



Der Einfluss von Sakkadenadaptation auf covert visuelle Suche

Niklas Stein

Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Fachbereich 7: Psychologie und Sportwissenschaft
31.08.2016

Gutachter: Prof. Dr. Markus Lappe
Gutachterin: MSc. Annegret Meermeier

Niklas Stein
Stadtlohnweg 33 Whg. 21
48161 Münster
Niklas.Stein@wwu.de
407577

Zusammenfassung

Nach Einübung einer coverten visuellen Suchaufgabe nahmen 20 Versuchspersonen an einer Untersuchung zu möglichen Auswirkungen von Adaptation auf die visuelle Suche teil. Bei einer der zwei Sitzungen wurden ihre Augenbewegungen mit dem double-step Paradigma nach außen verlängert. Die andere Sitzung diente als Kontrollbedingung mit gleichem Ablauf ohne Adaptation. Der Vergleich der Reaktionszeiten zwischen den Bedingungen ergab keinen Unterschied. In der Adaptationsbedingung machten die Personen signifikant weniger Fehler. Es wurde trotz vorherigen Trainings ein signifikanter Lerneffekt über die Sitzungen hinweg gefunden. Außerdem wurden Targets auf der horizontalen Achse signifikant schneller gefunden. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass mögliche Crossover-Effekte zwischen Ausrichtung der Aufmerksamkeit und der Adaptation der Augenbewegungen coverten visuellen Suchprozesse nicht erschweren oder verlangsamen. Limitationen der Studie, Bedingungen für Crossover-Effekte von Aufmerksamkeit und Sakkadenadaptation, sowie mögliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen werden diskutiert.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Inhaltsverzeichnis	3
Einleitung	4
Methode	9
Versuchspersonen	9
Apparatur.....	9
Durchführung.....	10
Suchaufgabe.....	11
Adaptationstrial	13
Ergebnisse	14
Auswertung der Sakkadenadaptation.....	14
Auswertung der Reaktionszeiten	16
Auswertung der einzelnen Suchfehler.....	20
Diskussion	24
Interpretation der Ergebnisse	24
Limitationen	25
Einordnung der Ergebnisse	27
Literaturverzeichnis	30
Anhang	33
Selbstständigkeitserklärung des Studierenden	36

Einleitung

Für den Menschen ist das Sehen ein zentraler Bestandteil des Austauschs mit der Umwelt. Es ermöglicht grundlegende Prozesse wie das Nachahmungslernen, sodass das Verständnis des visuellen Systems ein wichtiges Thema der allgemeinen Psychologie ist. Der Weg vom Lichtreiz auf der Netzhaut bis hin zu verarbeitenden Prozessen im visuellen Kortex ist dabei ebenso Teil der Forschung wie die theoretische und mathematische Modellierung dieser Prozesse.

Der Weg des Bildes beginnt auf der Netzhaut des Auges, auf welcher einfallendes Licht über Zapfen und (bei schwächerem Lichteinfall) Stäbchen als Aktionspotentiale ins Nervensystem übertragen wird. Diese Rezeptoren sind auf der Oberfläche der Netzhaut mit unterschiedlicher Dichte verteilt (Schandry, 2011, S. 240-264). Schon frühe Theorien gingen davon aus, dass Objekte mit zunehmendem Abstand zum Ort der höchsten Dichte von Zapfen (*fovea centralis*) ungenauer wahrgenommen werden (Anstis, 1998). Die Verarbeitung des visuellen Felds, schien dabei nicht komplett symmetrisch zu sein. Bei hoher Anzahl von schwer zu unterscheidenden Objekten werden diejenigen im unteren visuellen Feld im Mittel besser wahrgenommen (He, Cavanagh, & Intriligator, 1996). Fortenbaugh, Silver, & Robertson (2015) argumentieren jedoch, dass dieser Effekt durch personenspezifische Unterschiede in der vertikalen Ausdehnung des visuellen Feldes entsteht. Das Auge ist in der Lage sich so zu bewegen, dass das gewünschte Objekt auf die Fovea projiziert wird. Diese schnellen Augenbewegungen nennt man *Sakkaden*. Sie unterscheiden sich in der zurückgelegten Strecke (*Amplitude*), Dauer und Geschwindigkeit und werden so häufig gemacht, dass die periphere Unschärfe, keine störende Einschränkung darstellt. Durch aktive Prozesse in der Verarbeitung werden fehlende Informationen im Alltag erweitert, sodass periphere Objekte nicht als unscharf erlebt werden (Fischer, 1999, S. 120-122).

Diese Arbeit widmet sich den Prozessen der visuellen Suche. Bei Suchaufgaben geht es um das möglichst schnelle Auffinden eines bestimmten Stimulus. Je nach Auswahl der Objekte im Sichtfeld dauert diese Aufgabe unterschiedlich lange und wird als schwierig oder leicht wahrgenommen. Besonders schwierige Suchaufgaben enthalten Ablenkungsobjekte (*Distraktoren*), die dem Zielobjekt (*Target*) auf jeweils unterschiedliche Art und Weise ähnlich sehen (Duncan & Humphreys, 1992). Intuitiv wird das Sichtfeld dann meist Stück für Stück mit Sakkaden abgetastet (*overt Suche*). Bei der *coverten* Suche dagegen müssen die Versuchspersonen durchgehend einen Punkt fixieren.

Um eine geplante Sakkade zu einem Objekt zu machen, muss es in der Peripherie des aktuellen Blickbildes zunächst wahrgenommen werden. Anschließend kann die Entfernung zum Objekt und die entsprechende Länge des folgenden Blicksprungs eingeschätzt werden. Diese Informationen müssen sowohl für bewusst geplanten *Scanningsakkaden*, als auch *reaktive* Sakkaden, welche zum Beispiel beim plötzlichen Erscheinen eines Lichtreizes gemacht werden, gewonnen werden. In einem Experiment, bei dem Versuchspersonen ein nur peripher sichtbares Objekt erkennen mussten, gelang dies wesentlich besser, wenn eine Sakkade zu diesem Punkt geplant wurde. Die Autoren schlossen daraus, dass es einen Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeitsprozessen und Augenbewegungsplanung gibt (Deubel & Schneider, 1996).

Verschiebt man während oder nach der Sakkade das angepeilte Blickziel, lassen sich Veränderungen der Augenbewegungen auslösen. Während die Verschiebung zunächst durch Korrektursakkaden ausgeglichen wird, passen sich die primären Blickbewegungen mit jeder Wiederholung näher an das nicht erreichte Ziel an. Die Amplitude der Sakkade kann so verlängert oder verkürzt werden. Eine Verkürzung der Sakkade durch eine sogenannte *inward* Adaptation führt meist zu einer größeren Veränderung der Amplitude als eine mittels *outward* Adaptation erzielte Verlängerung (Miller, Anstis, & Templeton, 1981). Durch das

manipulierte Feedback kommt es schon nach 21 Wiederholungen zu einer Generalisierung der *Adaptation* (McLaughlin, 1967). Der Effekt überträgt sich dann auf Sakkaden mit der gleichen Amplitude und der gleichen Richtung, während bei vom Adaptationsvektor abweichenden Blickbewegungen ein systematischer Rückgang des Adaptationseinflusses zu beobachten ist (Frens & van Opstal, 1994). Die Größe der Adaptation hängt zudem vom Zeitpunkt der Verschiebung des Ziels ab. Sie nimmt bei ansteigender Verzögerung systematisch ab, doch selbst 400 ms nach Erreichen des Targets kann eine Adaptation durch eine Verschiebung ausgelöst werden (Fujita, Amagai, Minakawa, & Aoki, 2002). Erhalten die Versuchspersonen im Alltag jedoch wieder normales Feedback, geht der Adaptationseffekt zurück. Sakkadenadaptation lässt sich sowohl mit reaktiven als auch mit Scanningsakkaden durchführen. Eine Übertragung auf die jeweils andere Form der Blickbewegung ist jedoch nur bedingt möglich. Zwar bewirkt die Veränderung der bewusst geplanten Sakkaden auch eine starke Veränderung der reaktiven Blicksprünge, umgekehrt ist der Einfluss jedoch deutlich kleiner (Alahyane, et al., 2006).

Während das Auge in Bewegung ist, wird die bewusste Wahrnehmung unterdrückt (*sakkadische Suppression*). Aufgrund der begrenzten maximalen Frequenz, mit der Neuronen visuelle Informationen durch die Auslösung bzw. Weiterleitung von Aktionspotentialen übertragen können, wäre der visuelle Input wohl ohnehin vergleichbar mit dem verwackelten Bild einer Fotokamera. Stattdessen erleben Versuchspersonen eine stabile Wahrnehmung der Umwelt, so als würden sie ohne Übergangsbewegung von einem Objekt zum anderen schauen (Bridgeman, Hendry, & Stark, 1975). Panouillères et al. (2016) stellten in einem Experiment, in dem sie ein verschobenes Target nur während reaktiver Sakkaden kurz aufblincken ließen fest, dass eine Adaptation auf diese Weise nur inward funktioniert. Sie schlussfolgerten, dass die stärkeren Effekte bei Sakkadenverkürzungen durch den geringeren Abstand der Projektion von Feedback und Fovea kommen müssten. Je näher die für die

Adaptation wichtigen Informationen am Punkt des schärfsten Sehens seien, desto leichter seien sie auch während der sakkadischen Suppression zu erfassen. Die Ergebnisse bedeuten außerdem, dass bei der Adaptation trotz gleichzeitigem Auftreten der Suppression, visuelle Informationen während der Augenbewegung genutzt werden.

Um visuelle Prozesse wie die Adaptation genau modellieren zu können, wäre es interessant zu wissen, wie und an welcher Stelle der visuellen Verarbeitung sich die Sakkadenadaptation auf Blickbewegungen auswirkt. Im Rahmen der Untersuchung vorher erhobene Daten deuten darauf hin, dass sich durch adaptierte Scanningsakkaden die Suchzeit der overtten und coverten visuellen Suchaufgaben erhöht. Dabei wurde jedoch die Abfolge von Kontroll- und Experimentalbedingung nicht ausbalanciert, sodass der Einfluss eines möglichen Lerneffekts durch Wiederholung der Suchaufgabe bei der Auswertung nicht vom Effekt der Adaptation getrennt betrachtet werden konnte. Eine geringere Performanz bei der overtten Suche kann lediglich zeigen, dass der Adaptationseffekt die motorische Ausführung der Augenbewegung beeinflusst. Beim Finden und Überprüfen der einzelnen Objekte auf ihre Übereinstimmung mit dem Target würden demnach nur suboptimale Blicksprünge gemacht. Diese müssten durch Korrektursakkaden ausgeglichen werden, um das tatsächliche Sakkadenziel zu erreichen, was zusätzliche Zeit beanspruchen würde. Eine Reihe von Studien deuten jedoch darauf hin, dass die Adaptation von Scanningsakkaden nicht nur die motorische Ausführung der Augenbewegungen, sondern auch die Planung derselben (Moore & Fallah, 2004) sowie die Lokalisation von Objekten (Zimmermann & Lappe, 2009) und die Diskriminationsfähigkeit (Doré-Mazars & Collins, 2005) beeinflusst. Dementsprechend sollte sich ein Einfluss von Sakkadenadaptation auf die covertte visuelle Suche ohne tatsächliche Blickbewegungen zeigen lassen. Zimmermann & Lappe (2010) argumentieren darüber hinaus, dass sich besonders die outward Adaptation auf Lokalisierung von Objekten auswirke, da sich bei dieser Form die maximale Geschwindigkeit während der Sakkade nicht

ändert. Stattdessen würde die Amplitudenveränderung durch eine Abwandlung der Entfernungseinschätzung erzielt.

Um einen möglichen Einfluss von Sakkadenadaptation auf Aufmerksamkeitsprozesse bei der coverten Suche empirisch zu belegen, führte ich ein Experiment mit einer outward Adaptation von Scanningsakkaden durch. Aus den dargestellten Überlegungen heraus ergeben sich die folgenden Hypothesen für das Experiment:

H 1: Durch das Nach-außen-Verschieben von Stimuli während der Scanningsakkaden findet eine Sakkadenadaptation statt. Die Sakkadenamplitude der Versuchspersonen wird durch Wiederholung dieses Vorgehens signifikant größer.

H 2.1: Es gibt einen signifikanten linearen Einfluss der Adaptation auf Reaktionszeiten bei der visuellen coverten Suche. Die Suchzeit nimmt bei zunehmender Sakkadenadaptation der Versuchspersonen zu.

H 2.2: Es gibt einen linearen Einfluss der Interaktion zwischen Targetposition und Adaptation. Bei Suchtrials, bei denen das Target auf der horizontalen Achse entlang der Adaptation liegt, dauert der Suchprozess bei adaptierten Versuchspersonen länger als bei anderen Trials.

H 3.1: Es gibt einen signifikanten linearen Einfluss der Adaptation auf die Anzahl der Suchfehler bei der visuellen coverten Suche. Diese treten bei ansteigender Sakkadenadaptation der Versuchspersonen signifikant häufiger auf.

H 3.2: Es gibt einen linearen Einfluss der Interaktion zwischen Targetposition und Adaptation. Bei Suchtrials, bei denen das Target auf der horizontalen Adaptationsachse liegt, machen adaptierten Versuchspersonen mehr Suchfehler.

Methoden

Versuchspersonen

An der Studie nahmen 22 gesunde Versuchspersonen im Alter von 18 bis 43 Jahren ($M_{\text{Alter}} = 22.85$, $SD_{\text{Alter}} = 5.72$) teil. Acht der Teilnehmer waren männlich, eine Person linkshändig. Drei Personen nutzten während des Experiments Kontaktlinsen, während alle anderen Teilnehmer die Testsitzungen ohne Sehhilfen durchführten. Die Versuchspersonen wurden vor dem Versuch nicht über die Hypothesen informiert. Sie erhielten für ihre Teilnahme entweder 1.5 Versuchspersonenstunden oder 12.00 €

Apparatur

Der Versuch wurde im abgedunkelten Eyetracking-Labor der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster durchgeführt. Dazu wurde ein für die Studie eigens programmiertes Skript mit dem Programm Matlab R2014a (8.3.0.532) 64-bit (maci64) Februar 11, 2014 unter Zuhilfenahme des Pakets Psychtoolbox 3.0.11 auf einem Mac mini (Late 2012) ausgeführt. Auf diesem lief das Betriebssystem OS X in der Version 10.9.3 (13D65). Es wurden ein 2.5 GHz Intel Core i5 Prozessor, 2 x 2 GB DDR3 Arbeitsspeicher mit 1600 MHz und einer internen Intel HD Graphics 4000 Grafikkarte genutzt. Die Stimuli wurden auf einem FlexScan P930 Röhrenbildschirm von EIZO mit einer Auflösung von 1152 Px x 870 Px bei einer Frequenz von 75 Hz dargestellt. Dieser hatte eine 43cm x 34cm große Darstellungsfläche mit einer Diagonale von 19.7°. Zur Fixierung der Position der Versuchspersonen diente eine 40cm hohe Kopfstütze auf einem 27 cm x 43 cm x 2 cm Holzbrett, welche in einer Entfernung von 60 cm mittig zum Bildschirm stand. Auf der Kopfstütze wurden Wattepad platziert.

Zur Erfassung der Augenbewegungen der Versuchspersonen wurde das linke Auge der Versuchspersonen mit der Kamera Eyelink CL Illuminator TT-980 mit einer Aufnahme Frequenz von 1000 Hz gefilmt. Dabei wurden die Bilder mit der Software Eyelink

CL Version 4.10 ID CL1 77T15 von SR Research Ltd in Echtzeit ausgewertet und die Ergebnisse an Matlab zurückgemeldet.

Zu Beginn jeder Sitzung wurde die Kamera mit Hilfe eines 9-Punkte-Grids (siehe Abbildung 8 im Anhang) kalibriert und validiert. Die Abweichung bei Validierung der Punkte durfte dabei maximal 1° betragen, ansonsten wurde eine erneute Kalibrierung mit anschließender Validierung durchgeführt.

Durchführung

Das Experiment bestand aus drei bis fünf Sitzungen ($M_{\text{Sitzung}} = 3.55$, $SD_{\text{Sitzung}} = 0.61$). Zuerst füllten die Versuchspersonen eine Einverständniserklärung mit allgemeinen Informationen zu den Rahmenbedingungen des Experiments aus. Anschließend folgte die Abfrage von Geburtsdatum, Händigkeit, Nutzung von Sehhilfen und ggf. des Zeitpunktes der letzten Teilnahme an einem Eyetracking-Experiment durch den Versuchsleiter. Daraufhin erhielten die Versuchspersonen von mir vorgelesene Instruktionen zur Durchführung (siehe Anhang). Um Lerneffekte zu minimieren, wurde die visuelle coverte Suchaufgabe in den ersten ein bis drei Trainingssitzungen mit je 4 x 40 Suchtrials eingeübt. Erreichte eine Versuchsperson mindestens 50% fehlerfreie Trials, konnte sie direkt mit den zwei Experimentalsitzungen fortfahren. Diese begannen mit einem Vorexperiment, welches aus 3 Suchtrials, 15 Trials mit Pseudoadaptation und 3 weiteren Suchtrials bestand. So wurde sichergestellt, dass auch die ersten Trials des eigentlichen Experiments für die Auswertung genutzt werden konnten. Anschließend folgte der Hauptteil des Experiments mit mindestens 40 Suchtrials, 100 Adaptationstrials und einem weiteren Block mit mindestens 40 Suchtrials. Es wurde ausbalanciert, ob eine Versuchsperson zuerst an der Kontrollbedingung oder der Adaptationsbedingung teilnahm. Zwischen beiden Sitzungen lagen mindestens 48 Stunden ($M_{\text{Zwischenzeit}} = 102.32$, $SD_{\text{Zwischenzeit}} = 58.49$). Trials mit Fehlern jeder Art, wurden am Ende

des aktuellen Suchblocks angehängt und wiederholt, sodass von jeder Versuchsperson genau 40 fehlerfreie Trials pro Sitzung zur Auswertung zur Verfügung standen.

Suchaufgabe

Bei der visuellen Suchaufgabe wurde zunächst über alle Versuchspersonen ausbalanciert ein Landoldtring (Danilova & Bondarko, 2007) mit einem Radius von 1.5° und einer Öffnung von $0.3^\circ \times 0.3^\circ$ nach oben, unten, rechts oder links präsentiert. Anschließend verschwand dieses Target von der Mitte des Bildschirms und an gleicher Stelle tauchte ein Fixationspunkt auf. Dazu nutzte ich eine von Thaler, Schütz, Foodale und Gegenfurtner (2012) vorgestellte Form, ebenfalls mit einem Außenradius von 1.5° (siehe Abbildung 1).

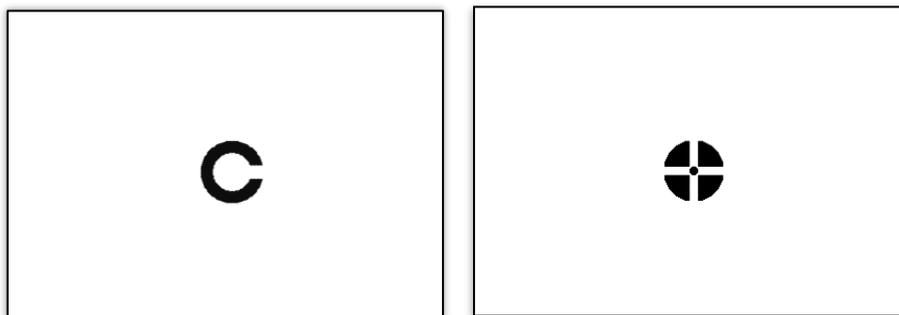


Abbildung 1. Links: Landoldtring: Verhältnis von Radius zu Öffnung 5 : 1. Rechts: Fixationspunkt, Außenradius entsprechend dem gewählten Landoldtring. Verhältnis von Außenradius zu Innenradius bzw. Auslassung 15 : 2.

In einem Kreis mit einem Radius von 10° wurden von 12 Uhr beginnend in regelmäßigem Abstand von 45° acht Landoldtringe mit Öffnungen in 8 unterschiedlichen Richtungen präsentiert. Einer dieser Ringe glich damit dem vorher dargestellten Target. Aufgabe der Versuchspersonen war es, den Targetring so schnell wie möglich zu finden und anschließend die Leertaste zu drücken. Dabei sollte der Blick die gesamte Zeit über auf dem

Fixationspunkt ruhen. Bewegten sich die Augen ohne in den letzten 80 ms geblinzelt zu haben, mit einer Geschwindigkeit von über 31 °/sek galt dies als *Fixationsfehler* und ein Fehlerton ertönte. Bei Drücken der Leertaste wurde die Reaktionszeit zwischen Präsentation der Suchmaske und Tastendruck der Leertaste gemessen. Gleichzeitig verschwanden alle Ringe. Wurde eine andere Taste gedrückt, galt dies als *Tastenfehler*. Nun hatte die Versuchsperson beliebig viel Zeit via Nummerntastentastatur auf der Tastatur die Position des Targets anzugeben. Wählte sie die richtige Taste, ertönte ein Ton als Feedback. Wurde ein *Suchfehler* gemacht, ertönte kein Ton und der Durchgang wurde ebenfalls als Fehldurchgang gewertet. Anschließend begann der nächste Durchgang. Eine Person erhielt über alle Sitzungen immer ein in die gleiche Richtung geöffnetes Target. Die Reihenfolge der Targetposition auf dem Außenkreis erfolgte für alle Versuchspersonen in einer gleichen, ausbalancierten und pseudorandomisierten Reihenfolge. Um Verkürzungen der Reaktionszeit durch Auswendiglernen zu vermeiden hatten Trainingssitzungen und Experimentalsitzungen unterschiedliche Abfolgen. In Abbildung 2 ist der Ablauf im Detail dargestellt.

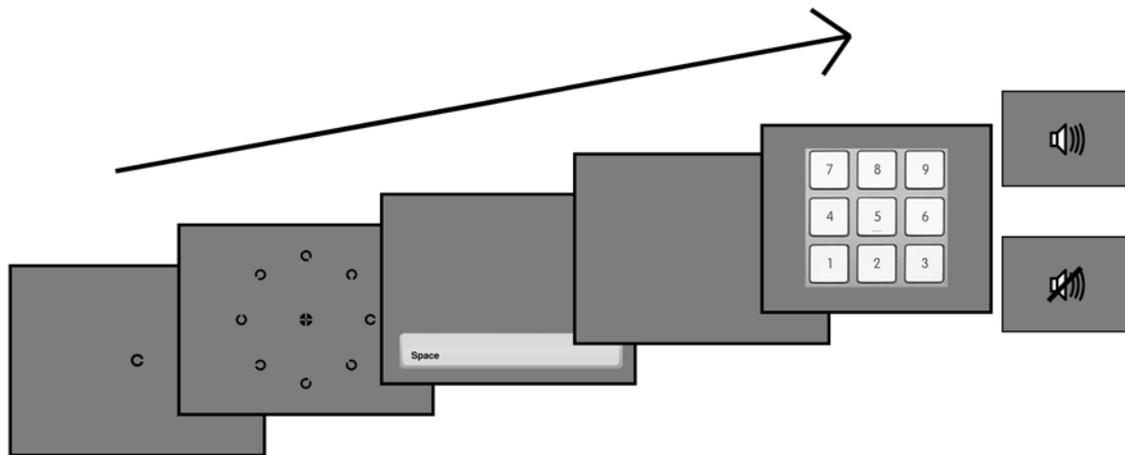


Abbildung 2. Abfolge der Suchtrials in 5 Bildern von links nach rechts: Erster Bildwechsel nach 2 Sekunden, anschließende Bildwechsel abhängig von Eingaben der Versuchsperson. Hintergrundfarbe grau (RGB = 125,125,125). Fehlererton bei Fixationsfehler (Bild 2) mit einer Frequenz von 650 Hz und einer Dauer von 0.05 sek, Feedbackton bei richtiger Angabe der Targetposition (Bild 5) mit einer Frequenz von 1190 Hz und einer Dauer von 0.05 sek.

Adaptationstrial

Zur Manipulation der Sakkaden verwendete ich eine abgewandelte Form des double-step Paradigmas (McLaughlin, 1967). Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand aus einer Blickfolge zwischen drei Punkten. Nach Fixierung des Punktes in der Mitte (Toleranzfenster von 3°) für 100 ms erschien ein roter Pfeil. Anschließend sollten die Probanden zum 10° entfernten Punkt in dieser Richtung blicken. Während der Sakkade wurden alle drei Punkte um 3.33° verschoben, wenn die Blickbewegung eine Geschwindigkeit von über $125^\circ/\text{sek}$ erreichte. Anschließend sollte der Blick zurück zur Mitte wandern. Dabei verschoben sich die Punkte wieder zurück. Nun wurde die gleiche Blickfolge für die andere Seite wiederholt und der nächste Durchgang begann. Die Abfolge der Richtungen wurde von allen Teilnehmern in

einer ausbalancierten pseudorandomisierten Reihenfolge durchgeführt. Das Hauptexperiment enthielt 100 Trials mit insgesamt 400 Sakkaden (je 200 für eine Richtung). Eine genaue Abbildung zur Abfolge eines Adaptationstrials befindet sich im Anhang (Abbildung 9). In der Kontrollbedingung wurde eine Pseudoadaptation mit ebenfalls 400 Sakkaden durchgeführt. Die Punkte mussten dabei in der gleichen Reihenfolge fixiert werden, verschoben sich jedoch nicht.

Ergebnisse

Statistische Auswertungen wurden mit R-Studio (Version 0.99.892, R-Version 3.2.3 64bit) durchgeführt. Das Auslesen und die Aufbereitung der Datensätze erfolgte mit Matlab 2015b 64-bit Windows Version. Die unvollständigen Datensätze von zwei Personen (eine männlich, zwei rechtshändig) mussten aufgrund von Erfassungsproblemen der Eyetracking-Kamera bei der Durchführung der Adaptationstrials ausgeschlossen werden.

Auswertung der Sakkadenadaptation

Zunächst berechnete ich ein *Adaptationslevel* aus der Differenz der mittleren Sakkadenamplitude der 30 Sakkaden im Vorexperiment und der mittleren Sakkadenamplitude der letzten 30 Sakkaden während der Adaptations- bzw. der Pseudoadaptationstrials. Anschließend wurde diese Differenz durch die mittlere Sakkadenamplitude der Sakkaden im Vorexperiment geteilt. Sakkaden mit einer Amplitude unter 5° , sowie Sakkaden, deren Richtung mehr als 45° vom geplanten Richtungsvektor abwichen, wurden dabei ausgeschlossen ($N = 66$). Die Variable wurde für die Kontrollbedingung und die Experimentalbedingung berechnet. Der Mittelwert des Adaptationslevels betrug in der Experimentalbedingung 8.9% ($SD = 5\%$) und in der Kontrollbedingung -3.1% ($SD = 8\%$). Ein Wilcoxon Rangsummentest für abhängige Stichproben zeigte, dass der Unterschied signifikant ist ($V = 3$, $p < 0.001$). Wie in Abbildung 3 erkennbar, entwickelte sich der Unterschied über mehrere Adaptationstrials hinweg.

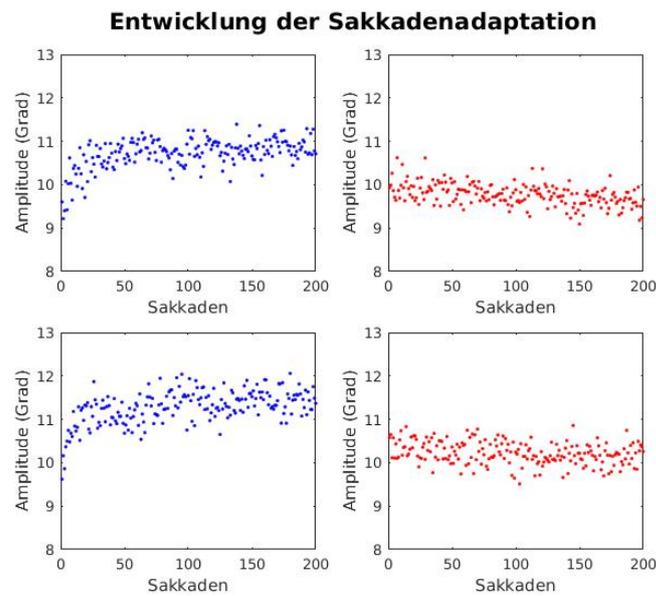


Abbildung 3. Mittelwerte über alle Versuchspersonen pro Sakkade während der Adaptationsaufgabe. Sakkaden für Adaptationsbedingung (blau), Kontrollbedingung (rot), sowie nach rechts (oben) und nach links (unten) gerichtet getrennt dargestellt.

Bei Untersuchung Vorexperiment-Trials der Kontrollsituation derjenigen Versuchspersonen, welche zuerst die Experimentalbedingung durchliefen, ist erkennbar, dass die Adaptation trotz mindestens 48-stündiger Pause angehalten hat und erst während der Kontrolladaptationsaufgabe abgenommen hat (siehe Abbildung 4). Die Korrelation zwischen der Anzahl der Stunden zwischen den Sitzungen dieser Personen und dem Mittelwert der ersten 5 Trials ihres Vorexperiments betrug $r = -.19$ ($M_{\text{Zwischenzeit}} = 102.9$, $SD_{\text{Zwischenzeit}} = 69.93$).

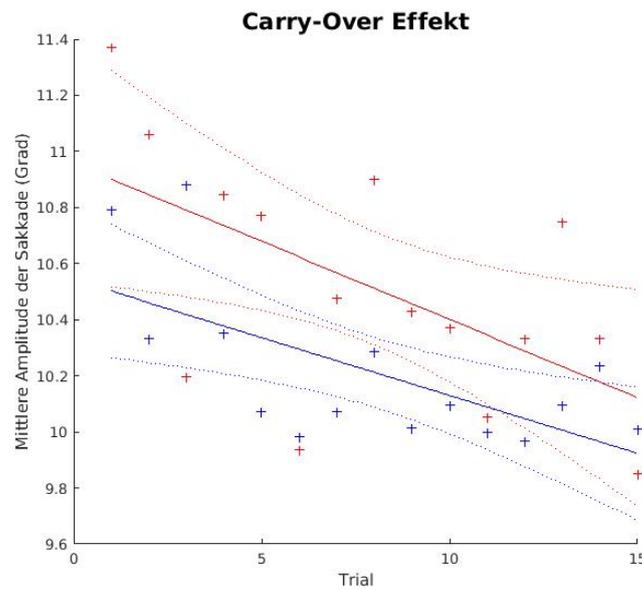


Abbildung 4. Mittelwerte der Amplituden von zehn Versuchspersonen pro Sakkade (rot = rechtsgerichtet, blau = linksgerichtet) während der Pseudoadaptationstrials im zweiten Vorexperiment. Linien: Lineare Regressionen, gepunktet: Konfidenzintervalle, korrigiertes $R^2_{\text{links}} = .38$, korrigiertes $R^2_{\text{rechts}} = .29$.

Auswertung der Reaktionszeiten

Für die Auswertung der Reaktionszeiten wurde ein *Random Effects Modell* berechnet. Dazu wurden Suchtrials mit Fehlern jeglicher Art ausgeschlossen, sodass pro Versuchsperson 40 Trials nach der Pseudoadaptation und 40 Trials nach der Adaptationsaufgabe in die Analyse eingingen. Um den Einfluss hoher Reaktionszeiten nicht zu überschätzen, wurden die Daten logarithmiert (Ratcliff, 1993). Die Verteilung aller Reaktionszeiten vor und nach der Transformation ist in Abbildung 5 dargestellt.

Verteilungen der Reaktionszeiten

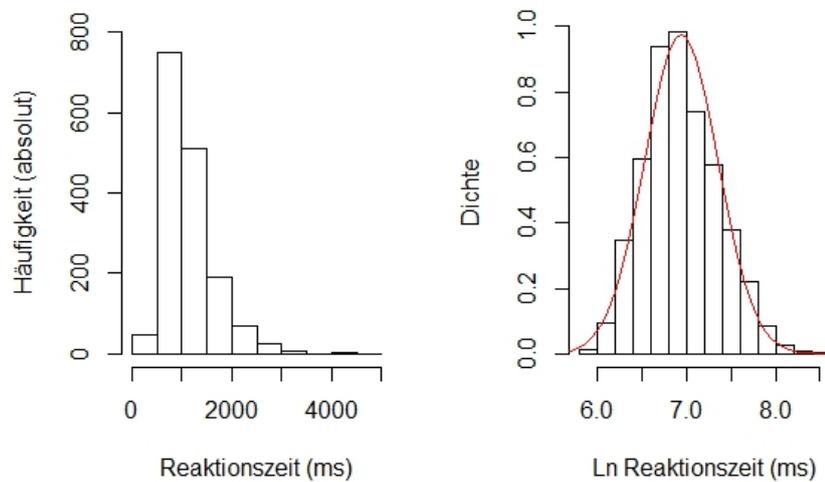


Abbildung 5. Histogramm der Reaktionszeiten (links) und Dichtefunktion der logarithmierten Reaktionszeiten mit Dichtefunktion der Normalverteilung in rot (rechts).

Das Modell zur Vorhersage der Reaktionszeiten wurde auf Basis von theoretischen Überlegungen schrittweise und vorwärtsgerichtet entwickelt (Seltman, 2008, S. 344). In einem Likelihood-Test zur Überprüfung der Auswirkung der Abhängigkeit von Trials der gleichen Versuchsperson auf die Vorhersage, stellte sich ein Modell mit dem Random Effekt *VP* als signifikant besser heraus als ein Modell ohne diesen Gruppierungsfaktor ($AIC_{\text{ungruppiert}} = 1571.2$, $AIC_{\text{gruppiert}} = 1232.561$, $p > .0001$). Als erster Faktor wurde das berechnete *Adaptationslevel* aufgenommen. Trotz Ausbalancierung der Reihenfolge von Kontroll- und Adaptationsbedingung, fügte ich diese als Faktor *Lerneffekt* hinzu. Als Kontrollfaktoren wurden zudem *Alter* und *Geschlecht* aufgenommen. Weiterhin wurden die Faktoren *Target horizontal*, *Target oben*, *Target unten* und *Öffnung auf Horizontalachse* aufgenommen, wobei letzterer für diejenigen Trials 1 ist, bei denen Versuchspersonen nach einem Target mit der Öffnung nach links oder rechts suchten. Zuletzt wurde die Interaktion *Adaptationslevel* *

Target horizontal aufgenommen. Durch die anschließende schrittweise Reduzierung des Modells um die Prädiktoren ohne signifikanten Einfluss konnte keine signifikante Verbesserung erzielt werden ($X^2(5) = 5.1105, p > 0.05$). Eine Übersicht der aus dem Modell resultierenden Kennwerte ist in Tabelle 1 abgebildet.

Parameter	β -Gewicht	Std.Error	dF	F-Wert	t-Wert	p-Wert
Intercept	7.03242***	0.20502788	1573	22523.623	34.299	0.0000
Adaptations-level	0.10951	0.14171314	1573	0.833	0.772	0.4398
Geschlecht	0.07528	0.10686196	16	0.163	0.704	0.4912
Alter	0.00180	0.00925202	16	0.017	0.194	0.8482
Target horizontal	-0.09202***	0.02126292	1573	37.289	-4.328	0.0000
Lerneffekt	-0.09691***	0.01973207	1573	24.075	-4.911	0.0000
Öffnung auf Horizontalachse	-0.21615*	0.09466187	16	5.219	-2.283	0.0364
Target oben	0.07985**	0.02718109	1573	7.171	2.938	0.0034
Target unten	0.04142	0.02685683	1573	2.373	1.542	0.1231
Adaptation * Target horizontal	-0.21761	0.21361247	1573	1.038	-1.018	0.3085

Tabelle 1. Übersicht zu Random Effects Modell zur Vorhersage der logarithmierten Reaktionszeiten. Kennzeichnung der Signifikanzen der β -Gewichte : * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$.

Zur Vorhersage der Reaktionszeiten ergab sich folgende Gleichung:

$$\begin{aligned} \log(\text{Reaktionszeit}) &= 7.03242 - 0.09202 * \text{Target auf Horizontalachse} - 0.09691 \\ &* \text{Lerneffekt} - 0.21615 * \text{Öffnung auf Horizontalachse} + 0.07985 \\ &* \text{Target oben} + \text{Fehler} \end{aligned}$$

Der *Intercept* kann als mittlere Reaktionszeit von 1132.76 ms ohne den Einfluss aller anderen Faktoren interpretiert werden. Lag das Target auf einer der horizontalen Positionen 4 oder 6 (siehe Abbildung 2, Bild 2 und Bild 5), führte dies im Mittel zu einer signifikanten Reduzierung der Reaktionszeit für diesen Trial ($t = -4.328, p < 0.001$), lag es dagegen auf der oberen Position 8, erhöhte sich die Reaktionszeit ($t = 2.938, p < 0.01$). Mit zunehmender Anzahl der Sessions nahm die Reaktionszeit ebenfalls ab ($t = -4.911, p < 0.001$). Befand sich die Öffnung des Landoldtrings auf der Horizontalachse (siehe zum Beispiel Abbildung 1 links), wurde das Target im Mittel signifikant schneller gefunden ($t = -2.283, p < 0.05$). Eine Übersicht zu den mittleren Reaktionszeiten aller möglichen Targetpositionen befindet sich in Abbildung 6. Ein abhängiger Wilcoxon-Rangsummentest zum Vergleich der transformierten Reaktionszeiten aus fehlerfreien Trials zwischen Kontroll- ($M_{\text{Kontroll}} = 1132.90, SD_{\text{Kontroll}} = 265.80$) und Versuchsbedingung ($M_{\text{Adaptation}} = 1120.70, SD_{\text{Adaptation}} = 210.11$) ergab keinen signifikanten Unterschied ($V = 102, p > 0.05$). Ein weiterer abhängiger Wilcoxon-Rangsummentest zum Vergleich von Suchtrials mit Targets auf den horizontalen Positionen 4 und 6 zwischen beiden Bedingungen ergab ebenfalls keinen Unterschied ($M_{\text{Adaptation}} = 1025.41, SD_{\text{Adaptation}} = 223.25, M_{\text{Kontroll}} = 1031.49, SD_{\text{Kontroll}} = 287.96, V = 99, p > 0.05$).

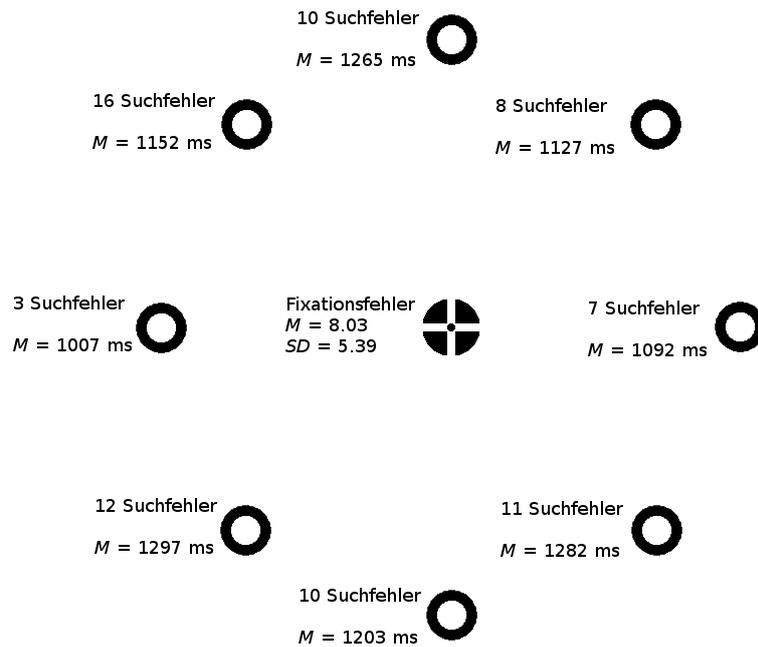


Abbildung 6. Überblick über durchschnittliche Reaktionszeiten inklusive der wiederholten Trials und Anzahl der Fixations- und Suchfehler für die ersten 40 Trials pro Targetposition.

Auswertung der einzelnen Suchfehler

Zur Analyse der Suchfehler wertete ich nur die ersten 40 Suchtrials nach der Adaptation bzw. Pseudoadaptation aus und schloss von diesen alle Trials mit Fixations- ($N = 321$) und Tastenfehlern ($N = 1$) aus. Isolierte Suchfehler traten in nahezu allen Trials auf (siehe Abbildung 7).

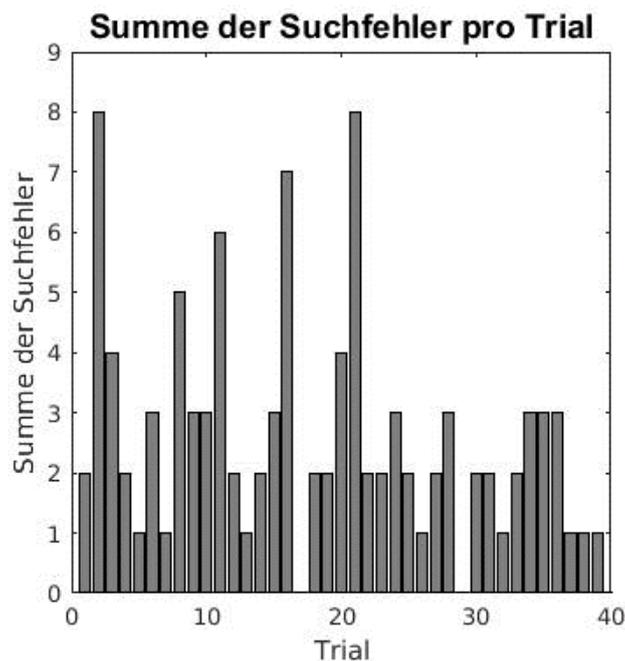


Abbildung 7. Summe der Suchfehler pro Trial: Ausgeschlossen wurden jene Trials mit Suchfehlern, bei denen zusätzlich ein anderer Fehler gemacht wurde. In der Verteilung ist keine Systematik zu erkennen. Keine Person machte einen isolierten Suchfehler in den Trials 17 und 29.

Anschließend berechnete ich für jede Versuchsperson die Summe der Suchfehler pro Sitzung. Zur Vorhersage dieser Summe konzipierte ich erneut ein Random Effects Modell. Ein Modell, welches für den Zusammenhang der Trials der gleichen Versuchsperson kontrolliert (*VP* als Random Effekt), stellte sich auch hier als signifikant besser heraus als ein Modell ohne diesen Gruppierungsfaktor ($AIC_{\text{ungruppiert}} = 4844.935$, $AIC_{\text{gruppiert}} = 3513.117$, $p > .0001$). Als Faktoren zur Vorhersage nahm ich das zuvor berechnete *Adaptationslevel* und die logarithmierten *Reaktionszeiten* pro Trial auf. Als Kontrollfaktoren fügte ich *Alter* und *Geschlecht* der Versuchspersonen hinzu. Zur Erfassung des Einflusses ausbalancierter Variablen erweiterte ich das theoretische Modell um die Faktoren *Target horizontal*,

Lerneffekt, Öffnung auf Horizontalachse, Target oben und Target unten. Zuletzt wurde die Interaktion *Adaptationslevel * Target horizontal* aufgenommen.

Durch die anschließende schrittweise Reduzierung des Modells um die Prädiktoren ohne signifikanten Einfluss konnte keine signifikante Verbesserung erzielt werden ($X^2(7) = 2.9338$, $p > .05$). Eine Übersicht der aus dem Modell resultierenden Kennwerte ist in Tabelle 2 dargestellt.

Parameter	β -Gewicht	Std.-Error	dF	F-Wert	t-Wert	p-Wert
Intercept	4.07847**	1.5365621	1246	34.830	2.654	0.0080
Adaptationslevel	-1.67731***	0.3850690	1246	12.372	-4.355	0.0000
Geschlecht	0.92959	0.7566173	16	0.314	1.228	0.2370
Alter	-0.04671	0.0654610	16	0.627	-0.713	0.4858
Target horizontal	-0.06091	0.0651932	1246	1.891	-0.934	0.3503
Lerneffekt	-0.78704***	0.0521786	1246	230.642	-15.083	0.0000
Öffnung auf Horizontalachse	-1.62843*	0.6694376	16	5.873	-2.432	0.0271
Target oben	-0.00158	0.0796454	1246	0.003	-0.019	0.9842
Target unten	-0.02470	0.0823351	1246	0.090	-0.300	0.7642
Ln (Reaktionszeit)	-0.02622	0.0725921	1246	0.123	-0.361	0.7180
Adaptation * Target horizontal	-0.23921	0.6451852	1246	0.137	-0.370	0.7109

Tabelle 2. Übersicht zu Random Effects Modell zur Vorhersage der Summe der isolierten Suchfehler. Kennzeichnung der Signifikanzen der β -Gewichte: * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$.

Zur Vorhersage der Suchfehler ergab sich daraus folgende Gleichung:

Anzahl der Suchfehler

$$= 4.07847 - 1.67731 \cdot \text{Adaptationslevel} - 0.78704 \cdot \text{Lerneffekt} - 1.62843 \cdot \text{Öffnung auf Horizontalachse} + \text{Fehler}$$

Der *Intercept* kann als Schätzung der Suchfehleranzahl von 4.07 für den ersten Trial ohne den Einfluss aller anderen Faktoren interpretiert werden. Mit zunehmender Anzahl der Sessions wurden signifikant weniger Suchfehler gemacht ($t = -15.083, p < 0.001$). Hatten Versuchspersonen ein hohes Adaptationslevel, machten sie signifikant weniger Suchfehler ($t = -4.355, p < 0.001$). Befand sich die Öffnung des Landoldtrings auf der Horizontalachse (siehe zum Beispiel Abbildung 1 links), wurden im Mittel signifikant weniger Suchfehler gemacht ($t = -2.432, p < 0.05$). Ein abhängiger Wilcoxon Rangsummentest zum Vergleich der Anzahl der Suchfehler in Kontroll- ($M_{\text{Kontroll}} = 1.90, SD_{\text{Kontroll}} = 1.80$) und Versuchsbedingung ($M_{\text{Adaptation}} = 1.96, SD_{\text{Adaptation}} = 1.49$) ergab keinen signifikanten Unterschied ($V = 107.5, p < 0.05$). Ein weiterer abhängiger Wilcoxon Rangsummentest zum Vergleich der Suchtrials mit Targets auf den horizontalen Positionen 4 und 6 ergab ebenfalls keinen Unterschied zwischen beiden Bedingungen ($M_{\text{Adaptation}} = 1.87, SD_{\text{Adaptation}} = 1.61, M_{\text{Kontroll}} = 1.9, SD_{\text{Kontroll}} = 1.80, V = 97.5, p > 0.05$).

Diskussion

Interpretation der Ergebnisse

Der signifikante Unterschied des berechneten Adaptationslevels zwischen den beiden Bedingungen legt nahe, dass eine Adaptation der Sakkaden stattgefunden hat. Dies bestätigt Hypothese 1 und zeigt, dass ein ggf. vorhandener Einfluss der Adaptation auf die Suchaufgabe möglich war. Dennoch gab es keinen Unterschied zwischen den Reaktionszeiten in Kontroll- und Versuchsbedingung. Zudem wurden Targets rechts und links vom Fixationspunkt entgegen der vorherigen Annahme unabhängig vom Ausmaß der Adaptation nach durchschnittlich gleicher Suchzeit gefunden. Damit werden die Hypothesen 2.1 und 2.2 abgelehnt. Bezüglich der Anzahl der Suchfehler hatte das Adaptationslevel einen signifikanten Einfluss. Je größer die Amplitude der adaptierten Sakkade, desto weniger Fehler machten die Versuchspersonen. Dieses Ergebnis liegt in entgegengesetzter Richtung zu den Annahmen der Hypothese 3.1, die damit abgelehnt wird. Zudem war der Einfluss sehr klein. So bedeutet eine um 10% weiter adaptierte Amplitude eine mittlere Reduzierung um 0.16 Suchfehler über 40 Trials. Fügt man den Faktor Versuchsbedingung zum Random Effects Modell hinzu, teilt sich der Einfluss auf, sodass die Höhe der Adaptation eine noch geringere Rolle spielt und sich ein Teil des Effektes durch eventuell höhere Motivation bei der Suche aufgrund der vorher durchgeführten, weniger fehleranfälligen und somit leichteren Adaptationsaufgabe erklärt. Darüber hinaus könnte der Faktor Motivation auch die Qualität der Adaptationstrials in der Experimentalbedingung und somit die Höhe des daraus resultierenden Adaptationslevels beeinflusst haben. Die Motivation der jeweiligen Versuchsperson könnte ebenfalls einen Einfluss auf die Anzahl der Suchfehler haben, sodass die Sakkadenadaptation zwar gleichzeitig auftritt, jedoch nicht Ursache der leicht geringeren Fehleranzahl wäre. Bei Suchtrials mit Targets auf der horizontalen Achse wurde kein

Einfluss des Adaptationslevels auf die Anzahl der Suchfehler gefunden, sodass auch Hypothese 3.2 abgelehnt wird.

Horizontal geöffnete Ringe führten unabhängig von der Versuchsbedingung zu schnelleren Reaktionszeiten und weniger Fehlern. Eventuell wird dieses Target im westlichen Kulturraum als C bzw. gespiegeltes C wahrgenommen. Entsprechend der Annahmen von Duncan und Humphreys (1992) hätten sieben von acht Distraktoren die Gemeinsamkeit *Nicht-Buchstabe*, was zu einer Vereinfachung der Suchaufgabe führen würde. Auch in zukünftigen Experimenten, sollte darauf geachtet werden, dass die Auswertung für diesen und ähnliche Effekte kontrolliert wird, die Targets wie in diesem Versuchsaufbau ausbalanciert sind oder Targets mit solchen Effekten komplett ausgeschlossen werden.

Limitationen

1. Der Faktor *Adaptationslevel* ist nur eine grobe Schätzung über alle Trials einer Sitzung hinweg. In Trials mit Fixationsfehlern war es zudem möglich, dass die Versuchspersonen natürliche Sakkaden mit nicht manipuliertem Feedback machten. Diese würden folglich zu einer schrittweisen Deadaptation führen. In Anbetracht der Amplituden aus dem zweiten Vorexperiment derjenigen Personen, welche in ihrer ersten Sitzung echte Adaptationstrials durchführten (siehe Abbildung 4), scheint es jedoch unwahrscheinlich, dass die Adaptation innerhalb einer Sitzung stark zurückging. Auch in der Literatur finden sich Einflüsse von Sakkadenadaptation nach bis zu 11 Tagen (Alahyane & Péliesson, 2005). Für die Qualität des erfassten Faktors *Adaptationslevel* spricht darüber hinaus der systematische Unterschied zwischen Kontroll- und Experimentalbedingung. Als Prädiktor ist *Adaptationslevel* besonders sensitiv, da er gegenüber dem Prädiktor *Bedingung* zusätzliche Informationen über die Ausprägung der ggf. vorhandenen Adaptation enthält und somit ein höheres Skalenniveau erreicht. Weiterhin ergab auch ein klassischer Vergleich der

Reaktionszeiten zwischen beiden Versuchsteilen (mittels Wilcoxon Rangsummentest) keinen Unterschied.

2. Eventuell ließ sich der Adaptationseffekt aufgrund unterschiedlicher Symbole in Such- und Adaptationsaufgabe nicht auf die coverte Suche übertragen. Eine Studie von Deubel (1995) legt jedoch eher den Schluss nahe, dass Sakkadenadaptation bei gleicher Art der Sakkade und gleicher Richtung auf unterschiedliche Kontexte übertragbar ist. Dennoch deuten die in diesem Versuch gefundenen Carry-Over Effekte (siehe Abbildung 4) darauf hin, dass die normale Umwelt der Versuchspersonen (trotz vorhandener Korrelation mit der Länge der Pause zwischen den Sitzungen) keine komplette Deadaptation auslösen konnte. Die Sakkadenadaptation schien also spezifisch für die Versuchsumgebung zu funktionieren.

3. Die Adaptation der Amplitude könnte im Vergleich zu den Objekten zu gering gewesen sein. Der Ursprung der Landoldtringe auf der horizontalen Achse in der Suchaufgabe entsprach exakt den Punkten der Adaptationstrials um zu gewährleisten, dass sich die Adaptation hier bestmöglich übertragen lässt. Die übrigen sechs Symbole lagen, wenn auch in anderer Richtung, in gleicher Entfernung vom zu fixierenden Mittelpunkt. So ergibt sich eine Strecke von 10° zwischen Fixationspunkt und Mittelpunkt des jeweiligen Landoldtrings. Betrachtet man die geschätzte mittlere Amplitudenlänge aller Versuchspersonen in der Experimentalbedingung ($M = 10.89^\circ$, $SD = 0.05^\circ$) und den Radius der Landoldtringe (1.5°), wird deutlich, dass sich eine gegebenenfalls verschobene Position der overtten Aufmerksamkeit und das entsprechende Ziel trotz Adaptation überschneiden könnten. Da bisher unklar ist, wie spezifisch Aufmerksamkeitsausrichtung funktioniert, könnte es möglich sein, dass die Verlängerung der Amplituden zu gering war, um die erwarteten Effekte auszulösen.

Einordnung der Ergebnisse

Die Ergebnisse meines Experiments zeigen, dass sich die outward Adaptation von Scanningsakkaden nicht auf die Performanz einer coverten Suche auswirkt. Die Aufmerksamkeitsprozesse scheinen auf den ersten Blick unbeeinflusst. Habchi et al (2015) fanden jedoch einen Einfluss reaktiver inward Sakkadenadaptation auf eine covert visuelle Suchaufgabe. Bei dieser mussten Versuchspersonen möglichst schnell und positionsspezifisch auf einen erscheinenden Reiz reagieren. Der Reiz konnte dabei in unterschiedlichen Entfernungen rechts oder links vom Fixationskreuz auftauchen. Die Verknüpfung mit meinen Ergebnissen legt nahe, dass es nur unter bestimmten Bedingungen einen Einfluss von Sakkadenadaptation auf die Ausrichtung der Aufmerksamkeit gibt. Unterschiedliche Ergebnisse der beiden Untersuchungen könnten auf folgenden Ursachen basieren:

1. Habchi et al. nutzten in ihrem Experiment inward Adaptation und verkürzten so die Amplitude der Sakkaden. Den Schlussfolgerungen von Zimmermann und Lappe (2010) folgend, würde dies bedeuten, dass die Verringerung der Reaktionszeit unabhängig von Einflüssen der Adaptation auf die Lokalisation des Objekts auftritt. McFadden, Khan und Wallman (2002) zeigten darüber hinaus, dass umgekehrt eine Verkürzung, nicht aber eine Verlängerung von Sakkaden durch die vorherige Adaptation von Aufmerksamkeit ohne ausgeführte Augenbewegungen möglich ist.

2. Im Gegensatz zu meinem Experiment wurde eine Adaptation reaktiver Sakkaden durchgeführt. Für eine Adaptation von Scanningsakkaden konnten auch Habchi et al keinen Effekt feststellen.

3. Die geringen Reaktionszeiten im Experiment von Habchi, et al. lassen auf eine geringere Schwierigkeit der Aufgabe schließen. Durch die Abwesenheit von Distraktoren könnte das Erscheinen eines Targets durch andere Wahrnehmungsmechanismen verarbeitet

werden. Darüber hinaus entfällt die Komponente der Diskriminierung, sodass eine weniger spezifische Verarbeitung des Reizes ausreicht, um die Aufgabe zu lösen. Die reaktive Adaptationsaufgabe könnte auf natürliche Weise zu einer Stimulation des frontalen Augenfelds geführt haben, wodurch die Performanz (entgegen den Annahmen in meinem Experiment) angestiegen sein könnte (siehe Moore & Fallah, 2004).

Mögliche Unterschiede zwischen dem Einfluss der Adaptation von Scanning- und reaktiven Sakkaden könnten in den zugrunde liegenden Prozessen liegen. Bei Scanningsakkaden wäre es denkbar, dass es bei der Wahrnehmungsverschiebung nicht wie bei einer Sakkade zu einer Verlängerung kommt, sondern stattdessen die relative Entfernung zwischen Target und Fixationspunkt in unterschiedlicher Zuordnung zur jeweiligen Augenbewegungslänge abgespeichert wird. Dieses Umlernen könnte so flexibel sein, dass es bei der coverten Suche keine Einschränkung darstellt. Durch die Verfügbarkeit von nicht manipulierten Objektpositionen könnte hier eine sehr schnelle Deadaptation der Aufmerksamkeit stattfinden. Einschränkungen bei der overten Suche würden dementsprechend erst bei der Übersetzung der vorher ermittelten relativen Entfernung in ausgeführte Augenbewegungen entstehen. Ein Umlernen auf dieser Ebene könnte wesentlich träger sein. Zur Überprüfung dieser Theorie gilt es zu testen, wie flexibel die Adaptation der Aufmerksamkeit im Vergleich zur Sakkadenadaptation ist. Eine Diskriminierungsaufgabe ähnlich zu Doré-Mazars und Collins (2005) könnte dabei hilfreich sein. Um die Ergebnisse meines Experiments besser einordnen zu können, wäre das Hinzufügen einer Bedingung mit overter Suchaufgabe sinnvoll. Zudem könnten die Landoldtringe verkleinert werden, um ggf. den Einfluss der Aufmerksamkeitsadaptation deutlicher zeigen zu können. So würden sich jedoch auch Schwierigkeitsgrad der Aufgabe und die Länge der Sitzungen erhöhen. Für genauere Analysen der Auswirkungen des Adaptationslevels könnte es außerdem von Nutzen sein, dieses mehrfach pro Sitzung zu erfassen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Einfluss von Sakkadenadaptation durch ein komplexes System von Art, Richtung und Geschwindigkeit der Blickbewegungen moduliert wird. Dabei scheinen je nach Bedingung unterschiedliche Wahrnehmungsprozesse stattzufinden, welche es in Zukunft zunächst einzeln zu verstehen gilt, um sie anschließend zu einer komplexen Theorie der aufmerksamkeitsgeleiteten Sakkaden zusammenzufassen.

Literaturverzeichnis

- Alahyane, N., & Pélisson, D. (2005). Long-lasting modifications of saccadic eye movements following adaptation induced in the double-step paradigm. *Learning & Memory*, 12, 433-443.
- Alahyane, N., salemme, R., Urquizar, C., Cotti, J., Alain, Guillaume, . . . Pélisson, D. (November 2006). Oculomotor plasticity: Are mechanisms of adaptation for reactive and voluntary saccades separate? *Brain Research*, 107-121.
- Anstis, S. (1998). Picturing peripheral acuity. *Perception*, 817-825.
- Bridgeman, B., Hendry, D., & Stark, L. (1975). Failure to detect displacement of the visual world during saccadic eye movements. *Vision*, 719-722.
- Danilova, M. V., & Bondarko, V. M. (November 2007). Foveal contour interactions and crowding effects at the resolution limit of the visual field. *Journal of Vision*, Vol 7, S. 1-18. doi:10.1167/7.2.25
- Deubel, H. (1995). Is Saccadic Adaptation Context-Specific ? *Studies in Visual Information Processing*, 6, 177-187.
- Deubel, H., & Schneider, W. X. (Juni 1996). Saccade target selection and object recognition: Evidence for a common attentional mechanism. *Vision Research*, 1827-1837. doi:10.1016/0042-6989(95)00294-4
- Doré-Mazars, K., & Collins, T. (Mai 2005). Saccadic adaptation shifts the pre-saccadic attention focus. *Experimental Brain Research*, 537-542. doi:10.1007/s00221-005-2221-1

- Duncan, J., & Humphreys, G. (1992). Beyond the Search Surface: Visual Search and Attentional Engagement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 578-588.
- Fischer, B. (1999). *Blickpunkte Neurobiologische Prinzipien des Sehens und der Blicksteuerung*. Bern: Verlag Hans Huber.
- Fortenbaugh, F. C., Silver, M. A., & Robertson, L. C. (2015). Individual differences in visual field shape modulate the effects of attention on the lower visual field advantage in crowding. *Journal of Vision*, 1-15.
- Frens, M. A., & van Opstal, A. (August 1994). Transfer of short-term adaptation in human saccadic eye movements. *Experimental Brain Research*, 100, 293-306.
- Fujita, M., Amagai, A., Minakawa, F., & Aoki, M. (Februar 2002). Selective and delay adaptation of human saccades. *Cognitive Brain Research*(13), 41-52.
doi:10.1016/S0926-6410(01)00088-X
- Habchi, O., Rey, E., Mathieu, R., Urquizar, C., Farnè, A., & Péliesson, D. (2015). Deployment of spatial attention without moving the eyes is boosted by oculomotor adaptation. *Frontiers in Human Neuroscience*.
- He, S., Cavanagh, P., & Intriligator, J. (1996). Attentional resolution and the locus of visual awareness. *Nature*, 334-337.
- McFadden, S. A., Khan, A., & Wallman, J. (November 2002). Gain adaptation of exogenous shifts of visual attention. *Vision Research*, 2709-2726. doi:10.1016/S0042-6989(02)00304-8
- McLaughlin, S. C. (1967). Parametric adjustment in saccadic eye movements. *Perception & Psychophysics*, 2, 359-362.

- Miller, J. M., Anstis, T., & Templeton, W. B. (April 1981). Saccadic plasticity: Parametric adaptive control by retinal feedback. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 356-366. doi:10.1037/0096-1523.7.2.356
- Moore, T., & Fallah, M. (2004). Microstimulation of the Frontal Eye Field and Its Effects on Covert Spatial Attention. *Journal of Neurophysiology*, 91, 152-162.
- Panouillères, M. T., Gaveau, V., Debatisse, J., Jacquin, P., LeBlond, M., & Péliçon, D. (März 2016). Oculomotor Adaptation Elicited By Intra-Saccadic Visual Stimulation: Time-Course of Efficient Visual Target Perturbation. *Frontiers in human neuroscience*, 10.
- Ratcliff, R. (November 1993). Methods for Dealing with Reaction Time Outliers. *Psychological Bulletin*, Vol 114, S. 510-532. doi:10.1037/0033-2909.114.3.510
- Schandry, R. (2011). *Biologische Psychologie* (3. Ausg.). München: Beltz Verlag.
- Seltman, H. J. (2008). *Experimental Design and Analysis*. Abgerufen am 8. August 2016 von <http://www.stat.cmu.edu/~hseltman/309/Book/BookPlus.pdf>
- Thaler, L., Schütz, A., Foodale, M., & Gegenfurtner, K. (12. Oktober 2012). What is the best fixation target? The effect of target shape on stability of fixational eye movements. *Vision Research*, 76, S. 31-42. doi:10.1016/j.visres.2012.10.012
- Zimmermann, E., & Lappe, M. (September 2009). Mislocalization of Flashed and Stationary Visual Stimuli after Adaptation of Reactive and Scanning Saccades. *Journal of Neuroscience*, 11055-11064. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1604-09.2009
- Zimmermann, E., & Lappe, M. (Juni 2010). Motor signals in visual localization. *Journal of Vision*, 10, 1-11. doi:10.1167/10.6.2

Anhang

Instruktionen im Wortlaut:

„Vor dir siehst du gleich in der Mitte des Bildschirms einen Kreis, der in eine bestimmte Richtung geöffnet ist. Dieser verschwindet nach ca. einer Sekunde. Dafür erscheinen acht neue Kreise. Deine Aufgabe ist es weiterhin den Punkt in der Mitte zu fixieren. Tust du dies nicht, gibt der Computer einen Fehlerton von sich. Nun sollst du möglichst ohne Fehler und möglichst schnell denjenigen Kreis suchen, welcher dem Kreis zu Beginn des Durchgangs gleicht. Hast du ihn gefunden, drücke bitte die Leertaste. Anschließend sollst du mit den Nummerntasten angeben, an welcher Position der Kreis lag. Der Computer gibt dir anschließend durch einen Ton an ob du richtig lagst. Hörst du nichts, hast du einen Suchfehler gemacht. Anschließend beginnt der nächste Durchgang. Versuche am besten immer nach Ende eines Durchgangs zu blinzeln und nach Möglichkeit nicht während der Suche. Nach jeweils vierzig Durchgängen hast du eine kurze Pause. Nutze diese um deine Augen für 20 Sekunden oder länger auszuruhen. Dann kannst du weiter machen. Nach vier Blöcken endet der Versuchsteil eins.“

„Der Anfang und das Ende der heutigen Sitzung gleichen dem Ablauf den du bereits kennst. Zwischendurch gibt es eine neue Aufgabe: Du siehst in der Mitte des Bildschirms einen Punkt. Sobald du diesen fixierst, zeigt dir ein Pfeil eine Richtung an. Blicke nun zum Punkt in dieser Richtung, bis dieser schwarz wird. Anschließend wechselst du zum Punkt in der Mitte zurück. Dann schaust du zum Punkt auf der anderen Seite um daraufhin zur Mitte zurück zu kehren. Daraufhin beginnt der nächste Durchgang. Zum Einüben machen wir einen Probedurchgang mit wenigen Trials, bevor die tatsächliche Messung beginnt.“

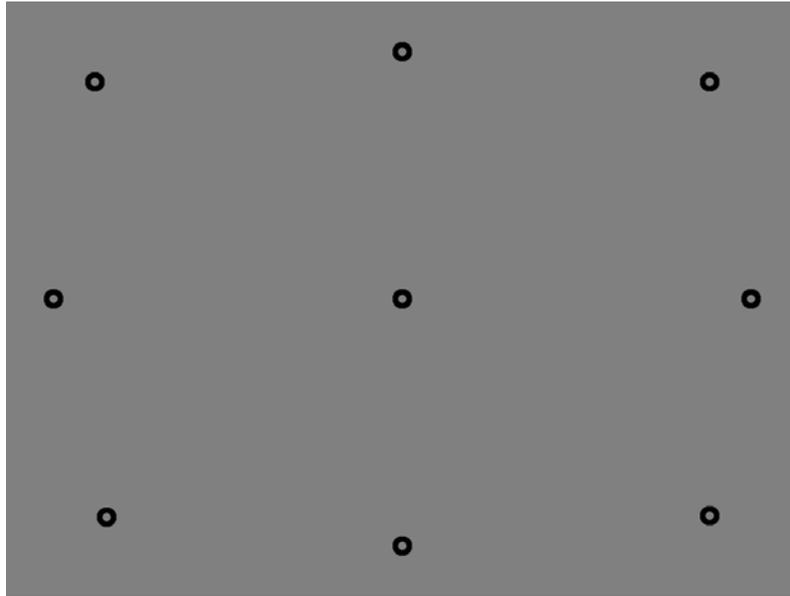


Abbildung 8. 9-Punkte-Grid zur Kalibrierung und Validierung beim Eyetracking. Die Punkte werden nacheinander fixiert und die jeweilige Augenposition mit der Position des jeweiligen Punktes auf dem Bildschirm verknüpft. Es ist immer nur einer der Punkte sichtbar.

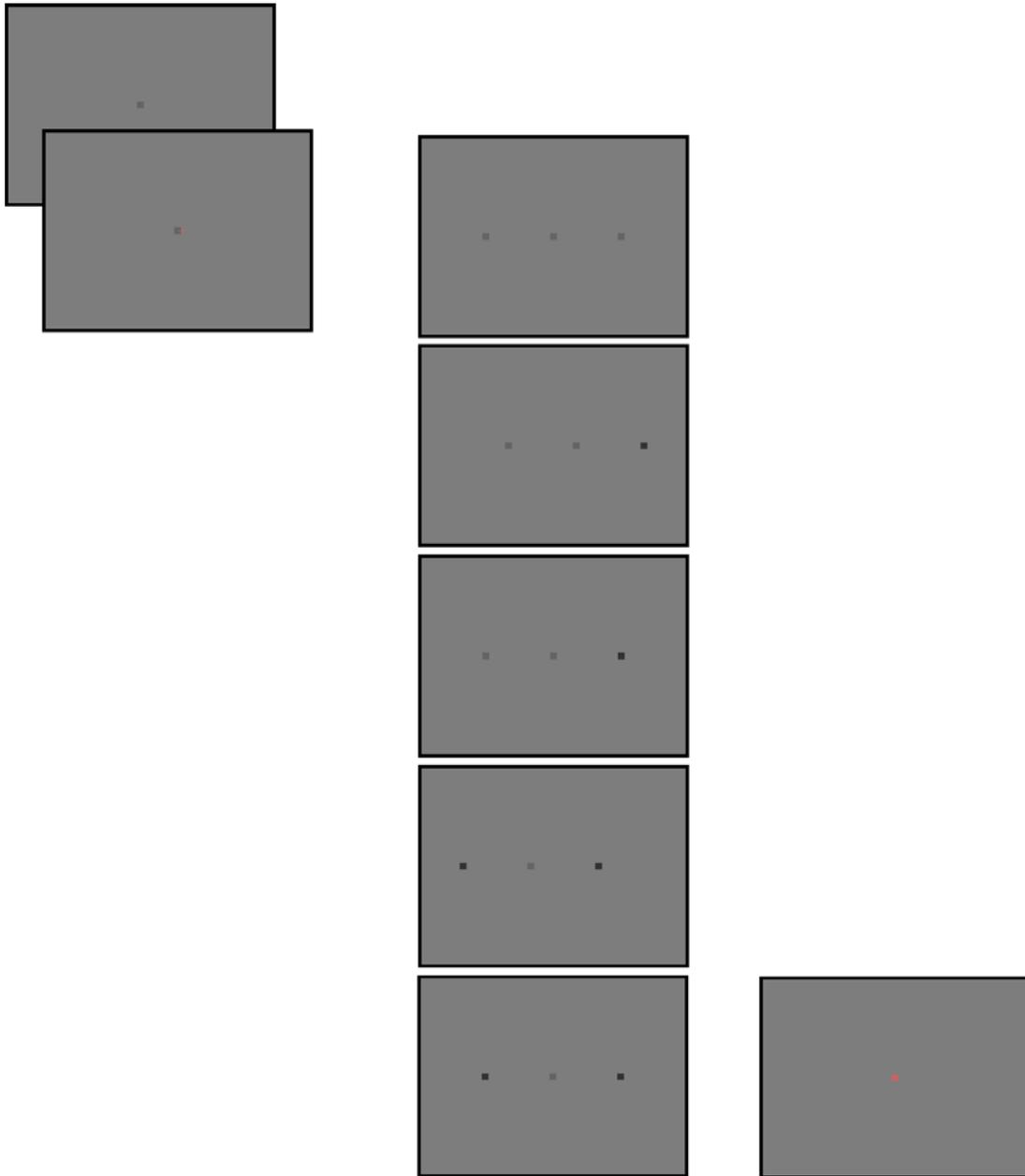


Abbildung 9. Abfolge des Adaptationstrials von oben links nach unten rechts in 9 Bildern.

Erster Bildwechsel nach 750 ms Sekunden, folgende Bildwechsel jeweils bei Fixierung des nächsten Targets, letzter Bildwechsel auf Bild 1 des nächsten Trials ebenfalls nach 750 ms.

Selbstständigkeitserklärung des Studierenden

Hiermit versichere ich, Niklas Stein, dass die vorliegende Arbeit „Der Einfluss von Sakkadenadaptation auf coverte visuelle Suche“ inklusive aller Abbildungen und Tabellen selbstständig verfasst worden ist, dass keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt worden sind und dass die Stellen der Arbeit, die anderen Werken – auch elektronischen Medien – dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen wurden, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht worden sind.

_____ (Datum, Unterschrift)

Ich erkläre mich mit einem Abgleich der Arbeit mit anderen Texten zwecks Auffindung von Übereinstimmungen sowie mit einer zu diesem Zweck vorzunehmenden Speicherung der Arbeit in eine Datenbank einverstanden.

_____ (Datum, Unterschrift)