

Einfluss von Kontextwechsel auf die Positionsfortschreibung in virtueller Realität

Bachelorarbeit

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

Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaften

vorgelegt von

Ilja Mirsky

Tübingen, Mai 2017

Betreuer: PD Dr. rer. nat. Gregor Hardiess

Lehrstuhlinhaber: Prof. Dr. Hanspeter A. Mallot

Hiermit erkläre ich, dass ich diese schriftliche Abschlussarbeit selbständig verfasst habe, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt habe und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommenen Aussagen als solche gekennzeichnet habe.

Tübingen, den

Inhalt

ABSTRACT	5
1. Einleitung.....	6
1.1 Wahrnehmung und Orientierung im egozentrischen Bezugssystem.....	6
1.2 Positionsfortschreibung	7
1.3 Räumliches Abbild – als funktionales Modell.....	8
1.4 Standortfortschreibungseffekt und Positionsfortschreibungseffekt	10
1.5 Positionsfortschreibung und der Positionsfortschreibungseffekt	13
1.6 Motivation für das folgende Experiment	14
2. Material und Methoden	16
2.1 Teilnehmer	16
2.2 Genereller Versuchsaufbau	16
2.2.1 Versuchsaufbau im VR-Labor	19
2.2.2 Technische Daten der HMD Oculus Rift	20
2.2.3 Verdrehungswinkel der Koordinatensysteme.....	21
2.2.4 Versuchsaufbau der virtuellen Umgebung.....	23
2.3 Versuchsumgebungen in der VR	23
2.3.1 Lernphase	24
2.3.2 Abfrage Lernphase	25
2.3.3 Translationsphase.....	26
2.3.4 Erhebungsphase	26
2.4 Versuchsdesign.....	27
2.5 Allgemeiner Versuchsablauf.....	29
2.5.1 Vorbereitungen	29
2.5.2 Lernphase	29
2.5.3 Testphase	30
2.6 Rechnerische Analyse.....	31
3. Ergebnisse.....	34
3.1 Zeigewinkel (PA) und Winkel zum Objekt (OA) - konkretes Beispiel	34
3.2 RFE-Daten	35
3.3 RE – Daten	37
3.4 Reaktionszeiten	39
3.5 Weiterführende Ergebnisse: Abfall des RFE nach Translationsphasen.....	39
4. Diskussion.....	42
4.1 RFE – globaler Fehler	43
4.2 RE – lokaler Fehler	44

4.3	Reaktionszeiten	44
4.4	Abfall des RFE nach Translationsphasen	45
4.5	Problemanalyse und Fehlermaße.....	46
4.6	Abschlussbemerkung.....	47
5	Literaturverzeichnis.....	48
6	Anhang.....	49
6.1	Probandeninformation zum Experiment.....	49
6.2	RFE und RE Daten	50

ABSTRACT

In dieser Arbeit wird mit Hilfe eines Versuchsdesigns in einer virtuellen Realität (VR) untersucht, ob der Positionsfortschreibungseffekt (location updating effect) auf den Prozess der Positionsfortschreibung (spatial updating), einen Einfluss hat.

Der Positionsfortschreibungseffekt beschreibt die Tatsache, dass Informationen die in einem spezifischen Kontext gelernt werden, beispielsweise Objekte in einem Raum, beim Betreten eines neuen Raumes schlechter aus dem Arbeitsgedächtnis wieder abgerufen werden können, da ein Kontextwechsel stattfindet.

Die Positionsfortschreibung ist ein automatisch ablaufender und nicht bewusst unterdrückbarer Prozess, der es Menschen ermöglicht mit Hilfe von visuellen, vestibulären und propriozeptiven Informationen die Objektlokationen in einem egozentrischen Koordinatensystem kontinuierlich zu aktualisieren. Dieser Prozess im räumlichen Arbeitsgedächtnis ist dabei nicht auf alle Informationskanäle angewiesen, so, dass auf visuelle Informationen verzichtet werden kann.

Diese Arbeit baut auf einer früheren Bachelorarbeit auf und untersucht den Einfluss von dem Positionsfortschreibungseffekt auf die Positionsfortschreibung. Hierfür mussten die Versuchspersonen in einem virtuellen Raum 6 Objekte an ihren entsprechenden Objektlokationen lernen. Anschließend mussten die Personen eigenständig eine Translation im virtuellen Raum zu einer zweiten Abfrageposition durchführen. In der Bedingung ohne Kontextwechsel wurde diese Translation in einem großen Raum durchgeführt, in der Bedingung mit Kontextwechsel wurde der Raum zweigeteilt und die Translation erfolgte durch einen engen Spalt zwischen beiden Räumen. Anschließend wurden die Objektpositionen für 6 verschiedene Orientierungen des Probanden auf einem Drehstuhl sitzend, abgefragt. Pro Versuchsteil mussten 2 Translationen durchgeführt werden, da von 2 unterschiedlichen Positionen im Raum abgefragt wurde. Es wurde erwartet, dass der Positionsfortschreibungseffekt einen Einfluss auf die Positionsfortschreibung hat, und damit der Fehler bei Zeigevorgängen in der Bedingung mit Kontextwechsel größer wäre als in der Bedingung ohne Kontextwechsel.

In der Datenauswertung konnte kein statistischer Unterschied für beide Bedingungen festgestellt werden. Möglicherweise werden weitere Auswertungen der Daten dennoch neue Erkenntnisse zur Interaktion beider Prozesse des räumlichen Arbeitsgedächtnisses liefern.

1. Einleitung

1.1 Wahrnehmung und Orientierung im egozentrischen Bezugssystem

Wenn sich eine Person in einer realen Umgebung, zum Beispiel einem Raum mit verschiedenen Gegenständen bewegt, dann verändert sich permanent die Projektion der Umgebung auf der Retina (dt. Netzhaut) im Auge des Betrachters. Genauso kann sich die Projektion der Umgebung auf der Retina des Betrachters auch verändern, wenn die Person selber konstant auf einer Position lokalisiert bleibt und die Positionen der Gegenstände im Raum verändert werden. Bei beiden Veränderungsmöglichkeiten der relativen Positionen in der Umgebung des Betrachters, verändern sich die dargestellten Eigenschaften der Gegenstände, wie Größe und Orientierung auf der Retina des Betrachters (Wang & Simons, 1999). Obwohl sich die Darstellung unserer Umwelt auf der Retina sowohl bei Bewegungen vom Betrachter, als auch bei Veränderungen der Umgebung verändern und damit auch die visuellen Stimuli von Objekten sehr stark variieren, haben wir eine durchgehend stabile Wahrnehmung unserer Umwelt, welche wir unserem gesamten kognitiven System, insbesondere aber unserem visuellen System verdanken. Wang and Simons (1999) haben zwei Lösungsmöglichkeiten vorgeschlagen, mit Hilfe welcher diese Stabilität in der visuellen Wahrnehmung ermöglicht werden könnte. Der erste Lösungsansatz von Wang and Simons (1999) sieht vor, dass wir bestimmte konstant bleibende Merkmale (features) in unserer Umgebung als Ankerpunkte festlegen, die trotz Perspektivwechsel konstant auf unserer Retina präsentiert werden. Mit Hilfe dieser Ankerpunkte als konstant bleibende Merkmale könnte eine stabile Wiedererkennung von der Umgebung bei Perspektivänderungen des Betrachters, ermöglicht werden. Der zweite Lösungsansatz von Wang and Simons (1999) sieht die mentale Rotation und Interpolation beim Betrachter vor, mit Hilfe derer eine Wiedererkennung von Objekten aus verschiedenen Betrachtungsperspektiven möglich ist. Voraussetzung hierfür ist eine Objektrepräsentation im Raum, die auf den Betrachter bezogen ist, also somit nach Farrell and Robertson (1998) auf ein egozentrisches Bezugssystem (egocentric reference frame). Wenn sich die Person in der Umgebung bewegt, dann verändert sich somit nicht nur das Abbild der Gegenstände auf der Retina, sondern ebenso auch die räumlichen Beziehungen der Objekte zum Betrachter im egozentrischen Bezugssystem (Farrell & Robertson, 1998). Mit Hilfe dieses visuellen egozentrischen Bezugssystems ist es nun möglich die zum Betrachter relativen Positionen der Objekte zu beschreiben, wobei diese durch die multidimensionalen Wahrnehmungskanäle von Menschen aktualisiert werden können (Mallot, 2012; Wang & Simons, 1999).

1.2 Positionsfortschreibung

Diese Aktualisierung der egozentrischen (auf den Betrachter bezogenen) Positionsinformationen von Objekten in der direkten Umgebung erfolgt nach Mallot (2012) im räumlichen Arbeitsgedächtnis und wird Positionsfortschreibung (spatial updating) genannt. Wenn der Betrachter dazu aufgefordert wird, sich Eigenbewegungen wie Translationen und Rotationen nur vorzustellen, spricht man von Perspektivwechsel (perspective taking). Die Positionsfortschreibung beim Betrachter erfolgt auf Grundlage verschiedener Wahrnehmungskanäle, wie durch visuelle, olfaktorische und auditive Reize, aber auch durch das Vestibularsystem, mit welchem beschleunigende Bewegungen wahrgenommen werden. Die Positionsfortschreibung ist evolutionär betrachtet ein notwendiger Mechanismus, um mit möglichst wenigen Informationen der Umwelt, wie z.B. dem Sonnenstand, möglichst sicher und präzise in der Umgebung navigieren zu können. Mit Hilfe der Positionsfortschreibung ist es möglich automatisch den Heimvektor, also bei Navigationsaufgaben die Richtung von der aktuellen Position zum Startpunkt, anzuzeigen (Mallot, 2012). Zurückgelegte Entfernungen in der Umgebung können mit Hilfe des Lage- und Bewegungssinn der Muskulatur und durch Efferenzkopien zentraler Steuersignale auch im räumlichen Arbeitsgedächtnis integriert werden (Mallot, 2012). Somit wird im räumlichen Arbeitsgedächtnis durch die Positionsfortschreibung sowohl bei Bewegungen im Raum (Translationen), als auch bei Drehungen um die eigene Achse (Rotationen) mit Hilfe verschiedener Sinnesreize und durch Propriozeption das egozentrische Koordinatensystem aktualisiert und eine Beschreibung der Richtung und der Distanz zu Objekten in einem konkreten Bezugssystem ermöglicht. Ergänzend kann gesagt werden, dass nicht jede Bewegung in der Umwelt beim Betrachter mit Hilfe des räumlichen Arbeitsgedächtnisses und der Positionsfortschreibung beschrieben werden muss. Taxien, also Orientierungsreaktionen ermöglichen eine Navigation in der Umwelt, die ohne mentale Repräsentation und auch ohne Positionsfortschreibung ausgeführt werden können. Beispielweise wäre hierfür die Navigation in der Mitte einer Straße zu nennen, welche nur mit Hilfe der Veränderung des Optischen Flusses im visuellen System des Betrachters, erklärt werden kann (Mallot, 2012).

Durch das räumliche Arbeitsgedächtnis können somit wichtige Informationen bei der Positionsfortschreibung integriert werden, um zielsicher in der Umgebung zu navigieren. Allgemein kann gesagt werden, dass das räumliche Arbeitsgedächtnis für das Aktualisieren des Heimvektors bei Navigationsaufgaben, der Positionsfortschreibung und für Perspektivwechsel in der räumlichen und zeitlichen Umgebung des Betrachters verantwortlich ist.

Farrell and Robertson (1998) haben den Mechanismus der Positionsfortschreibung mit Hilfe von mentaler Rotation und automatischer Aktualisierung vom egozentrischen räumlichen Bezugssystem untersucht. Hierfür verglichen sie in ihrem within-subject Versuchsdesign vier Bedingungen der

Positionsfortschreibung bzw. des Perspektivwechsels miteinander. Den 16 Probanden wurden die Augen verbunden, anschließend mussten diese sieben Haushaltsgegenstände, die im Kreis um sie herumstehen, lernen. In der anschließenden Rotationsphase, wurde eine von vier möglichen Transformationen beziehungsweise Rotationen durchgeführt und anschließend die Positionen der Objekte abgefragt. In der ersten *Updating*-Bedingung sollten sie um die eigene vertikale Achse rotieren und danach in der Abfragebedingung auf die Gegenstände in ihrer initialen Position zeigen. Diese Versuchsanordnung entspricht einem klassischen Beispiel um die Positionsfortschreibung bei Probanden zu testen. In der zweiten *Imagination*-Bedingung, wurde ein Perspektivwechsel von den Probanden abverlangt, in dem sie sich vorstellen sollten, dass sie zusammen mit den Gegenständen um einen bestimmten Winkel rotiert sind. In der *Ignoring*-Bedingung wurden die Probanden wie in der ersten Bedingung um einen bestimmten Winkel rotiert. Im Gegensatz zur *Updating*-Bedingung sollten aber diese die Drehung ignorieren und sich vorstellen noch immer in der initialen Ausrichtung zu stehen und auf die ursprünglichen Positionen der Objekte während der Abfragephase zeigen. In der vierten *Control*-Bedingung wurden die Probanden zuerst um einen bestimmten Winkel rotiert und anschließend wieder zurückgedreht, so, dass sie wieder in der initialen Ausrichtung positioniert waren. Die Tatsache, dass in der *Ignoring*-Bedingung, die Reaktionszeit bei der Abfrage mit der Größe des Drehwinkels anstieg, spricht dafür, dass die Positionsfortschreibung ein automatischer Prozess ist und nicht bewusst unterdrückt werden kann. Die Autoren erklären den Anstieg der Reaktionszeit in der *Ignoring*-Bedingung dadurch, dass die Probanden bei der Abfrage der initialen Positionen der Gegenstände zuerst durch mentale Rotation in die initiale Ausrichtung zurückrotieren und anschließend die Position der Objekte wiedergeben (Farrell & Robertson, 1998). Somit ist ein bewusstes Ignorieren von Rotationen des eigenen Körpers nicht möglich. Auf Grund dieser Tatsache spricht man bei der Positionsfortschreibung auch unter anderem von der automatischen Positionsfortschreibung, da diese unbewusst und ohne Verbrauch von kognitiven Ressourcen, wie zum Beispiel Aufmerksamkeit erfolgt (Farrell & Robertson, 1998) und bei jeder Drehung automatisch auftritt (Riecke, Cunningham, & Bulthoff, 2007).

1.3 Räumliches Abbild – als funktionales Modell

Loomis, Klatzky, and Giudice (2013) stellen auf Grund vorheriger wissenschaftlicher Befunde eine Theorie auf, die beschreibt, wie ein Betrachter in seinem Arbeitsgedächtnis ein dreidimensionales funktionales räumliches Abbild seiner Umgebung mit Hilfe von verschiedenen auditiven, visuellen, haptischen und linguistischen Signalen erstellen kann. Dieses räumliche Abbild (*spatial image*) beschreiben Loomis et al. (2013) als funktionales Modell, das wichtige Informationen über die

Umgebung des Betrachters, wie zum Beispiel Entfernungen und Richtungen enthält. Das räumliche Abbild muss deutlich von visuellen Bildern unterschieden werden, die Farbe, Kontur und Textureigenschaften kodieren. Im Gegensatz zu einem räumlichen Abbild dienen visuelle Bilder von Gegenständen als fotografische Momentaufnahmen beziehungsweise bildliche Vorstellungen im menschlichen Gedächtnis. Diese Art von Bildern ist konstant vorhanden und verändert sich nicht im räumlichen Arbeitsgedächtnis, wenn sich die entsprechende Person beispielsweise im Raum bewegt. Weiterhin beschreiben visuelle Bilder nach Loomis et al. (2013) in der Regel nur Szenen aus dem anterioren Umfeld von Personen, also nur für den Betrachter mit seinen Augen sichtbare Gegenstände oder auch Szenen. Im Gegensatz dazu aktualisieren sich räumliche Abbilder nach Loomis et al. (2013) bei Bewegungen in der Umgebung und sind nicht nur auf den anterioren Bereich des Betrachters beschränkt. Ein räumliches Abbild existiert relative kurze Zeit im Arbeitsgedächtnis und in alle Richtungen ausgehend vom Betrachter. Weiterhin ist es nach dem Konzept von Loomis et al. (2013) losgelöst vom Betrachter, also external zum Körper und zum visuellen Sinnesorgan im Kopf. Prinzipiell ist dieses räumliche Abbild eine Wahrnehmungsrepräsentation (perceptual representation) unserer Umgebung, die wir täglich mit Hilfe unserer verschiedenen Sinnesorgane wahrnehmen und mit Hilfe von unseren kognitiven Fähigkeiten verarbeiten. Das räumliche Abbild entsteht also als Folge von der Wahrnehmung unserer Umwelt, die definitiv nicht nur auf visuellen Reizen basiert. Loomis et al. (2013) formulierten weiterhin aus, dass die Welt, die wir Tag ein, Tag aus wahrnehmen, eben nicht im physikalischen Sinne als die eine Welt beschrieben werden kann, sondern eben nur als eine mögliche Wahrnehmungsrepräsentation der physikalischen Welt. Diese Wahrnehmungsrepräsentation beruht dementsprechend auf visuellen, auditiven, haptischen und linguistischen Informationen über diese Umgebung, die wir Menschen in unserem Arbeitsgedächtnis integrieren. Nun ist es so, dass der Informationsgehalt über unsere Umgebung von unseren verschiedenen Sinnesorganen in Umfang und Form variiert. Beispielsweise hatten die Probanden, denen die Augen verbunden waren, in dem vorher beschriebenen Experimentaldesign von Farrell and Robertson (1998) keine Möglichkeit mit Hilfe von visueller Informationen während des Rotationsvorgang ein Abbild der Umwelt zu erstellen und zu integrieren. Deswegen beschreiben Loomis et al. (2013) das Modell des räumlichen Abbilds als amodal. Das bedeutet, dass das räumliche Abbild keine Informationen enthält, die modalitätsspezifisch sind, also auf einen bestimmten Wahrnehmungssinn, wie zum Beispiel auf visuelle Informationen zurückgeführt werden können. Das räumliche Abbild ist also nach Loomis et al. (2013) ein Modell, dass auf der multidimensionalen Wahrnehmung von unserer Umgebung beruht und weiterhin in kognitiven Verarbeitungsprozessen zum Beispiel linguistische Informationen oder Vorerfahrungen integriert und somit eine Wahrnehmungsrepräsentation unserer Umgebung im räumlichen Arbeitsgedächtnis amodal erzeugt.

Das von Loomis et al. (2013) beschriebene Konzept räumlicher Abbilder ist so ausgelegt, dass es auch in virtuellen Umgebungen mit hohem Immersionsgrad funktionieren kann, da räumliche Abbilder auch nur durch eine visuelle Erfassung der Umwelt möglich ist. Weiterhin ermöglicht das von Loomis et al. (2013) vorgeschlagene Konzept des räumlichen Abbildes die Möglichkeit Prozesse des räumlichen Arbeitsgedächtnisses wie die Positionsfortschreibung nach Farrell and Robertson (1998) zu integrieren.

1.4 Standortfortschreibungseffekt und Positionsfortschreibungseffekt

Mit Hilfe des Konzepts zu räumlichen Abbildern von Loomis et al. (2013) lässt sich die Repräsentation des Umraums im räumlichen Arbeitsgedächtnis beschreiben. Welche Effekte treten auf, wenn noch andere Bereiche des Arbeitsgedächtnisses zusätzlich zum räumlichen Arbeitsgedächtnis bei Bewegungen in der Umgebung in die kognitive Verarbeitung involviert werden? Radvansky and Copeland (2006) haben mit Hilfe eines Versuchsdesigns in einer virtuellen Umgebung die Interaktion von Probanden mit Objekten bei Bewegungen in virtuellen Räumen untersucht. Es ist bekannt, dass das Arbeitsgedächtnis nur eine bestimmte Kapazität für die Durchführung spezifischer Aufgaben hat (Logie, 2011). Dementsprechend ergibt sich die Frage in wie fern sich die einzelnen Bereiche des Arbeitsgedächtnisses gegenseitig bei den Verarbeitungsprozessen beeinflussen oder ob verschiedene kognitive Prozesse bei Bewegungen im Umraum interferieren. Immer, wenn Personen eine räumliche Veränderung (spatial shift) erfahren, sei es in dem ein neuer Raum betreten wird oder wenn sich die Positionsinformationen über Objekte bei Bewegungen der Personen im Raum verändern, müssen neue räumliche Abbilder im räumlichen Arbeitsgedächtnis generiert und integriert werden.

Situationsmodelle (situation models) sind mentale Repräsentationen von funktionalen Zusammenhängen während bestimmter Ereignisse (Radvansky & Copeland, 2006). Ein Teil dieser Modelle beschreibt die Zusammenhänge, die im direkten Umfeld von Menschen bei Positionsveränderungen passieren.

Es gibt nur zwei Möglichkeiten, wie Situationsmodelle bei Bewegungen im Umraum aktualisiert werden können. Zum einen ist es denkbar, dass zu bestimmten Zeitpunkten jedes Mal neue Situationsmodelle kreiert werden. Zum anderen ist es auch möglich, dass ein schon bestehendes Situationsmodell entsprechend an neue Situationen angepasst wird. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Möglichkeiten ist, dass bei der letzteren keine komplette Überschreibung des existierenden Situationsmodells erfolgt und somit eine stetige Veränderung und Anpassung des

Modells durchgeführt wird. Im ersten Fall spricht man dabei von diskreten Veränderungen im Situationsmodell.

Mit Hilfe des Situationsmodells und mit der Zuhilfenahme räumlicher Informationen, soll nach (Radvansky & Copeland, 2006) unter anderem erklärt werden, wie Menschen ihre Umwelt besser verstehen können. Zum Beispiel werden Gegenstände als assoziiert betrachtet, wenn sie von einer Person an einem bestimmten Ort aufgenommen werden, beziehungsweise als dissoziiert angesehen, wenn diese von der entsprechenden Person wieder abgelegt wurden.

Radvansky and Copeland (2006) untersuchten den Standortfortschreibungseffekt (location updating effect) an Hand eines Versuchsdesigns in einer virtuellen Umgebung bei der die Probanden sich virtuell durch Räume bewegten und Gegenstände, die sie zuvor assoziierten bzw. dissoziierten, abgefragt wurden. Mit Hilfe von zwei abgewandelten Experimenten haben die Autoren herausgefunden, dass die virtuell vollführten räumlichen Veränderungen beim Durchschreiten von Räumen das Erinnerungsvermögen an zuvor assoziierte beziehungsweise dissoziierte Gegenstände signifikant verschlechterte. Im ersten Experiment wurde sowohl ein signifikanter Assoziations/Dissoziations-Effekt festgestellt, der unter anderem mit den zuvor erlebten räumlichen Kontextveränderung einherging. Im zweiten Experiment untersuchten Radvansky and Copeland (2006), ob die schlechtere Erinnerungsleistung an zuvor gelernte Gegenstände eher durch den Assoziations/Dissoziationseffekt, welcher schon zuvor aus Textverständnisaufgaben bekannt war, bedingt ist, oder durch die räumliche Veränderung, also die Veränderung des Kontexts (context change), der durch das Betreten eines neuen Raumes geschieht. Hierfür wurden die Räume in der virtuellen Umgebung von Experiment 1 so modifiziert, dass einige der ursprünglich gleich großen Räume durch das Entfernen von Wänden zu größeren Räumen gestaltet wurden. Dadurch konnten Radvansky and Copeland (2006) zusätzlich zum ersten Faktor (Assoziation/Dissoziation von Gegenständen) den Einfluss einen zweiten Faktor (Bewegung durch einen großen Raum ohne Wand/ Bewegung durch zwei kleinere Räume mit Wand) auf die Wiedergabeleistung von zuvor gelernten Objekten untersuchen.

In der Tat wurden zuvor gelernte Objekte sowohl auf Grund des Assoziations/Dissoziationseffekts schlechter erinnert, als auch nach einer räumlichen Veränderung bei der durch das Verlassen beziehungsweise Betreten eines neuen Raumes ein Kontextwechsel stattfand. Beide Effekte haben zum signifikant schlechterem Abruf von Informationen geführt und waren unabhängig voneinander. Dementsprechend schlussfolgerten Radvansky and Copeland (2006) dass das Durchschreiten einer Tür, also eine räumliche Kontextveränderung, Informationen über zuvor im Arbeitsgedächtnis gespeicherte Objekte schlechter zugänglich machte. Grund hierfür ist nach Radvansky and Copeland (2006) die Tatsache, dass das Betreten eines neuen Raumes, also ein beträchtlicher Kontextwechsel, dazu führt, dass das Situationsmodell neu aufgebaut werden muss. Dies ist den Autoren zufolge für

eine verschlechterte Abrufleistung von zuvor in einem anderen Situationsmodell gespeicherten Informationen, verantwortlich. Dieser auf Grund von Veränderungen im Situationsmodell verschlechterte Abruf von Informationen nach Kontextveränderungen, wird im Folgenden als Positionsfortschreibungseffekt beschrieben (Radvansky, Krawietz, & Tamplin, 2011).

In einem Fortsetzungsexperiment untersuchten Radvansky et al. (2011), in wie fern die Ergebnisse von Radvansky and Copeland (2006) von dem Versuchsdesign in der virtuellen Umgebung beeinflusst werden. Hierfür wurden zwei Experimente durchgeführt, in denen der Grad der Immersion variiert wurde und die Probanden die virtuelle Umgebung auf unterschiedlich großen Bildschirmen erlebten. Zusätzlich wurde auch ein Versuch in einer realen Umgebung durchgeführt. Radvansky et al. (2011) stellten fest, dass die verschlechterte Abrufleistung bei Betreten von neuen Räumen nicht vom Versuchsdesign abhängig ist. Weder der Grad der Immersion, welcher durch die Displaygröße variiert wurde, noch das Durchschreiten realer Räume hinderte das Vorhandensein des Positionsfortschreibungseffekts bei Veränderung der räumlichen Umgebung nach dem Durchschreiten von Türrahmen.

Radvansky et al. (2011) schließen daraus, dass der Positionsfortschreibungseffekt diskret auftritt, nämlich immer dann, wenn die entsprechende Person durch einen Türrahmen tritt. Beim Betreten neuer Räume, also durch Kontextwechsel, werden neue Szenarien initiiert und somit können Türrahmen als Grenzen von Szenarien (event boundaries) betrachtet werden, nach denen ein neuer Aufbau des Situationsmodells erfolgt.

Es muss angemerkt werden, dass sowohl Radvansky and Copeland (2006), als auch Radvansky et al. (2011) in ihren Versuchsdesigns eine funktionale Interaktion mit den Gegenständen vorgesehen hatten. Die Versuchspersonen hatten bei allen Versuchsdesigns mit den Objekten interagiert indem sie die Gegenstände entweder assoziiert bzw. dissoziiert hatten. In wie fern diese funktionale Interaktion für den Standortfortschreibungseffekt von Bedeutung ist, wurde von den Autoren nicht beschrieben.

Sowohl die Positionsfortschreibung (spatial updating), welche von Farrell and Robertson (1998) untersucht worden ist, als auch der Positionsfortschreibungseffekt, der von Radvansky and Copeland (2006); Radvansky et al. (2011) beschrieben wurde, sind beides kognitive Prozesse, die im räumlichen Arbeitsgedächtnis stattfinden. Wie diese für die räumliche Kognition essentiellen Prozesse im räumlichen Arbeitsgedächtnisses zusammen interagieren, wurde bis jetzt kaum untersucht.

1.5 Positionsfortschreibung und der Positionsfortschreibungseffekt

Blessing (2016) hat deswegen untersucht, in wie fern der Prozess der Positionsfortschreibung durch den Positionsfortschreibungseffekt beeinflusst wird, also wie die kognitive Gedächtnisleistung durch Translations- und Rotationsaufgaben in einer stabilen Umgebung beeinflusst wird und durch das räumliche Arbeitsgedächtnis bei vollführten Kontextwechseln integriert wird. Blessing (2016) hat hierfür ein Versuchsdesign in einer realen Umgebung entworfen, bei dem die Probanden zuerst vier auf Bildern dargestellte Objekte aus verschiedenen Kategorien lernen durften. Diese vier Objekte waren auf einer Kreislinie um die Probanden in unregelmäßigen Abständen angeordnet. Um den von Radvansky and Copeland (2006); Radvansky et al. (2011) beschrieben Positionsfortschreibungseffekt nachzuahmen, mussten die Probanden in der internen Bedingung eine bestimmte vorher festgelegte Strecke in dem Versuchsraum abgehen, um anschließend von der ursprünglichen Ausgangsposition wieder auf die Bilder zu zeigen. In der externen Bedingung sind die Probanden die gleiche Strecke, wie in der internen Bedingung gegangen. Diesmal haben sie aber den Versuchsraum durch eine Tür verlassen und durch eine zweite Tür wieder betreten. Beide Strecken waren so angelegt, dass sie sowohl vom Streckenumfang, als auch von den Drehungen, die die Probanden bei Richtungsänderungen durchführen mussten, identisch waren. Der einzige Unterschied zwischen der internen und der externen Bedingung, war das Durchschreiten von zwei unterschiedlichen Türen des Versuchslabors. Bei der Abfragephase, die sofort nach der Geh-Phase folgte, wurden den Probanden die Augen verdeckt. In der ersten Bedingung wurden sie in ihrer initialen Ausrichtung, in der sie auch die zuvor die Objekte gelernt hatten, abgefragt. In der zweiten Bedingung haben die Probanden eine instruierte Rotation durchgeführt und sich nach Anordnung des Versuchsleiters auf eine der vier Richtungen ausgerichtet, bevor sie nach den vier Objekten abgefragt wurden. Diese Rotation während der Abfragephase basiert auf den Erkenntnissen von Farrell and Robertson (1998) und hat eine Positionsfortschreibung seitens der Probanden zur Folge. Demnach konnte Blessing (2016) mit seinem Versuch die Auswirkungen des Positionsfortschreibungseffekts auf die Positionsfortschreibung überprüfen.

Obwohl Blessing (2016) in seiner Arbeit keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen beiden Bedingungen gefunden hat, deutet eine relativ hohe Effektstärke auf einen Einfluss des Positionsfortschreibungseffektes auf den Prozess der Positionsfortschreibung. Er nennt als Ursache für das Nichtvorhandensein eines statistisch signifikanten Effektes die geringe Anzahl von nur 10 verwendbaren Daten von Versuchspersonen.

Neu konzipierte und noch nicht veröffentlichte Analysemethoden, die pro Ausrichtungsposition des Probanden während der Abfragephase eine probandenspezifische mittlere Verschiebung des egozentrischen Koordinatensystems (reference frame shift error, RFE) einbeziehen, sprechen für einen deutlichen, signifikanten Einfluss des Positionsfortschreibungseffektes auf die Positionsfortschreibung. Da ein spezifischer Größenwert für diesen Einfluss nicht bekannt ist und nach May and Kluwe (2000) die Methode der Richtungsanzeige eine nicht zu vernachlässigende Fehlerquelle ist, da je nach Anzeigemodalität unterschiedlich große Fehler auftreten können, benutzen sowohl Blessing (2016) als auch diese Arbeit das von Farrell and Robertson (1998) durchgeführte Experimentaldesign. Weiterhin konnten sowohl Blessing (2016) als auch May and Kluwe (2000) feststellen, dass die Anzeigemethode auf Objekte im Umraum unter idealen Sichtbedingungen sehr genau erfolgt.

Nichtsdestotrotz stellt May and Kluwe (2000) fest, dass zur Genauigkeit des Richtungsgedächtnisses und zur Richtungswahrnehmung nur wenig systematische Untersuchungen vorhanden sind.

1.6 Motivation für das folgende Experiment

Obwohl das Gebiet der räumlichen Kognition essentiell für verschiedenste Navigationsaufgaben ist, gibt es nur wenige systematische Versuche, die gezielt auf die Interaktion der verschiedenen Teilprozesse im räumlichen Arbeitsgedächtnis eingehen. Ausgehend von Blessing (2016) Ergebnissen, die auf einen Einfluss vom Positionsfortschreibungseffekt auf den Prozess der Positionsfortschreibung hindeuten, wird im folgenden Experiment eine abgewandelte, weiterführende Untersuchung zum Einfluss vom Positionsfortschreibungseffekt auf die Positionsfortschreibung mit Hilfe eines Versuchsdesigns mit den neuen technologischen Möglichkeiten von virtuellen Realitäten mit sehr hohen Immersionsgrad dargestellt. Ausgehend von Radvansky et al. (2011) Situationsmodell, welches besagt, dass das räumliche Arbeitsgedächtnis beim Betreten eines neuen Raumes sich neu aufbaut, soll der Einfluss dieser Aktualisierung des räumlichen Arbeitsgedächtnisses auf den Positionsfortschreibungseffekt untersucht werden, also auf die Fähigkeit Objektlokationen im egozentrischen Bezugssystem nach Translationen im Raum bzw. zwischen Räumen, zu aktualisieren.

Hierfür werden die Probanden mit Hilfe einer VR-Brille (Oculus Rift, Verkaufsstart: Mai 2016) in einen virtuellen Raum mit mehreren Objekten versetzt. Die Probanden können sich in diesem virtuellen Raum physisch bewegen und dabei die virtuellen Objekte an ihren Lokationen betrachten. In der Abfragebedingung werden die Probanden an zwei konkreten Messorten über die Positionen der

Objekte abgefragt, wobei auf die genauen Positionen der Gegenstände mit Hilfe des gleichen VR-Controllers wie bei Blessing (2016) gezeigt werden muss. Während der Abfragedurchgänge werden die Probanden wie bei Blessing (2016) zur Positionsfortschreibung durch instruierte Rotationen gezwungen. Somit müssen die Probanden innerhalb eines Versuches gezielte Translations- als auch Rotationsbewegungen ausführen. Um nach Radvansky and Copeland (2006); Radvansky et al. (2011) einen Positionsfortschreibungseffekt zu erhalten, wurde analog zu Radvansky and Copeland (2006) in der zwei-Raum Bedingung der große Raum durch eine Wand mit einem Türspalt in zwei gleich große Teilräume unterteilt. Somit wurde bei Translationen zwischen beiden Messorten in der zweiten Bedingung ein Positionsfortschreibungseffekt erwartet. In dem Versuch befinden sich die Probanden dementsprechend in der ersten Abfragebedingung in einem Raum, in der zweiten Bedingung in zwei miteinander verbundenen kleineren Teilräumen. Wenn nach (Radvansky & Copeland, 2006; Radvansky et al., 2011) eine Aktualisierung des Situationsmodells durch den Positionsfortschreibungseffekt beim Betreten eines neuen Raumes erfolgt, sollten die Positionen der Gegenstände während der Positionsfortschreibung, schlechter abgerufen werden können. Die Ergebnisse von Blessing (2016) deuten darauf, dass der Fehlerwinkel bei der Abfrage von Objekten nach einem Positionsfortschreibungseffekt in der Bedingung mit Kontextwechsel (mit Wand) größer sein müsste, als ohne Positionsfortschreibungseffekt in der Bedingung ohne Kontextwechsel (ohne Wand).

2. Material und Methoden

2.1 Teilnehmer

Insgesamt haben 16 Teilnehmer am Versuch in der virtuellen Realität teilgenommen. Die Daten der ersten drei Versuchspersonen wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt, da diese nur zum Testen des Versuchsdesigns verwendet wurden und noch kleine Veränderungen während dieser Tests durchgeführt wurden. Die Daten einer weiteren Versuchsperson konnten ebenso nicht für die anschließende Analyse verwendet werden, da der Virtual-Reality Controller keine Zeigedaten gespeichert hatte.

Somit konnten Daten von 12 Versuchspersonen, alle Studenten der Universität Tübingen, für die Auswertung der Ergebnisse verwendet werden. Hiervon waren 6 Versuchspersonen männlich und 6 weiblich. Alle Personen verfügten über normale oder korrigierte Sehkraft. Das Durchschnittsalter der Personen lag bei 20,75 Jahren. Eine Versuchsperson war Linkshänder, alle anderen waren Rechtshänder. Die Teilnahme erfolgte freiwillig und wurde mit Versuchspersonenstunden vergütet.

2.2 Genereller Versuchsaufbau

Der gesamte Versuch fand in einer virtuellen Realität (VR) statt. Hierfür musste jede Versuchsperson für die gesamte Dauer eines Versuchsteils eine VR-Brille (Head-Mounted-Display Oculus Rift) tragen. Die realen Bewegungen der Versuchspersonen im Labor wurden in die VR-Brille in Echtzeit übertragen. Somit konnten die Versuchspersonen sich im realen Versuchslabor frei bewegen – die visuell präsentierte und von den Personen wahrgenommene Versuchsumgebung in der VR-Brille war aber im Voraus speziell konstruiert und der Versuchsablauf auch programmiert worden. Bei dem Versuch zur räumlichen Kognition mussten die Probanden im späteren Verlauf auf vorher gelernte Objekte während der Erhebungsphase zeigen. Deswegen hatten die Versuchspersonen einen VR-Controller für die gesamte Dauer eines Versuchsteils in ihrer rechten Hand. Dieser VR-Controller wurde unabhängig von der VR-Brille nur für die Messung der Zeigebewegungen eingesetzt.

Das Experiment bestand aus zwei Teilen, die jeweils hintereinander von jeder Versuchsperson durchgeführt wurden. Beide Teile dauerten jeweils ca. 25 Minuten, nach der ersten Hälfte konnte die Versuchsperson eine Pause einlegen, die Oculus Rift absetzen und auch das Versuchslabor verlassen.

Pro Versuchsteil wurde eine Kontextwechsel-Bedingung (mit Wand vs. ohne Wand) und ein von zwei möglichen Sets von Objekten zugewiesen (s. Abb.1 und Tab. 2), das heißt wenn eine Versuchsperson im ersten Teil Set 1 und die Bedingung ohne Wand hatte, dann musste sie im zweiten Teil Set 2 und die Bedingung mit Wand durchführen. Somit waren Set- und Kontextwechsel Reihenfolge die unabhängigen between-subject-Variablen. Die unabhängigen within-subject-Variablen waren das Vorhanden- bzw. Nichtvorhandensein eines Kontextwechsels (mit Wand vs. ohne Wand, s. Abb. 1) und die jeweilige Abfrageposition in Raum A (gleich wie Lernbedingung) beziehungsweise in Raum B (ungleich zur Lernbindung, s. Abb. 1).

VERSUCHSABLAUF

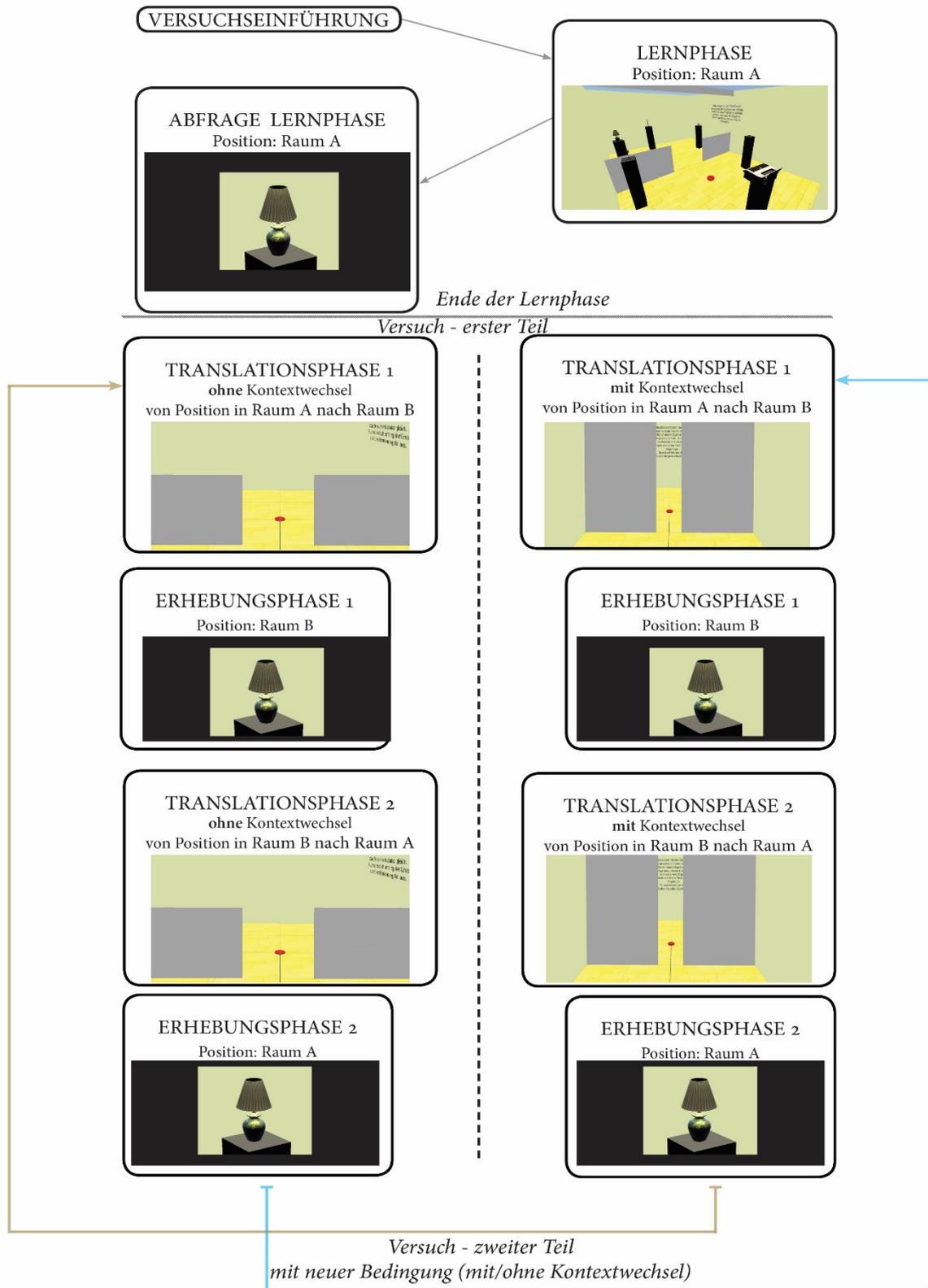


Abbildung 1: Die Lernphase wurde von allen Versuchspersonen auf gleiche Art und Weise durchgeführt, mit dem einzigen Unterschied, dass je nach Zuordnung (s. Tab. 2) eines von zwei möglichen Daten-Sets benutzt wurde. Während des Versuchs mussten die Versuchspersonen zwei Mal eine Translation im Raum vollführen (Translationsphase 1, Translationsphase 2). In den beiden Erhebungsphasen wurden die Versuchspersonen sequentiell auf 6 unterschiedliche Orientierungen ausgerichtet. Für jede Orientierung wurden die 6 unterschiedlichen in der Lernphase gelernten Objekte mit ihren entsprechenden Positionen im Raum, abgefragt.

2.2.1 Versuchsaufbau im VR-Labor

Der Versuch wurde im VR-Labor des Lehrstuhls Kognitive Neurowissenschaften an der Universität in Tübingen durchgeführt. Die Größe des Versuchslabors, in dem die Versuchspersonen das VR-Experiment durchführten, betrug 6 m x 8,4 m. Der Raum hatte keine Fenster. An einer Seite des Raumes war auf einem Stativ der Höhe 2,05 m der Positionstracker für die Oculus Rift Head-Mounted-Display (HMD) VR-Brille angebracht. Der Positionstracker befand sich in einem Abstand von 1,5 Meter vom Mittelpunkt des virtuellen Raumes.

Im VR-Labor waren kleine unscheinbare Markierungen an den Positionen angebracht, an denen virtuell im Experiment die Objekte erscheinen würden. Weiterhin wurde ein Drehstuhl ohne Rückenlehne bereitgestellt. Hierfür gab es auf dem Boden zwei Markierungen im Abstand von zwei Metern. Neben dem Stativ stand ein Computer (Intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU @ 3.40GHz, Betriebssystem Windows 10) auf dem die Software für die Oculus Rift ausgeführt wurde. Die Oculus Rift Brille war direkt mit diesem Computer verbunden, wobei das Kabel von der Brille über eine Hängevorrichtung von der Decke an den Rechner geleitet wurde, damit die Versuchsperson durch das Kabel sowohl bei Rotations- als auch bei Translationsbewegungen nicht eingeschränkt wurde. Für die Aufzeichnung der Zeigerichtung wurde ein kabelloser Virtual-Reality-Controller (Flystick 2 von A.R.T. GmbH, Weilheim, Deutschland) verwendet (s. Abb. 2).



Abbildung 2: VR-Controller Flystick 2 mit dem die Zeigebewegungen der Versuchspersonen während der Abfragephase aufgezeichnet wurden. Zu erkennen ist an der Vorderseite die gelbe Trigger-Taste, mit der die Zeigebewegung bestätigt wurde.

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 weiteren Computer (Intel Pentium 4 CPU (3GHz)) mit dem Betriebssystem Windows XP aufgezeichnet, der am anderen Ende vom VR-Labor positioniert war. Die Erfassung der Koordinaten vom VR-Controller erfolgte in einem raumspezifischen Koordinatensystem (s. Abb. 4). Um die Geräuschkulisse konstant zu halten wurde während des Versuches bei allen Personen die Lüftung im Labor eingeschaltet.

2.2.2 Technische Daten der HMD Oculus Rift

Die Oculus Rift ist ein Head-Mounted-Display (HMD), das vom Unternehmen Oculus VR, LLC entwickelt wurde und am 28. Mai 2016 auf den freien Markt kam. Mit Hilfe der Oculus Rift wird es Menschen ermöglicht in Virtuelle Realitäten (VR) einzutauchen. Eine sehr hohe Immersion dieser VR-Brille wird durch die Zuhilfenahme des mitgelieferten Positionstrackers ermöglicht, der Translations- und Rotationsbewegungen in einem dreidimensionalen Raum bis zu einer Größe von 3 m x 3 m zulässt (s. Abb. 3) (Oculus VR, 2017b).

Das Tracking der Orientierung des HMD wird durch die eingebauten Gyroskope, Accelerometer und Magnetometer Sensoren ermöglicht. Durch die Fusion der Daten aus diesen Sensoren wird die Orientierung des HMD in der realen Umgebung erfasst und in Echtzeit in die virtuelle Perspektive auf dem HMD Display übertragen.

Das Positionstracking des HMD erfolgt über eine 6-degree-of-freedom (6DoF) Technologie, die eine 1:1 Übertragung der Bewegungen eines starren Körpers (rigid body) in die virtuelle, dreidimensionale Umgebung innerhalb des Tracking-Bereiches ermöglicht. Hierfür sind in der VR-Brille infrarot LEDs eingebaut, die durch den Positionstracker, eine Infrarot-Kamera, registriert werden (Oculus VR, 2017a). Die Erfassung der HMD Positionen erfolgte in einem virtuellen von Unity vorgegeben Koordinatensystem, das sich von dem VR-Controller Koordinatensystem unterschieden hat (s. Abb.4).

Das stereoskopische OLED Display der Oculus Rift besitzt eine Auflösung von 2160 x 1200 Pixel mit einer Aktualisierungsrate von 90 Hz. Die Latenzzeit zwischen Kopfbewegungen inklusive der Oculus Rift und der Aktualisierung des Bildes auf dem Display (motion-to-photon) der VR-Brille beträgt maximal 20 ms (Oculus VR, 2017a).

Die in das HMD eingebauten 3D-Kopfhörer wurden im aktuellen Versuchsdesign nicht benötigt.



Abbildung 3: Auf dem Bild sind das HMD Oculus Rift und der Positionstracker, der die Infrarot-Dioden der Oculus Rift erfasst, dargestellt. Mit Hilfe des Positionstrackers ist es möglich die Position der VR-Brille im Raum zu ermitteln und dadurch diese Position auf in der virtuellen Umgebung zu aktualisieren.

2.2.3 Verdrehungswinkel der Koordinatensysteme

Der VR-Controller mit dem die Zeigebewegungen gemessen wurden, war auf das Versuchslabor kalibriert und benutzte daher ein stabiles und festgelegtes Koordinatensystem (VR-Controller Koordinatensystem, s. Abb. 4). Für das Positionstracking der Oculus Rift wurde in der genutzten Software Unity auch ein Koordinatensystem verwendet (Oculus Rift Koordinatensystem, s. Abb. 4), das aber nicht auf das Versuchslabor kalibriert werden konnte. Da sich die Probanden mit dem HMD Oculus Rift in dem Oculus Rift Koordinatensystem während der Lernphase bewegten (s. Abb. 1), die Zeigebewegungen aber im VR-Controller Koordinatensystem aufgezeichnet wurden, wurde ein Verdrehungswinkel beider Koordinatensysteme zueinander für die spätere Datenanalyse gemessen. Hierfür mussten die Probanden vor jeder Translationsphase (s. Abb. 1) ein Mal geradeaus entlang der Linie auf dem Boden einen Zeigevorgang durchführen. Damit konnte jeder Proband pro Versuchsteil zwei Mal individuell für sich festlegen, wie die Ausrichtung des VR-Controller Koordinatensystem zum Oculus Rift Koordinatensystem ist (s. Abb. 4 und Abb. 5).

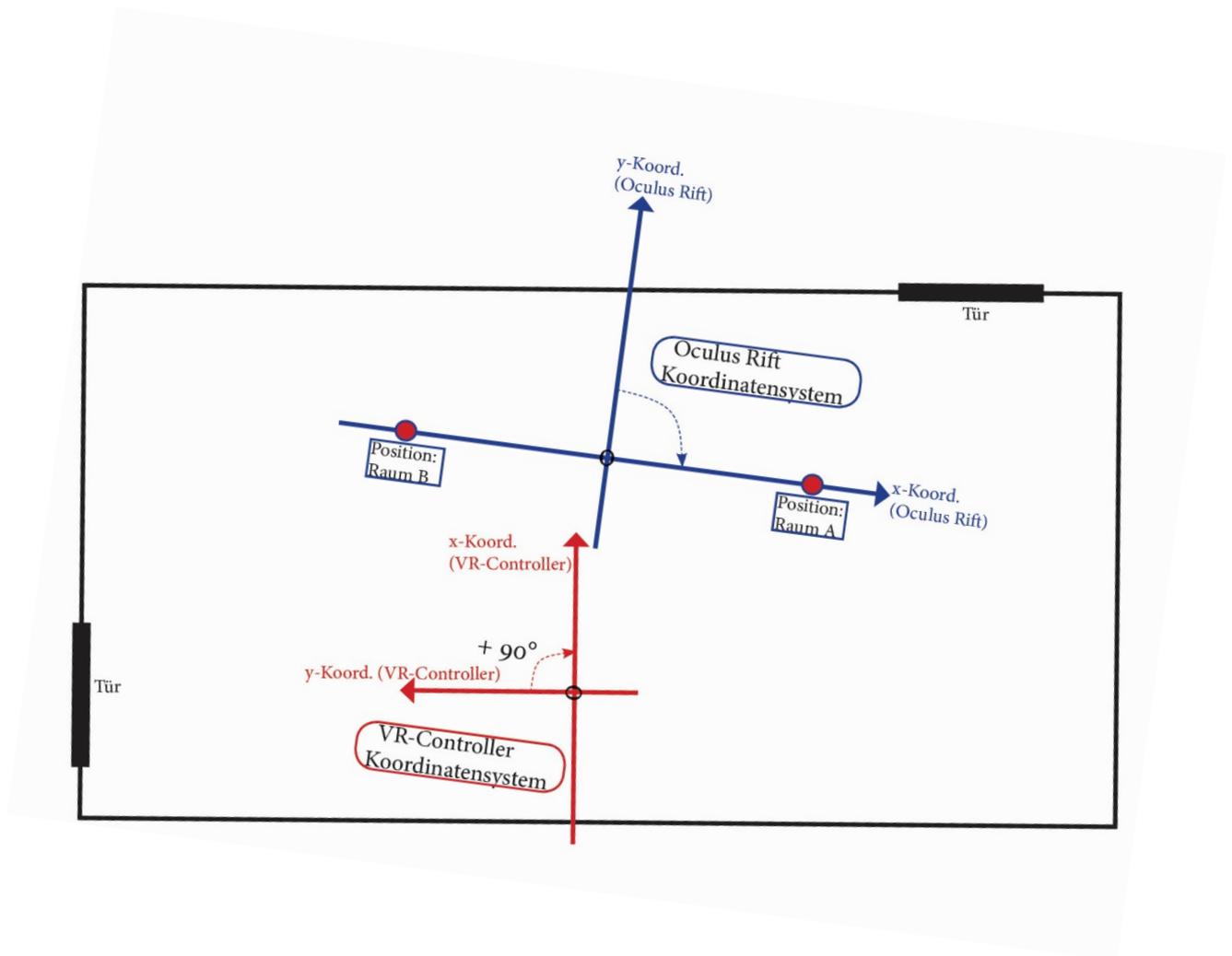


Abbildung 4: Das Bild zeigt eine mögliche Anordnung des VR-Controller Koordinatensystems zum Oculus Rift Koordinatensystem, welches von Unity vorgegeben wurde. Um die Zeigevorgänge, die mit dem VR-Controller durchgeführt worden sind bzgl. des anderen Koordinatensystems auszuwerten, wurden mit Hilfe des Verdrehungswinkels beide Koordinatensysteme zueinander angepasst.

Der über alle Versuchspersonen und Bedingungen gemittelte Verdrehungswinkel lag bei einem Mittelwert von 102 Grad mit einer Standardabweichung von 7,4 Grad (s. Abb. 5). Der optimale Verdrehungswinkel wäre bei 90 Grad gewesen, da die x-Achse und die y-Achse der beiden Koordinatensysteme zueinander vertauscht waren.

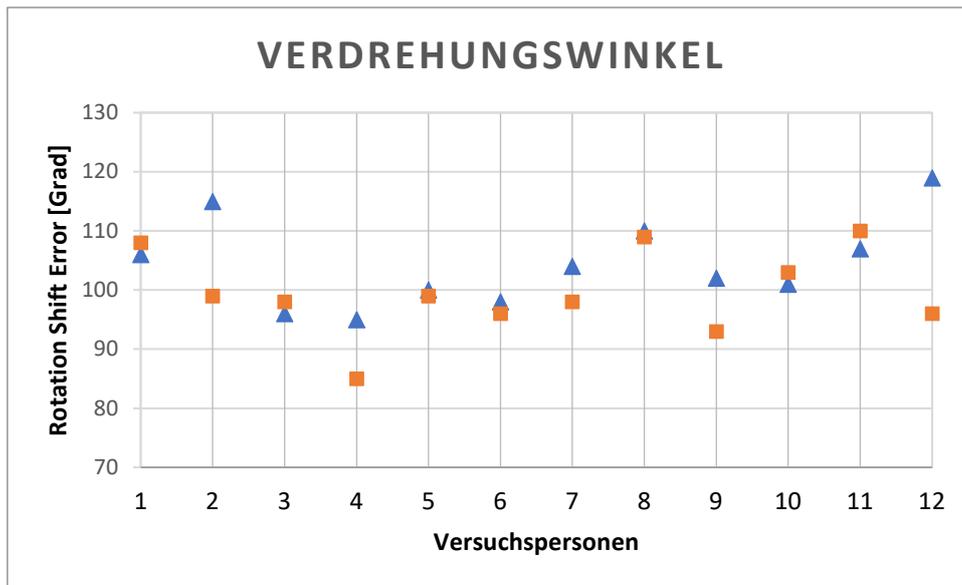


Abbildung 5: Die Abbildung zeigt pro Versuchsperson für beide Versuchsbedingungen den jeweiligen Verdrehungswinkel. Die roten Quadrate zeigen den Verdrehungswinkel für die Messung in der Bedingung mit Kontextwechsel (mit Wand), die blauen Dreiecke für die Messung in der Bedingung ohne Kontextwechsel (ohne Wand) auf.

2.2.4 Versuchsaufbau der virtuellen Umgebung

Der gesamte Versuch wurde mit der weltweit führenden Software der Game-Industrie Unity® des Unternehmens Unity Technologies erstellt. Hierfür wurde die kostenfreie Variante Personal von Unity in der Version 5.4.0f3 verwendet, die mit Hilfe des Oculus Utilities Unity Package eine Entwicklungsumgebung für das HMD Oculus Rift, integriert.

2.3 Versuchsumgebungen in der VR

Ein Versuchsteil bestand aus 4 unterschiedlichen Versuchsumgebungen in der virtuellen Realität (s. Abb. 1). In der Lernphase konnte sich die Versuchsperson frei im Raum mit den 6 unterschiedlichen Objekten bewegen. In der Abfrage der Lernphase, wurden die Objekte einzeln in einer schwarzen Versuchsumgebung abgefragt. In der Translationsphase wurden alle Objekte ausgeblendet und je nach Bedingung die Raumtrenner durch herabfahrende Wände ersetzt. In der Erhebungsphase mussten die Versuchspersonen für 6 unterschiedliche Orientierungen jeweils auf alle 6 gelernten Objektpositionen zeigen. Sowohl bei der Abfrage in der Lernphase als auch in der Erhebungsphase saßen die Probanden auf einem Drehstuhl ohne Rückenlehne.

2.3.1 Lernphase

Der Versuchsraum in der Lernphase hatte die Größe 6 m x 4 m (s. Abb. 6 und Abb. 7). Um die zwei Positionen Raum A und B wurden jeweils 3 Objekte aus einer der Kategorien Tier, technisches Gerät, Pflanze, Deko, Werkzeug und Haushalt auf einer Kreisbahn von 1,5 m Abstand zur jeweiligen Position auf schwarzen Ständern der Höhe 1,2 m, positioniert. Insgesamt befanden sich im Raum also 6 Objekte aus unterschiedlichen Kategorien. Es gab zwei verschiedene Objekt-Sets (s. Tab. 1), wobei die Objektkategorien für beide Sets gleich waren. Die Objektpositionen unterschieden sich je nach Objekt-Set (vgl. Abb. 7) und waren somit für beide Versuchsbedingungen spezifisch.

Tabelle 1: Name und Kategorien der verwendeten Objekte pro Objekt-Set

Kategorie	Tier	Technisches Gerät	Pflanzen	Deko	Werkzeug	Haushalt
Set 1:	Spinne	Drucker	Blume	Kampe	Säge	Tasse
Set 2:	Katze	Bildschirm	Kaktus	Kugel	Hammer	Kiste

Der Abstand der beiden Positionen (A, B) betrug 2 m und war durch zwei 0,8 m hohe und 1,5 m breite Raumtrenner separiert, die einen Durchgang von 1 m zwischen den Räumen auf der eingezeichneten Linie gewährten (s. Abb. 6, Abb. 7 und Abb. 9).

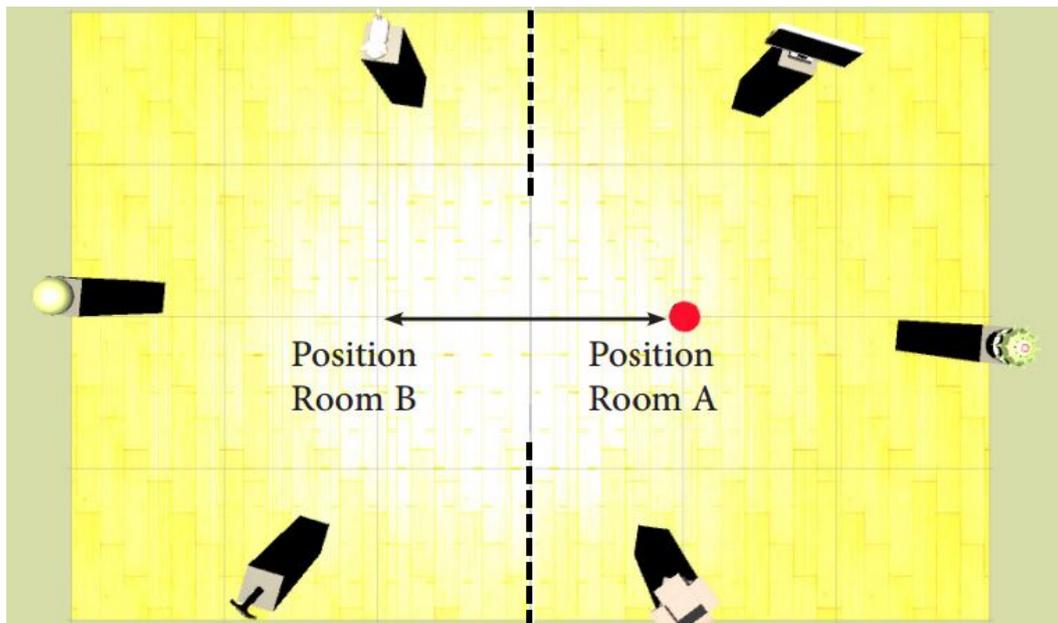


Abbildung 6: Versuchsaufbau in der Lernphase mit den Objekten aus Set 2. Die Anordnung der Objekte von der Position in Raum A und der Position in Raum B ist zueinander punktsymmetrisch. Die schwarze gestrichelte Linie deutet die beiden Raumtrenner an.

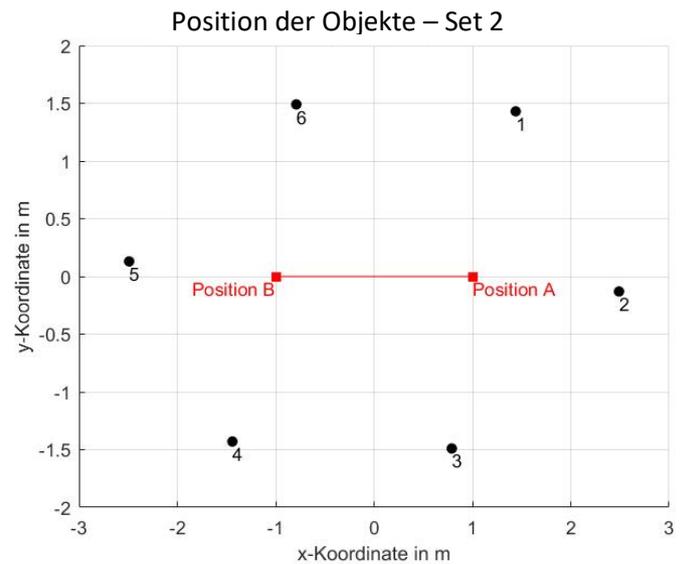
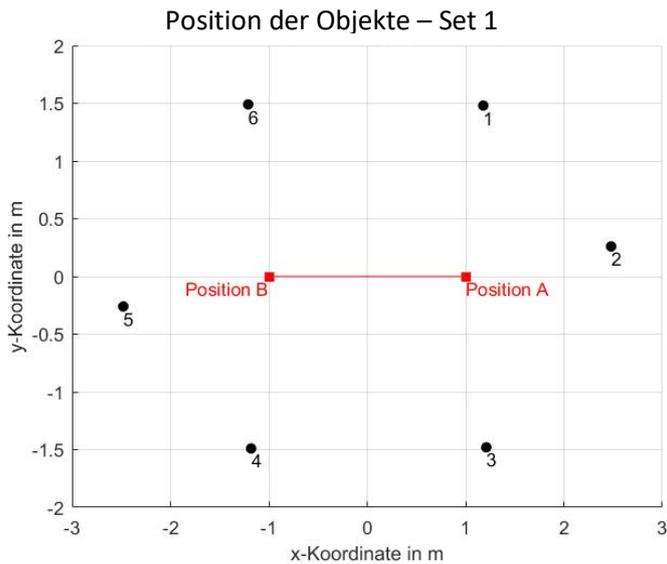


Abbildung 7: Positionen der Objekte aus beiden Sets im Koordinatensystem. Die Objekte waren für jedes Objekt-Set unterschiedlich um die Abfrageposition A bzw. Abfrageposition B verschoben. Bei der Abfrage in der Lernphase waren die Probanden auf Objekt 1 ausgerichtet.

2.3.2 Abfrage Lernphase

In der Abfrage wurde der Versuchsraum ausgeblendet und eine schwarze Umgebung stattdessen eingeblendet. Zuerst erschien ein Beschreibungstext und direkt danach wurden Bilder der Objekte eingeblendet. In dieser Abfrage wurden alle Bilder und Texte in der Ausrichtung zu Objekt 1 (s. Abb. 7) eingeblendet. Die Lernphase war für beide Versuchsteile gleich (s. Abb. 1), mit dem einzigen Unterschied, dass unterschiedliche Daten-Sets verwendet wurden.



Abbildung 8: 2D Bilder der Objekte die sowohl während der Abfrage in der Lernphase als auch während der Abfragephase im HMD eingeblendet wurden. Hier ist von links nach rechts die Katze, die Lampe und die Kiste exemplarisch dargestellt. Insgesamt gab es für jedes der insgesamt 12 Objekte aus beiden Daten-Sets jeweils ein Bild, das zuvor in Unity als Screenshot aufgenommen wurde, für die Abfrage.

2.3.3 Translationsphase

Zu Beginn der Translationsphase wurden alle 6 Objekte inklusive der Ständer ausgeblendet. In der Bedingung mit Wand wurden zusätzlich die zwei Raumtrenner durch herabfahrende Wände als trennende Elemente verstärkt. Eine Linie auf der die Translation von der Lernposition in Raum A auf die erste Abfrageposition in Raum B durchgeführt werden sollte, wurde auf dem Boden angezeigt.

Sowohl Translationsphase 1 (von Position A nach Position B), als auch Translationsphase 2 (von Position B nach Position A) verliefen nach dem gleichen Prozedere (s. Abb. 1).

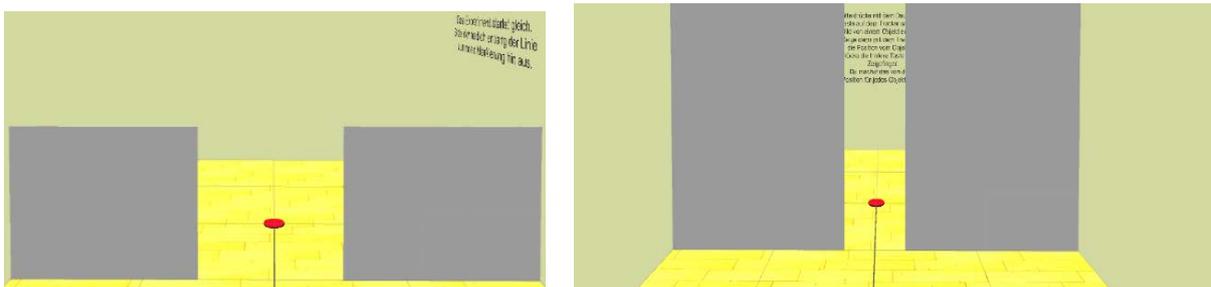


Abbildung 8: Auf dem linken Bild ist der Raum in der Translationsphase aus der Perspektive von der Lernposition in Raum A in der Bedingung ohne Kontextwechsel, abgebildet. Im rechten Bild ist der gleiche Raum vor der Translation in der Bedingung mit Kontextwechsel abgebildet, nach dem die Raumtrenner durch herabgefahrene Wände verlängert wurden und der Durchgang zwischen den Räumen dadurch verschmälert wurde.

2.3.4 Erhebungsphase

Die virtuelle Umgebung und die präsentierten Screenshots der gelernten Objekte entsprachen denen aus der Abfrage in der Lernphase. Da in der Erhebungsphase aber die Versuchspersonen sich auf 6 unterschiedliche Orientierungen ausrichten mussten, unterschied sich die Initialisierungsposition der Bilder der Objekte zu der Abfrage in der Lernphase. An Hand der Ausrichtung des HMD der entsprechenden Versuchsperson zu Beginn einer Abfragesequenz in der Erhebungsphase, wurde in der schwarzen Umgebung ein Ort fixiert, an dem die Bilder der Objekte für die entsprechende spezifische Orientierung präsentiert wurden. Das heißt, dass der Initialisierungsort der abgefragten Objekte von der Orientierung der Versuchsperson abhängig war und die Versuchsperson ihre Orientierung nicht an Hand der Initialisierungsposition der Abfragebilder ausrichten bzw. auch korrigieren konnte. Die Erhebungsphase 1 an Position B und die Erhebungsphase 2 an Position A waren vollkommen gleich. Die Reihenfolge der von der Versuchsperson eingenommenen Orientierungen war ebenso für beide Erhebungsphasen gleich.

Tabelle 2: Die Tabelle zeigt für jede Versuchsperson die verwendeten unabhängigen Variablen: Set-Order, Kontext-Order

Versuchsperson	Set - erster Teil	Kontextwechsel – erster Teil	Set - zweiter Teil	Kontextwechsel – zweiter Teil
1	Set 1	nein (ohne Wand)	Set 2	ja (mit Wand)
2	Set 1	nein (ohne Wand)	Set 2	ja (mit Wand)
3	Set 2	ja (mit Wand)	Set 1	nein (ohne Wand)
4	Set 2	ja (mit Wand)	Set 1	nein (ohne Wand)
5	Set 1	ja (mit Wand)	Set 2	nein (ohne Wand)
6	Set 2	nein (ohne Wand)	Set 1	ja (mit Wand)
7	Set 1	nein (ohne Wand)	Set 2	ja (mit Wand)
8	Set 2	nein (ohne Wand)	Set 1	ja (mit Wand)
9	Set 1	ja (mit Wand)	Set 2	nein (ohne Wand)
10	Set 1	ja (mit Wand)	Set 2	nein (ohne Wand)
11	Set 2	nein (ohne Wand)	Set 1	ja (mit Wand)
12	Set 1	nein (ohne Wand)	Set 2	ja (mit Wand)

2.4 Versuchsdesign

Beide Teile des Experimentes waren bis auf die unterschiedlichen verwendeten Objekt-Sets und das Vorhanden bzw. Nichtvorhandensein einer Wand, identisch. Jeder Teil bestand aus zwei Phasen, der Lernphase und der Testphase.

In der Lernphase durften sich die Probanden zuerst frei im virtuellen Raum bewegen und dabei die Objekte an ihrer jeweiligen Position lernen. Sobald die Probanden eine gute Raumwahrnehmung bekommen hatten und die Objekte an ihren jeweiligen Positionen gelernt hatten, wurde jedes Objekt mindestens ein Mal von der Lernposition im Raum A abgefragt (vgl. Abb. 1: Abfrage Lernphase). Die Versuchsperson konnte selbständig entscheiden ob sie ein weiteres Mal die Objekte lernen wollte oder ob sie mit der Translationsphase 1 beginnen wollte. Die Translationsphase 1 wurde gestartet, indem die 6 Objekte aus dem Raum in der Lernphase ausgeblendet wurden.

In der Translationsphase 1 musste die Versuchsperson zuerst eine Translation von der Lernposition in Raum A zur Lernposition in Raum B durchführen. Der Versuchsleiter positionierte den Drehstuhl für die Erhebungsphase 1 nach der vollführten Translation an der jeweiligen Position. Alle Personen wurden nach einer Translationsbewegung durch eine eigenständige durchgeführte Rotation auf dem Drehstuhl so ausgerichtet, dass sie in die Richtung der vorhergehenden Position blickten. In der anschließenden Erhebungsphase 1 wurden die Versuchspersonen nacheinander in 6 verschiedene Orientierungen, die den Objektorientierungen entsprechen, ausgerichtet. Von jeder dieser unterschiedlichen Orientierungen mussten die Versuchspersonen jeweils einmal auf eines der 6 verschiedenen Objekte zeigen. Nach dem die Versuchspersonen für alle 6 unterschiedlichen Orientierungen abgefragt worden sind, wurde der Raum, so wie er in der Translationsphase 1 war, ohne Objekte, eingeblendet. Es folgte die Translationsphase 2. Die Versuchspersonen mussten nochmal eine Translation von der Position in Raum A auf die Position in Raum B vollführen. Anschließend folgte die Erhebungsphase 2. Von dieser Position wurden die Versuchspersonen wieder nacheinander auf eine von 6 möglichen Orientierungen ausgerichtet und die Objekte entsprechend abgefragt.

Somit wurde pro Position in Raum A beziehungsweise in Raum B jeweils auf jedes Objekt 6 Mal gezeigt. Es gab also pro Position 36, insgesamt also 72 Zeigevorgänge in beiden Erhebungsphasen.

Die Durchführung der Rotations- und Zeigebewegungen war identisch zu den verwendeten Methoden von Blessing (2016).

Bei den Zeigebewegungen durfte nur der Oberkörper gedreht werden und der VR-Controller musste in der rechten Hand gehalten werden. Sobald das gesuchte Objekt als Bild präsentiert (s. Abb. 8) und vom Probanden wahrgenommen werden konnte, musste die Versuchsperson dies durch das Drücken der Bestätigungstaste mit dem Daumen registrieren. Durch das Drücken der Trigger-Taste mit dem Zeigefinger musste die Versuchsperson bei einer Zeigebewegung die entsprechende Position des Objektes im Raum registrieren. Die Aufgabe war so schnell wie möglich, aber auch so genau wie möglich die im Gedächtnis abgespeicherte Position des gesuchten Objektes aufzuzeigen. Durch das Betätigen der Bestätigungstaste und das Drücken der Trigger-Taste auf dem VR-Controller konnte sowohl die Reaktionszeit der Probanden, als auch der Zeigewinkel und somit auch der RFE bzw. der RE berechnet werden. Somit war die abhängige Variable im gesamten Experiment der gemessene Zeigewinkel. Der VR-Controller war über die gesamte Dauer des Experimentes eingeschaltet und hatte somit die Zeigeorientierung und auch zusätzlich zum HMD die Position der Probanden im Raum

gespeichert.

Für die Ausführung der Rotationsbewegungen wurden die Probanden immer, wenn die Abfrage aller Objekte aus einer bestimmten Orientierung beendet war, an einer Schulter angetippt. Die Probanden mussten sich dann langsam so lange in der angetippten Richtung drehen, bis sie nochmal angetippt wurden.

2.5 Allgemeiner Versuchsablauf

2.5.1 Vorbereitungen

Zuerst wurde die Versuchsperson in die Funktionsweise und die Bedienung des VR-Controllers eingewiesen und über mögliche Risiken bei der Teilnahme an einem Versuch in VR unterwiesen. Der grobe Versuchsablauf wurde in schriftlicher Form vorgelegt (s. Anhang 6.1, Abb. 18), wobei auch die verwendeten Objekte aus beiden Sets benannt waren. Anschließend wurde die Einwilligungserklärung unterschrieben (s. Anhang 6.1, Abb. 18). Nachdem die Versuchsperson das HMD aufgesetzt hatte, musste sie sich vor dem Stativ mit dem Positionstracker der Oculus Rift hinstellen. Der Versuchsleiter hatte hierbei geholfen und darauf geachtet, dass keine Hindernisse das Agieren der Versuchsperson gefährden.

2.5.2 Lernphase

Die Lernphase wurde gestartet in dem die Versuchsperson zentral im Raum zwischen den markierten Positionen im Raum A und Raum B eingeblendet wurde. Sie wurde vom Versuchsleiter darauf hingewiesen, dass sie sich jetzt im Trackingbereich frei bewegen kann und die Objekte an ihrer jeweiligen Position lernen soll. Sobald die Versuchsperson bereit war, wurde auf der virtuellen, roten Markierung vom Versuchsleiter ein Drehstuhl positioniert, von dem nochmals die jeweiligen Positionen der Objekte gelernt werden sollten. Der Versuchsleiter machte die Person darauf aufmerksam, dass das Lernen auch durch das Zeigen auf die Objekte mit dem VR-Controller in der rechten Hand erfolgen soll.

Anschließend drehte sich die Person in Richtung von Objekt 1 (s. Abb. 7) und die Abfrage in der Lernphase startete, in dem ein Bild von einem Objekt aufleuchtete (vgl. Abb. 1). Die Versuchsperson war aufgefordert in die Richtung des gesuchten Objektes zu zeigen und die Hand so lange ausgestreckt

zu halten, bis der ursprüngliche Raum mit den Objekten wieder eingeblendet wurde, um mit Hilfe von Propriozeption die Korrektheit des Zeigevorgangs zu validieren. Dieser Vorgang wurde für jedes Objekt mindestens ein Mal durchgeführt. Danach wurde die Lernphase beendet indem die 6 Objekte inklusive der Ständer ausgeblendet wurden.

2.5.3 Testphase

Die Testphase bestand aus der Translationsphase 1, der Erhebungsphase 1, der Translationsphase 2 und der Erhebungsphase 2 (vgl. Abb. 1).

In der Testphase drehte sich die Versuchsperson zuerst in Richtung der neu erschienenen, roten Markierung der Position in Raum B auf dem Boden. Anschließend wurde sie aufgefordert ein Mal entlang der markierten Linie auf dem Boden auf die andere Markierung zu zeigen um hieraus den Verdrehungswinkel (vgl. 2.2.3 Verdrehungswinkel) berechnen zu können. In der Bedingung mit Kontextwechsel (mit Wand) wurde zusätzlich die durch die Raumtrenner angedeutete Wand durch ein Herabfahren von zwei Wandelementen verlängert (s. Abb. 9). In der Bedingung ohne Kontextwechsel (ohne Wand) wurden die Raumtrenner während des Zeigevorgangs auf die andere Markierung ohne Veränderung beibehalten.

Als nächstes vollführte die Versuchsperson eine eigenständige Translationsbewegung zum markierten Punkt im anderen Raum, der Versuchsleiter positionierte dabei den Drehstuhl auf der markierten Position. Die Versuchsperson wurde durch einen Instruktionstext darauf aufmerksam gemacht, dass nun die Abfragephase der Objekte starten wird. Danach wurde die Versuchsperson an der rechten Schulter angetippt und drehte sich eigenständig, bis sie nochmals angetippt wurde, um 180°. So konnte sie die vorherige Lernposition A aus der Lernphase sehen. Die Erhebungsphase startete. Nacheinander erschienen die 6 Objekte in randomisierter Ordnung auf dem HMD der Versuchsperson für jeweils 3 Sekunden. In dieser Zeit musste die Versuchsperson die Position der jeweiligen Objekte mit Hilfe des VR-Controllers registrieren.

Nach einer Abfrage aller 6 Objekte wurde die Versuchsperson an einer Schulter vom Versuchsleiter angetippt und drehte sich anschließend auf eine neue Position. Die Abfrage der Objekte begann erneut. Nach dem die Versuchsperson von allen 6 Orientierungen die Abfrage der Objekte durchgeführt hatte, startete Translationsphase 2. Der Raum wurde in dem gleichen Zustand eingeblendet, wie er verlassen wurde. Die Orientierung und die Position der Versuchsperson im Raum entsprach der letzten Orientierung und Position der Versuchsperson in der Erhebungsphase. Die

Versuchsperson vollführte eine Zeigebewegung auf die markierte Lernposition in Raum A (vgl. 2.2.3 Verdrehungswinkel) und vollführte eine Translationsbewegung zu dieser Position. Der Versuchsleiter positionierte den Drehstuhl auf der markierten Position, die Versuchsperson drehte sich um 180° und richtete sich auf die vorhergehende Position in Raum B mit dem Oberkörper aus. Die Erhebungsphase 2 startete und die Versuchsperson wurde von jeder der 6 möglichen Orientierungen randomisiert nach den 6 Objektpositionen abgefragt. Nach der Erhebungsphase 2 war die erste Hälfte vom Versuch beendet. Die zweite Hälfte vom Versuch verlief genauso, wie die erste Hälfte. Die einzigen Unterschiede waren ein neues Set von Objekten mit entsprechender neuer Position und eine Änderung der Kontextwechsel-Bedingung (vgl. Abb. 1).

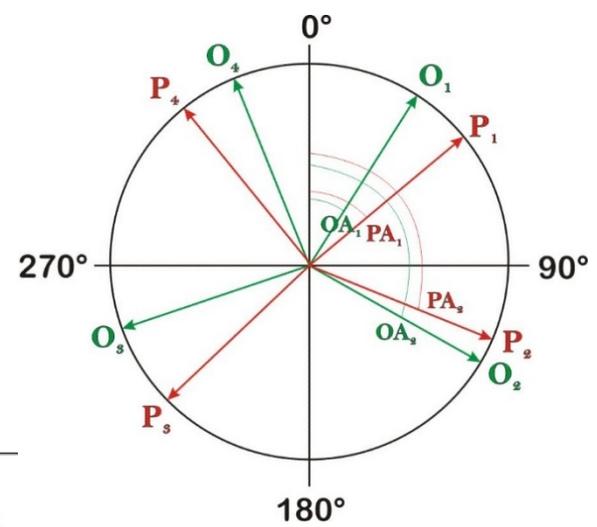
2.6 Rechnerische Analyse

Die Datenaufbereitung erfolgte in MATLAB (Version R2016a, Robotics System Toolbox, Statistics and Machine Learning Toolbox), die statistische Auswertung erfolgte in IBM SPSS 24. Die Daten jeder Versuchsperson wurden zuerst grafisch aufbereitet und in Cluster für jede Orientierung beim Zeigevorgang unterteilt. Für jeden Probanden wurde der Verdrehungswinkel vor jeder der beiden Translationsphasen gemessen und bei der späteren Datenauswertung pro Versuchsbedingung gemittelt. Mit Hilfe des Verdrehungswinkels konnte der Zeigewinkel während der Erhebungsphasen im VR-Koordinatensystem berechnet werden konnte (s. Abb. 4 und Abb. 5).

PA_n : Zeigewinkel, $n = 1, \dots, 6$

OA_n : Objektwinkel, $n = 1, \dots, 6$

$$\Delta PO = PA - OA$$



Berechnung des RFE

für eine Orientierung der Versuchsperson o
für n Objekte :

$$1. \pm 0 \leq \Delta PO \leq \pm 180$$

$$2. RFE_o = |mean \Delta PO_o| = \left| \frac{\Delta PO_1 + \Delta PO_2 + \dots + \Delta PO_n}{n} \right|$$

Berechnung des RE

für eine Orientierung der Versuchsperson o
für n Objekte :

$$RE_o = mean(|\Delta PO_o - mean \Delta PO_o|)$$

Abbildung 9: Die Abbildung zeigt die Zusammensetzung und die Berechnung des globalen Fehlers (RFE) und des lokalen Fehlers (RE). Der Zeigewinkel (PA) wurde mit Hilfe des VR-Controllers berechnet, der Objektwinkel (OA) wurde an Hand der Koordinaten im HMD Koordinatensystem von Unity berechnet. Die Vektoren in der Kreisgrafik zeigen auf 4 exemplarische Objektpositionen (O) und entsprechende Zeigevorgänge (P) auf diese Objekte.

Die probandenspezifische mittlere Verschiebung des egozentrischen Koordinatensystems (RFE) wurde für eine bestimmte Orientierung des Probanden für das Zeigen auf alle 6 Objekte während einer Abfrage berechnet. Der residuale Fehler (RE) für eine spezifische Orientierung wurde erhalten, in dem der RFE von jedem Zeigewinkel (s. Abb. 10), subtrahiert wurde. Die Reaktionszeit wurde für jeden Probanden über alle Messungen pro Bedingung (mit Wand vs. ohne Wand) gemittelt.

Für jede Versuchsperson wurde der RFE und der RE getrennt nach der Bedingung ohne Kontextwechsel (ohne Wand) beziehungsweise mit Kontextwechsel (mit Wand) und nach beiden Abfragepositionen getrennt in Raum A und Raum B, für jede spezifische Orientierung in der Abfragephase, berechnet. Die Differenzen beim Zeigevorgang zwischen Zeigewinkel (PA: pointing angle) und dem Winkel zum Objekt (OA: object angle) wurden pro Orientierung über alle 6 Zeigevorgänge gemittelt. Auf Grund der Tatsache, dass 6 verschiedene Orientierungen pro Abfrage für alle 6 Objekte vorhanden waren und die

Abfrage von 2 unterschiedlichen Positionen pro Bedingung durchgeführt wurde, besitzt jede Versuchsperson pro Versuchsbedingung 12 Werte (s. Anhang 6.2, Tab. 3), da sowohl der RFE als auch der RE für jede Orientierung von jeder der beiden Abfragepositionen berechnet wurde. Fehlende Messwerte sind auf eine fehlende Datenregistrierung vom VR-Controller zurückzuführen. Der Verdrehungswinkel wurde für jede Person ein Mal pro Bedingung berechnet (s. Abb. 5). Die Reaktionszeit wurde für jeden Probanden pro Versuchsbedingung gemessen und gemittelt.

Mit den Daten aus Tabelle 3 (s. Anhang 6.2) wurde in SPSS eine 3-faktorielle ANOVA über die Faktoren Kontextwechsel (mit Wand vs. ohne Wand), Position (Position in Raum A vs. Position in Raum B) und Orientierung (6 mögliche Orientierungen pro Position), durchgeführt. Weiterhin wurden zusätzlich 4 t-Tests, getrennt nach Abfrageposition für beide Bedingungen sowohl für den RFE als auch den RE durchgeführt.

Alle statistischen Werte im Ergebnisteil (Statistische Signifikanz, Effektstärke usw.) gehen aus diesen t-Tests hervor. Bei Verletzungen der Sphärizität wurde die Greenhouse-Geisser Korrektur verwendet. Das Signifikanzniveau wurde auf 5 Prozent festgelegt ($p < 0,05$).

3 Ergebnisse

3.1 Zeigewinkel (PA) und Winkel zum Objekt (OA) - konkretes Beispiel

Am Beispiel von Versuchsperson 12 werden die insgesamt 72 Zeigevorgänge während beider Versuchsteile dargestellt.

In der ersten Bedingung wurde für die Objekte Set 1 verwendet und die Versuchsbedingung war ohne Kontextwechsel (ohne Wand) (s. Abb. 11, obere Reihe). Die großen Pfeile in Abbildung 11 zeigen in die Richtung der Objektpositionen. Die kurzen Pfeile kennzeichnen die von den Versuchspersonen gezeigten Richtungen. Pro Objekt gab es insgesamt 6 Zeigevorgänge in denen die Versuchsperson unterschiedliche Orientierungen aufwies.

In der zweiten Bedingung wurde für die Objekte Set 2 verwendet und die Versuchsbedingung war mit Kontextwechsel (mit Wand) (s. Abb. 11, untere Reihe).

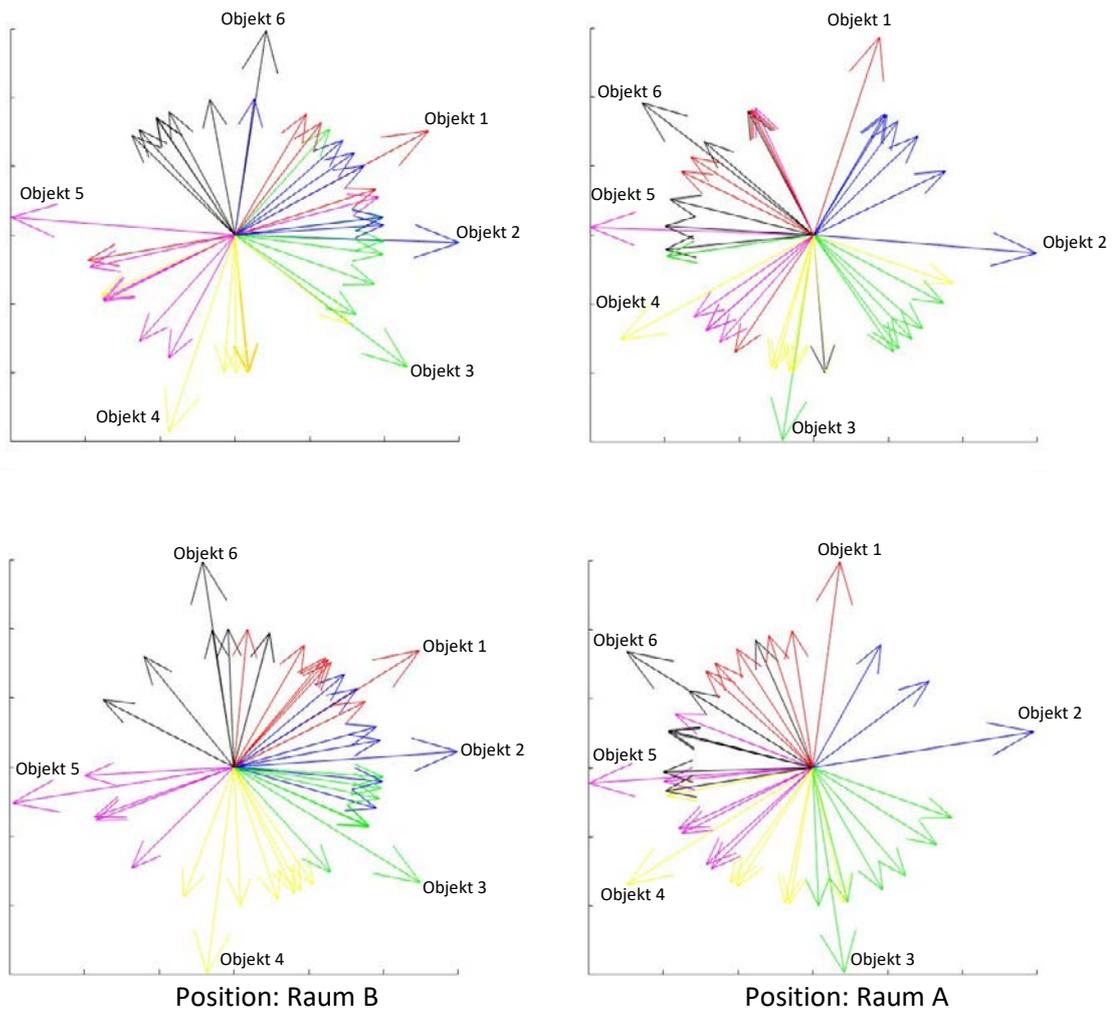


Abbildung 10: obere Reihe: **Bedingung ohne Kontextwechsel**, untere Reihe: **Bedingung mit Kontextwechsel**
 Die linken Abbildungen zeigen die Zeigewinkel von der ersten Abfrageposition in Raum B für die Versuchsperson 12. Die rechten Abbildungen zeigen die Zeigewinkel für die zweite Abfrage nach der Translation von der Lernposition in Raum A. Die großen Pfeile zeigen die tatsächlichen Winkel zum Objekt von jeder Position dar. Das Zeigen auf das gleiche Objekt aus unterschiedlichen Orientierungen wird durch gleichfarbige Pfeile präsentiert.

3.2 RFE-Daten

Es gab keine signifikanten Unterschiede im RFE bei Zeigevorgängen ohne Kontextwechsel im Vergleich zu Zeigevorgängen mit Kontextwechsel.

Die 3-faktorielle ANOVA für den RFE über die Faktoren Kontextwechsel, Position und Orientierung ergab für die Hauptfaktoren Kontextwechsel und Position keine signifikanten Unterschiede ((F (1,11) = 1,01; p = 0,37; $\eta_p^2 = 0,20$) bzw. (F (1,11) = 1,42; p = 0,3; $\eta_p^2 = 0,26$)). Der einzige signifikante Haupteffekt konnte nur für den Faktor Orientierung registriert werden ((F (5,11) = 5,92; p = 0,037; $\eta_p^2 = 0,6$), Greenhouse-Geisser Korrektur wurde verwendet).

Der Median des RFE für die Abfragephase ohne Wand von der Position in Raum A und der Mittelwert lagen sehr nah beieinander (36 Grad bzw. 37 Grad; s. Abb. 12, linke Hälfte). Der Median und der Mittelwert des RFE für die Bedingung mit Wand waren kleiner (21 Grad bzw. 30 Grad; s. Abb. 12, rechte Hälfte). Die Standardabweichung stieg von 17 Grad für die Bedingung ohne Wand auf 20 Grad für die Bedingung mit Wand für die Position in Raum A an.

Für die Abfrageposition in Raum B in der Bedingung ohne Wand waren der Median und der Mittelwert gleich (32 Grad bzw. 32 Grad; s. Abb. 13, linke Hälfte) und in der Bedingung mit Wand existierten größere Unterschiede zwischen Median und Mittelwert (26 Grad bzw. 31 Grad; s. Abb. 13, rechte Hälfte). Die Standardabweichung für beide Bedingungen bei der Abfrage von der Position B betrug 15 Grad. Sowohl der t-Test für die Abfrage von der Position in Raum A ($F(1,11) = 4,68$; $p = 0,53$; $\eta_p^2 = 0,3$) als auch für die Position in Raum B ($F(1,11) = 0,02$; $p = 0,88$; $\eta_p^2 = 0$) ergaben keinen signifikanten Unterschied.

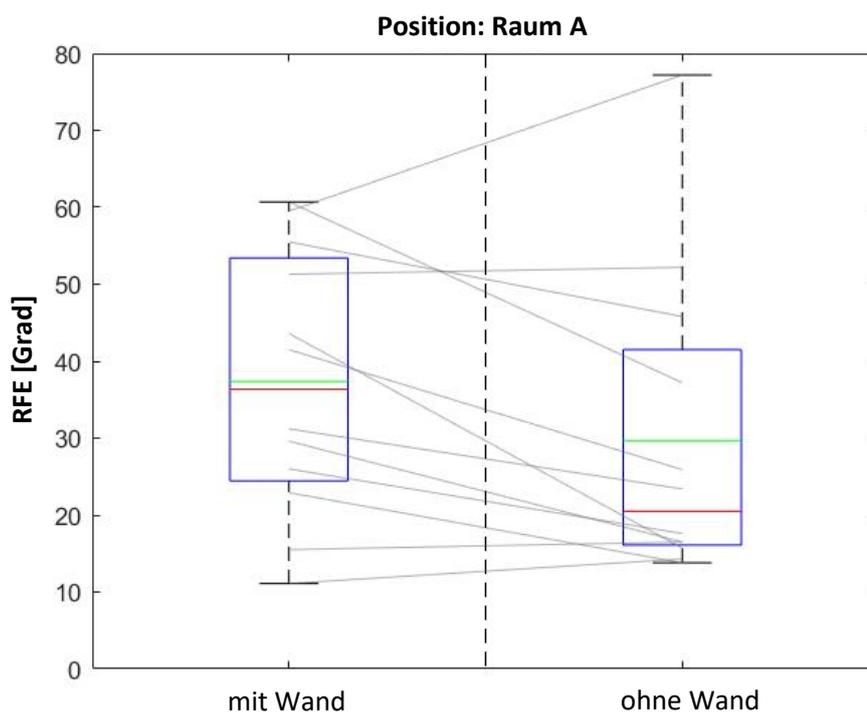


Abbildung 12: Box-Plots des RFE für beide Versuchsbedingungen bei der Abfrage von der Position in Raum A (identisch mit Lernposition). Die grüne Linie stellt in beiden Grafiken den Mittelwert über alle Probanden, die rote Linie den Median, dar. Der RFE für jede Versuchsperson über beide Kontext-Bedingungen ist durch die grauen Linien verdeutlicht. Ausreiser wurden mit roten Kreuzen gekennzeichnet. Diese waren Werte, die größer bzw. kleiner als $q_3 \pm 1,5 * (q_3 - q_1)$ waren mit q_1 als unteres und q_3 oberes Quartil.

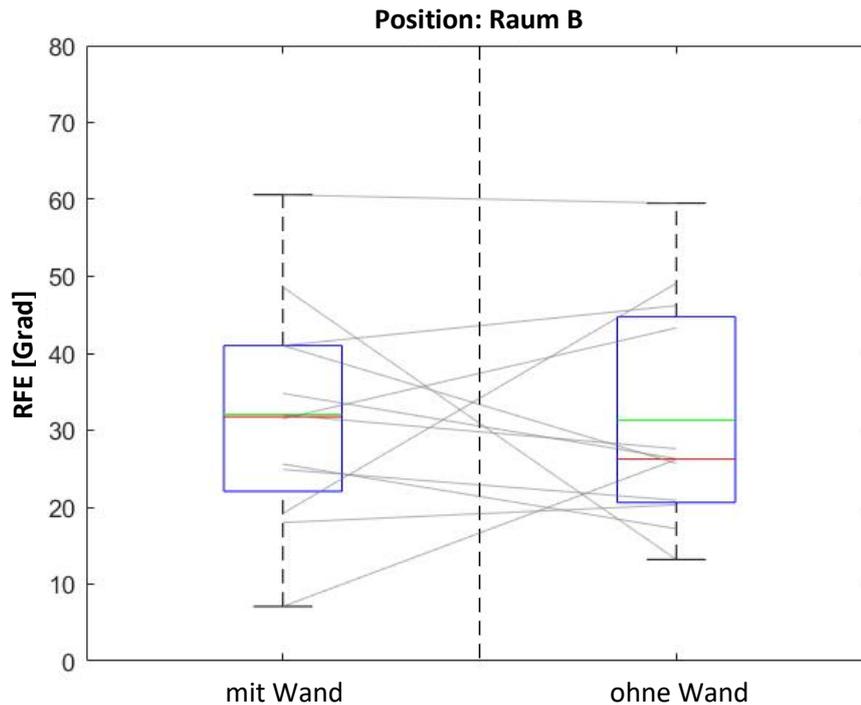


Abbildung 13: Box-Plots des RFE für beide Versuchsbedingungen bei der Abfrage von der Position in Raum B. Die grüne Linie stellt in beiden Grafiken den Mittelwert über alle Probanden, die rote Linie den Median, dar. Der RFE für jede Versuchsperson über beide Kontext-Bedingungen ist durch die grauen Linien verdeutlicht. Ausreiser wurden mit roten Kreuzen gekennzeichnet. Diese waren Werte, die größer bzw. kleiner als $q_3 \pm 1,5 * (q_3 - q_1)$ waren mit q_1 als unteres und q_3 oberes Quartil.

3.3 RE – Daten

Der Median des RE für die Abfragephase ohne Wand von der Position in Raum A und der Mittelwert lagen sehr nah beieinander (24 Grad bzw. 25 Grad; s. Abb.14, linke Hälfte). Der Median und der Mittelwert des RE für die Bedingung mit Wand waren kleiner (19 Grad bzw. 20 Grad; s. Abb. 14, rechte Hälfte). Die Standardabweichung fiel leicht von 9 Grad für die Bedingung ohne Wand auf 8 Grad für die Bedingung mit Wand für die Position in Raum A an.

Für die Abfrageposition in Raum B in der Bedingung ohne Wand waren der Median kleiner als der Mittelwert (25 Grad bzw. 32 Grad; s. Abb.15, linke Hälfte) und in der Bedingung mit Wand existierten ebenso kleine Unterschiede zwischen Median und Mittelwert (20 Grad bzw. 23 Grad; s. Abb.15, rechte Hälfte). Die Standardabweichung für die Abfrage Position A betrug ohne Wand 20 Grad und für die Bedingung mit Wand 9 Grad. Sowohl der t-Test für die Abfrage von der Position in Raum A ($F(1,11) = 4,38$; $p = 0,06$; $\eta_p^2 = 0,29$) als auch für die Position in Raum B ($F(1,11) = 2,16$; $p = 0,17$; $\eta_p^2 = 0,16$) ergaben keinen signifikanten Unterschied.

3.4 Reaktionszeiten

Die Mittelwerte der Reaktionszeit für beide Bedingungen lagen bei 1,19 Sekunden mit einer Standardabweichung von 0,35 Sekunden für die Bedingung ohne Wand und 0,23 Sekunden für die Bedingung mit Wand. Da keine signifikanten Unterschiede in den Reaktionszeiten vorhanden waren, wurden diese bei der Datenanalyse nicht weiter betrachtet. Die Reaktionszeiten sind hier präsentiert, da diese in der Diskussion (4.3 Reaktionszeiten) mit den Reaktionszeiten von Blessing (2016) verglichen werden.

3.5 Weiterführende Ergebnisse: Abfall des RFE nach Translationsphasen

In der Abbildung 16 wird die Entwicklung des RFE nach den von den Versuchspersonen durchgeführten Translationsbewegungen zwischen den Positionen in Raum A und in Raum B dargestellt. Die Abfrage von der Position im Raum B (Erhebungsphase 1, s. Abb. 1) folgte unmittelbar der Translationsphase 1 von der Position A nach Beendigung der Lernphase. Die Abfrage von der Position im Raum A (Erhebungsphase 2, s. Abb. 1) erfolgte direkt nach der Translationsphase 2. Beide Translationsphasen wurden pro Versuchsbedingung in der gleichen virtuellen Umgebung durchgeführt. Die in der Abbildung 16 präsentierten Daten sind pro Bedingung und pro Erhebungsphase über alle Probanden gemittelt.

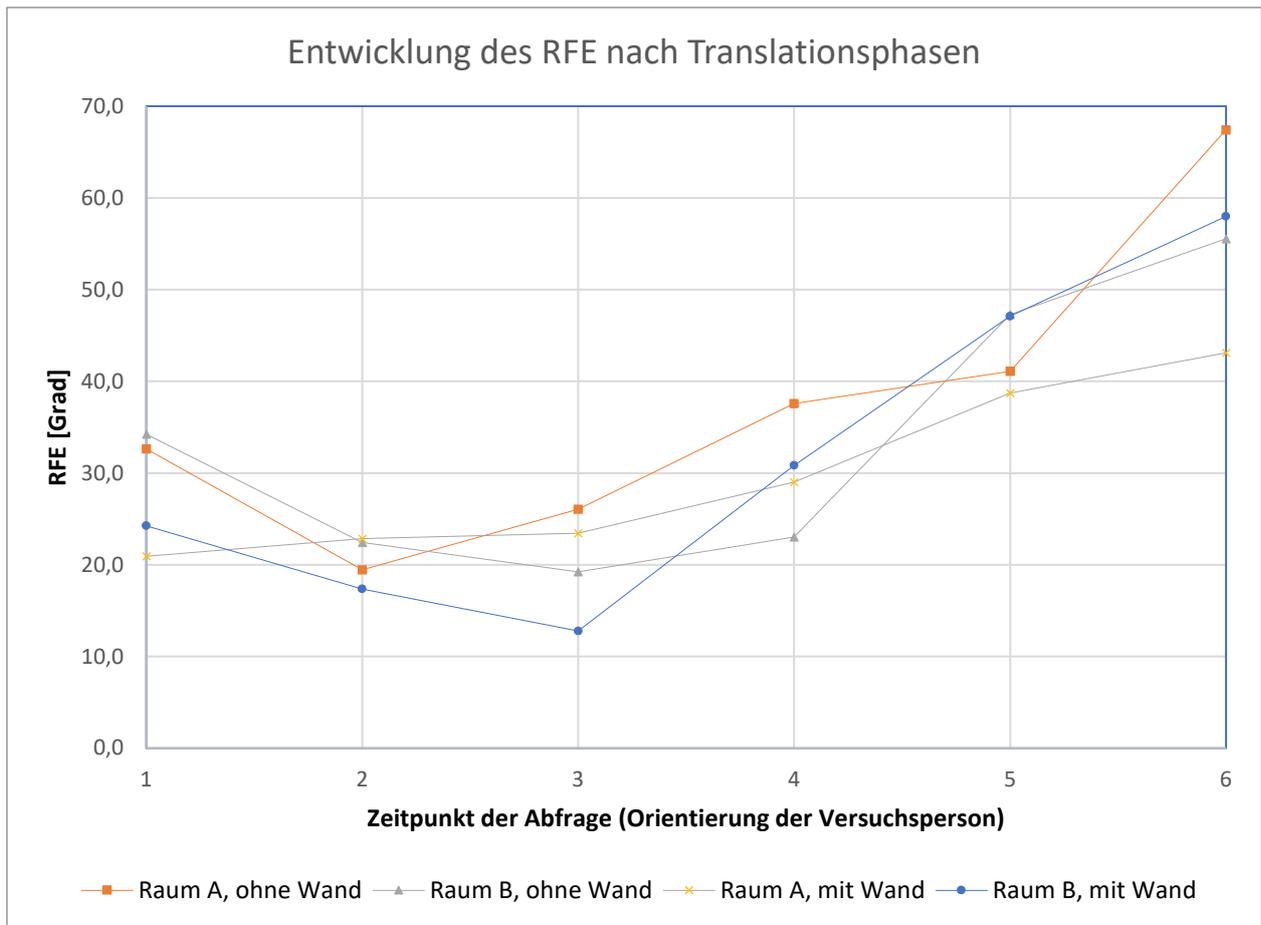


Abbildung 16: Diese Abbildung stellt die Entwicklung des RFE (globaler Fehler) während den einzelnen Abfragephase nach Translationen über alle 12 Versuchspersonen gemittelt dar. Auf der y-Achse ist der Zeitpunkt der Abfrage in einer Erhebungsphase abgebildet. Jeder diskrete Zeitpunkt der Abfrage entspricht einer konkreten Orientierung der Versuchsperson in der Erhebungsphase.

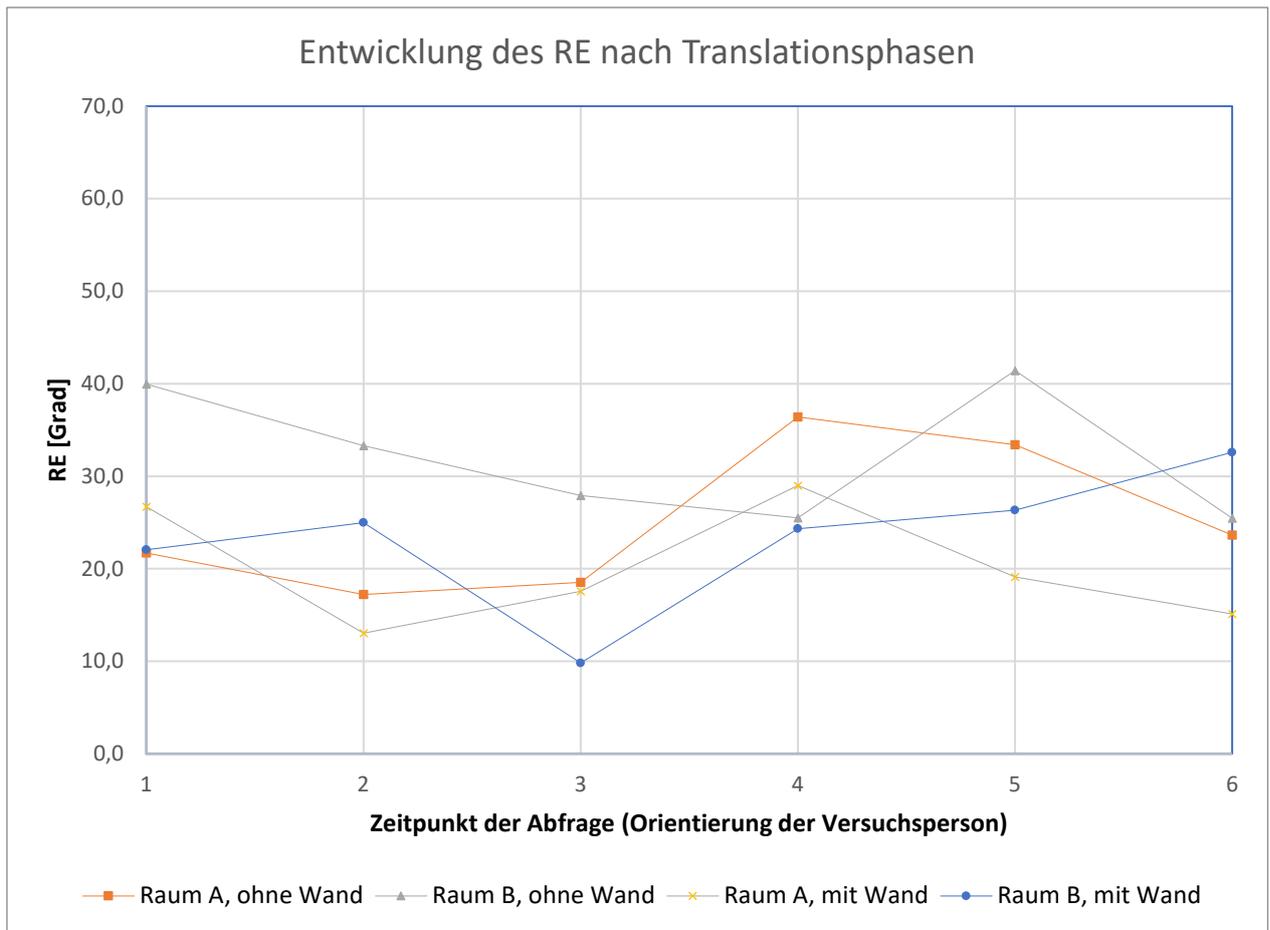


Abbildung 17: Diese Abbildung stellt die Entwicklung des RE (lokaler Zeigefehler) während den einzelnen Abfragephase nach Translationen über alle 12 Versuchspersonen gemittelt dar. Auf der y-Achse ist der Zeitpunkt der Abfrage in einer Erhebungsphase abgebildet. Jeder diskrete Zeitpunkt der Abfrage entspricht einer konkreten Orientierung der Versuchsperson in der Erhebungsphase.

4 Diskussion

Mit diesem Versuch sollte untersucht werden, ob das Betreten neuer Räume und die damit einhergehende Aktualisierung des Situationsmodells im räumlichen Arbeitsgedächtnis durch den Positionsfortschreibungseffekt mit der Positionsfortschreibung bei der Abfrage von zuvor gelernten Objektllokationen interagiert. Der Positionsfortschreibungseffekt zeichnet sich durch einen verschlechterten Abruf von Informationen nach einem Kontextwechsel aus. Er wurde bis jetzt nur bei Blessing (2016) in Interaktion mit der Positionsfortschreibung, der Aktualisierung von egozentrischen Positionsinformationen betrachtet.

Für den Fall, dass diese beiden im räumlichen Arbeitsgedächtnis ablaufenden Prozesse sich gegenseitig beeinflussen, wurde ein größerer globaler Fehler (RFE) in der Zweiraumbedingung, der Bedingung mit Kontextwechsel, erwartet. Um die Interaktion beider kognitiver Prozesse zu untersuchen wurde mit einer Oculus Rift ein Versuch in einer virtuellen Umgebung durchgeführt, bei dem die Versuchspersonen die Positionen von 6 unterschiedlichen Objekten lernen mussten. In der anschließenden Abfragephase mussten die Personen auf die zuvor gelernten Objektpositionen zeigen, wobei der globale Zeigefehler (RFE) zwischen der Bedingung mit Kontextwechsel (Bedingung mit Wand) und der Bedingung ohne Kontextwechsel (Bedingung ohne Wand) verglichen wurde. Vor jeder Abfragephase mussten die Versuchspersonen eine Translation von einer Abfrageposition zur zweiten Abfrageposition durchführen. Diese Translation erfolgte entweder in einem Raum (ohne Kontextwechsel: Bedingung ohne Wand) oder durch einen Spalt in einer Wand von einem Raum in einen zweiten Raum (mit Kontextwechsel: Bedingung mit Wand).

Auf Grund deutlicher Indizien in der Bachelorarbeit von Blessing (2016) wurde ein höherer globaler Fehler beim Zeigevorgang (RFE) in der Bedingung mit Kontextwechsel erwartet. Dieser erwartete höhere RFE in Bedingung mit Kontextwechsel könnte nach Radvansky et al. (2011) durch eine Aktualisierung im Situationsmodell erklärt werden, die durch das Betreten eines neuen Raumes ausgelöst wird. Auf Grund eines Kontextwechsels in der Bedingung mit Wand wurde erwartet, dass Positionsinformationen über Objekte, die zuvor gelernt wurden, wegen der Aktualisierung des Situationsmodells schlechter abrufbar gewesen wären, als in der Bedingung ohne Wand und daher auch ohne Kontextwechsel.

Da die Informationen über die Objektpositionen in der Bedingung mit Kontextwechsel mit einem anderen Raum assoziiert wurden, wurde erwartet, dass durch die schlechtere Abrufleistung ein größerer Fehler beim Zeigevorgang und der Reaktionszeit messbar gewesen wäre.

4.1 RFE – globaler Fehler

Der höhere Median und auch der höhere Mittelwert bei der Abfrage von der Position in Raum A im Vergleich zu den Werten aus Raum B bei der Bedingung ohne Kontextwechsel, könnten dadurch erklärt werden, dass die Lernphase und die Abfrage der Lernphase von der Position in Raum B stattgefunden haben. Die Versuchspersonen mussten also nach der Lernphase zuerst während der Translation in den Raum A die Objektpositionen im egozentrischen Koordinatensystem während des Positionswechsels aktualisieren. Da dieser Effekt aber nur sehr klein und in der Bedingung mit Kontextwechsel nicht erkennbar ist, spricht dies prinzipiell für eine sehr gute Integrationsleistung der Versuchspersonen für die neuen Objektpositionen bzgl. der eigenen Position nach der Translationsphase (s. Abb. 1) im Raum. Weder das benutzte Objekt-Set, noch die Reihenfolge der Bedingungen hatten eine statistisch signifikante Auswirkung auf den RFE. Dies spricht dafür, dass weder die verwendeten Objekte, noch die Tatsache, dass die Bedingung mit Wand bzw. ohne Wand als erstes oder als zweites abgefragt wurde, für den RFE der Versuchspersonen relevant sind. Nur in Raum A gab es einen kleinen Unterschied der Standardabweichungen zwischen beiden Bedingungen, wobei die Standardabweichung für die Bedingung mit Kontextwechsel um wenige Grad größer war.

Allgemein gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede im RFE zwischen der Bedingung mit Kontextwechsel und der Bedingung ohne Kontextwechsel. Dieser Befund deckt sich nicht mit unseren Erwartungen, da für die Bedingung mit Kontextwechsel ein höherer Fehler beim Zeigen erwartet wurde. Diese Tatsache zeigt, dass es keine Unterschiede bei der Abfrage zwischen beiden Bedingungen gibt und, bedarf verschiedener Erklärungsansätze. Zum einen ist es möglich, dass auf Grund des Versuchsdesigns in einer virtuellen Umgebung der Kontextwechsel von den Versuchspersonen nicht wahrgenommen wurde und deswegen auch keine verschlechterte Abrufleistung der Objektpositionen erfolgte, da keine Aktualisierung des Situationsmodells beim Betreten des neuen Raumes nötig war. Zum anderen ist es auch möglich, dass der Fehler, der durch die verschlechterte Abrufleistung der Objektpositionen während der Abfragephase erfolgte, so klein ist, dass er bei der statistischen Auswertung der aufbereiteten Daten des RFE nicht relevant ist und damit auch mit den in dieser Arbeit benutzten Auswertungsmethoden nicht erkennbar ist.

Weiterführende Betrachtungen der Ergebnisse (s. 3.5 Weiterführende Ergebnisse: Abfall des RFE nach Translationen) zeigen für alle Erhebungsphasen ähnliche Entwicklungstendenzen des RFE. Für die ersten drei Orientierungen bzw. Zeitpunkte in der Abfrage in der Erhebungsphase ist eine Tendenz für einen abfallenden RFE erkennbar. Ab dem dritten Zeitpunkt (s. Abb. 16) wächst der RFE stark an. Dieses Ansteigen des RFEs spricht für einen globalen Fehler, der auf Grund eines Leistungsabfalls im Prozess der Positionsfortschreibung während der zeitlich andauernden Erhebungsphasen erklärt werden

könnte. Die Positionsfortschreibung in den Erhebungsphasen erfolgte nur auf Grund von vestibulären und propriozeptiven Informationen. Die Versuchspersonen hatten nur in den Translationsphasen die Möglichkeit sich am Versuchsraum ohne Objekte als äußeren räumlichen Konstrukt zu orientieren.

4.2 RE – lokaler Fehler

Die Tatsache, dass bei der Abfrage von der Position in Raum A die gemessenen Daten für beide Bedingungen bis auf minimale Unterschiede gleich waren, spricht für einen stabilen lokalen Fehler innerhalb der Probanden. Gleiches gilt für die Abfrage von der Position in Raum B, bis auf das die hohe Standardabweichung, welche auf den großen Zeigefehler bei einem Probanden in der Bedingung ohne Wand (s. Abb. 16) zurückgeführt werden kann, zu einer relativ großen Zunahme der Standardabweichung in der Bedingung ohne Wand geführt hat.

Allgemein gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede im RE zwischen der Bedingung mit Kontextwechsel und der Bedingung ohne Kontextwechsel. Da der RE vor allem einem rein theoretischen Konstrukt zu Grunde liegt und als individueller Zeigefehler pro Proband berechnet wurde (s. Abb. 10 und Tab. 3), ist die Interpretation dieses Fehlers beim Zeigevorgang kognitionswissenschaftlich unklar.

Im Gegensatz zum RFE zeigen weiterführende Betrachtungen der Ergebnisse (s. 3.5 Weiterführende Ergebnisse: Abfall des RFE nach Translationen) keine klare Tendenz in der Entwicklung des RE über die verschiedenen Orientierungen bzw. Zeitpunkte in der Erhebungsphase. Diese Tatsache spricht für eine Konstanz des lokalen Fehlers RE bei den Versuchspersonen. Da der lokale Fehler RE als individueller Fehler bei Zeigevorgängen in der Erhebungsphase betrachtet werden kann und keine klare Tendenz wie beim RFE (s. Abb. 16) gegeben ist, scheint der RE nicht von der Positionsfortschreibung in der Erhebungsphase betroffen zu sein.

4.3 Reaktionszeiten

Farrell and Robertson (1998) haben in ihrer Arbeit festgestellt, dass bestimmte Versuchsbedingungen (vgl. 1.2 Positionsfortschreibung: *Ignoring* Bedingung) in ihrer Arbeit während der Positionsfortschreibung für kognitive Prozesse mit einer höheren Reaktionszeit beim Zeigevorgang einhergehen. Ebenso konnte Blessing (2016) in seiner Arbeit kleine Unterschiede in der Reaktionszeit je nach Versuchsbedingung feststellen.

In dieser Arbeit gab es keine signifikanten Unterschiede in der Reaktionszeit zwischen der Bedingung mit Kontextwechsel und der Bedingung ohne Kontextwechsel. Für diese Arbeit war deswegen die Reaktionszeit nur als Vergleich zur Arbeit von Blessing (2016) interessant. Die durchschnittlichen Reaktionszeiten bei diesem Versuch waren kürzer als bei der Arbeit von Blessing (2016). Dies könnte daran liegen, dass in dieser Arbeit in der Abfragebedingung den Versuchspersonen während der Abfrage Bilder der Objekte auf dem HMD Display gezeigt wurden (s. Abb. 8) und nicht wie bei Blessing (2016) das Zeigen auf die Objekte durch das Nennen des gesuchten Objekts durch den Versuchsleiter, also durch auditive Reize, erfolgte.

4.4 Abfall des RFE nach Translationsphasen

Wie die Abbildungen 16 und 17 zeigen, existiert während der Abfragephase eine Zunahme des globalen Fehlers (RFE), der für die beiden Versuchsbedingungen (mit Kontextwechsel/ohne Kontextwechsel) und beide Abfragepositionen (A, B) eine sehr ähnliche Entwicklung in der Erhebungsphase aufweist. Da während der Translationsphasen nur der Raum ohne Objekte eingeblendet wurde (s. Abb. 1), spricht der starke Abfall des RFE nach einer Translationsphase dafür, dass die Positionsinformationen der Objekte durchweg stabil im räumlichen Arbeitsgedächtnis beibehalten werden. Des Weiteren zeigt dieser Effekt, dass das Abspeichern von Objektpositionen in der Tat kontextspezifisch erfolgt und dass das alleinige einblenden des Raumes während der Translation zwischen beiden Abfragephase dazu führt, dass die Position der Objekte verbessert wiedergegeben werden kann.

Durch hinzuziehen der Abbildung 17, die für den RE im Gegensatz zum RFE (s. Abb. 16) keine klare Entwicklungstendenz aufweist, kann weiterhin auf eine verschlechterte Positionsfortschreibung nach dem dritten Zeitpunkt in der Erhebungsphase geschlossen werden. Es wird vermutet, dass die Zunahme des globalen Fehlers (RFE) während der Erhebungsphase durch eine verschlechterte Positionsfortschreibung im räumlichen Arbeitsgedächtnis auftritt.

Da als mögliche Ursache für das Nichtvorhandensein von signifikanten Unterschieden zwischen beiden Versuchsbedingungen ein durchweg sehr hoher RFE ursächlich sein kann, ist es möglich durch eine neue statistische Auswertung der RFE Daten, in der nur für die ersten drei Zeitpunkte der RFE berechnet wird, neue Erkenntnisse zu erlangen. Es ist unklar, in welcher Größenordnung der vermutete Fehler liegt, der durch einen Einfluss vom Positionsfortschreibungseffekt auf die Positionsfortschreibung entstehen würde. Eine weitere Auswertung der Daten in der nur die ersten drei Zeitpunkte der Erhebungsphasen für die Berechnung des RFEs und des REs benutzt werden,

könnten möglicherweise schon ausreichen um Unterschiede zwischen beiden Versuchsbedingungen in den Daten zu finden.

4.5 Problemanalyse und Fehlermaße

Für die Auswertung der Daten wurden zwei neue Fehlermaße eingeführt, die eine neue Möglichkeit bieten, Fehler, die bei Zeigevorgängen mit einer Positionsfortschreibung entstehen, zu analysieren und auch zu interpretieren. Der RFE als globaler Fehler berechnet nach Positionsfortschreibungsvorgängen während der Abfragephase die mittlere Abweichung pro Orientierung für die Abfrage aller Objekte. Somit stellt der RFE den internen, egozentrischen Fehler des wahrgenommenen Koordinatensystems zum eigentlichen, wahren Koordinatensystems und den entsprechenden Objektpositionen im Raum, dar. Da der RFE pro Orientierung berechnet wird, ermöglicht dieser globale Fehler eine Berechnung des lokalen Fehlers RE, der für die einzelne Abfrage eines einzelnen Objekts pro Orientierung entsteht. Mit Hilfe des RFEs und des REs ist es so möglich die entstehenden Fehler bei Zeigevorgängen während der Positionsfortschreibung in ihre einzelnen Bestandteile zu zerlegen. Allerdings bleibt unklar, in wie weit vor allem der RE kognitionswissenschaftlich interpretiert werden kann und dementsprechend auch für die Erforschung des räumlichen Arbeitsgedächtnisses von Relevanz ist, da dieser Fehler nur mathematisch motiviert ist.

Da keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der Bedingung mit Kontextwechsel und ohne Kontextwechsel aufgetreten sind, werden im folgenden einige Probleme kurz erörtert. Die Ergebnisse von Radvansky and Copeland (2006); Radvansky et al. (2011) zeigen, dass das Betreten neuer Räume auch in virtuellen Umgebungen zu Positionsfortschreibungseffekten führt und Informationen, die in einem früheren Situationsmodell gelernt wurden, schlechter abgerufen werden. Es bleibt aber unklar, wie das Auftreten eines Standortfortschreibungseffekts, also die Aktualisierung eines Situationsmodells überprüft werden kann. Bei der Arbeit von Blessing (2016) sind die Versuchspersonen physisch durch zwei Türen gelaufen, wobei diese Türen vom Versuchsleiter sowohl geöffnet als auch geschlossen wurden. In dem hier vorgestellten Versuchsdesign gab es auf Grund der virtuellen Umgebung keine physischen Möglichkeiten das Betreten neuer Räume mit beispielsweise haptischen und auditiven Reizen zu erfahren. Obwohl die neueste VR-Technologie eine sehr hohe Immersion erlaubt, bleibt fraglich ob diese Art der Wahrnehmung eines virtuellen Raumes ausreicht, um ein vollständiges und realitätsgetreues räumliches Abbild zu erstellen. Weiterhin wurde dieser Versuch wurde in einem VR-Labor durchgeführt, dass sehr viel größer als der virtuelle Raum in der Bedingung ohne Wand war. Die Versuchspersonen hatten zu Beginn das VR-Labor betreten und in der Pause zwischen beiden Versuchsbedingungen sich ebenso in dem relativ großen

VR-Labor bewegen können. Es ist unklar, welchen Einfluss die Größe des VR-Labors auf die Wahrnehmung der virtuellen Umgebung hat und ob solch ein Einfluss überhaupt existiert. Alternativ wäre auch denkbar, dass die zwei Raumtrenner, die von Beginn an in der Versuchsumgebung vorhanden waren, dazu geführt haben, dass schon zu Beginn der Raum in der Lernphase als eine zweigeteilte Umgebung wahrgenommen wird und dadurch auch während der Translation keine vollständige Aktualisierung des Situationsmodells notwendig ist. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass die Größenordnung des erwarteten Fehlers nicht abschätzbar ist. Wie die Abbildungen 12, 13 und 16 darstellen und auch an Hand der Daten des RFE erkannt werden kann (s. Anhang Tab. 3), besitzen die Fehler bei Zeigevorgängen während eine Abfrage mit Positionsfortschreibung eine sehr hohe Varianz. Dementsprechend bedarf es einer sehr genauen Betrachtung der Zeigefehler um Unterschiede, die auf eine Interaktion zwischen Positionsfortschreibung und Positionsfortschreibungseffekt deuten, herauszufinden.

4.6 Abschlussbemerkung

Mit Hilfe der neuen Technologien in der virtuellen Realität haben sich nicht nur für die Forschung viele neue Möglichkeiten geöffnet. Auf Grund des hohen Immersionsgrades und des guten Positionstrackings von der Oculus Rift ist es möglich die Kognitionsforschung mit neuen Versuchsdesigns und vor allem noch mehr detaillierteren Daten zu betreiben. Jedoch birgt dies wie schon May and Kluwe (2000) beschrieben, ein weiteres Problem mit sich, da in der räumlichen Kognitionsforschung das Nichtvorhandensein von klaren Messmethoden es erschwert Daten mit anderen Arbeiten zu vergleichen. Durch die VR-Technologie kommt eine weitere Messmethode hinzu, die es möglicherweise noch schwieriger macht, direkte Vergleiche der Daten zwischen wissenschaftlichen Arbeiten zu ziehen.

Ein weiterer wichtiger Schritt wäre es eine direkte feedback-Funktion durch das Benutzen von speziellen Hand-Controllern von Oculus in der Lernphase zu ermöglichen um den Zeigefehler durch gezielteres Lernen des Zeigevorgangs zu minimieren.

Diese Arbeit zeigt eine erste Methode auf, wie mit Hilfe von VR neue Rückschlüsse in Bezug auf das Agieren und Navigieren von Menschen in Räumen geschlossen werden kann. Die statistische Auswertung der Daten hat dennoch keine neuen Befunde zur Fragestellung liefern können, ob eine Interaktion zwischen Positionsfortschreibung und dem Positionsfortschreibungseffekt im räumlichen Arbeitsgedächtnis erfolgt.

5 Literaturverzeichnis

- Blessing, C. (2016). *Positionsfortschreibung in strukturierten Umgebungen mit Kontextwechsel*. (Bachelorarbeit), University of Tübingen.
- Farrell, M. J., & Robertson, I. H. (1998). Mental rotation and automatic updating of body-centered spatial relationships. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24(1), 227.
- Logie, R. H. (2011). The Functional Organization and Capacity Limits of Working Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 20(4), 240-245. doi:10.1177/0963721411415340
- Loomis, J. M., Klatzky, R. L., & Giudice, N. A. (2013). Representing 3D space in working memory: Spatial images from vision, hearing, touch, and language *Multisensory imagery* (pp. 131-155): Springer.
- Mallot, H. A. (2012). *Raumkognition Kognitive Neurowissenschaften* (pp. 217-224): Springer Berlin Heidelberg.
- May, M., & Kluwe, R. H. (2000). *Kognition im Umraum*: Springer.
- Oculus VR, L. (2017a). Documentation - Rendering Techniques. Retrieved from https://developer3.oculus.com/documentation/intro-vr/latest/concepts/bp_app_rendering/
- Oculus VR, L. (2017b). Documentation - Tracking. Retrieved from https://developer3.oculus.com/documentation/intro-vr/latest/concepts/bp_app_tracking/
- Radvansky, G. A., & Copeland, D. E. (2006). Walking through doorways causes forgetting: situation models and experienced space. *Mem Cognit*, 34(5), 1150-1156.
- Radvansky, G. A., Krawietz, S. A., & Tamplin, A. K. (2011). Walking through doorways causes forgetting: Further explorations. *Q J Exp Psychol (Hove)*, 64(8), 1632-1645. doi:10.1080/17470218.2011.571267
- Riecke, B. E., Cunningham, D. W., & Bulthoff, H. H. (2007). Spatial updating in virtual reality: the sufficiency of visual information. *Psychol Res*, 71(3), 298-313. doi:10.1007/s00426-006-0085-z
- Wang, R. F., & Simons, D. J. (1999). Active and passive scene recognition across views. *Cognition*, 70(2), 191-210.

6 Anhang

6.1 Probandeninformation zum Experiment

EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN



Mathematisch-
Naturwissenschaftliche
Fakultät

Probandeninformation zum Experiment

Name des Versuchsleiters: Ilja Mirsky

Sie werden an einem Virtual-Reality (VR) Experiment teilnehmen. Während des Experimentes werden Sie sich in einer virtuellen Umgebung befinden, in der Sie sich die Position von Objekten in einem virtuellen Raum merken sollen.

Name der Objekte:

Katze, Hammer, Spinne, Säge, Bildschirm, Blume, Lampe, Kugel, Kiste, Tasse, Drucker, Kaktus

Während des gesamten Experiments werden Sie eine VR-Brille mit integriertem Display (Oculus Rift) tragen, welche Ihre exakte Position im Raum erfasst. Nach Anweisung des Versuchsleiters werden Sie zudem sehr langsame Rotations – und Translationsbewegungen durchführen. Für die Zeigebewegungen im virtuellen Raum werden Sie in der Rechten Hand einen Tracker halten, mit welchem Sie auf die Position der virtuellen Objekte bei der Abfrage deuten sollen.

Ihre persönlichen, im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten werden für wissenschaftliche Publikationen - in anonymisierter Form - verwendet und am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft gespeichert.

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

Tübingen, den _____
Unterschrift

Einverständniserklärung zur Teilnahme

Name der Versuchsperson (in Druckbuchstaben): _____

Ich erkläre mich bereit, an dem Experiment teilzunehmen.

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

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

Tübingen, den _____
Unterschrift

Abbildung 18: Einführung und Einverständniserklärung zur Teilnahme am Versuch in VR

6.2 RFE und RE Daten

MessPkt_A und MessPkt_B: MessPkt (1-6) im Raum A (entspricht den 6 Orientierungen in der Erhebungsphase vgl. 2.5.3)

Order Bedingung: Reihenfolge der Bedingungen mit/ohne Wand; Order Bedingung = 1 heißt, dass Bedingung ohne Wand zuerst abgefragt wurde, Order Bedingung = 2 heißt, dass Bedingung mit Wand zuerst abgefragt wurde

Order Set: Gegenstände aus einer der beiden Kategorien (inklusive spezifischer Anordnungen dieser Gegenstände im Raum in der Lernphase)

MW: Mittelwert

Std: Standardabweichung

NaN: Daten auf Grund von fehlenden Messungen des VR-Controllers nicht vorhanden

