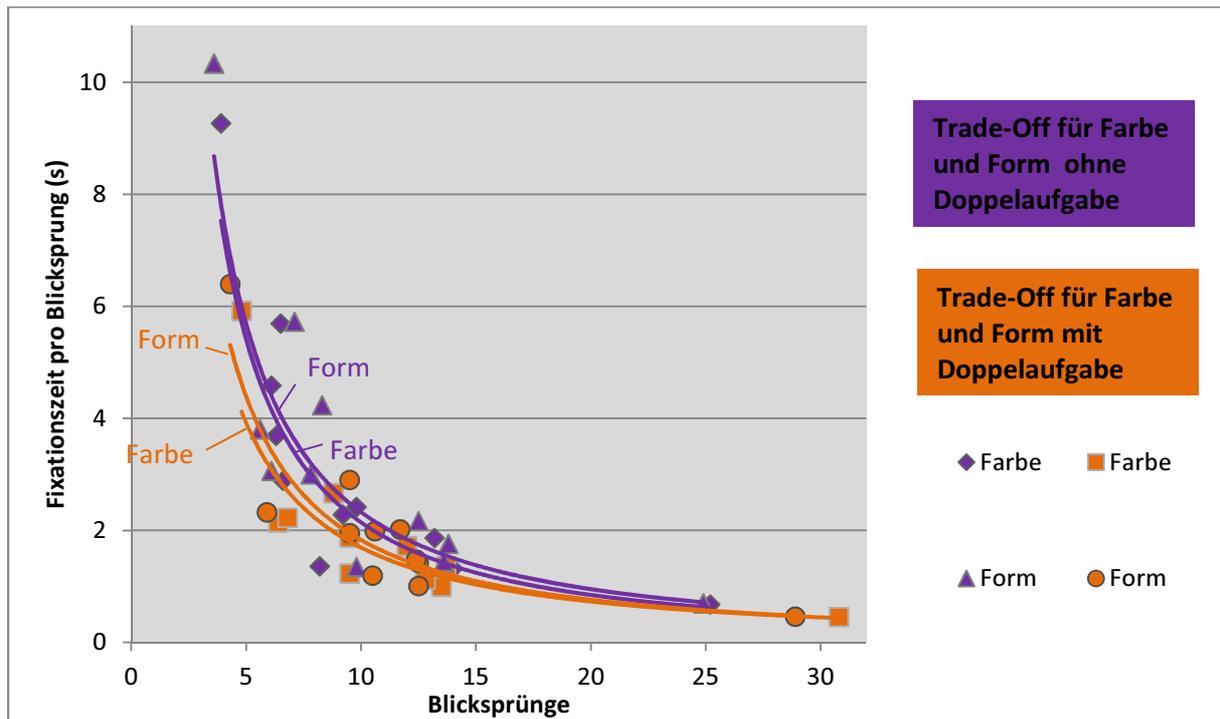


Abb. 3.17: Zeigt den Trade-Off für Farbe und Form in der Distanzbedingung lang für die beiden Experimentalbedingungen „ohne Doppelaufgabe“ (lila) und „mit Doppelaufgabe“ (orange). Pro Vpn wurde für jede Stimulusartbedingung und jede Experimentalbedingung ein Datenpunkt abgetragen, der sich aus den gemittelten Blicksprüngen und den gemittelten Fixationszeiten der Vpn in der entsprechenden Bedingung zusammensetzt.

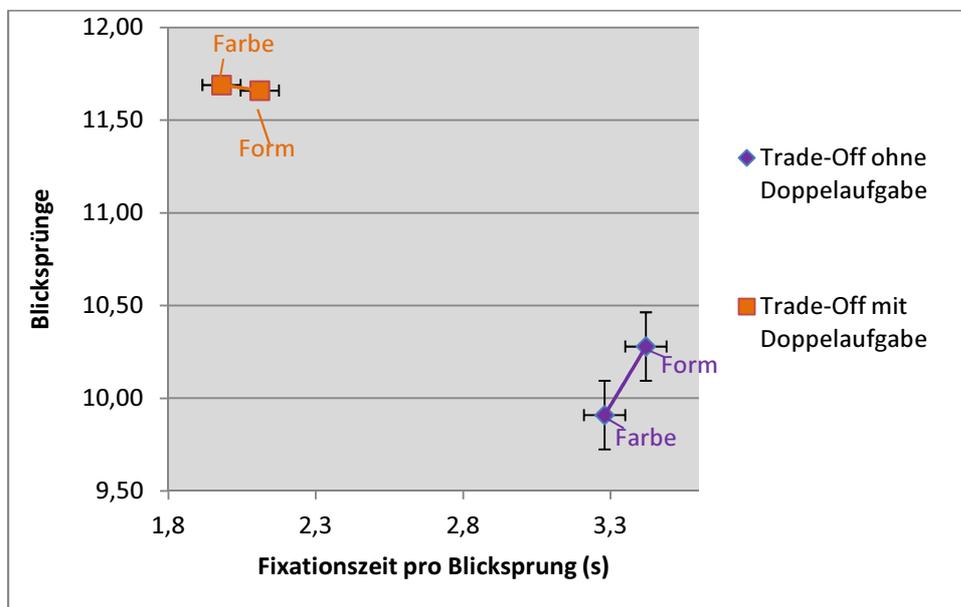


Abb. 3.18: Zeigt den Unterschied zwischen dem mittleren Trade-Off in der Farbbedingung und dem mittleren Trade-Off in der Formbedingung für die beiden Messreihen (mit und ohne Doppelaufgabe). Es flossen nur Daten aus der Distanzbedingung „lang“ in die Abbildung mit ein. Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung wieder.

4. Diskussion

Aufgrund der relativ geringen Fehlerrate von durchschnittlich ca. 4% ist davon auszugehen, dass alle Vpn die Aufgabe in den Experimenten richtig verstanden und korrekt ausgeführt haben. Die Aufgaben waren weder zu schwierig noch zu einfach bzw. zu langweilig. In Abbildung 3.1 und 3.2 zeigt sich bereits ein Trend, nachdem die Vpn in der Formbedingung mehr Fehler machen als in der Farbbedingung. Dies könnte vor allem daran liegen, dass aufgrund der geringeren Unterscheidbarkeit ein Form-Fehler eher übersehen wird als ein Farb-Fehler. Auch kann aufgrund der Abbildungen vermutet werden, dass bei zusätzlicher Sprachproduktion (Messreihe 3) tendenziell mehr Fehler gemacht werden. Für zukünftige Studien wäre es interessant mit einer größeren Anzahl an Vpn zu überprüfen, ob zwischen der Anzahl der gemachten Fehler und der Distanz- bzw. der Stimulusartbedingung ebenfalls ein Zusammenhang besteht.

In Messreihe 1 wurden für die Anzahl der Halbfeld-Blicksprünge keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Messmethoden (Eye-Tracker und Mausclicks) gefunden. Anhand beider Methoden erhielt man eine vergleichbare Anzahl von Blicksprüngen. Für die Verweildauer in einer Bildhälfte gab es signifikante Unterschiede zwischen den durch die unterschiedlichen Messmethoden erhobenen Daten. Abbildung 3.4a zeigt jedoch deutlich, dass die Werte zwar unterschiedlich sind, dieser Unterschied jedoch durch eine gleichbleibende Differenz zustande kommt. Der Verlauf der beiden Kurven bleibt ähnlich. Die Eye-Tracker-Werte sind mit relativ konstantem Faktor kleiner als die Werte aus der Mausclick-Messung. Diese konstante Differenz war zu erwarten, da die Eye-Tracker-Software über einen vordefinierten Algorithmus berechnet, was als Fixation gewertet wird und wie mehrere Fixationen zeitlich und räumlich zusammengefasst werden, wohingegen in der Mausclick-Messung die gesamte Zeit, die zwischen zwei Klicks vergeht, zu einer Fixation zusammengefasst wurde. In der Methode ohne Eye-Tracker gab es außerdem nicht die Möglichkeit, nachzuvollziehen, ob die Probanden, während Sie die Aufgabe lösten, auch Punkte fixierten, die nicht auf dem Bildschirm lagen. Somit kann die, für die Fixationszeiten gefundene Differenz den Eigenarten der Messmethoden zugeschrieben werden. Es entsteht hierdurch keine relevante

Veränderung der Ergebnisse der vorliegenden Studie. Somit kann ausgeschlossen werden, dass die Ergebnisse durch Verwendung der Messmethode ohne Eye-Tracker verfälscht wurden. Beide Methoden messen dasselbe: Verweildauer und Halbfeld-Blicksprünge. In der Messmethode ohne Eye-Tracker steht das Betätigen der Maustaste für einen Halbfeld-Blicksprung und die Zeit zwischen zwei Mausklicks für die Verweildauer in einer Bildhälfte.

In Messreihe 2 fällt zunächst die hohe Standardabweichung auf, was für große Leistungsunterschiede zwischen den Vpn spricht. Diese Unterschiede blieben jedoch über alle Bedingungen hinweg konstant. Jede Vpn hat ihr eigenes, konstantes Leistungsniveau, welches sich auch im *Trade-Off* widerspiegelt.

Einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Distanz* gab es nur bezüglich der Verweildauer, nicht aber für die Anzahl der Blicksprünge. Bei langen Distanzen verweilten die Vpn länger in einer Bildhälfte als bei kurzen Distanzen, was den Ergebnissen von Inamdar & Pomplun (2003) entsprechend darauf zurückzuführen ist, dass die Vpn die AG-Nutzung bei längeren Distanzen intensivieren, da die Kosten für die Augenbewegung durch die längere Distanz anstiegen. Dass man für die Anzahl der Blicksprünge keinen signifikanten Unterschied für die verschiedenen Distanzbedingungen finden konnte, kann auf die geringe Anzahl an untersuchten Vpn zurückgeführt werden. Bei einer Effektstärke von $r = 0,2$ ist davon auszugehen, dass man für größere N einen signifikanten Effekt gefunden hätte.

Beim Faktor *Stimulusart* gab es einen signifikanten Haupteffekt bei der Anzahl der Blicksprünge, nicht aber bei der Verweildauer. Tendenziell gab es mehr Blicksprünge in der Form- als in der Farbbedingung, was darauf hindeutet, dass der Gedächtnisaufwand beim Memorieren von Formen höher ist als beim Memorieren von Farben. Dies sollte sich eigentlich auch in der Verweildauer widerspiegeln. Wie oben, kann man bei einer Effektstärke von $r = 0,59$ auch hier davon ausgehen, dass der Effekt für eine größere Anzahl an Vpn signifikant geworden wäre. Die hohe Korrelation zwischen der Anzahl der Blicksprünge und Verweildauer bestätigt diese Annahme.

Des Weiteren wurde sowohl für die Anzahl der Blicksprünge als auch für die Verweildauer eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren *Distanz* und *Stimulusart* gefunden. Wie Abbildung 3.11 zeigt, besteht die Interaktion darin, dass der Unterschied zwischen dem *Trade-Off* für Farbe und dem *Trade-Off* für Form für lange Distanzen geringer ist als

für kurze Distanzen. Dies könnte daran liegen, dass die bessere Zugänglichkeit der Farbnamen sich bei den kurzen Distanzen noch stärker bemerkbar macht, da sich die Vpn nur wenige Symbole merken und somit die AG-Kapazität nicht komplett ausnutzen. Bei längeren Distanzen macht sich der Vorteil der Farb-Symbole nur noch in der höheren Anzahl gemerkter Symbole pro Blicksprung, nicht mehr aber in Verweildauer bemerkbar, da das zeitliche Kapazitäts-Limit des AGs (je nach Leistungsniveau der Vpn) sowohl bei Form- als auch bei Farb-Symbolen erreicht wird. Abbildung 3.5 und 3.6 zeigen, dass sich die Dauer der Fixationen für Farb- und Formbedingung bei langen Distanzen kaum mehr unterscheidet, während es bei der Anzahl der Blicksprünge auch auf langer Distanz noch einen Unterschied zwischen der Farb- und der Formbedingung gibt.

Für die Ursache der erhöhten Verarbeitungsgeschwindigkeit bei Farben gegenüber Formen gibt es mehrere Theorien. Zum einen könnte es sein, dass Form-Symbole und Farb-Symbolen sich hinsichtlich ihrer Komplexität unterscheiden. Bei der Wahrnehmung der in dieser Studie verwendeten Form-Symbole müssen mehrere Kanten mit unterschiedlicher Orientierung verarbeitet werden. Die Farb-Symbole unterscheiden sich hingegen nur in einem physikalischen Merkmal, der Farbe, voneinander. Hardiess et al. (2011) fanden, dass komplexere Muster in einer Block-Kopier-Aufgabe das AG stärker beanspruchen als einfachere Muster. In künftigen Studien könnte innerhalb der Farbbedingung noch die Form der Farb-Symbole variiert werden um festzustellen ob Farb-Symbole mit einer Komplexeren Form einen anderen *Trade-Off* zeigen, als die runden Farb-Symbole aus der vorliegenden Studie.

Alternativ wäre es möglich, dass das *verbale Rehearsal* in der *phonologischen Schleife* für Farbnamen einfacher ist als für Formnamen. Dies könnte dem *Wortlängeneffekt* geschuldet sein, da die Namen der im Experiment verwendeten Formen länger sind als die Namen der verwendeten Farben. So ist bspw. ein Durchlauf von vier Farbnamen in der *phonologischen Schleife* viel schneller als ein Durchlauf von vier Formnamen. Da viele der Vpn jedoch bei einer an das Experiment anschließenden Befragung angaben, sich Abkürzungen für die Formnamen überlegt zu haben, sollte vom *Wortlängeneffekt* als alleinige Erklärung Abstand genommen werden. Möglich wäre, dass der erhöhte Zeitaufwand bei den Formnamen gerade daher kommt, dass die Vpn sich Abkürzungen für die Namen überlegen mussten. Dies empirisch zu belegen ist jedoch sehr schwierig.

Einen plausibleren Grund, für die höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit (bzw. die geringere Gedächtnisbeanspruchung) von Farb-Symbolen gegenüber Form-Symbolen, ist vermutlich deren Verwendung und Vorkommen im Alltag in Verbindung mit der Theorie von der überwiegend verbalen Gedächtnis-Kodierung. Farbnamen sind überlernte, automatisch auftretende Assoziationen, und einfach zu benennen, weil uns die Situation, eine Farbe benennen zu müssen, im Alltag ständig begegnet. Bei Formen muss hingegen zuerst eine passende, verbale Umschreibung gefunden werden, bevor die Formnamen im AG verwendet werden können. Da wir im Alltag kaum explizit mit der Benennung von Formen konfrontiert werden, müssen wir bei manchen Formen sogar längere Zeit überlegen, bevor wir wissen, wie der korrekte Name für diese Form lautet. Interessant wäre hierzu eine Reaktionszeitstudie, welche die benötigte Zeit zur Benennung unterschiedlicher Formen misst. Es ist möglich, dass der lexikalische Zugang bei Farben ein automatisierter Prozess ist, während für die Verbalisierung von Formen bewusste Verarbeitung und Aufmerksamkeit notwendig sind.

Möglich ist außerdem, dass Farb-Symbole auch deshalb das AG weniger beanspruchen weil sie, in der Größe in der sie im Experiment verwendet wurden, einfacher voneinander zu unterscheiden sind als die verwendeten Form-Symbole. In zukünftigen Studien könnte der Einfluss der Unterscheidbarkeit der Symbole getestet werden indem Stimulusbilder aus ähnlichen Farben und Formen mit Stimulusbildern aus gut unterscheidbaren Farb- und Form-Symbolen verglichen werden.

Des Weiteren bestätigen die Ergebnisse die Resultate früherer Studien (Inamdar & Pomplun, 2003; Hardiess et al., 2008), wonach es eine Beziehung zwischen der Anzahl der Blicksprünge und der Verweildauer und somit auch den *Trade-Off* zwischen AG-Nutzung und Augenbewegung gibt. Durch Änderung der Distanzbedingung wird die Kurve, die den *Trade-Off* der verschiedenen Vpn beschreibt nur insgesamt verschoben, ändert aber Ihren Verlauf nicht. Jede Vpn hat somit ihren eigenen, internen und stabilen *Trade-Off*. Sowohl die *Trade-Off*-Unterschiede zwischen den Versuchspersonen, als auch die *Trade-Off*-Verschiebungen zwischen den einzelnen Bedingungen (innerhalb einer Versuchsperson) korrelierten stark (Abb. 3.9). Dieser Befund bestätigt die These von Droll & Hayhoe (2007) wonach die *Trade-Off* Strategie als ein intrinsischer, unbewusster und dauerhaft vorhandener Aspekt menschlichen Verhaltens aufgefasst wird.

In Abbildung 3.9 und 3.10 scheint es als würde der Verlauf der *Trade-Off*-Kurve maßgeblich durch die Vpn beeinflusst werden, deren Werte gegenüber denen der anderen

Vpn, ‚Ausreißer‘ sind, und die jeweils ein Ende der Kurve bilden. Tatsächlich ist aber vor dem Hintergrund anderer Studien davon auszugehen, dass sich bei einer höheren Anzahl an Vpn auch die Daten mehrere Personen an den Enden der *Trade-Off*-Kurve ansammeln würden. Alles in Allem zeigt sich auch für nicht signifikante Werte ein klarer Trend in den Schaubildern und trotz der geringen Anzahl der Vpn wurden größtenteils sehr hohe Effektstärken erzielt.

In Messreihe 3 war die Standardabweichung ebenfalls hoch. Außerdem wurden sowohl für den Faktor *Distanz* als auch für den Faktor *Stimulusart* und für die Interaktion zwischen beiden Faktoren signifikante oder fast signifikante Haupteffekte bzgl. der Anzahl an Blicksprüngen gefunden. Die Effekte scheinen in Messreihe 3 im Allgemeinen signifikanter zu sein als in Messreihe 2, was der etwas anderen Zusammensetzung an Vpn geschuldet sein könnte und somit die Hypothese bestätigt, dass mit einer größeren Anzahl an Vpn auch in Messreihe 2 für alle Faktoren signifikante Effekte hätten erzielt werden können. Dasselbe gilt auch für den fast signifikanten Haupteffekt der *Stimulusart* bzgl. der Fixationszeit pro Blicksprung. Zu klären bleibt die Frage, weshalb für die Interaktion zwischen den beiden Faktoren *Distanz* und *Stimulusart* bzgl. der Fixationszeiten pro Blicksprung kein signifikanter Effekt gefunden werden konnte. Bezüglich des *Trade-Offs* konnten in Messreihe 3 dieselben Beobachtungen gemacht werden wie in Messreihe 2, was ebenfalls die Definition des *Trade-Offs* als intrinsischen, tief verankerten Prozess (Droll & Hayhoe, 2007) bestätigt.

Der Vergleich des mittleren *Trade-Offs* aus Messreihe 2 und Messreihe 3 für die lange Distanz (Abb. 3.18) zeigt, dass es mit Doppelaufgabe kaum mehr einen Unterschied zwischen der Farb- und der Formbedingung gibt. Dies könnte daran liegen, dass die *phonologische Schleife* durch das Sprechen der sinnfreien Silben blockiert wird. Somit ist kein *verbales Rehearsal* mehr möglich – weder für die Farb-Symbole noch für die Form-Symbole. Da ohnehin kein *verbales Rehearsal* stattfinden kann, muss auch kein lexikalischer Zugang zu Farb- oder Formnamen geschaffen werden. Somit fällt die schnellere Zugänglichkeit von Farbnamen gegenüber Formnamen nicht mehr ins Gewicht und der *Trade-Off* für Farb- und Form-Symbole unterscheidet sich nur noch geringfügig.

Durch das Wegfallen der Möglichkeit des *verbalen Rehearsals*, können die Vpn sich nur noch wenige Symbole pro Blicksprung merken und sind dadurch gezwungen, insgesamt mehr Blicksprünge zu machen. Diese Strategie macht sich dadurch bemerkbar, dass der mittlere *Trade-Off* für Messreihe 3 gegenüber dem mittleren *Trade-Off* für Messreihe 2 verschoben ist (Abb. 3.17). Interessant ist jedoch, dass sich die Anzahl gemerkter Symbole pro Blicksprung in der Farb- und der Formbedingung auch in Messreihe 2 weiterhin unterscheidet (Abb. 3.16). Dieser Unterschied ist zwar sehr gering, aber sogar größer als der entsprechende Unterschied in Messreihe 2, was darauf hindeutet, dass es abgesehen von lexikalischem Zugang und *verbalem Rehearsal* noch einen weiteren, grundlegenden Verarbeitungsunterschied zwischen Farben und Formen gibt. Möglich ist beispielsweise, dass in Messreihe 3 statt dem *verbalen Rehearsal* das *visuelle Rehearsal* im *visuell-räumlichen Notizblock* verwendet wurde um die Symbole im Gedächtnis zu halten. Auch auf Basis des *visuellen Rehearsals* kann aufgrund des Alltagsgebrauchs ein Vorteil von Farben gegenüber Formen vermutet werden.

Für künftige Studien wäre es unter Anderem interessant, anhand von Reaktionszeitexperimenten und EEG-Studien grundlegend festzustellen, worin der genaue Verarbeitungsunterschied zwischen Farb- und Formsymbolen besteht, um eingrenzen zu können welche Faktoren einen direkten Einfluss auf den Gedächtnis *Trade-Off* haben.

Die gemeinsame und gleich schnelle Verarbeitung von Farbe und Form, wie sie in Holcombe (2009) angenommen wird, scheint angesichts der hier vorgefundenen Unterschiede noch nicht das Ende der Forschungsarbeit in dieser Richtung darzustellen.

Literaturverzeichnis

- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory: a Proposed System and its Control Processes. In K. W. Spence, & J. T. Spence, *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (S. 89-195). New York, USA: Academic Press.
- Baddeley, A. D. (1992). Working Memory. *Science*(255), S. 556-559.
- Baddeley, A. D. (2003). Working Memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*(4), S. 829-839.
- Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). The Multi-Component Model. In A. Miyaka, & P. Shah, *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control* (S. 28-61). Cambridge: Cambridge University Press.
- Baddeley, D. A., & Hitch, G. (1974). Working Memory. *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*(8), S. 47-90.
- Ballard, H., Hayhoe, M., & Pelz, J. (1995). Memory Representations in Natural Tasks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, S. 66-80.
- Dietze, J., Börstler, A., & Bilsing, A. (2007). *Duden Abiturwissen Biologie*. Mannheim: Dudenverlag.
- Droll, J. A., & Hayhoe, M. M. (2007). Trade-offs Between Gaze and Working Memory Use. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*(33), S. 1352-1365.
- Gegenfurtner, K. R., & Rieger, J. (2000). *Sensory and cognitive contributions of color to the recognition of natural scenes*. Tübingen, Germany: Max-Planck-Institute für biologische Kybernetik.
- Hardiess, G., Basten, K., & Mallot, H. A. (2011). Acquisition vs. Memorization Trade-Offs Are Modulated by Walking Distance and Pattern Complexity in a Large-Scale Copying Paradigm. *PLoS ONE*(6(4)).
- Hardiess, G., Gillner, S., & Mallot, H. A. (2008). Head and eye movements and the role of memory limitations in a visual search paradigm. *Journal of Vision*(8(1):7), S. 1-13.
- Holcombe, A. O. (2009). Seeing slow and seeing fast: two limits on perception. *Trends in cognitive sciences*.
- Inamdar, S., & Pomplun, M. (2003). *Comparative Search Reveals the Tradeoff between Eye Movements and Working Memory Use in Visual Tasks*. Boston, USA: University of Massachusetts Boston.
- Mathy, F., & Feldman, J. (2012). What's magic about magic numbers? Chunking and data compression in short-term memory. *Cognition*(122), S. 346-362.

Miyake, A., & Shah, P. (1999). Models of Working Memory: An Introduction. In A. Miyake, & P. Shah, *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control* (S. 1-27). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

Solso, R. L. (2005). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.

Anhang

1. Versuchsanleitung:

Vergleichende Visuelle Suche

1. Aufgabe

- Ihre Aufgabe ist es, in jedem Durchlauf zwei (fast) identische Spalten, die jeweils 24 Symbole enthalten, auf Unterschiede zu überprüfen.
- Eine der beiden Spalten ist dabei immer durch ein graues Rechteck verdeckt, welches Sie während der Suchaufgabe verschieben können.
- In jedem Durchlauf müssen **entweder ein oder zwei Fehler** (d.h. nicht identische Symbole) gefunden werden.
- Es gibt zwei Arten von Durchgängen: a) alle Objekte unterscheiden sich nur in der Form, b) oder nur in der Farbe. D.h. es gibt nur Formfehler oder nur Farbfehler zu finden!

2. Ablauf

- Sie absolvieren insgesamt 60 Durchläufe.
- Nach jeweils 20 Durchläufen können Sie eine Pause einlegen.
- Zu Beginn jedes Durchgangs wird in der Mitte des Bildschirms ein Kreuz für 3 Sekunden angezeigt.
- Bitte fixieren Sie dieses Kreuz bis die Suchaufgabe beginnt.
- Um die Sicht auf die verdeckte Spalte freizugeben drücken Sie bitte
 - ... **die rechte Maustaste um die rechte Hälfte freizugeben**
 - ... **die linke Maustaste um die linke Hälfte freizugeben**
- Drücken Sie die **Leertaste sobald Sie alle Fehler gefunden haben** (der Durchlauf wird daraufhin beendet) und nennen Sie die Anzahl der Fehler (ein oder zwei) dem Versuchsleiter.
- Der Versuchsleiter wird Ihre Antwort notieren.
- Danach folgt der nächste Durchlauf.

3. Übungsdurchlauf

- Bevor das Experiment beginnt, absolvieren Sie 4 Übungsdurchläufe.
- Bei Fragen wenden Sie sich bitte an den Versuchsleiter.

Bitte führen Sie die Suchaufgabe so zügig und so genau wie möglich aus!

Viel Spaß beim Suchen...!

2. *Probandeninformation:*

Probandeninformation und Einverständniserklärung

Personendaten

Name der Versuchsperson (in Druckbuchstaben): _____

E-Mail Adresse: _____

Studiengang und Fachsemester: _____

Geburtsjahr: _____

Geschlecht: m w

Brille: ja nein

Kontaktlinse: ja nein

Kontaktlinse: hart weich

Probandeninformation

Experiment: Vergleichende visuelle Suche

Name der Versuchsleiter: Gregor Hardiess, Noemi Deborah Martin

Sie werden heute an einem Computerexperiment bezüglich einer Aufgabe zur vergleichenden visuellen Suche teilnehmen. Dabei werden Ihnen am Bildschirm jeweils zwei Reihen von Symbolen dargeboten, die Sie miteinander vergleichen müssen. Mit der Computermaus können Sie dabei jeweils eine Stimulusreihe aufdecken (die andere Reihe wird gleichzeitig verdeckt). Der Schwierigkeitsgrad wird variiert um Ihre Gedächtnisleistung zu messen.

Das Experiment ist nicht invasiv, kann nicht zu Schäden führen und hat keinerlei Nebenwirkungen. Das Messen und Aufzeichnen Ihrer Augenbewegungen ist nicht invasiv und führt zu keinerlei Beeinträchtigungen.

Ihre persönlichen, während dieser Studie erhobenen, Daten werden im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen - in anonymisierter Form - veröffentlicht und am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft gespeichert.

Die Teilnahme erfolgt freiwillig und kann zu jedem Zeitpunkt ohne Angabe von Gründen abgebrochen werden.

3. *Einverständniserklärung:*

Einverständniserklärung

Ich erkläre mich bereit, an dem o.g. Experiment teilzunehmen.

Ich habe den Text der Probandeninformation und dieser Einverständniserklärung gelesen und verstanden. Aufgetretene Fragen wurden mir verständlich und vollständig beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, Fragen zu stellen und mich für oder gegen eine Teilnahme zu entscheiden.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine persönlichen, während dieser Studie erhobenen, Daten im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen - in anonymisierter Form - veröffentlicht und am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft gespeichert werden.

Tübingen, den _____

Unterschrift