

Positionsfortschreibung in strukturierten Umgebungen mit Kontextwechsel

Bachelorarbeit

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

vorgelegt von

Christoph Blessing

Tübingen, November 2016

Hiermit erkläre ich,

- dass ich diese Arbeit selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.
- dass die eingereichte Arbeit weder vollständig noch in wesentlichen Teilen Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens gewesen ist.

Tübingen, den

Inhalt

1. ABSTRACT.....	5
2. EINLEITUNG.....	6
2.1. Wahrnehmung und Orientierung im Raum.....	6
2.2. Räumliche Repräsentation im Arbeitsgedächtnis	7
2.3. Aktualisierung räumlicher Repräsentationen	8
2.4. Einfluss der Umgebung auf das räumliche Arbeitsgedächtnis	11
2.5. Motivation für das aktuelle Experiment	15
3. MATERIAL UND METHODEN.....	16
3.1. Vorversuch:	16
3.1.1. Teilnehmer:.....	16
3.1.2. Versuchsaufbau:	16
3.1.3. Versuchsdesign:	18
3.1.4. Allgemeiner Ablauf:	18
3.1.5. Analyse:.....	19
3.2. Hauptversuch:	19
3.2.1. Teilnehmer:.....	19
3.2.2. Versuchsaufbau:	19
3.2.3. Versuchsdesign:	22
3.2.4. Allgemeiner Ablauf:	23
3.2.5. Analyse:.....	25
4. ERGEBNISSE.....	27
4.1. Vorversuch	27
4.2. Hauptversuch	28
4.2.1. Fehlermaß I:	28
4.2.2. Fehlermaß II:	30
4.2.3. Reaktionszeit:	33

5. DISKUSSION	36
5.1. Vorversuch	36
5.2. Hauptversuch	36
5.2.1. Fehlermaß I	37
5.2.2. Fehlermaß II	38
5.2.3. Reaktionszeit.....	40
5.2.4. Abschließende Worte	41
6. LITERATURVERZEICHNIS	42
7. ANHANG.....	43
7.1. Vorversuch	43
7.2. Hauptversuch	43
7.2.1. Fehlermaß I	43
7.2.2. Fehlermaß II	44
7.2.3. Reaktionszeit.....	44

1. Abstract

Beim Prozess der Positionsfortschreibung (engl. spatial updating) werden räumliche Verhältnisse, wie zum Beispiel die Position von Gegenständen relativ zum Betrachter, im Arbeitsgedächtnis des Selbigen während der Eigenbewegung dynamisch aktualisiert. Dieser Prozess basiert hauptsächlich auf visuellen, propriozeptiven und vestibulären Informationen. Er kann aber für eine gewisse Dauer ohne visuelle Informationen funktionieren. Das Experiment, das in dieser Bachelorarbeit behandelt wird, untersucht den Einfluss des sogenannten Positionsfortschreibungseffektes (engl. location updating effect) auf den Prozess der Positionsfortschreibung. Der Positionsfortschreibungseffekt sorgt dafür, dass Informationen, die mit einer spezifischen Situation oder einem spezifischem Raum assoziiert sind, weniger leicht zugänglich werden, wenn ein Situationswechsel oder in diesem Fall ein Raumwechsel stattfindet. Der Positionsfortschreibungseffekt wurde bisher noch nicht im Kontext der Positionsfortschreibung untersucht.

Im hier behandelten Experiment haben Versuchspersonen eine Anordnung von Gegenständen erlernt und wurden dann entlang eines von zwei möglichen Wegen geführt. Der eine Weg führte durch den Versuchsraum (interner Weg), der andere aus dem Versuchsraum hinaus und dann wieder hinein (externer Weg). Anschließend zeigten die Versuchspersonen auf die ursprünglichen Positionen der Gegenstände, die nun nicht mehr sichtbar waren. Dabei wurde ihre Leistung gemessen. Falls der Positionsfortschreibungseffekt tatsächlich einen Einfluss auf den Prozess der Positionsfortschreibung hat, wäre zu erwarten, dass die Versuchspersonen, die entlang des externen Weges geführt wurden, ein schlechteres Ergebnis erzielen würden als die Versuchspersonen, die entlang des internen Weges geführt wurden.

Die Ergebnisse zeigten einen solchen Unterschied, der allerdings nicht statistisch signifikant war. Nichtsdestotrotz deutet eine relativ hohe Effektstärke darauf hin, dass der Positionsfortschreibungseffekt tatsächlich einen Einfluss auf den Prozess der Positionsfortschreibung hat, der in diesem Experiment nicht statistisch signifikant war, weil die Anzahl der Versuchspersonen zu gering war.

2. Einleitung

2.1. Wahrnehmung und Orientierung im Raum

Verschiedene Leistungen der Raumkognition lassen sich je nach Art und Umfang der Beteiligung des Gedächtnisses einteilen. Manche dieser Leistungen wie zum Beispiel Taxien erfordern keine Gedächtnisleistung, sondern werden aufgrund der aktuellen sensorischen Situation stereotyp ausgeführt.

Komplexere Leistungen der Raumkognition erfordern den Einsatz eines räumlichen Arbeitsgedächtnisses. Dort werden egozentrische Positionsinformationen gespeichert und bei Bewegung des Betrachters aktualisiert. Solche Informationen können beispielsweise den Ausgangspunkt eines zurückgelegten Weges oder die Position von Objekten relativ zum Betrachter einschließen.

Die Aktualisierung dieser Informationen geschieht unter anderem durch einen Prozess, der Wegintegration genannt wird. Hierbei wird durch kontinuierliche Erfassung der Eigenbewegung die aktuelle Position abgeschätzt. Der im Arbeitsgedächtnis auf integrierte Vektor der aktuellen Position bezüglich zum Ausgangspunkt bezeichnet man als Heimvektor. Informationen über die Eigenbewegung werden der Wegintegration aus verschiedenen Quellen zur Verfügung gestellt. Beschleunigungen werden vom Vestibularsystem registriert, ausgeführte Bewegungen können durch den Lage- und Bewegungssinn der Muskulatur oder durch die zentralen Steuersignale selbst erfasst werden und auch visuelle Informationsquellen wie z.B. der optische Fluss spielen eine wichtige Rolle. Die Wahrnehmung der zurückgelegten Distanz geschieht über die Integration der verschiedenen Informationsquellen über die Zeit, das heißt sie werden im Arbeitsgedächtnis kombiniert und über die Zeit summiert. Hierbei müssen neben der Translation im Raum auch Drehungen berücksichtigt werden. Der Prozess der Wegintegration funktioniert bei von Geburt an blinden oder erblindeten Personen fast gleich gut wie bei Versuchspersonen, denen man die Augen verbunden hat.

Eine kognitiv anspruchsvollere Version der einfachen Wegintegration ist die sogenannte Positionsfortschreibung. Bei diesem Prozess werden die Positionen von Objekten in der Umgebung des Betrachters entsprechend der Wegintegration aktualisiert. Ein beliebtes Experiment, das diesen Prozess darstellt, sieht folgendermaßen aus: Man weist die Versuchsperson an, auf ein Objekt in ihrer Umgebung mit dem Finger zu zeigen. Anschließend soll sie die Augen schließen und ein paar Schritte vorwärtsgehen. Während der gesamten Bewegung soll die Versuchsperson weiterhin auf die aktuelle Objektposition zeigen. In der Regel bewältigen die Teilnehmer eine solche Aufgabe ohne größere Fehler zu machen. Dies liegt daran, dass die, sich durch die Bewegung verändernde Position des Objekts, im Arbeitsgedächtnis kontinuierlich aktualisiert wird (Mallot, 2012).

2.2. Räumliche Repräsentation im Arbeitsgedächtnis

Das räumliche (Ab)Bild (engl. spatial image) ist eine Modellvorstellung einer räumlichen Repräsentation im Arbeitsgedächtnis (Loomis, Klatzky, & Giudice, 2012). Es ist an die Größe und Ausdehnung der jeweiligen Umgebung und Aufgabe angepasst und kann in alle Richtungen um den Beobachter herum existieren. Diese Art von Repräsentation spielt eine wichtige Rolle bei der Bewegung im dreidimensionalen Raum, wenn für die Aufgabe relevante, sensorische Informationen nicht länger verfügbar sind. Dafür enthält es Informationen über Abstände und Richtungen von Objekten in Relation zum Beobachter (egozentrisch).

Die Entstehung eines spatial image ist multisensorisch, d.h. es kann durch verschiedene Reizmodalitäten erzeugt werden (Loomis et al., 2012). Stimuli, die ein spatial image erzeugen, können visuell, akustisch oder haptisch sein. Die Erzeugung durch sprachliche Beschreibungen und das Erinnern eines im Langzeitgedächtnis gespeicherten räumlichen Bildes ist auch möglich. Theoretisch kann ein räumliches Bild durch alle Aktivitäten erzeugt werden, die eine Empfindung hervorrufen können.

Trotz der multisensorischen Entstehung eines solchen Bildes enthält es nicht etwaige Qualitäten der verschiedenen Reize, wie z.B. Klangfarbe. Lediglich die räumlichen Informationen der verschiedenen Reize werden in einem räumlichen Bild gespeichert, d.h. die verschiedenen Modalitäten, die bei der Erzeugung des Bildes beteiligt sind, sind funktional äquivalent.

Das spatial image kann durch die Positionsfortschreibung aktualisiert werden. Wie bereits weiter oben erwähnt, führen hierbei Drehungen und Translationen zur Wahrnehmung von Eigenbewegung, die als Ergebnis der Wegintegration Rückschlüsse über die aktuelle Position und Orientierung zulässt. Diese Informationen dienen dann zur Aktualisierung des spatial image. Erstaunlicherweise aktualisiert die Positionsfortschreibung das spatial image auch bei nur vorgestellten Drehungen bzw. Translationen (Klatzky, Loomis, Beall, Chance, & Golledge, 1998). Allerdings scheint der Effekt wesentlich schwächer zu sein als bei realen Bewegungen. Mithilfe der Positionsfortschreibung können Versuchspersonen mehrere Objektpositionen, sowie die Orientierung derer, und sogar einfache Pfade aktualisieren.

Wie bereits erwähnt, kann ein spatial image durch Informationen im Langzeitgedächtnis erzeugt werden und ein so erzeugtes spatial image kann sogar mithilfe der Positionsfortschreibung aktualisiert werden. Dabei führt die Speicherung im Langzeitgedächtnis zu keinen systematischen Verzerrungen des spatial image, aber die räumliche Präzision der erinnerten Positionen wird schlechter.

Das spatial image im Kontext der Positionsfortschreibung scheint durch die Repräsentation von bis zu sechs, vielleicht sogar mehr, Positionen nicht beeinflusst zu sein (Loomis et al., 2012).

Allerdings könnten Informationen aus dem aktuellen spatial image in das Langzeitgedächtnis verschoben werden, falls das aktuelle spatial image zu komplex wird. Die Aktualisierung würde in diesem Fall aus einer Mischung von regulärer Positionsfortschreibung und dem Abruf der relevanten Informationen aus dem Langzeitgedächtnis bestehen. Diese Wechselwirkung macht eine genaue Bestimmung der Kapazität des räumlichen Arbeitsgedächtnisses schwierig (Loomis et al., 2012).

2.3. Aktualisierung räumlicher Repräsentationen

Das spatial image wird wie bereits erwähnt durch einen Prozess, der sich Positionsfortschreibung (engl. spatial updating) nennt, aktualisiert. In diesem Zusammenhang sind zwei wissenschaftliche Veröffentlichungen besonders interessant.

Das Ziel des ersten Experimentes (Farrell & Robertson, 1998) war es herauszufinden, ob der Prozess der Positionsfortschreibung automatisch abläuft oder durch die Versuchsperson unterdrückt werden kann. Um diese Frage zu klären, wurden die erwachsenen Versuchspersonen in einen Drehstuhl gesetzt und angeleitet, sich die Position von sieben Gegenständen, die sich um sie herum im selben Raum befanden, einzuprägen. Nach dieser Lernphase wurde den Versuchspersonen die Augen verbunden und das eigentliche Experiment begann. Insgesamt gab es vier verschiedene Bedingungen:

1. Aktualisieren: Die Versuchspersonen wurden auf dem Drehstuhl rotiert, sodass sie nun einer anderen Richtung zugewandt waren. Dann sollten sie auf die Gegenstände aus der neuen Orientierung zeigen.
2. Vorstellen: Die Versuchspersonen sollten sich die Rotation nur vorstellen und aus der vorgestellten Position auf die Gegenstände zeigen.
3. Ignorieren: Die Versuchspersonen wurden wie in der 1. Bedingung rotiert, im Vorherein jedoch dazu angeleitet, die Rotation zu ignorieren und dann auf die Gegenstände zu zeigen, als ob sie sich noch immer in der Ausgangsposition befänden.
4. Kontrolle: Die Versuchspersonen wurden in eine Richtung gedreht und dann sofort wieder zurück in die Ausgangsposition gedreht. Anschließend sollten sie auf die Gegenstände zeigen.

Als abhängige Variablen wurden der Fehler zwischen gezeigter und tatsächlicher Position (Winkelfehler), sowie die Zeit zwischen dem Ende der Rotation und der Antwort (Latenzzeit) gemessen.

Falls der Prozess der Positionsfortschreibung ein automatisch ablaufender Prozess ist, sollte es schwierig bis unmöglich für die Versuchspersonen sein, ihre eigenen Bewegungen zu ignorieren. In diesem Fall wäre zu erwarten, dass die Latenzzeit mit dem Grad der Rotation ansteigt, da die Versuchspersonen diesen automatischen Aktualisierungsprozess zuerst einmal rückgängig machen müssten.

Ähnlich sollte es sich bei der Vorstellen-Bedingung verhalten, da auch hier die tatsächliche Orientierung der Probanden nicht mit der für die Aufgabe relevanten Orientierung übereinstimmt.

Die Ergebnisse zeigten einen Anstieg der Latenzzeit mit steigender Größe der Rotation in der Vorstellen- und Ignorieren-Bedingung, aber nur einen geringen Anstieg in der Aktualisieren- und Kontroll-Bedingung. Dies spricht dafür, dass die Versuchspersonen in der Vorstellen- und Ignorieren-Bedingung ihre vorgestellte Orientierung mit ihrer tatsächlichen Orientierung durch zusätzliche Verarbeitungsprozesse in Einklang bringen mussten, bevor sie antworten konnten. Dieser Prozess schien länger zu dauern, je größer der Winkel zwischen vorgestellter und tatsächlicher Orientierung war.

Da die Latenzzeit in der Aktualisieren- und Kontroll-Bedingung nur geringfügig anstieg, lässt sich vermuten, dass so gut wie alle notwendigen Verarbeitungsprozesse bereits während der Bewegung abliefen und deshalb eine schnellere Antwort möglich war.

Zusammenfassend kann man aus diesem Experiment schließen, dass die Positionsfortschreibung automatisch abläuft und von den Versuchspersonen nicht unterdrückt werden kann. Des Weiteren kann sie auch ohne visuelle Sinnesreize aufgrund propriozeptiver Informationen stattfinden. Eine Aufgabe, die es von den Versuchspersonen erfordert sich in eine räumliche Orientierung zu versetzen, die nicht ihrer tatsächlichen Orientierung entspricht, stellt sich als schwierig heraus. In einem solchen Fall müssen die Versuchspersonen den automatischen Aktualisierungsprozess durch den Einsatz zusätzlicher kognitiver Ressourcen überschreiben (Farrell & Robertson, 1998).

Die zweite wissenschaftliche Veröffentlichung beschäftigt sich mit den Systemen, die für die Repräsentation räumlicher Bilder und den Prozess der Positionsfortschreibung zuständig sind (Waller & Hodgson, 2006). Diese Veröffentlichung behandelt insgesamt vier Experimente. Im ersten Experiment zeigen die Wissenschaftler, dass es zwei räumliche Darstellungssysteme gibt, die Menschen benutzen, um mit ihrer Umgebung zu interagieren. Im zweiten Experiment zeigen sie, dass die räumlichen Darstellungen dieses zweiten Systems weniger präzise sind als die des Ersten. Das dritte Experiment untersucht, welche Vorgänge einen Wechsel zwischen den beiden Systemen auslösen können und das vierte Experiment dient der genaueren Untersuchung der Art des Wechsels zwischen den beiden Systemen.

Aufgrund der Ergebnisse aus diesen Experimenten postulieren die Autoren folgende Systeme: Das transiente, egozentrische Darstellungssystem kann die Leistung einer Person bei der Orientierung maßgeblich beeinflussen. Allerdings nur, falls betreffende Person gut in ihrer Umgebung orientiert ist und die aktuelle Aufgabe eine Interaktion mit der unmittelbaren Umgebung erfordert.

Im Kontext dieses Systems findet auch die Positionsfortschreibung statt, d.h. die Aktualisierung von Objektpositionen relativ zum Betrachter, während dieser sich bewegt. Außerdem ist das System hochgradig dynamisch und arbeitet in Echtzeit. Die räumlichen Repräsentationen, die dieses System zur Verfügung stellt, sind zwar relativ kurzlebig, aber dafür auch sehr präzise und konkret. Die wichtigsten Informationsquellen, die es zur Erzeugung räumlicher Repräsentationen benutzt, sind der Sehsinn und Reize aus der Eigenbewegung. Allerdings kann es für kurze Zeit auch mit ausschließlich nicht-visuellen Reizen arbeiten.

Das zweite System übernimmt die Kontrolle, falls Informationen über die unmittelbare Umgebung eines Betrachters nicht mehr zur Verfügung stehen oder nicht mehr zuverlässig sind. In diesem Fall wechselt der Betrachter unbewusst vom transienten, egozentrischen Darstellungssystem zu einem beständigen Darstellungssystem. Die Ergebnisse des vierten Experiments deuten darauf hin, dass ein solcher Wechsel bereits durch eine Rotation der Probanden auf einem Drehstuhl von nur 90° ausgelöst werden kann. Die räumlichen Darstellungen in diesem System sind im Langzeitgedächtnis verankert und relativ beständig über die Zeit. Allerdings sind sie nicht so präzise, wie die Repräsentationen des transienten, egozentrischen Systems. Das beständige Darstellungssystem erlaubt es einem Betrachter, die räumlichen Zusammenhänge weiter entfernter Umgebungen, die den Sinnen momentan nicht zur Verfügung stehen, zu beurteilen. Der Wechsel zurück zum transienten, egozentrischen Darstellungssystem ist möglich, falls Informationen über die unmittelbare Umgebung eines Betrachters wieder zur Verfügung stehen.

Inwiefern eine Interaktion zwischen den beiden behandelten Systemen stattfindet, lässt sich aus diesen Experimenten nicht eindeutig ableiten. Die Ergebnisse von Experiment 3 und 4 der Veröffentlichung deuten darauf hin, dass der Wechsel zwischen den beiden Systemen abrupt und die Interaktion zwischen den beiden Systemen minimal ist. Andererseits lassen die Ergebnisse des ersten Experiments den Schluss zu, dass das transiente, egozentrische Darstellungssystem Urteile, die auf dem beständigen Darstellungssystem beruhen, beeinflussen kann. Im ersten Experiment sollten die Probanden sich vorstellen in einer anderen Position und Orientierung zu sein als sie tatsächlich waren und dann von der vorgestellten Position auf einen Gegenstand zeigen. Die Leistung der Versuchspersonen bei dieser Aufgabe war signifikant besser, wenn sie vor Beginn der Aufgabe desorientiert wurden.

Die Theorie ist, dass die Desorientierung der Probanden den Wechsel zum beständigen Darstellungssystem zur Folge hat. Demzufolge ist das transiente, egozentrische Darstellungssystem nun deaktiviert und kann die Leistung der Probanden nicht mehr negativ beeinflussen. Die Ergebnisse dieser Serie von Experimenten von Waller & Hodgson (1998) unterstützen die Vermutung, dass der Prozess der Positionsfortschreibung ebenfalls in zwei verschiedene Arten unterteilt werden kann. Auf der einen Seite wäre hier die „online“-Form der Positionsfortschreibung zu nennen, die in Echtzeit arbeitet und der dynamische, räumliche Darstellungen zugrunde liegen. Der Grundstein dieser Form wäre demzufolge das transiente egozentrische Darstellungssystem. Auf der anderen Seite gibt es auch eine „offline“-Form der Positionsfortschreibung, die auf beständigen Darstellungen beruht und als nachträglicher Wiederherstellungsprozess fungiert. Diese Form wäre eher mit dem beständigen Darstellungssystem in Verbindung zu bringen (Waller & Hodgson, 2006).

2.4. Einfluss der Umgebung auf das räumliche Arbeitsgedächtnis

Eine interessante Frage ist, inwiefern die Bewegung einer Person durch ihre Umgebung das Abrufen räumlicher Informationen beeinflusst. Einer ähnlichen Frage sind Radvansky & Copeland in ihrer 2006 veröffentlichten Arbeit in zwei Experimenten nachgegangen.

Im ersten Experiment gingen die Versuchspersonen durch eine virtuelle Umgebung, die aus einer Vielzahl identischer, durch Türen getrennter, Räume bestand. In jedem dieser Räume stand ein rechteckiger Tisch. Die Probanden nahmen in einem Raum ein Objekt auf, gingen in den nächsten Raum, setzten das Objekt ab, nahmen ein neues Objekt auf und so weiter. Aufgenommene Objekte verschwanden aus dem Sichtfeld der Versuchspersonen und erschienen erst beim Absetzen wieder. Die Versuchspersonen konnten erst in den nächsten Raum gehen, nachdem sie ein Objekt abgesetzt und ein neues Objekt aufgenommen hatten. An bestimmten Punkten in der virtuellen Umgebung wurden den Versuchspersonen Gedächtnis-Abfragen präsentiert, die den Namen eines Objektes enthielten. Falls der Name dem Objekt entsprach, das sie gerade bei sich trugen (assoziiert) oder zuletzt abgelegt hatten (dissoziiert), sollten sie mit „ja“ antworten. War es ein anderes Objekt sollten sie mit „nein“ antworten.

Die Theorie der Autoren war, dass die Versuchspersonen schneller und mit weniger Fehlern antworten würden, wenn die Gedächtnis-Abfrage mit dem momentan assoziierten Objekt übereinstimmt. Dementsprechend wäre die Leistung der Probanden schlechter, wenn die Abfrage mit dem momentan dissoziierten Objekt übereinstimmt.

Die Ergebnisse des Experiments bestätigten die Erwartungen der Autoren. Versuchspersonen antworteten tatsächlich schneller und mit weniger Fehlern, wenn das Objekt assoziiert war, als wenn es dissoziiert war. Außerdem machten sie mehr Fehler bei dissoziierten Abfragen als bei negativen Abfragen. Allerdings gab es hier keinen Unterschied in der Geschwindigkeit der Antwort.

Aufgrund dieser Ergebnisse vermuteten die Autoren, dass die Versuchspersonen die räumlichen Gegebenheiten ihrer Umgebung aktiv überwachen und dass dies einen Einfluss auf die Verfügbarkeit von Informationen hat, da die Versuchspersonen schneller und mit weniger Fehlern geantwortet hatten, wenn das Objekt über einen Raumwechsel hinweg weiterhin mit der Person assoziiert war, als wenn es vor dem Raumwechsel dissoziiert wurde.

Das Ziel des zweiten Experiments war herauszufinden, inwiefern der im ersten Experiment beobachtete Effekt auf dem Raumwechsel und/oder auf der Tatsache beruhte, dass Objekte entweder assoziiert oder dissoziiert waren. Der einzige Unterschied zum ersten Experiment war, dass es zusätzlich nun auch große Räume mit zwei Tischen gab. In diesen Räumen gingen die Versuchspersonen von Tisch zu Tisch ohne den Raum zu wechseln. Die Versuchspersonen konnten den zweiten Tisch beim Betreten eines Raumes nicht sehen, da diese Hälfte des Raumes abgedunkelt war und es eine unsichtbare Barriere zwischen den beiden Hälften gab. Nachdem die Probanden mit dem ersten Tisch interagiert hatten, verschwand die unsichtbare Barriere und die andere Hälfte des Raums wurde aufgehellt.

Die Ergebnisse des zweiten Experiments replizierten den bereits im ersten Experiment beobachteten Assoziiert/Dissoziiert-Effekt. Des Weiteren benötigten die Versuchspersonen mehr Zeit, um auf eine assoziierte Abfrage zu antworten, wenn es einen Raumwechsel gab als wenn nicht. Bei dissoziierten Abfragen blieb derselbe Effekt allerdings aus. Außerdem machten die Versuchspersonen auch mehr Fehler, wenn ein Raumwechsel stattgefunden hatte und/oder wenn das Objekt dissoziiert war. Genauer gesagt, machten die Probanden fast dreimal so viele Fehler bei einer assoziierten Abfrage, wenn ein Raumwechsel stattgefunden hatte als wenn nicht.

Aus den Ergebnissen des zweiten Experiments schließen die Autoren unter anderem, dass ein Raumwechsel die Verfügbarkeit von Informationen herabsetzen kann. Diesen Effekt nennen die Autoren den Standortfortschreibungseffekt (engl. location updating effect). Personen bauen Informationen über räumliche Veränderungen, die in der Umwelt leicht verfügbar sind, in ihr Situationsmodell ein, während sie sich durch ihre Umgebung bewegen (Radvansky & Copeland, 2006).

Die Allgemeingültigkeit des Standortfortschreibungseffektes untersuchten Radvansky et al. (2010) in einer weiteren Veröffentlichung. Die Theorie war, dass besagter Effekt davon abhängig sein könnte, wie gut oder schlecht die Information in der Gedächtnis-Abfrage mit der Umgebung integriert ist. In bisherigen Experimenten wurden verbale Gedächtnis-Abfragen eingesetzt. Die Versuchspersonen im neuen Experiment erlebten dagegen einen visuell-räumlichen Kontext. Hier gab es also einen Unterschied zwischen Gedächtnis-Abfrage und der Ziel-Information. Die Autoren argumentierten, dass dieser Unterschied einen Einfluss auf das Abrufen der Ziel-Information haben könnte.

Das erste Experiment benutzte Gedächtnis-Abfragen, die besser mit dem erlebten Kontext der Versuchspersonen integriert waren. Aus diesem Grund erhielt die Hälfte der Versuchspersonen visuelle Gedächtnis-Abfragen, die Bilder von den Objekten zeigten. Der Rest erhielt die klassischen verbalen Abfragen. Ansonsten war das Experiment identisch mit dem zuletzt beschriebenen Experiment.

Falls der Grad der Integration der Gedächtnis-Abfrage mit dem erlebten Kontext tatsächlich eine Rolle spielt, wäre zu erwarten, dass die Versuchspersonen eine bessere Leistung erzielen, wenn sie nach einem Raumwechsel mit einer visuellen Gedächtnis-Abfrage konfrontiert werden, als wenn eine verbale Abfrage erfolgte. Der Theorie zufolge wäre ein solches Ergebnis damit zu erklären, dass die visuellen Abfragen besser mit dem erlebten Kontext der Versuchspersonen integriert sind und dass demzufolge eine Veränderung der Umwelt (Raumwechsel) einen geringeren Einfluss auf den Abruf von Informationen hat.

Die Ergebnisse des Experimentes ließen einen solchen Schluss allerdings nicht zu. Lediglich der Raumwechsel hatte einen Einfluss auf die Geschwindigkeit mit der die Versuchspersonen antworteten und die Häufigkeit mit der sie Fehler machten. Die Art der Gedächtnis-Abfrage hatte keinen Einfluss auf die erwähnten Faktoren. Die erwähnte Amodalität räumlicher Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis stellt eine mögliche Erklärung für diese Ergebnisse dar.

Die Autoren schließen aus den Ergebnissen dieses Experimentes, dass Informationen, die an einer früheren Position relevant waren, meist weniger verfügbar werden, wenn die Versuchspersonen von einem Ort zum Nächsten gehen. Menschen erzeugen Situationsmodelle der aktuellen Gegebenheiten und das Aktualisieren des Selbigen kann Informationen weniger verfügbar machen.

Ein zweites Experiment untersuchte die Verfügbarkeit von Informationen, die weniger gut mit dem erlebten Kontext assoziiert (integriert) sind. Hier sollten sich die Versuchspersonen zusätzlich zu den Objekten auch Wortpaare, die sich nicht auf Merkmale des Kontexts in dem sie angetroffen wurden bezogen, merken.

Wenn die Versuchspersonen mit einer Gedächtnis-Abfrage präsentiert wurden, konnte diese entweder einen Objektnamen oder ein Wortpaar enthalten. Um die Integration der Wortpaare mit dem erlebten Kontext noch weiter zu verschlechtern, wurden Wortpaare eingesetzt, die keinen Sinn ergaben.

Eine Möglichkeit wäre, dass das Durchqueren von Türen keinen Effekt auf die Wortpaare hat, da diese sehr schlecht mit dem erlebten Kontext assoziiert sind. Somit würde das Durchqueren von Türen nur zum Vergessen der Objektnamen, aber nicht der Wortpaare führen. Eine andere Möglichkeit wäre, dass auch Informationen, die nur schlecht mit dem erlebten Kontext assoziiert sind, in ein Situationsmodell eingebaut werden. In diesem Fall würde das Durchqueren von Türen zum Vergessen von Objektnamen und Wortpaaren führen.

Die Ergebnisse des zweiten Experiments zeigten, wie aus dem ersten Experiment zu erwarten, einen Positionsfortschreibungseffekt für die Objekt-Abfragen. Interessanterweise war der Effekt auch bei den Wortpaar-Abfragen zu beobachten, d.h. Versuchspersonen vergaßen das Wortpaar öfter, nachdem sie ihr Situationsmodell aktualisiert hatten als wenn nicht. Die Autoren deuteten diese Ergebnisse als Bestätigung ihrer Theorie, dass alle oder fast alle Informationen, die eine Person prozessiert, weniger verfügbar werden, nachdem eine Aktualisierung des Situationsmodells stattgefunden hat.

Zusammenfassend schließen die Autoren aus beiden Experimenten, dass der Standortfortschreibungseffekt nicht von dem Grad der Integration der Gedächtnis-Abfragen mit dem erlebten Kontext abhängig ist. Die im ersten Experiment eingesetzten visuellen Gedächtnis-Abfragen erzielten denselben Effekt wie die Wortpaar-Abfragen im zweiten Experiment, obwohl diese viel schlechter mit dem erlebten Kontext assoziiert waren (Radvansky, Tamplin, & Krawietz, 2010).

2.5. Motivation für das aktuelle Experiment

Das Aktualisieren des Situationsmodells einer Person kann also dazu führen, dass Informationen, die eher mit einer früheren Situation assoziiert werden, weniger leicht verfügbar werden. Dies wird auch als der Positionsfortschreibungseffekt bezeichnet (Radvansky et al., 2010). In den von Radvansky et al. (2010) durchgeführten Experimenten führte dieser Effekt dazu, dass die Versuchspersonen die Namen von Objekten öfter vergaßen, wenn sie zuvor in einen neuen Raum gegangen waren, d.h. ihr Situationsmodell aktualisiert hatten. Unter der Vielzahl von Informationen, die Personen aus ihren Umgebungen aufnehmen, ist aber nicht nur die Art eines Objektes, sondern auch dessen Position relativ zum Betrachter relevant. Wie bereits erwähnt, sind solche Informationen enorm wichtig für den Prozess der Positionsortschreibung, d.h. der automatischen Aktualisierung der Positionen von beispielsweise Objekten im räumlichen Arbeitsgedächtnis einer Person, während diese sich bewegt.

Es wäre interessant zu wissen, inwiefern der Prozess der Positionsfortschreibung durch den Positionsfortschreibungseffekt beeinflusst wird. Machen Versuchspersonen, die den Raum, in dem sie sich Objektpositionen merken sollten, verlassen und wieder betreten hatten, mehr Fehler oder benötigen mehr Zeit beim Zeigen auf die Gegenstände als Versuchspersonen, die eine vergleichbare Strecke im gleichen Raum zurückgelegt hatten?

Eine Antwort auf diese Frage zu finden, ist das Ziel der vorliegenden Arbeit. Bei dem Experiment sollen Versuchspersonen die Positionen von Gegenständen im Raum erlernen und dann entweder eine kurze Strecke im Raum selber zurücklegen oder den Raum verlassen, durch einen Gang gehen und dann denselben Raum wieder betreten. Die Gegenstände werden währenddessen entfernt. Anschließend sind die Versuchspersonen dazu angehalten, auf die Gegenstände zu zeigen.

Falls der Prozess der Positionsfortschreibung tatsächlich durch den Positionsfortschreibungseffekt beeinflusst wird, wäre zu erwarten, dass Versuchspersonen, die den Raum verlassen hatten, eine schlechtere Leistung beim Zeigen auf die Gegenstände vorweisen würden als wenn sie den Raum nicht verlassen hatten. Auf der anderen Seite ist es auch möglich, dass der Prozess der Positionsfortschreibung von Aktualisierungen des Situationsmodelles nicht beeinflusst wird. In diesem Fall wäre kein Unterschied zwischen den beiden Bedingungen zu erwarten.

3. Material und Methoden

3.1. Vorversuch:

Ziel des Vorversuches war es herauszufinden wie groß der Winkelfehler, den Versuchspersonen beim Zeigen unter optimalen Bedingungen mit dem hier verwendeten Messsystem machen, ist.

3.1.1. Teilnehmer:

An dem Vorversuch nahmen insgesamt neun Personen teil. Sieben dieser Personen waren männlich und zwei weiblich. Versuchspersonen waren entweder Studenten oder wissenschaftliche Mitarbeiter der Universität Tübingen und verfügten über normale oder korrigierte Sehkraft. Außerdem waren alle Versuchspersonen Rechtshänder.

3.1.2. Versuchsaufbau:

Das Experiment wurde in einem fensterlosen Raum mit einer Größe von 6 m x 8,4 m durchgeführt. Vier Karten mit aufgedruckten Objekten (s. Abbildung 2) wurden kreisförmig auf Ständern in einer Höhe von einem Meter angeordnet (s. Abbildung 1).

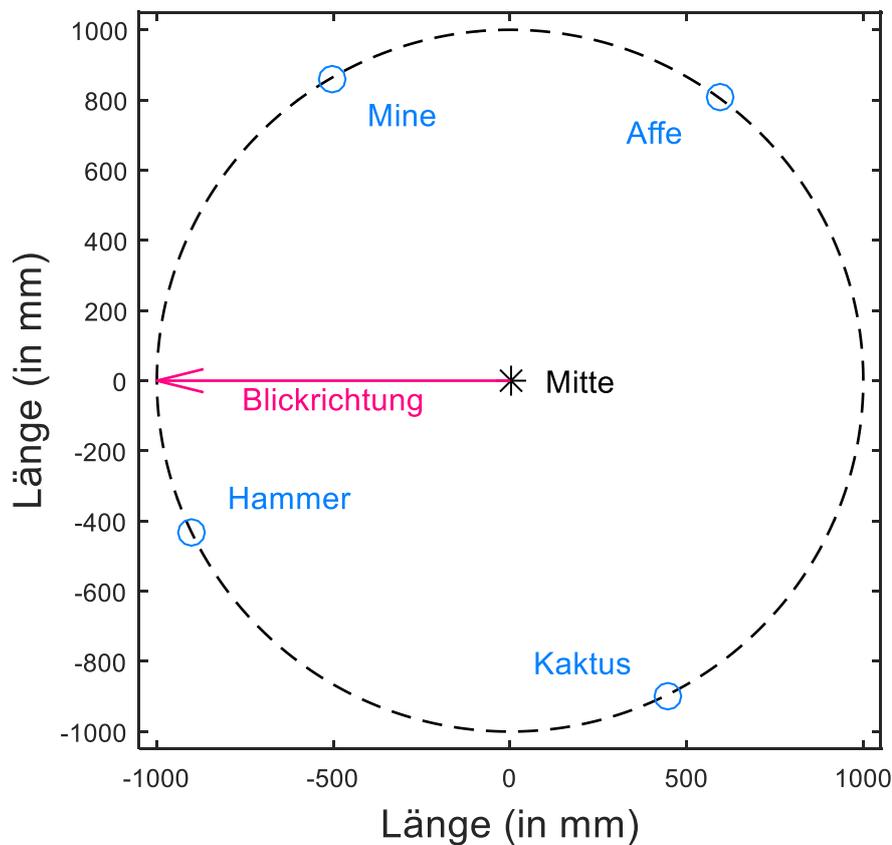


Abbildung 1: Aufsicht des experimentellen Aufbaus im Vorversuch. Der Radius des Kreises beträgt einen Meter. Die Position der vier Karten ist mit blauen Kreisen markiert.

Dabei wurde darauf geachtet, dass sich in jedem Quadranten des Kreises nur eine Karte befand, um die Winkel zwischen den Karten möglichst groß zu halten.

Außerdem wurde sichergestellt, dass sich die Karten nicht auf den Standardwinkeln der vier Kardinalrichtungen (z.B. 45 oder 90 Grad) relativ zur Blickrichtung befanden, da solche Winkel von den Versuchspersonen unter Umständen sehr viel leichter repräsentiert werden könnten. Der Mittelpunkt des Kreises wurde zur Orientierung auf dem Boden des Raumes mit Klebeband markiert.

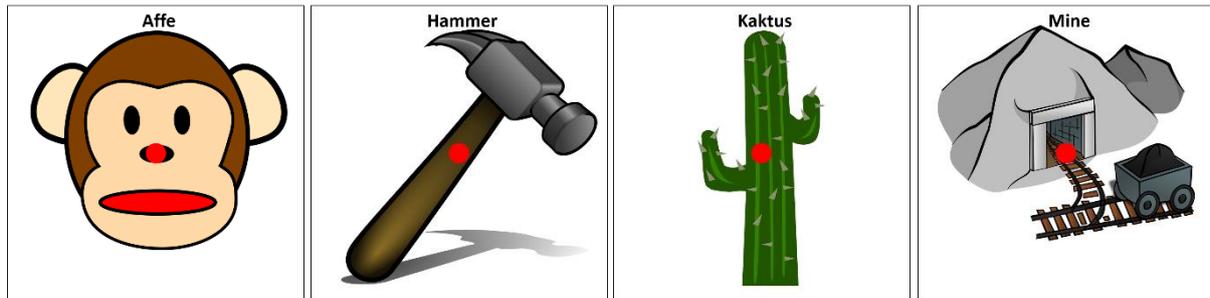


Abbildung 2: Die vier Karten, die im Vorversuch verwendet wurden. Die Seitenlänge einer Karte beträgt fünfzehn Zentimeter.

Die Karten bestanden aus dickerem Papier und waren quadratisch mit einer Seitenlänge von 15 Zentimetern. Auf das Papier wurden farbige Bilder geklebt, die verschiedene Objekte zeigten (s. Abbildung 2). Des Weiteren wurden die Namen der Objekte und ein roter Punkt ebenfalls auf den Karten angebracht. Der rote Punkt sollte den Versuchspersonen deutlich machen immer auf die Mitte der Karte zu zeigen. Bei der Auswahl der Objekte wurde darauf geachtet, dass alle Objektnamen über die gleiche Anzahl von zwei Silben verfügten und semantisch möglichst weit voneinander entfernt waren, um etwaigen Verwechslungen beim Erinnern der Objekte vorzubeugen. Die Abbildungen der Objekte wurden so ausgewählt, dass sie alle einen ähnlichen künstlerischen Stil zeigten.

Ein kabelloser Virtual-Reality-Controller (Flystick 2 von A.R.T. GmbH, Weilheim, Deutschland) wurde zum Messen der Zeigerichtung verwendet (s. Abbildung 3).

Die Position und Orientierung des Controllers wurde von einem Tracking-System (ART-track DTrack von A.R.T. GmbH, Weilheim, Deutschland; DTrack Version 1.24.7) erfasst und auf einem Computer (Intel Pentium 4 CPU (3GHz)) mit dem Betriebssystem Windows XP aufgezeichnet.



Abbildung 3: Virtual-Reality-Controller Flystick 2 von A.R.T. GmbH, Weilheim.

3.1.3. Versuchsdesign:

Auf welche Karte die Versuchspersonen als nächstes Zeigen sollten, wurde vom Experimentator angesagt. Dieser stand während des gesamten Experiments und bei allen Versuchspersonen an derselben Stelle. Die Versuchspersonen zeigten auf jede Karte viermal, sodass insgesamt sechzehn Messungen aufgezeichnet wurden. Das Zeigen wurde durch die Versuchsperson bestätigt, indem sie den Trigger am Controller drückte. Die Zeige-Reihenfolge auf die Karten war randomisiert, aber für alle Versuchspersonen gleich.

Die Position, Orientierung des Controllers und die Eingaben der Versuchsperson am Controller wurden während des gesamten Experiments gemessen und aufgezeichnet. Diese Daten wurden zur Berechnung des Winkelfehlers benutzt, der damit die abhängige Variable des Experimentes darstellte.

3.1.4. Allgemeiner Ablauf:

Vor Beginn des Experimentes wurde die Versuchsperson unter visueller Kontrolle angewiesen mit dem rechten, ausgestreckten Arm so zügig und genau wie möglich auf den roten Punkt, der auf jeder Karte abgebildet war, zu zeigen. Der Ellenbogen durfte, falls nötig, angewinkelt werden, um das Zeigen auf Karten, die sich hinter der Versuchsperson befanden, zu erleichtern. Ihr war es während des gesamten Versuches nicht gestattet sich auf der Stelle zu drehen. Lediglich das Drehen des Oberkörpers war erlaubt.

Anschließend wurde der Versuchsperson der Ablauf des Experimentes in mündlicher Form geschildert und das Experiment begann, nachdem sie sich in die Mitte des Kreises gestellt hatte. Alle Versuchspersonen befanden sich in der gleichen Orientierung für die gesamte Dauer des Experimentes (s. Abbildung 1).

Nachdem sich die Versuchsperson ausgerichtet hatte, wurde ihr der Controller in die rechte Hand gegeben und sie zeigte auf Anweisung des Experimentators nacheinander auf die Karten. Nachdem sie insgesamt sechszehnmals gezeigt hatte, war das Experiment beendet.

3.1.5. Analyse:

Die Daten wurden in MATLAB (Version R2016a mit Circular Statistics Toolbox) analysiert. Berechnet wurde der Fehler in Grad zwischen der gezeigten Richtung und der tatsächlichen Richtung zur jeweiligen Karte. Die gezeigte Richtung wurde aus der Rotationsmatrix des Controllers zum Zeitpunkt des Zeigens berechnet.

Die tatsächliche Richtung wurde als Winkel zwischen der Geraden, die durch die Position von Controller und der jeweiligen Karte lief, und einer der beiden Achsen des Raum-Koordinatensystems definiert (s. Abbildung 7).

Für jede Versuchsperson wurde der mittlere Winkelfehler berechnet (s. Tabelle 2 im Anhang). Dieser wird im weiteren Text als Fehlermaß I bezeichnet. Außerdem wurde für jede Versuchsperson zusätzlich noch der mittlere, absolute Winkelfehler berechnet. Dieser wird im weiteren Text als Fehlermaß II bezeichnet.

3.2. Hauptversuch:

3.2.1. Teilnehmer:

Insgesamt nahmen elf Personen an dem Experiment teil. Fünf Versuchspersonen waren männlich und sechs weiblich. Alle Versuchspersonen waren Rechtshänder, verfügten über normale oder korrigierte Sehkraft und erhielten sechs Euro als Entschädigung für die Teilnahme. Keine der Versuchspersonen hatte an dem Vorversuch teilgenommen. Die Daten einer weiblichen Versuchsperson konnten aufgrund von Schwierigkeiten bei der Messung der Zeigerichtung nicht ausgewertet werden.

3.2.2. Versuchsaufbau:

Der Hauptversuch fand im selben Raum wie der Vorversuch statt und es wurden wieder vier Karten kreisförmig angeordnet. Anders als beim Vorversuch wurden hier zwei verschiedene Sets von Karten verwendet (s. Abbildung 4 und Abbildung 5).

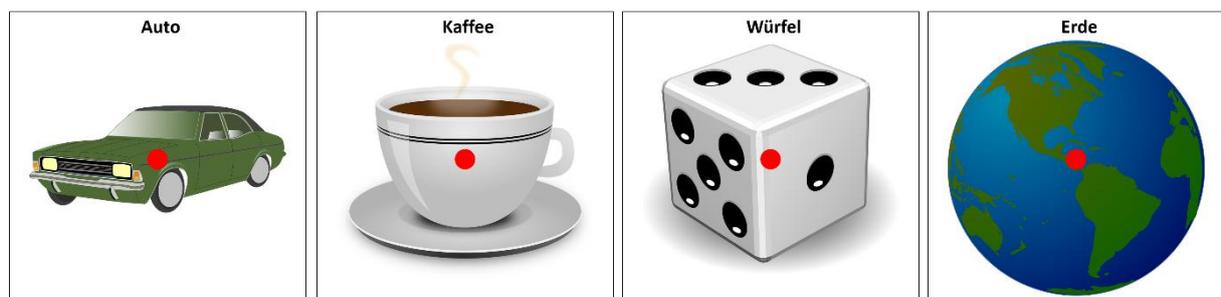


Abbildung 4: Die vier Karten des Set B, die zusätzlich zu den Karten des Set A im Hauptversuch verwendet wurden.

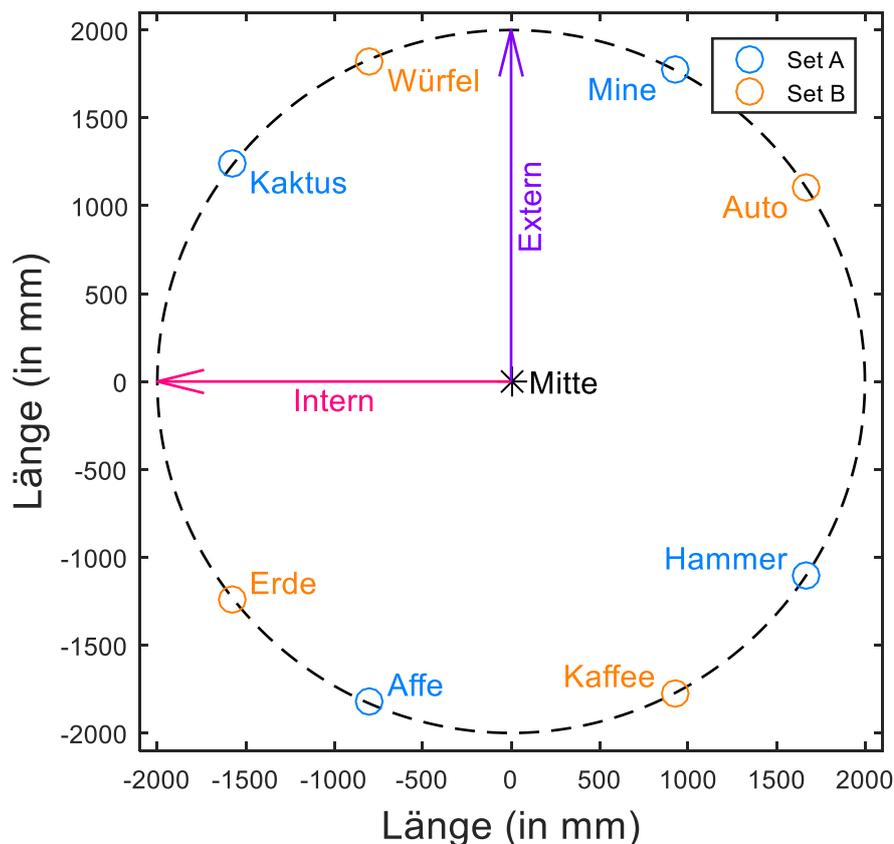


Abbildung 5: Aufsicht der Kreisordnung der zwei Kartensets (A und B) im Hauptversuch. Der Radius des Kreises beträgt zwei Meter. Die zwei mit Intern bzw. Extern beschrifteten Pfeile geben die Blickrichtung der Versuchsperson, den sie am Start und Ende des internen bzw. externen Weges und während der Messung in Phase I des Experimentes hatte, an.

Es war für jede Bedingung immer nur ein Set von Karten aufgebaut. Bei der Positionierung der Karten galten die gleichen Regeln wie im Vorversuch (eine pro Quadrant, nicht auf Standardwinkeln). Das Set A bestand aus den im Vorversuch bereits verwendeten Karten (vgl. Abbildung 2). Der Mittelpunkt des Kreises war wie im Vorversuch zur Orientierung mit Klebeband auf dem Boden markiert.

Die vier neuen Karten des Set B wurden spiegelbildlich (Spiegelachse: x-Achse) zum Set A positioniert, um zu gewährleisten, dass beide Sets über einen ähnlichen Schwierigkeitsgrad verfügten (s. Abbildung 4 und Abbildung 5). Bei der Auswahl der Objekte für das Set B galten dieselben Regeln wie für das Set A (zwei Silben, semantische Distanz).

Für die beiden Laufbedingungen wurden zwei Laufwege bestimmt (s. Abbildung 6). Es wurde darauf geachtet, dass beide Laufwege gleich lang waren, in der Mitte des Kreises begannen und endeten, die Orientierung der Versuchsperson am Start des Weges dieselbe war wie am Ende und die Größe und Anzahl an Drehungen gleich war. Einer dieser Laufwege lag vollständig im Versuchsraum. Dieser Weg wird im Folgenden als interner Weg oder als Interner-Weg-Kondition bezeichnet.

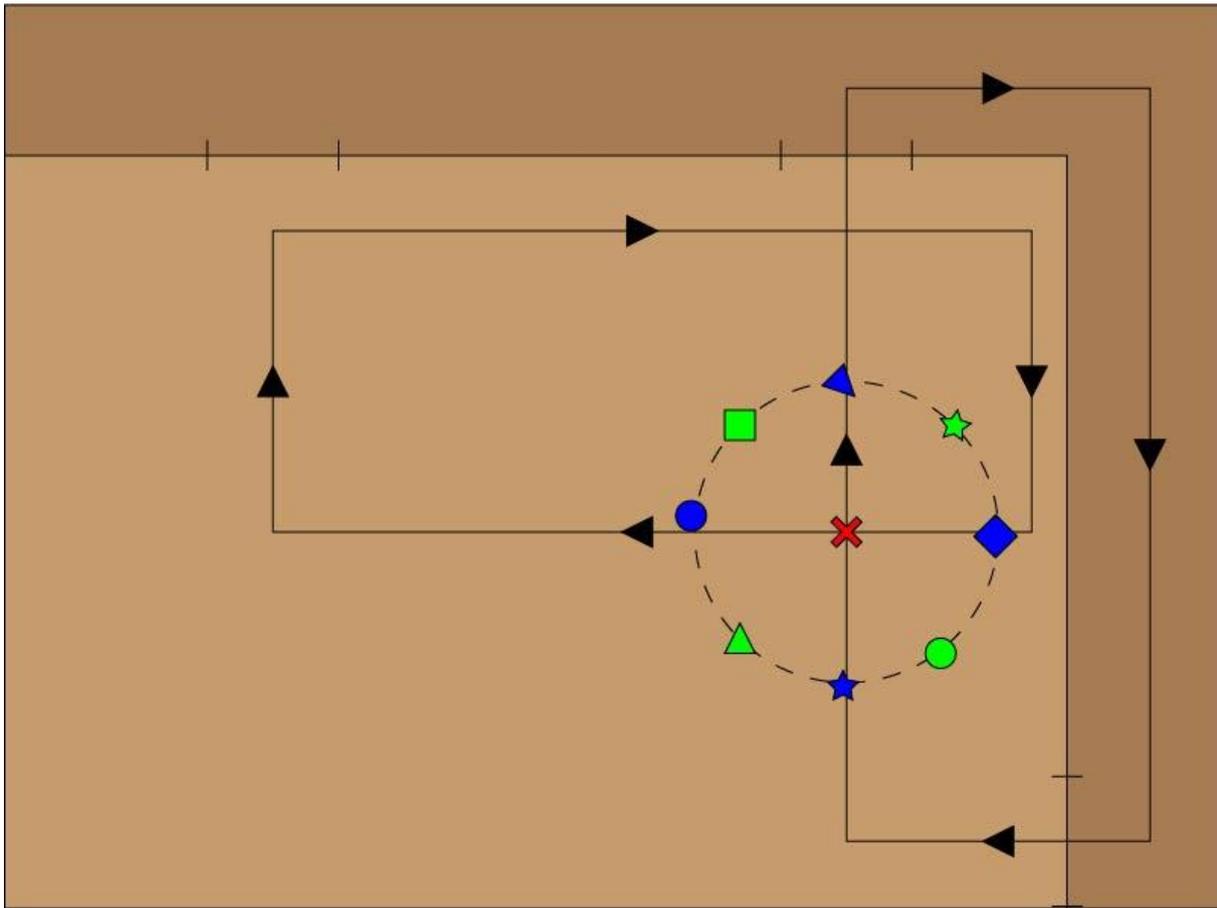


Abbildung 6: Schematische Darstellung der beiden Laufwege, die im Hauptversuch verwendet wurden. Die Ausgangs- und Endposition beider Wege ist identisch und mit einem roten Kreuz markiert. Der hellbraune Bereich stellt den Versuchsraum dar und der dunkelbraune Bereich den Flur außerhalb dieses Raumes. Die Größe des Versuchsraums betrug 6 x 8,4 m. Die beiden Sets sind mit grünen bzw. blauen Symbolen dargestellt. Die Positionen entsprechen nicht den im Hauptversuch verwendeten Positionen. Siehe Abbildung 5 für die genauen Positionen.

Dagegen führte der andere Weg durch eine Tür aus dem Raum hinaus, durch einen kurzen Gang und dann durch eine weitere Tür wieder in denselben Versuchsraum zurück. Dieser Weg wird im folgenden Text als externer Weg oder als Externer-Weg-Kondition bezeichnet. Die Türen, die auf diesem Weg durchquert werden mussten, waren verschlossen und wurden nur für das Durchqueren kurz geöffnet, um den Kontextwechsel zu verdeutlichen. Beim Weg durch den Gang wurde darauf geachtet etwaige Ablenkungen durch unbeteiligte Personen zu minimieren. Auf dem internen Weg wurde an der Stelle der Türen des externen Weges eine kurze Pause (ca. 2 Sekunden) eingelegt, damit die beiden Wege bis auf den Kontextwechsel möglichst identisch blieben.

Zum Messen der Zeigeleistung wurde derselbe Virtual-Reality-Controller und dasselbe Tracking-System verwendet wie im Vorversuch. Des Weiteren wurden die Daten mit demselben Computer aufgezeichnet.

3.2.3. Versuchsdesign:

Das Experiment bestand aus zwei Teilen, die von jeder Versuchsperson nacheinander absolviert wurden. Je Teil wurde jeder Versuchsperson ein Set und ein Weg zugeordnet (s. Tabelle 1). Das Set und der Weg waren im zweiten Teil für jede Versuchsperson anders als im ersten Teil, d.h., wenn eine Versuchsperson beispielsweise Set A und den internen Weg im ersten Teil hatte, hatte sie Set B und den externen Weg im zweiten Teil. Damit waren der Weg und das Set die unabhängigen Variablen des Experimentes. Beide waren Within-Subject-Variablen. Eine weitere unabhängige Variable war die Reihenfolge der Wege, d.h. manche Versuchspersonen durchliefen zuerst den internen Weg und danach den Externen und andersherum. Die Reihenfolge war eine Between-Subject-Variable. Set, Weg und Reihenfolge wurden durch das unterschiedliche Eintreffen der Versuchspersonen randomisiert.

Tabelle 1: Zuordnungen der Sets und Wege für jede Versuchsperson.

Versuchsperson	Set in Teil I	Weg in Teil I	Set in Teil II	Weg in Teil II
1	B	Extern	A	Intern
2	B	Intern	A	Extern
3	A	Extern	B	Intern
4	A	Intern	B	Extern
5	B	Extern	A	Intern
6	B	Intern	A	Extern
7	A	Extern	B	Intern
8	A	Intern	B	Extern
9	B	Extern	A	Intern
10	B	Intern	A	Extern

Das Set und der Weg waren die einzigen Faktoren, die unterschiedlich zwischen den beiden Teilen des Experimentes waren. Jeder Teil bestand aus vier Abschnitten. Im ersten Abschnitt lernten die Versuchspersonen die Namen und Positionen der jeweiligen Karten, im zweiten Abschnitt durchliefen sie die Kontext-Manipulation, der dritte Abschnitt bestand aus einer Messung, die im folgenden Text als Phase I bezeichnet wird und der vierte Abschnitt bestand aus einer weiteren Messung, die im folgenden Text als Phase II bezeichnet wird. In Phase I wurde jede der vier Karten viermal gemessen (16 Messungen). In Phase II wurden die Versuchspersonen nacheinander entsprechend vier verschiedener Orientierungen ausgerichtet und von jeder dieser Orientierungen zeigten die Versuchspersonen einmal auf jede der vier Karten (16 Messungen). Die Reihenfolgen der Karten und der Orientierungen wurden randomisiert. Allerdings waren sie für alle Versuchspersonen gleich.

Für die Art des Zeigens galten dieselben Regeln wie im Vorversuch, d.h., es sollte der rechte, ausgestreckte Arm benutzt werden, man durfte sich nicht auf der Stelle drehen, nur der Oberkörper durfte gedreht werden, der Ellenbogen durfte, falls nötig, angewinkelt werden, das Bestätigen des Zeigens sollte durch Drücken des Triggers erfolgen und die Versuchspersonen sollten so schnell und so genau wie möglich zeigen. Zusätzlich zum Vorversuch wurden sie nun auch angewiesen eine andere Taste als den Trigger auf dem Controller zu drücken sobald sie den Namen einer der Karten hörten. Diese Taste wird im weiteren Text als Bestätigungstaste bezeichnet. Die Bestätigungstaste wurde zusammen mit dem Drücken des Triggers zur Bestimmung der Reaktionszeit verwendet.

Während des gesamten Experimentes wurde die Position und Orientierung sowie die Eingabe der Versuchsperson an den Tasten des Controllers gemessen und aufgezeichnet. Diese Daten wurden zur Berechnung des Winkelfehlers und der Reaktionszeit verwendet. Damit stellten diese Maße die abhängigen Variablen des Experimentes dar.

3.2.4. Allgemeiner Ablauf:

Vor Beginn des Experimentes wurde der Versuchsperson der grobe Versuchsablauf in schriftlicher Form geschildert. Außerdem wurde ihr das Zeigen mit dem Virtual-Reality-Controller vorgeführt.

Anschließend wurde die Versuchsperson dazu angeleitet, sich die Positionen und Namen der Karten einzuprägen. Während dieses Abschnittes durfte sie sich frei innerhalb des Kreises bewegen und drehen. Das Lernen war beendet, nachdem die Versuchsperson dem Experimentator mitgeteilt hatte, dass sie ihrer Meinung nach die Positionen und Namen der Karten gut genug erlernt hatte.

Daraufhin wurde ihr Lernerfolg durch den Experimentator abgefragt. Dazu wurde sie angewiesen sich in die Mitte des Kreises zu stellen und sich einer der vier Karten zuzuwenden. Danach verband sie sich die Augen und zeigte, auf Anweisung des Experimentators, nacheinander auf die vier Karten. In diesem Abschnitt fand keine Messung statt, aber die Richtigkeit des Zeigens wurde vom Experimentator überprüft. Nachdem die Versuchsperson einmal auf alle vier Karten gezeigt hatte, nahm sie die Augenbinde wieder ab und wurde vom Experimentator auf etwaige Fehler oder Ungenauigkeiten beim Zeigen hingewiesen. Anschließend richtete sie sich auf eine neue Karte aus, setzte die Augenbinde wieder auf und zeigte wieder auf alle vier Karten.

Dies wurde solange wiederholt, bis die Versuchsperson allen Karten einmal zugewandt war und von der entsprechenden Position auf alle vier Karten richtig gezeigt hat. Das Lernen wurde wiederholt, falls die Versuchsperson grobe Fehler bei der Abfrage des Lernerfolgs machte. Allerdings kam dies bei keiner der Versuchspersonen vor.

Falls das Lernen erfolgreich war, wurde die Versuchsperson angewiesen, ihre Augenbinde nicht abzunehmen. Die Augenbinde wurde erst abgenommen, nachdem der Experimentator die vier Ständer mit den Karten außer Sichtweite der Versuchsperson gebracht hatte.

Im Anschluss an die Abfrage des Lernerfolgs erfolgte die Kontext-Manipulation. Hierbei wurde die Versuchsperson je nach der Weg-Bedingung entlang des internen bzw. externen Weges geführt. Es wurde darauf geachtet, dass Versuchspersonen mit Sehschwäche ihre Brille für diesen Abschnitt aufsetzten. Die Versuchsperson folgte dem Experimentator, der vorausging. Die beiden Türen, die auf dem externen Weg lagen, wurden nur zum Durchqueren kurz geöffnet und dann sofort wieder verschlossen. Kurz vor der letzten Drehung auf dem Weg setzte die Versuchsperson die Augenbinde wieder auf und wurde das letzte Stück bis zum Mittelpunkt des Kreises vom Experimentator geführt. Dies war eine Vorsichtsmaßnahme, um die Sicht auf etwaige Landmarken, die der Versuchsperson beim Erinnern der Kartenpositionen hätten helfen können, zu versperren.

Nachdem die Versuchsperson wieder mit verbundenen Augen in der Mitte des Kreises stand, je nach Weg entsprechend ausgerichtet war (s. Abbildung 5) und ihr dies mitgeteilt wurde, erfolgte Phase I. Hierzu wurde der Versuchsperson der Zeige-Controller in die rechte Hand gegeben und dann die Karten vom Experimentator angesagt. Jedes Mal, wenn die Versuchsperson den Namen einer Karte hörte drückte sie auf die Bestätigungstaste, zeigte mit dem Controller auf die Position der genannten Karte und drückte den Trigger, um das Zeigen zu bestätigen. Während Phase I war es der Versuchsperson nicht erlaubt sich auf der Stelle zu drehen. Phase I war beendet, nachdem auf jede der vier Karten jeweils viermal gezeigt wurde (16 Messungen).

Direkt anschließend an Phase I wurde Phase II durchgeführt. Es fand keine Pause zwischen den beiden Phasen statt und die Versuchsperson stand immer noch in der Mitte des Kreises mit verbundenen Augen. Sie wurde vom Experimentator auf eine ihrer Schultern getippt und drehte sich dann auf der Stelle in die entsprechende Richtung. Falls sie auf die linke Schulter getippt wurde, drehte sie sich nach links und umgekehrt. Sie drehte sich solange bis der Experimentator „Stopp“ sagte.

Das Tempo der Drehung wurde nicht vorgegeben, sondern der Versuchsperson überlassen. Nachdem sie gestoppt hatte, wurden vom Experimentator wieder die Namen der Karten angesagt. Die Versuchsperson zeigte dann, genau wie in Phase I, wieder auf die genannten Karten.

Jede der vier Karten wurde einmal genannt bevor der Experimentator der Versuchsperson wieder auf eine Schulter tippte und der ganze Prozess von vorne begann. Dies wurde für insgesamt vier verschiedene Ausrichtungen wiederholt, sodass insgesamt sechzehn Messungen aufgezeichnet wurden.

Nach Phase II war der erste Teil des Experiments beendet und es wurde eine kurze Pause von fünf Minuten eingelegt, in der die Versuchsperson den Raum verließ und vom Experimentator die vier Karten des jeweilig anderen Sets im Versuchsraum aufgebaut wurden. Dann erfolgte der zweite Teil des Experiments, der identisch mit dem Ersten war. Allerdings wurde im zweiten Teil ein anderer Weg und ein anderes Set als im Ersten verwendet.

3.2.5. Analyse:

Die Daten wurden zuerst in MATLAB (Version R2016a mit Circular Statistics Toolbox) aufbereitet und später in IBM SPSS 22 statistisch analysiert. Zuerst wurden die gesamten Daten in MATLAB grafisch dargestellt und etwaige problematische Messungen wurden aufgrund dieser Darstellung individuell vom Experimentator entfernt. Bei problematischen Messungen handelte es sich um Messungen, die doppelt vorlagen, das Tracking-System die Position des Controllers nicht korrekt aufzeichnen konnte oder die Versuchsperson offensichtlich versehentlich eine der Tasten am Controller gedrückt hatte. Aus diesen aufbereiteten Daten wurde dann der Winkelfehler und die Reaktionszeit in MATLAB berechnet. Der Winkelfehler wurde als Differenz des Winkels, der aus der Rotationsmatrix des Controllers berechnet wurde, und dem realen Winkel zur jeweiligen Karte berechnet. Der reale Winkel wurde als Winkel zwischen der Geraden, die durch die Position des Controllers und der Position der jeweiligen Karte definiert wurde, und einer der beiden Raum-Koordinatenachsen definiert (s. Abbildung 7). Die Reaktionszeit wurde als die Zeit zwischen dem Drücken der Bestätigungstaste und dem Drücken des Triggers definiert.

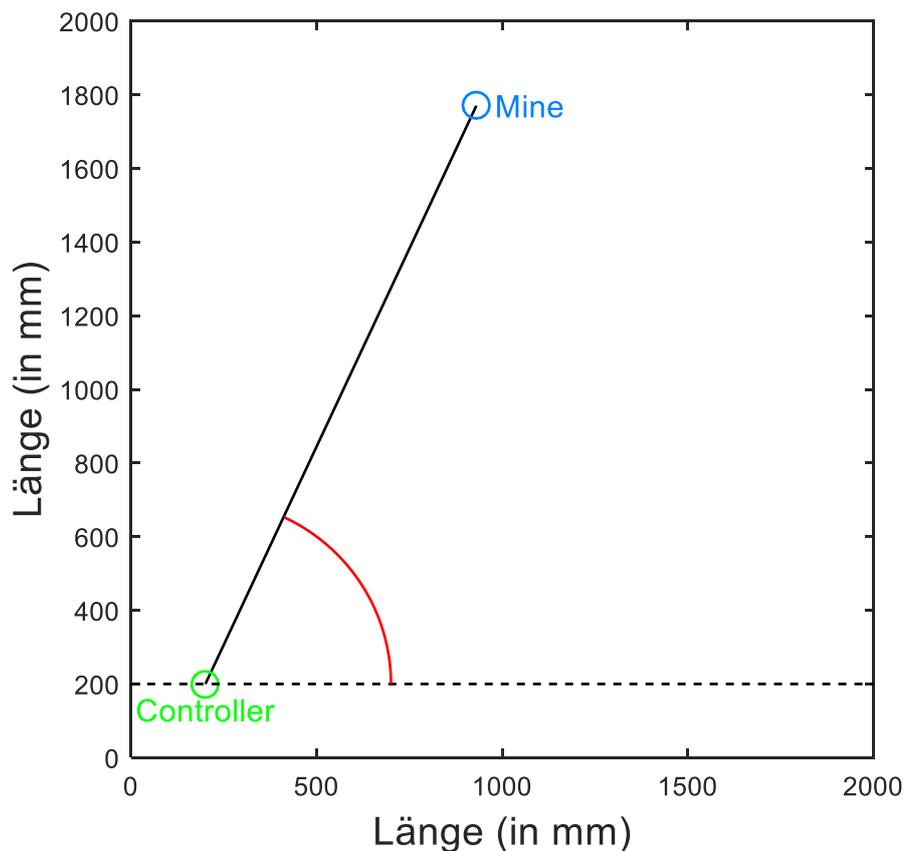


Abbildung 7: Beispielhafte Darstellung der Definition des realen Winkels. Die schwarze Linie verbindet die Position des Controllers mit der Position der Mine. Die gestrichelte Linie verläuft durch die Position des Controllers und parallel zur x-Achse. Der reale Winkel ist der Winkel zwischen der schwarzen Linie und der gestrichelten Linie und ist hier als roter Kreisabschnitt dargestellt.

Für jede Versuchsperson wurde der Mittelwert des Winkelfehlers, der Mittelwert des absoluten Winkelfehlers und die Reaktionszeit getrennt nach der Interner- bzw. Externer-Weg-Kondition und den beiden Phasen berechnet (s. Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5 im Anhang). Die beiden Winkelfehler werden im weiteren Text als Fehlermaß I bzw. Fehlermaß II bezeichnet. Mit diesen Mittelwerten wurde eine ANOVA in SPSS durchgeführt. Alle statistischen Werte im Ergebnisteil (Statistische Signifikanz, Effektstärke usw.) gehen aus dieser ANOVA hervor. Ein Unterschied wurde als statistisch signifikant definiert, wenn das Signifikanzniveau kleiner als fünf Prozent war und wird in diesem Fall als $p < 0,05$ im Ergebnisteil angegeben.

4. Ergebnisse

4.1. Vorversuch

Der Mittelwert und der Median des Fehlermaßes I waren sehr klein und waren fast identisch (-0,20 bzw. -0,06 Grad) (s. Abbildung 8 a). Die Standardabweichung war auch klein ($\pm 1,67$ Grad). Außerdem waren die Messwerte relativ gleichmäßig um den Nullpunkt verteilt.

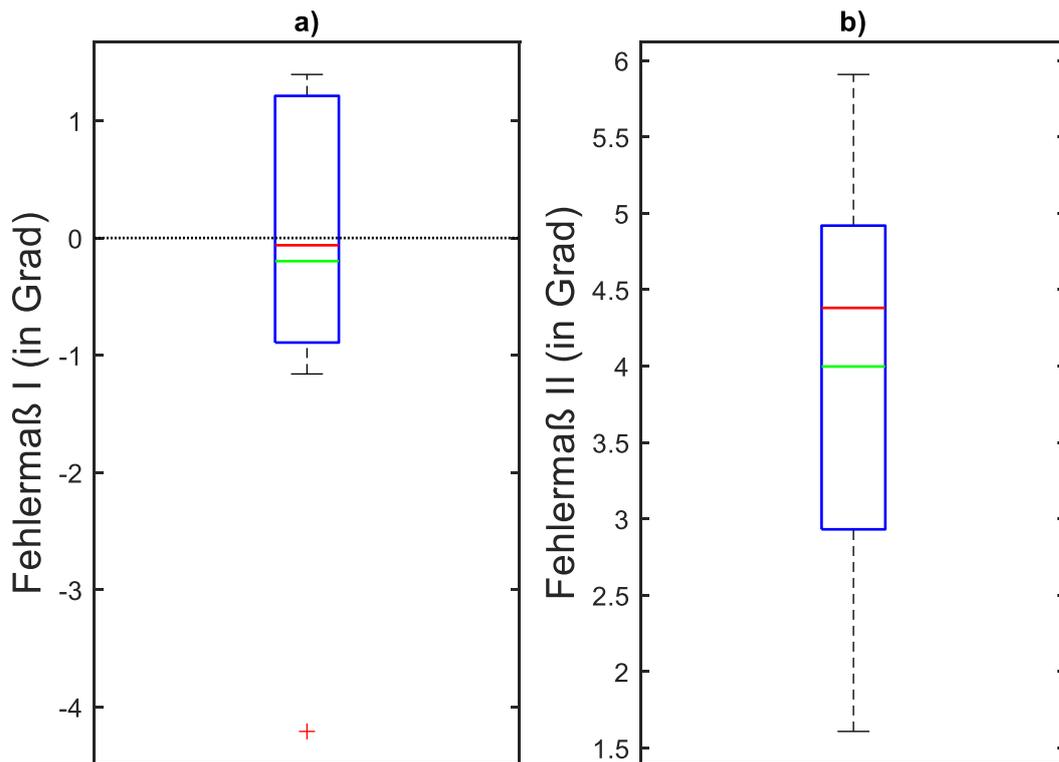


Abbildung 8: Box-Plots des Fehlermaß I (a) bzw. Fehlermaß II (b) des Vorversuchs. Auf der y-Achse ist das Fehlermaß in Grad aufgetragen. Der Mittelwert ist als grüne Linie dargestellt und der Median als rote Linie. Die roten Kreuze zeigen die Ausreißer an. Ausreißer sind alle Werte, die größer als $q_3 + 1,5 * (q_3 - q_1)$ oder kleiner als $q_1 - 1,5 * (q_3 - q_1)$ sind. q_1 und q_3 sind hier das untere bzw. obere Quartil.

Der Mittelwert des Fehlermaßes II im Vorversuch war ebenfalls relativ klein (4,00 Grad) (s. Abbildung 8 b). Der Median des Fehlermaßes II war leicht höher, aber immer noch relativ klein (4,38 Grad). Die Standardabweichung des Fehlermaßes II der Versuchspersonen war, wie bereits beim Fehlermaß I, klein ($\pm 1,29$ Grad).

4.2. Hauptversuch

4.2.1. Fehlermaß I:

Der Median des Fehlermaßes I in der Interner-Weg-Kondition war in Phase II höher als in Phase I (-2,15 gegenüber 7,59 Grad) (s. Abbildung 9). Der Mittelwert stieg ähnlich stark an (-1,86 gegenüber 9,75 Grad). Die Standardabweichung des Fehlermaßes I stieg aufgrund zweier Ausreißer in Phase II (rote Kreuze in Abbildung 9, Intern, Phase II) von Phase I auf II stark an ($\pm 17,80$ bzw. $\pm 41,10$ Grad).

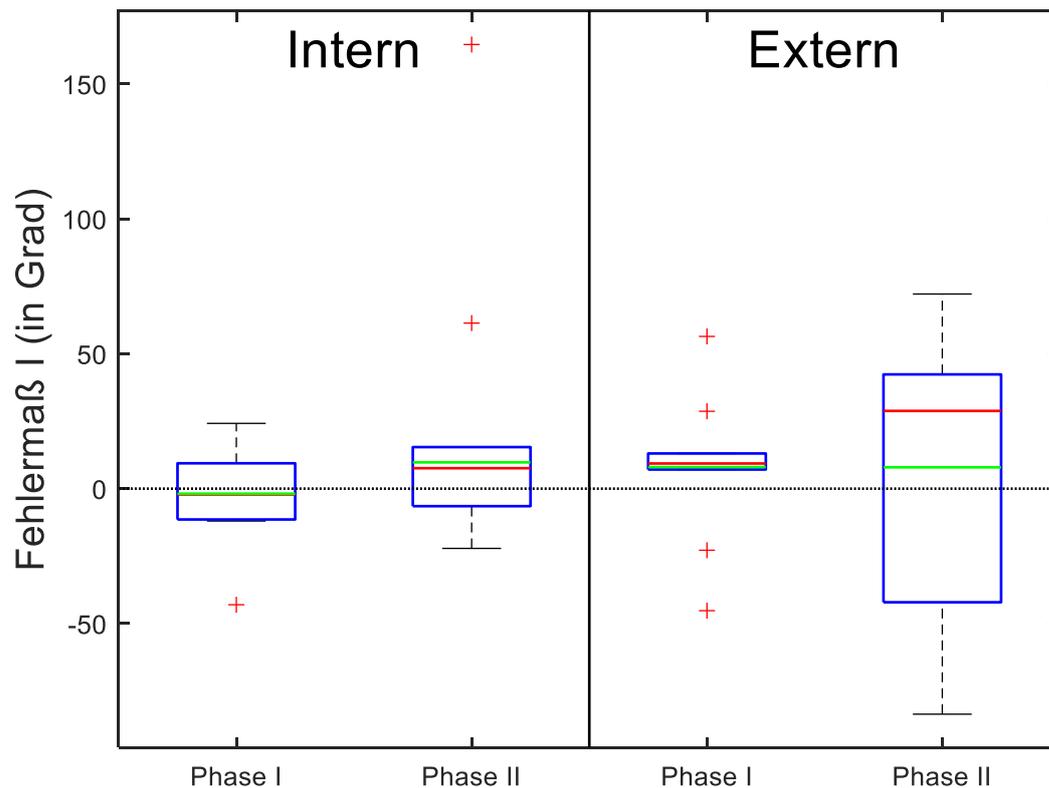


Abbildung 9: Box-Plots des Fehlermaß I getrennt nach internem bzw. externem Weg. Auf der x-Achse ist die jeweilige Phase aufgetragen und auf der y-Achse das Fehlermaß I in Grad. Der Mittelwert ist als grüne Linie dargestellt und der Median als rote Linie. Die roten Kreuze zeigen die Ausreißer an. Ausreißer sind alle Werte, die größer als $q_3 + 1,5 * (q_3 - q_1)$ oder kleiner als $q_1 - 1,5 * (q_3 - q_1)$ sind. q_1 und q_3 sind hier das untere bzw. obere Quartil.

Der Median des Fehlermaßes I in der Externer-Weg-Kondition stieg von der ersten auf die zweite Phase sehr stark an (9,34 gegenüber 28,82 Grad) (s. Abbildung 9). Der Mittelwert zwischen den beiden Phasen blieb allerdings weitestgehend gleich (8,01 gegenüber 7,91 Grad). Wie bereits im Falle der Interner-Weg-Kondition beobachtet stieg die Standardabweichung des Fehlermaßes I von Phase I auf II relativ stark an ($\pm 24,99$ gegenüber $\pm 49,39$ Grad).

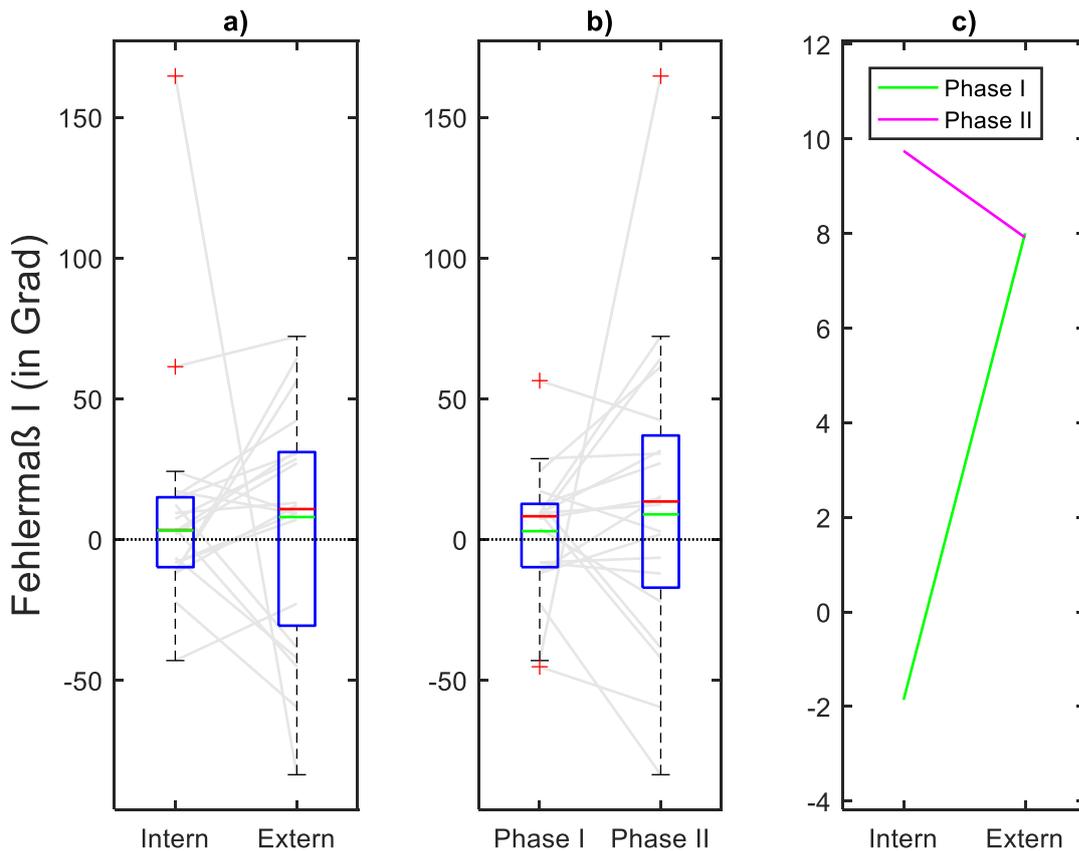


Abbildung 10: Box-Plots des Fehlermaß I getrennt nach den beiden Wegen (a) und den beiden Phasen (b). Der Mittelwert ist als grüne Linie dargestellt und der Median als rote Linie. Die grauen Linien verbinden jeweils die Messwerte derselben Versuchsperson zwischen den beiden Weg-Konditionen (a) bzw. den beiden Phasen (b). Schaubild c zeigt den Interaktionsplot zwischen den beiden Phasen bzw. Wegen. Auf der y-Achse ist jeweils das Fehlermaß I in Grad aufgetragen. Die roten Kreuze zeigen die Ausreißer an. Ausreißer sind alle Werte, die größer als $q_3 + 1,5 * (q_3 - q_1)$ oder kleiner als $q_1 - 1,5 * (q_3 - q_1)$ sind. q_1 und q_3 sind hier das untere bzw. obere Quartil.

Der Median des Fehlermaßes I war in der Externer-Weg-Kondition deutlich höher als in der Interner-Weg-Kondition (3,33 gegenüber 10,79 Grad) (s. Abbildung 10 a). Ähnlich verhielt es sich beim Mittelwert (3,22 gegenüber 7,97 Grad). Die Standardabweichung war ebenfalls leicht höher in der Externer-Weg-Kondition ($\pm 32,11$ gegenüber $\pm 39,14$ Grad). Dass der Unterschied nicht noch viel deutlicher ausfällt, ist zwei Ausreißern (rote Kreuze in Abbildung 10 a) in der Interner-Weg-Kondition geschuldet. Der Anstieg des Fehlermaßes I zwischen den beiden Konditionen war nicht signifikant ($F(1,8) = 0,097$; $p = 0,763$; $\eta_p^2 = 0,012$).

Das Fehlermaß I stieg von Phase I auf Phase II leicht an (s. Abbildung 10 b). Dies galt für den Median und den Mittelwert (8,25 gegenüber 13,49 bzw. 2,95 gegenüber 8,91 Grad). Die Standardabweichung war in Phase II deutlich höher als in Phase I ($\pm 22,21$ gegenüber $\pm 45,44$ Grad). Allerdings hatte die Phase keinen signifikanten Effekt auf das Fehlermaß I der Versuchspersonen ($F(1,8) = 1,054$; $p = 0,335$; $\eta_p^2 = 0,116$).

Die Reihenfolge der zwei Weg-Konditionen, d.h. die Tatsache, dass manche Versuchspersonen erst den internen und dann den externen Weg durchlaufen hatten bzw. andersherum, hatte ebenfalls keinen signifikanten Effekt auf das Fehlermaß I ($F(1,8) = 0,785$; $p = 0,402$; $\eta_p^2 = 0,089$).

Ebenso wenig interagierten die Reihenfolge mit den Weg-Konditionen oder der Phase des Experimentes ($F(1,8) = 1,944$; $p = 0,201$; $\eta_p^2 = 195$ bzw. $F(1,8) = 0,086$; $p = 0,777$; $\eta_p^2 = 0,011$). Des Weiteren konnte eine Interaktion zwischen den Weg-Konditionen und der Phase nicht beobachtet werden ($F(1,8) = 1,002$; $p = 0,346$; $\eta_p^2 = 0,111$) (s. Abbildung 10 c). Dasselbe galt auch für eine mögliche Interaktion zwischen allen drei Faktoren (Weg-Kondition, Phase und Reihenfolge) ($F(1,8) = 1,454$; $p = 0,262$; $\eta_p^2 = 0,154$).

4.2.2. Fehlermaß II:

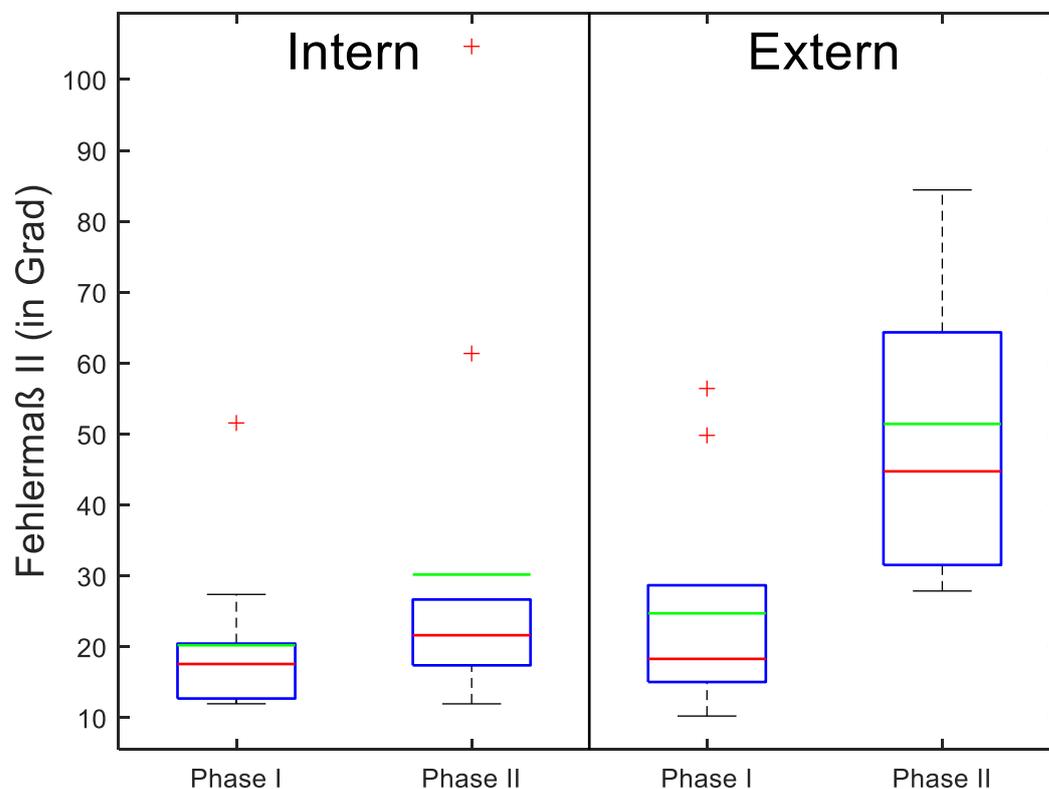


Abbildung 11: Box-Plots des Fehlermaß II getrennt nach internem bzw. externem Weg. Auf der x-Achse ist die jeweilige Phase aufgetragen und auf der y-Achse das Fehlermaß II in Grad. Der Mittelwert ist als grüne Linie dargestellt und der Median als rote Linie. Die roten Kreuze zeigen die Ausreißer an. Ausreißer sind alle Werte, die größer als $q_3 + 1,5 * (q_3 - q_1)$ oder kleiner als $q_1 - 1,5 * (q_3 - q_1)$ sind. q_1 und q_3 sind hier das untere bzw. obere Quartil.

Der Median des Fehlermaßes II war in Phase II der Interner-Weg-Kondition leicht höher als bei Phase I (17,59 gegenüber 21,65 Grad) (s. Abbildung 11). Ein wesentlich stärkerer Anstieg ließ sich beim Mittelwert feststellen (20,23 gegenüber 30,20 Grad). Die Standardabweichung war in Phase I weniger als halb so groß wie in Phase II ($\pm 11,22$ gegenüber $\pm 26,21$ Grad).

Beim Vergleich der beiden Phasen in der Externen-Weg-Kondition zeigte sich ein anderes Bild (s. Abbildung 11). Der Median des Fehlermaßes II in der zweiten Phase war fast zweieinhalbmal so groß wie in der ersten Phase (18,31 gegenüber 44,75 Grad). Beim Mittelwert war der Unterschied mit ungefähr Faktor Zwei etwas geringer (24,73 gegenüber 51,44 Grad). Die Standardabweichung des Fehlermaßes II stieg weniger stark an als bei der Interner-Weg-Kondition ($\pm 14,85$ gegenüber $\pm 19,61$ Grad), was zwei Ausreißern (rote Kreuze in Abbildung 11, Extern, Phase I) in der ersten Phase der Externen-Weg-Kondition geschuldet ist.

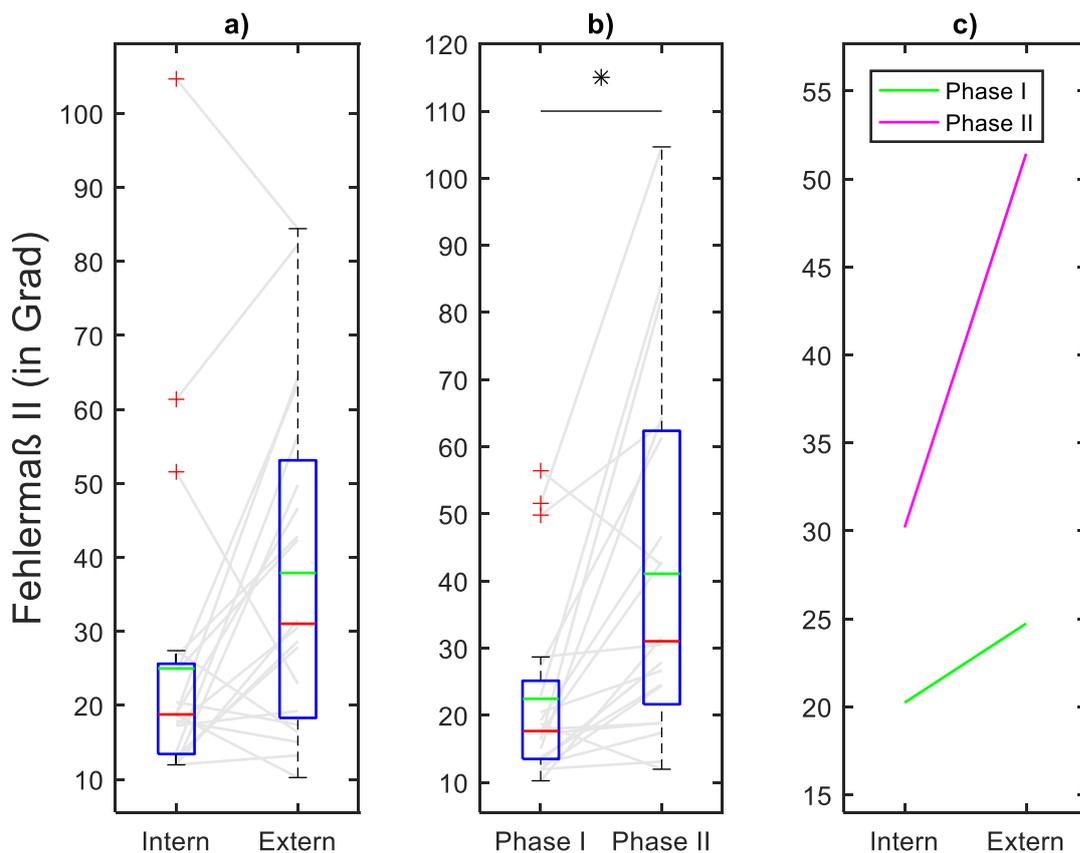


Abbildung 12: Box-Plots des Fehlermaß II getrennt nach den beiden Wegen (a) und den beiden Phasen (b). Der Mittelwert ist als grüne Linie dargestellt und der Median als rote Linie. Die grauen Linien verbinden jeweils die Messwerte derselben Versuchsperson zwischen den beiden Weg-Konditionen (a) bzw. den beiden Phasen (b). Schaubild c zeigt den Interaktionsplot zwischen den beiden Phasen bzw. Wegen. Auf der y-Achse ist das Fehlermaß II in Grad aufgetragen. Die roten Kreuze zeigen die Ausreißer an. Ausreißer sind alle Werte, die größer als $q_3 + 1,5 * (q_3 - q_1)$ oder kleiner als $q_1 - 1,5 * (q_3 - q_1)$ sind. q_1 und q_3 sind hier das untere bzw. obere Quartil.

Insgesamt war der Median des Fehlermaßes II in der Externen-Weg-Kondition deutlich höher als in der Internen-Weg-Kondition (18,78 gegenüber 31,04 Grad) (s. Abbildung 12 a). Dieser Anstieg war auch bei Betrachtung der Mittelwerte ausgeprägt, aber in einem etwas geringeren Ausmaß (24,99 gegenüber 37,91 Grad). Des Weiteren unterschieden sich die Standardabweichungen der beiden Weg-Konditionen nur minimal ($\pm 20,73$ gegenüber $\pm 21,72$ Grad).

Dieser Unterschied wird wesentlich größer, wenn man die drei Ausreißer in der Interner-Weg-Kondition vernachlässigt (rote Kreuze in Abbildung 12 a). Der Anstieg des Winkelfehlers von der Interner-Weg-Kondition zur Externer-Weg-Kondition war knapp nicht signifikant ($F(1,8) = 4,443$; $p = 0,068$; $\eta_p^2 = 0,357$).

Vergleicht man nur die beiden Phasen untereinander war der Median des Fehlermaßes II in Phase I ungefähr halb so groß wie in Phase II (17,66 gegenüber 31,04 Grad) (s. Abbildung 12 b). Praktisch dasselbe lässt sich für den Mittelwert sagen (22,47 gegenüber 41,09 Grad). Die Standardabweichung des Fehlermaßes II in Phase II war fast doppelt so groß wie in Phase I ($\pm 13,35$ gegenüber $\pm 25,28$ Grad). Die Varianzanalyse zeigte, dass die Phase tatsächlich einen signifikanten Einfluss auf das Fehlermaß II hatte ($F(1,8) = 8,582$; $p < 0,05$; $\eta_p^2 = 0,518$).

Eine signifikante Interaktion zwischen den Weg-Konditionen und der Phase konnte die Varianzanalyse ebenfalls nachweisen ($F(1,8) = 5,650$; $p < 0,05$; $\eta_p^2 = 0,414$) (s. Abbildung 12 c). Die Reihenfolge der Weg-Konditionen hatte auch beim Fehlermaß II keinen signifikanten Einfluss ($F(1,8) = 0,783$; $p = 0,402$; $\eta_p^2 = 0,089$) und die Reihenfolge interagiert nicht mit den Weg-Konditionen ($F(1,8) = 0,017$; $p = 0,899$; $\eta_p^2 = 0,002$), der Phase ($F(1,8) = 0,018$; $p = 0,896$; $\eta_p^2 = 0,002$) oder beiden ($F(1,8) = 1,834$; $p = 0,213$; $\eta_p^2 = 0,187$).

4.2.3. Reaktionszeit:

Anders als bei der Interner-Weg-Kondition stieg die Reaktionszeit bei der Externer-Weg-Kondition von Phase I zu Phase II minimal an (s. Abbildung 13). Der Median sank um nur zwei Prozent (1,43 gegenüber 1,40 Sekunden) und der Mittelwert stieg um neun Prozent (1,88 gegenüber 1,71 Sekunden). Die Standardabweichung der Reaktionszeit stieg, wie bereits zuvor in der Interner-Weg-Kondition beobachtet, wieder an. Allerdings wuchs sie diesmal um 31% ($\pm 1,25$ gegenüber $\pm 0,86$ Sekunden).

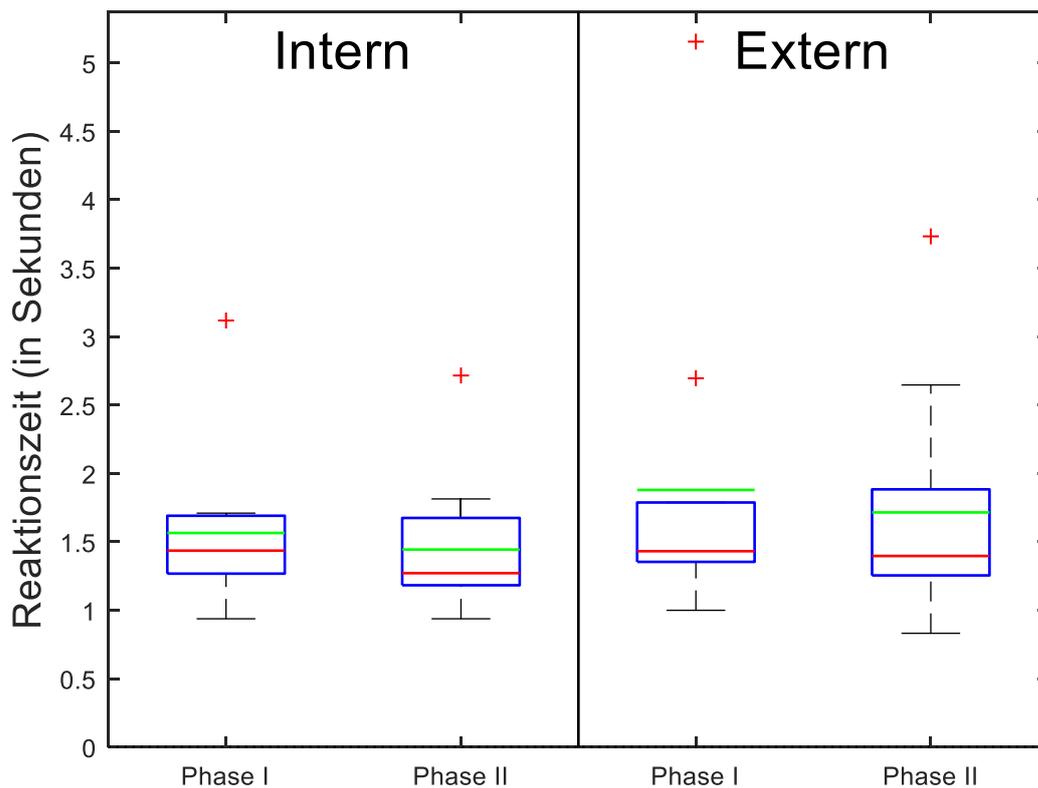


Abbildung 13: Box-Plots der Reaktionszeit getrennt nach internem bzw. externem Weg. Auf der x-Achse ist die jeweilige Phase aufgetragen und auf der y-Achse die Reaktionszeit in Sekunden. Der Mittelwert ist als grüne Linie dargestellt und der Median als rote Linie. Die roten Kreuze zeigen die Ausreißer an. Ausreißer sind alle Werte, die größer als $q_3 + 1,5 * (q_3 - q_1)$ oder kleiner als $q_1 - 1,5 * (q_3 - q_1)$ sind. q_1 und q_3 sind hier das untere bzw. obere Quartil.

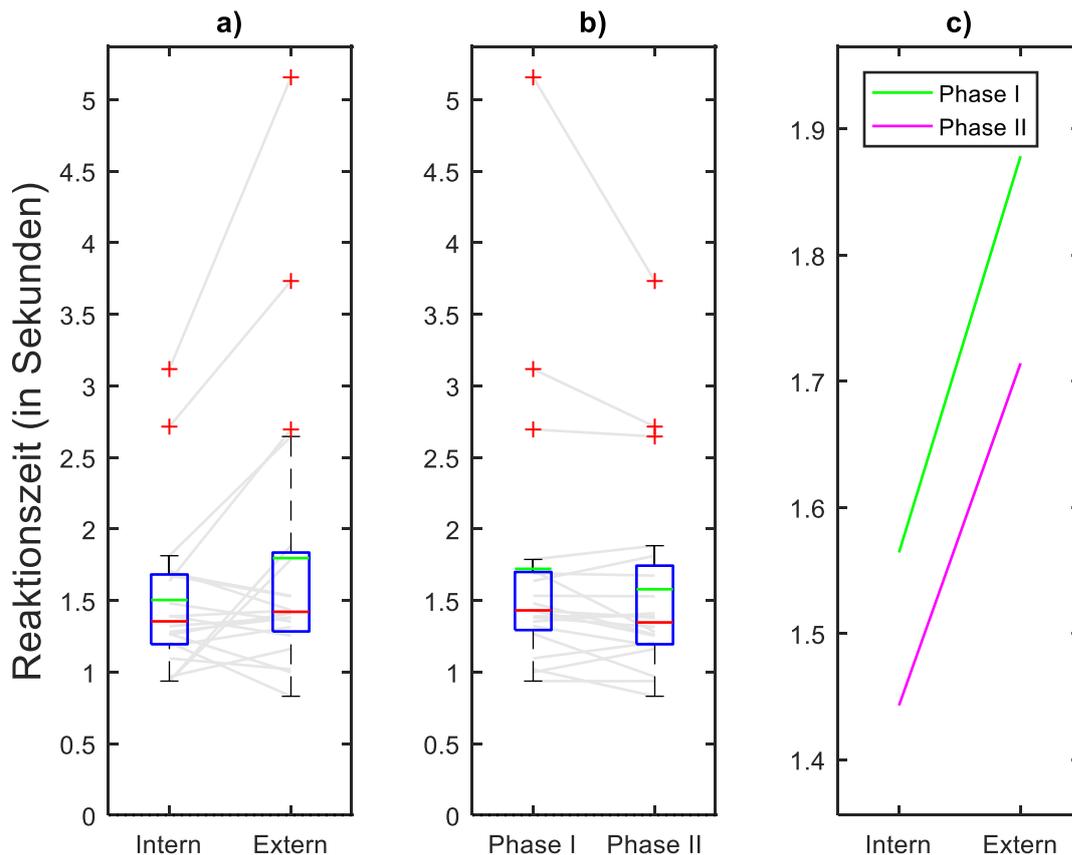


Abbildung 14: Box-Plots der Reaktionszeit getrennt nach den beiden Wegen (a) und den beiden Phasen (b). Der Mittelwert ist als grüne Linie dargestellt und der Median als rote Linie. Die grauen Linien verbinden jeweils die Messwerte derselben Versuchsperson zwischen den beiden Weg-Konditionen (a) bzw. den beiden Phasen (b). Schaubild c zeigt den Interaktionsplot zwischen den beiden Phasen bzw. Wegen. Auf der y-Achse ist jeweils die Reaktionszeit in Sekunden aufgetragen. Die roten Kreuze zeigen die Ausreißer an. Ausreißer sind alle Werte, die größer als $q_3 + 1,5 * (q_3 - q_1)$ oder kleiner als $q_1 - 1,5 * (q_3 - q_1)$ sind. q_1 und q_3 sind hier das untere bzw. obere Quartil.

Der Median der Reaktionszeit war in der Externer-Weg-Kondition fünf Prozent höher als in der Interner-Weg-Kondition (1,35 gegenüber 1,42 Sekunden) (s. Abbildung 14 a). Beim Mittelwert war der Unterschied mit siebzehn Prozent sogar noch deutlicher (1,50 gegenüber 1,80 Sekunden). Die Standardabweichung in der Externer-Weg-Kondition war fast doppelt so hoch wie in der Interner-Weg-Kondition ($\pm 0,55$ gegenüber $\pm 1,05$ Sekunden). Der minimale Anstieg der Reaktionszeit in der Externer-Weg-Kondition war beinahe signifikant ($F(1,8) = 4,118$; $p = 0,077$; $\eta_p^2 = 0,340$).

Verglichen mit Phase I lag der Median der Reaktionszeiten in Phase II deutlich niedriger (1,43 gegenüber 1,35 Sekunden) (s. Abbildung 14 b). Dieser Unterschied war beim Mittelwert sogar noch etwas stärker ausgeprägt (1,72 gegenüber 1,58 Sekunden). Die Standardabweichung fiel ebenfalls leicht ab ($\pm 0,97$ gegenüber $\pm 0,71$ Sekunden). Alles in allem war der Unterschied in den Reaktionszeiten zwischen den beiden Phasen aber nicht signifikant ($F(1,8) = 2,399$; $p = 0,160$; $\eta_p^2 = 0,231$).

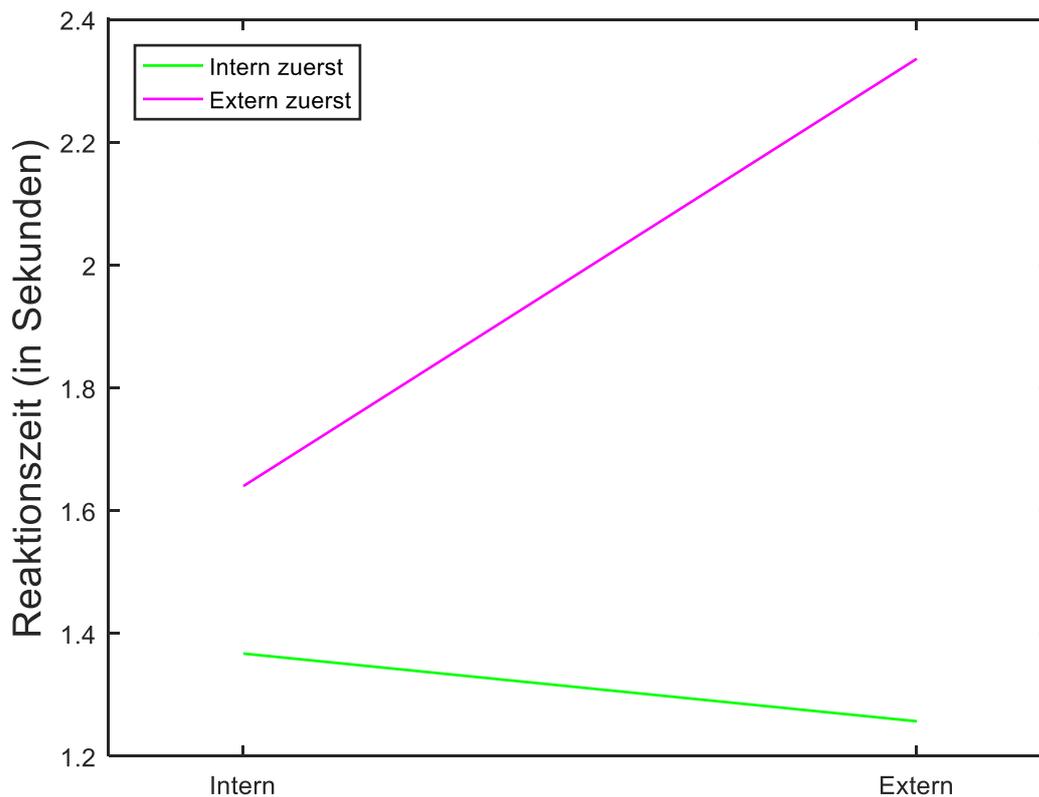


Abbildung 15: Interaktionsplot zwischen der Reihenfolge der Weg-Konditionen (Intern bzw. Extern zuerst) und den Weg-Konditionen (Intern bzw. Extern). Auf der y-Achse ist die Reaktionszeit in Sekunden dargestellt.

Eine Interaktion zwischen den Weg-Konditionen und den Phasen konnte ebenfalls nicht nachgewiesen werden ($F(1,8) = 0,094$; $p = 0,767$; $\eta_p^2 = 0,012$) (s. Abbildung 14 c). Des Weiteren hatte die Reihenfolge keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeit ($F(1,8) = 2,102$; $p = 0,185$; $\eta_p^2 = 0,208$). Allerdings interagierte die Reihenfolge mit den Weg-Konditionen ($F(1,8) = 7,883$; $p < 0,05$; $\eta_p^2 = 0,496$) (s. Abbildung 15). Die Reaktionszeit der Versuchspersonen, die zuerst die Interner-Weg-Kondition absolviert hatten, war in der Externer-Weg-Kondition acht Prozent niedriger als in der Interner-Weg-Kondition (1,37 gegenüber 1,26 Sekunden). Dagegen war die Reaktionszeit der Versuchspersonen, die zuerst die Externer-Weg-Kondition absolviert hatten, in der Externer-Weg-Kondition 42% höher als in der Interner-Weg-Kondition (1,64 gegenüber 2,34 Sekunden). Die Reihenfolge interagiert allerdings nicht mit der Phase des Experiments ($F(1,8) = 0,345$; $p = 0,573$; $\eta_p^2 = 0,410$) und eine Interaktion zwischen allen dreien (Weg-Kondition, Phase und Reihenfolge) gab es auch nicht ($F(1,8) = 0,742$; $p = 0,414$; $\eta_p^2 = 0,085$).

5. Diskussion

5.1. Vorversuch

Ziel dieses Versuches war es herauszufinden, wie präzise Versuchspersonen mithilfe des Virtual-Reality-Controllers (s. Abbildung 3) unter Sicht auf Karten in ihrer näheren Umgebung zeigen können.

Der Median und der Mittelwert des Fehlermaßes I waren sehr klein (s. Abbildung 8 a). Dies deutet darauf hin, dass die Versuchspersonen keinen oder einen vernachlässigbar kleinen systematischen Fehler beim Zeigen machten.

Das Fehlermaß II, das eine Aussage über die zufälligen Abweichungen vom tatsächlichen Winkel macht, war mit weniger als fünf Grad (Mittelwert und Median) ebenfalls relativ gering (s. Abbildung 8 b).

Alles in allem kann man aus diesen Ergebnissen schließen, dass das verwendete Messsystem gut geeignet zur Klärung der experimentellen Fragestellung ist.

5.2. Hauptversuch

Das Ziel des Hauptversuches war es herauszufinden, ob Versuchspersonen beim Zeigen auf zuvor erlernte Karten mehr Fehler machen oder mehr Zeit brauchen, wenn sie zuvor eine Tür durchquert haben als wenn nicht. Zur Untersuchung dieser Frage erlernten die Versuchspersonen im Hauptversuch die Positionen und Namen von vier Gegenständen. Anschließend liefen sie einen von zwei Wegen. Der eine Weg lag vollständig im Versuchsraum (interner Weg) und der andere Weg führte durch eine Tür aus dem Versuchsraum hinaus und durch eine weitere Tür wieder in denselben Versuchsraum zurück (externer Weg). Nach Durchlaufen einer der beiden Wege sollten sie auf die zuvor erlernten Karten, die nun aber nicht mehr sichtbar waren, zeigen.

Es wäre zu erwarten, dass die Versuchspersonen nach Durchlaufen des externen Weges mehr Fehler machen als nach Durchlaufen des internen Weges. Eine mögliche Erklärung für ein solches Ergebnis könnte das von Radvansky et al. (2010) postulierte Situationsmodell liefern. Danach legen Personen ein Situationsmodell ihrer Umgebung an, in dem Informationen mit verschiedenen Situationen oder in diesem Fall Räumen assoziiert sind. Der Übergang von einer Situation bzw. einem Raum zum Nächsten macht Informationen, die mit der alten Situation bzw. dem alten Raum assoziiert sind, schwerer abrufbar. Dieser Effekt wird Standortfortschreibungseffekt (engl. location updating effect) genannt (Radvansky et al., 2010).

Falls dieser Standortfortschreibungseffekt auf den Prozess der Positionsfortschreibung anwendbar ist, müssten die Positionen der Gegenstände im Arbeitsgedächtnis einer Versuchsperson mit dem Versuchsraum assoziiert sein. Folgendermaßen sollten das Durchqueren einer Tür und das Betreten eines anderen Raumes (hier der Gang vor dem Raum) eine Aktualisierung des Situationsmodelles der Versuchsperson zur Folge haben. Die Position der Gegenstände müsste dann weniger leicht zugänglich sein, da diese Informationen mit einer vergangenen Situation assoziiert sind. Demzufolge müsste die Versuchsperson einen größeren Fehler beim erneuten Zeigen auf die Gegenstände machen oder eine längere Reaktionszeit haben.

5.2.1. Fehlermaß I

Die Standardabweichungen des Fehlermaßes I stiegen sowohl in der Interner- als auch in der Externer-Weg-Kondition von Phase I zu Phase II deutlich an. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass sich die Versuchspersonen in Phase II um die eigene Achse drehen. Die Versuchspersonen müssen die Positionen der Karten über diese Rotationen hinweg fortschreiben. Dabei handelt es sich um eine Integrationsleistung, in die in diesem Fall hauptsächlich Signale des vestibulären Systems und der Propriozeption eingehen. Man kann mit relativer Sicherheit davon ausgehen, dass jedes dieser Systeme kleinere Fehler macht. Diese Fehler sollten sich über die Zeit zu einem größeren Fehler summieren, der für die größeren Standardabweichungen des Fehlermaßes I in Phase II wahrscheinlich verantwortlich ist.

Insgesamt gab es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Phase I und Phase II des Experimentes. Dies spricht dafür, dass die Rotationen der Versuchspersonen keinen systematischen Fehler verursacht haben, das heißt die Versuchspersonen machten keine größeren Fehler in eine bestimmte Richtung aufgrund der Rotationen in Phase II. Ein Grund dafür könnte gewesen sein, dass die Versuchspersonen sich abwechselnd und gleich oft nach links bzw. rechts drehten. Falls sie sich überwiegend nur in eine Richtung gedreht hätten, wäre ein systematischer Fehler in eine bestimmte Richtung eher zu erwarten gewesen.

Des Weiteren gab es auch keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Interner- und Externer-Weg-Kondition. Dies deutet darauf hin, dass der Standortfortschreibungseffekt, falls er tatsächlich in diesem Kontext überhaupt eine Rolle spielt, keinen systematischen Fehler in eine bestimmte Richtung zur Folge hat. Dies deckt sich mit der Annahme, dass der Standortfortschreibungseffekt alle Informationen, die mit einer vergangenen Situation assoziiert sind, weniger verfügbar macht (Radvansky et al., 2010).

Außerdem hatte die Reihenfolge in der die Versuchspersonen die beiden Weg-Konditionen absolvierten keinen statistisch signifikanten Einfluss auf das Fehlermaß I, das heißt die Versuchspersonen zeigten beispielsweise nicht eher nach links als nach rechts, falls sie zuerst die Externer-Weg-Kondition absolviert hatten. Dies spricht dafür, dass es in der jeweils ersten Weg-Kondition keine Faktoren gab, die sich in Form eines systematischen Fehlers auf die jeweils nachfolgende zweite Weg-Kondition auswirkten.

5.2.2. Fehlermaß II

Das Fehlermaß II ist ein Maß für den absoluten Unterschied zwischen gezeigtem und tatsächlichem Winkel. Im Gegensatz zum Fehlermaß I wird hier die Richtung der Abweichungen, das heißt rechts oder links, nicht berücksichtigt, sondern nur der Betrag der Abweichung.

Wie bereits beim Fehlermaß I beobachtet, stieg die Standardabweichung des Fehlermaßes II sowohl in der Interner- als auch in der Externer-Weg-Kondition von Phase I auf Phase II deutlich an. Wie beim Fehlermaß I liegt dieser Anstieg wahrscheinlich an der Summation vieler kleiner Fehler, die durch Rotationen der Versuchspersonen in Phase II entstanden sind.

Die Versuchspersonen machten deutlich größere Fehler bei der Externer-Weg-Kondition als bei der Interner-Weg-Kondition (s. Abbildung 12 a). Ein solcher Anstieg wäre zu erwarten gewesen, wenn der Standortfortschreibungseffekt tatsächlich eine Rolle beim Prozess der Positionsfortschreibung spielt. Allerdings war der Unterschied im Fehler zwischen den beiden Weg-Konditionen statistisch nicht signifikant ($p = 0,068$) könnte aber als Tendenz interpretiert werden. Dies spricht wiederum dafür, dass der Standortfortschreibungseffekt keine oder eine zu geringe Rolle spielt, um bei diesem Experiment einen statistisch signifikanten Effekt zu haben. Gegen ein Nichtvorhandensein eines Effektes spricht allerdings die relativ hohe Effektstärke ($\eta_p^2 = 0,357$). Anders als das Signifikanzniveau ist die Effektstärke weniger abhängig von der Anzahl der Versuchspersonen (Hussy & Jain, 2002). Da an diesem Experiment vergleichsweise wenig Versuchspersonen teilgenommen haben, könnte dies ein Grund für die fehlende statistische Signifikanz des Effekts gewesen sein.

Vergleicht man die beiden Phasen untereinander fällt auf, dass die Versuchspersonen wesentlich größere Fehler in Phase II machten als in Phase I (s. Abbildung 12 b). Für dieses Ergebnis war der Unterschied statistisch signifikant und die Effektstärke sehr hoch ($p < 0,05$; $\eta_p^2 = 0,518$). Dies ist nicht weiter verwunderlich, wenn man bedenkt, dass die Versuchspersonen in Phase II des Experimentes die räumlichen Informationen der vier Karten über vier verschiedene Rotationen hinweg aktualisieren mussten. In Phase I wurde eine solche Aktualisierung von den Versuchspersonen nicht verlangt.

Diese Aktualisierung der räumlichen Informationen der Karten erfolgt zwar relativ mühelos (Farrell & Robertson, 1998), aber wie bereits erwähnt hat es eine Vielzahl kleinerer Fehler zur Folge, die sich über die Zeit summieren.

Des Weiteren gab es eine ordinale Interaktion zwischen den beiden Weg-Konditionen und den beiden Phasen des Experimentes (s. Abbildung 12 c). Diese Interaktion war ebenfalls statistisch signifikant und hatte eine hohe Effektstärke ($p < 0,05$; $\eta_p^2 = 0,414$). Der Anstieg des Fehlers zwischen Phase I und Phase II war wesentlich stärker, wenn die Versuchspersonen die Externe-Weg-Kondition absolviert hatten. Beim Absolvieren der Interner-Weg-Kondition war der Anstieg zwar auch vorhanden, aber deutlich weniger ausgeprägt.

Eine Erklärung für diese Interaktion könnte das Vorhandensein zweier kognitiver Systeme, die auf räumlichen Repräsentationen unterschiedlicher Qualität basieren, liefern (Waller & Hodgson, 2006). Das erste System basiert auf kurzlebigen, dynamischen, räumlichen Darstellungen, die relativ präzise sind. Dieses System wird auch als „online“-System bezeichnet und basiert auf visuellen und idiothetischen Informationen. Allerdings kann es auch ohne visuelle Informationen für kurze Zeit funktional bleiben. Das dazugehörige „offline“-System basiert dagegen auf langlebigen, räumlichen Darstellungen, die verglichen mit dem „online“-System weniger präzise sind, aber dafür auch ohne externe Informationen abrufbar sind. Menschen wechseln vom „online“- zum „offline“-System, wenn Informationen über die Umgebung für eine relativ lange Zeit nicht mehr zur Verfügung stehen oder unzuverlässig sind (Waller & Hodgson, 2006).

Es wäre also denkbar, dass der über-additive Anstieg des Zeigefehlers in Phase II der Externer-Weg-Kondition dem Wechsel der Versuchspersonen vom „online“- zum „offline“-System geschuldet ist. Des Weiteren wäre es vorstellbar, dass dieser Wechsel durch eine Kombination des Positionsfortschreibungseffekts und der Rotationen in Phase II ausgelöst wurde. In diesem Fall hätte der Wechsel zum „offline“-System eine Herabsetzung der Genauigkeit der räumlichen Informationen zur Folge. Dadurch würde der Fehler der Versuchspersonen größer werden.

Wie bereits beim Fehlermaß I hatte die Reihenfolge, in der die Versuchspersonen die Weg-Konditionen absolvierten, keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Größe des Fehlermaßes II. Dies lässt darauf schließen, dass die Versuchspersonen im ersten Teil des Experimentes ihre Fähigkeit akkurat auf die Karten zu zeigen entweder nicht verbessert hatten, vernachlässigbar gering verbessert hatten oder ein etwaiger Leistungsanstieg nicht auf den zweiten Teil übertragbar war. Ein möglicher Grund für das Gleichbleiben der Leistung könnte die Tatsache gewesen sein, dass die Versuchspersonen zu keinem Zeitpunkt wussten, wie gut oder schlecht sie auf die Karten gezeigt hatten. Ein solches Feedback hätte ihnen bei der Verbesserung ihrer Leistung sicherlich geholfen.

Die Verwendung eines anderen Sets an Karten spielte sicherlich auch eine wichtige Rolle bei der Verhinderung eines Lerneffektes. Alles in allem kann man aus diesen Ergebnissen ableiten, dass das hier verwendete Within-Subject-Design ein adäquates Versuchsdesign zur Untersuchung der Zeigeeffekte darstellt.

5.2.3. Reaktionszeit

Die Reaktionszeit stieg von der Interner- zur Externer-Weg-Kondition leicht an (s. Abbildung 14 a). Dieser Anstieg war, wie der Anstieg des Fehlermaßes II zwischen den beiden Weg-Konditionen zuvor, nicht statistisch signifikant ($p = 0,077$), zeichnete sich aber durch eine relativ hohe Effektstärke ($\eta_p^2 = 0,340$) aus. Wie bereits beim Fehlermaß II könnte die fehlende statistische Signifikanz der geringen Anzahl an Versuchspersonen geschuldet sein. Die relativ große Effektstärke spricht dafür, dass der Positionsfortschreibungseffekt tatsächlich einen Effekt auf die Reaktionszeit haben könnte.

Interessanterweise war die Reaktionszeit in Phase II des Experimentes niedriger als in Phase I (s. Abbildung 14 b). Dies könnte Zufall sein, da der Unterschied nicht statistisch signifikant ($p = 0,160$) war. Dagegen spricht allerdings wieder einmal die Tatsache das die Effektstärke zwar niedriger als in anderen Fällen in diesem Experiment war, aber immer noch relativ groß ist ($\eta_p^2 = 0,231$). Aufgrund dessen ist es auch hier nicht auszuschließen, dass der Unterschied mit ein paar mehr Versuchspersonen statistisch signifikant werden könnte. Sollte dies der Fall sein, stellt sich natürlich die Frage wieso die Versuchspersonen in Phase II des Experimentes schneller antworten als in Phase I. Man sollte meinen, dass die zusätzliche kognitive Leistung, die das Fortschreiben der Kartenpositionen während der Rotationen in Phase II erfordert, eine Erhöhung der Reaktionszeit zur Folge hätte (Farrell & Robertson, 1998). Allerdings scheint das Gegenteil der Fall zu sein. Ein möglicher Grund dafür könnte sein, dass ein Großteil dieses zusätzlichen kognitiven Aufwands nicht in die Messung der Reaktionszeit eingeht, da die Kartenpositionen bereits während der Drehung automatisch fortgeschrieben werden und die Abfrage der Kartenpositionen und die damit einhergehende Messung der Reaktionszeit erst danach stattfindet. Dies würde erklären wieso die Reaktionszeit von Phase I auf Phase II nicht ansteigt, aber es erklärt nicht wieso sie absinkt. Ein möglicher Grund dafür könnte sein, dass die Versuchspersonen, wenn sie Phase II des Experimentes erreichen, die Positionen und Namen der Karten schneller miteinander verbinden können und nicht mehr solange darüber nachdenken müssen welche Karte an welcher Position stand. Es wäre auch vorstellbar, dass die Rotationen in Phase II eine Art Priming-Effekt zur Folge haben, der die Positionen der Karten im Arbeitsgedächtnis in den Vordergrund rückt. Deshalb könnten die Versuchspersonen bei der direkt auf die Rotation folgenden Abfrage weniger Zeit benötigt haben, um diese Informationen abzurufen.

Im Gegensatz zum Fehlermaß II konnte für die Reaktionszeit keine Interaktion zwischen den Weg-Konditionen und der Phase beobachtet werden. Sollte es also tatsächlich zu einem Wechsel vom „online“- zum „offline“-System räumlicher Darstellungen in Phase II der Externer-Weg-Kondition gekommen sein, hatte diese keinen Einfluss auf die Reaktionszeit. Dies könnte andeuten, dass das Abrufen von Informationen aus beiden Systemen gleich viel Zeit benötigt.

Wie bereits beim Fehlermaß I und II spielte die Reihenfolge auch bei der Reaktionszeit keine statistisch signifikante Rolle. Es gab also auch hier keinen Lerneffekt. Allerdings war die Interaktion zwischen der Reihenfolge und den Weg-Konditionen statistisch signifikant ($p = 0,05$) und hatte eine sehr hohe Effektstärke ($\eta_p^2 = 0,496$). Versuchspersonen, die zuerst die Interner-Weg-Kondition absolviert hatten, reagierten in der Externer-Weg-Kondition nur geringfügig schneller als in der Interner-Weg-Kondition. Dagegen reagierten Versuchspersonen, die zuerst die Externer-Weg-Kondition absolvierten, in der Externer-Weg-Kondition wesentlich langsamer als in der Interner-Weg-Kondition. Ein möglicher Grund dafür könnte gewesen sein, dass Versuchspersonen, die mit der Externer-Weg-Kondition begonnen hatten, nicht mit dem Ablauf des Versuches vertraut waren und gleichzeitig die kognitiv anspruchsvollere Weg-Kondition zuerst absolvieren mussten. Die anschließende Interner-Weg-Kondition war verglichen damit einfacher, da die Versuchspersonen den genauen Ablauf kannten und die Kondition an sich einfacher ist. Dies könnte der Grund gewesen dafür sein, wieso Versuchspersonen, die mit der Externer-Weg-Kondition begonnen hatten, in der Interner-Weg-Kondition schneller antworteten. Die Versuchspersonen, die dagegen mit der Interner-Weg-Kondition begonnen hatten, waren schon gut mit dem Ablauf des Experimentes vertraut, wenn sie dann schlussendlich zur anspruchsvolleren Externer-Weg-Kondition kamen. Diese Theorie würde den geringeren Abfall in der Reaktionszeit erklären.

5.2.4. Abschließende Worte

Alles in allem kann man aus diesen Ergebnissen nicht eindeutig schließen, ob der Positionsfortschreibungseffekt beim Prozess der Positionsfortschreibung eine Rolle spielt. Die fehlenden statistisch signifikanten Unterschiede von Fehlermaß II und Reaktionszeit zwischen der Interner- und der Externer-Weg-Kondition sprechen dagegen. Allerdings ist das Signifikanzniveau sehr abhängig von der Anzahl der Versuchspersonen. Mit ausreichend Versuchspersonen kann man auch einen geringen Effekt als statistisch signifikant identifizieren (Hussy & Jain, 2002). Allerdings spricht die Effektstärke in diesem Fall dafür, dass der Effekt nicht gering ist, da diese bei den Unterschieden von Fehlermaß I und Reaktionszeit zwischen Interner- und Externer-Weg-Kondition relativ hoch ist. Dies deutet an, dass ein Effekt vorhanden ist, der jedoch nicht statistisch signifikant wurde, weil die Anzahl der Versuchspersonen zu gering war. Es wäre demnach zu empfehlen, den Versuch mit einer vorher festgelegten, höheren Anzahl von Versuchspersonen weiterzuführen.

6. Literaturverzeichnis

- Farrell, M. J., & Robertson, I. H. (1998). Mental rotation and the automatic updating of body-centered spatial relationships. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 24(1), 227-233. doi:Doi 10.1037//0278-7393.24.1.227
- Hussy, W., & Jain, A. (2002). *Experimentelle Hypothesenprüfung in der Psychologie*: Hogrefe-Verlag.
- Klatzky, R. L., Loomis, J. M., Beall, A. C., Chance, S. S., & Golledge, R. G. (1998). Spatial updating of self-position and orientation during real, imagined, and virtual locomotion. *Psychological Science*, 9(4), 293-298. doi:Doi 10.1111/1467-9280.00058
- Loomis, J. M., Klatzky, R. L., & Giudice, N. A. (2012). Representing 3D Space in Working Memory: Spatial Images from Vision, Hearing, Touch, and Language *Multisensory Imagery* (pp. 131-155): Springer New York.
- Mallot, H. A. (2012). Wahrnehmung und Orientierung im Raum *Kognitive Neurowissenschaften* (pp. 217-224): Springer.
- Radvansky, G. A., & Copeland, D. E. (2006). Walking through doorways causes forgetting: Situation models and experienced space. *Memory & Cognition*, 34(5), 1150-1156. doi:Doi 10.3758/Bf03193261
- Radvansky, G. A., Tamplin, A. K., & Krawietz, S. A. (2010). Walking through doorways causes forgetting: Environmental integration. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(6), 900-904. doi:10.3758/Pbr.17.6.900
- Waller, D., & Hodgson, E. (2006). Transient and enduring spatial representations under disorientation and self-rotation. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 32(4), 867-882. doi:10.1037/0278-7393.32.4.867

7. Anhang

7.1. Vorversuch

Tabelle 2: Mittelwerte des Fehlermaßes I bzw. II aller Versuchspersonen im Vorversuch. Alle Mittelwerte sind in Grad angegeben.

Versuchsperson	Fehlermaß I	Fehlermaß II
1	-0,16	2,99
2	-1,16	5,22
3	-0,06	4,82
4	1,3	5,91
5	0,74	4,38
6	-0,8	3,58
7	1,4	1,61
8	-4,21	4,71
9	1,18	2,75

7.2. Hauptversuch

7.2.1. Fehlermaß I

Tabelle 3: Mittelwerte des Fehlermaßes I aller Versuchspersonen getrennt nach Interner- bzw. Externer-Weg-Kondition und der Phase des Experimentes. Alle Mittelwerte sind in Grad angegeben. Die letzte Spalte gibt Auskunft darüber, welche Weg-Kondition die jeweilige Versuchsperson zuerst absolviert hatte.

Versuchsperson	Intern		Extern		Reihenfolge
	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	
1	-8,27	-12,11	7,09	64,35	Extern
2	3,87	-22,13	-45,22	-59,61	Intern
3	24,2	61,37	9,32	72,14	Extern
4	-11,42	15,41	56,43	42,35	Intern
5	-11,98	1,88	12,23	27,12	Extern
6	-43,02	164,62	-22,82	-83,57	Intern
7	-8,16	-6,48	9,35	-42,1	Extern
8	17,21	2,79	9,15	31,55	Intern
9	7,34	14,58	28,69	30,52	Extern
10	9,41	12,39	13,05	-38,44	Intern

7.2.2. Fehlermaß II

Tabelle 4: Mittelwerte des Fehlermaßes II aller Versuchspersonen getrennt nach Interner- bzw. Externer-Weg-Kondition und der Phase des Experimentes. Alle Mittelwerte sind in Grad angegeben. Die letzte Spalte gibt Auskunft darüber, welche Weg-Kondition die jeweilige Versuchsperson zuerst absolviert hatte.

Versuchsperson	Intern		Extern		Reihenfolge
	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	
1	17,92	18,84	15,05	64,35	Extern
2	12,03	24,43	49,82	63,39	Intern
3	27,4	61,37	16,36	82,25	Extern
4	13,75	24,58	56,43	42,37	Intern
5	11,98	13,11	13,25	27,88	Extern
6	51,57	104,67	22,9	84,43	Intern
7	17,25	18,86	19,23	46,65	Extern
8	18,72	11,97	10,25	31,55	Intern
9	12,72	17,4	28,69	30,52	Extern
10	20,46	26,68	17,39	42,85	Intern

7.2.3. Reaktionszeit

Tabelle 5: Mittelwerte der Reaktionszeiten aller Versuchspersonen getrennt nach Interner- bzw. Externer-Weg-Kondition und der Phase des Experimentes. Alle Mittelwerte sind in Sekunden angegeben. Die letzte Spalte gibt Auskunft darüber, welche Weg-Kondition die jeweilige Versuchsperson zuerst absolviert hatte.

Versuchsperson	Intern		Extern		Reihenfolge
	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	
1	3,117	2,715	5,155	3,732	Extern
2	1,389	1,392	1,43	1,254	Intern
3	0,937	0,937	1,787	1,883	Extern
4	1,709	1,28	1,432	1,38	Intern
5	1,481	1,261	1,353	1,412	Extern
6	1,69	1,674	1,533	1,529	Intern
7	1,636	1,813	2,695	2,646	Extern
8	1,096	1,207	1,019	0,831	Intern
9	1,32	1,182	1,382	1,314	Extern
10	1,267	0,968	0,999	1,162	Intern