

**Der Einfluss räumlicher Konflikte auf die Objektlokalisierung
nach vorgestellten Perspektivenwechseln**

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie
der Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften der Helmut-Schmidt-
Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg

vorgelegt von

Kim Puls

aus Göttingen

Norderstedt, 2023

Erstgutachter: Prof. Dr. Martin Hecht

Zweitgutachter: Prof. Dr. Mike Wendt

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Grundlagen	5
2.1 Räumliche Referenzsysteme	5
2.2 Systeme der Verarbeitung von Rauminformation	6
3 Ansätze der Untersuchung räumlicher Mechanismen	9
3.1 Befunde zur Aktualisierung egozentrischer Objektrelationen	10
3.2 Befunde zur Organisationsstruktur des Raumgedächtnisses	11
3.3 Untersuchungen zur Integration beider Forschungslinien	13
3.4 Gedächtnissysteme und neurowissenschaftliche Erkenntnisse.....	15
3.5 Zusammenfassung räumlicher Einflussfaktoren auf die Anzeigeleistung.....	17
4 Erklärungsansätze zur Schwierigkeit vorgestellter Perspektivenwechsel	19
4.1 Transformationsannahmen.....	19
4.2 Interferenzannahmen.....	23
5 Untersuchungsbefunde	27
5.1 Der Einfluss einer Desorientierung.....	28
5.2 Der Einfluss der räumlichen Testumgebung.....	34
5.3 Der Einfluss einer Vorbereitungszeit.....	41
5.4 Der Einfluss der Antwortmethode	46

6 Konzeption der experimentellen Versuchsreihe	53
6.1 Vorüberlegungen zur eigenen Untersuchung.....	53
6.2 Überblick über die Experimente	55
6.3 Ergebnisprognosen und Hypothesen zu den eigenen Experimenten	57
6.4 Überblick über die Hypothesen.....	58
7 Experimentelle Untersuchungen	59
7.1 Experiment 1	59
7.1.1 Methode.....	60
7.1.2 Ergebnisse	68
7.1.3 Diskussion	78
7.2 Experiment 2	81
7.2.1 Methode.....	82
7.2.2 Ergebnisse	84
7.2.3 Diskussion	92
7.3 Experiment 3	94
7.3.1 Methode.....	96
7.3.2 Ergebnisse	97
7.3.3 Diskussion	105
7.4 Interexperimenteller Vergleich der Lernbedingungen.....	106
7.4.1 Ergebnisse	106
7.4.2 Diskussion	112
7.5 Experiment 4	115
7.5.1 Methode.....	117
7.5.2 Ergebnisse	119
7.5.3 Diskussion	128

8 Gesamtdiskussion.....	130
8.1 Ausrichtungsdisparität (HDD)	131
8.2 Egozentrische Objektrichtungsdisparität (ODD_{ego})	133
8.3 Allozentrische Objektrichtungsdisparität (ODD_{allo}).....	135
8.4 Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive	137
8.5 Single- vs. multi-perspektivisches Lernen	143
8.6 Konfliktmodell	146
9 Fazit.....	153
Literaturverzeichnis	156
Anhang.....	167

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Räumliche Konflikte der HDD, ODD und LDD.....	18
Abbildung 2. Darstellung des Versuchsraums und der Versuchsanordnung	62
Abbildung 3. Illustration der HDD in der Versuchsanordnung.....	66
Abbildung 4. Illustration der ODD in der Versuchsanordnung.....	67
Abbildung 5. Mittlere Anzeigelatenzen Darbietungsreihenfolge x HDD (Exp. 1)	69
Abbildung 6. Mittlere Anzeigelatenzen Darbietungsreihenfolge x ODD (Exp. 1)	71
Abbildung 7. Mittlere Anzeigefehler Darbietungsreihenfolge x HDD (Exp. 1)	73
Abbildung 8. Mittlere Anzeigefehler Darbietungsreihenfolge x ODD (Exp. 1)	74
Abbildung 9. Räumliche Konflikte der beiden Arten von ODD	77
Abbildung 10. Übersicht der Effekte der HDD, ODD _{ego} und ODD _{allo} (Exp. 1).....	78
Abbildung 11. Mittlere Anzeigelatenzen SOA x HDD (Exp. 2).....	85
Abbildung 12. Mittlere Anzeigelatenzen SOA x ODD (Exp. 2).....	86
Abbildung 13. Mittlere Anzeigefehler SOA x HDD (Exp. 2).....	89
Abbildung 14. Mittlere Anzeigefehler SOA x ODD (Exp. 2).....	90
Abbildung 15. Übersicht der Effekte der HDD, ODD _{ego} und ODD _{allo} (Exp. 2).....	91
Abbildung 16. Mittlere Anzeigelatenzen SOA x HDD (Exp. 3).....	99
Abbildung 17. Mittlere Anzeigelatenzen SOA x ODD (Exp. 3).....	100
Abbildung 18. Mittlere Anzeigefehler SOA x HDD (Exp. 3).....	102
Abbildung 19. Mittlere Anzeigefehler SOA x ODD (Exp. 3).....	103
Abbildung 20. Übersicht der Effekte der HDD, ODD _{ego} und ODD _{allo} (Exp. 3).....	104
Abbildung 21. Übersicht der Effekte der HDD, ODD _{ego} und ODD _{allo} (Anzeigelatenz für multi- vs. single-perspektivische Lernbedingungen).....	108
Abbildung 22. Übersicht der Effekte der HDD, ODD _{ego} und ODD _{allo} (Anzeigefehler für multi- vs. single-perspektivische Lernbedingungen)	111

Abbildung 23. Mittlere Vorbereitungslatenzen Übung x HDD (Exp. 4)	120
Abbildung 24. Mittlere Anzeigelatenzen Übung x HDD (Exp. 4)	122
Abbildung 25. Mittlere Anzeigelatenzen Übung x ODD (Exp. 4)	123
Abbildung 26. Mittlere Anzeigefehler Übung x HDD (Exp. 4)	125
Abbildung 27. Mittlere Anzeigefehler Übung x ODD (Exp. 4)	126
Abbildung 28. Effekte der HDD, ODD _{ego} und ODD _{allo} (Exp. 4)	127
Abbildung 29. Konzeption eines Konfliktmodells	147

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht der Übereinstimmungen mit den Trendmodellen und der Effektstärken der HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo} auf die mittlere Anzeigelatenz.....	108
Tabelle 2 Übersicht der Übereinstimmungen mit den Trendmodellen und der Effektstärken der HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo} auf den mittleren Anzeigefehler.....	111

1 Einleitung

Die Verarbeitung von Rauminformation umfasst basale, oftmals automatisch und unbewusst ablaufende Prozesse der Navigation und Orientierung innerhalb der Umgebung als auch höher entwickelte mentale Prozesse der räumlichen Vorstellung und des räumlichen Denkens. Grundlage räumlichen Handelns ist die Wahrnehmung, Verarbeitung, Repräsentation und Aktualisierung von Umweltinformation. Die zugrundeliegenden Mechanismen der Verarbeitung und Repräsentation werden als interaktiver Vorgang zwischen einem mobilen, in seine Umgebung eingebetteten Organismus, dessen Körperlichkeit sensomotorisch mit der räumlichen Umgebung „kommuniziert“, und einer sich bewegungsabhängig verändernden Umwelt betrachtet. Zur Ausführung zielgerichteter Bewegungen und Handlungen sind die Lokalisation des eigenen Körpers im Raum sowie die Aktualisierung der räumlichen Relationen zu Objekten in der Umgebung, die infolge der Bewegung ständigen Veränderungen unterliegen, notwendig. Diese Prozesse befähigen einen Organismus zur Interaktion mit anderen Lebewesen und Objekten in seiner Umwelt.

Newcombe (2002) betrachtet das Zurechtfinden und Lokalisieren von Objekten in der Umgebung sowie die räumliche Interaktion mit Objekten als zwei zentrale, räumliche Adaptionsleistungen in der menschlichen Entwicklung. Insbesondere die kognitive Fähigkeit, räumliche Repräsentationen der Umgebung abzubilden und somit in der Vorstellung mit der Umwelt zu interagieren, wird als bedeutsame evolutionäre Errungenschaft der menschlichen Spezies angesehen. Eine Besonderheit stellt die Vorstellung anderer räumlicher Perspektiven dar, die bei der Orientierung, aber auch in der zwischenmenschlichen Kommunikation von großer Bedeutung ist. Die Fähigkeit zum Perspektivenwechsel, d. h. das Herauslösen aus der körpereigenen Perspektive hin zu einer anderen Perspektive im Raum, beruht auf komplexen kognitiven Prozessen und zeigt sich in verschiedenen alltäglichen Situationen. Beispielsweise impliziert eine Wegbeschreibung oftmals die Vorstellung der eigenen Person an verschiedenen Positionen der Route mit unterschiedlichen Ausrichtungen im Raum, um zu erklären, wo zur Erreichung des Ziels an bestimmten Standorten der Route nach links oder rechts abgebogen werden muss. Auch beim Aufbau eines Möbelstücks nach Anleitung werden häufig andere Perspektiven imaginiert, um mit Blick auf die grafische Darstellung zuordnen zu können, an welcher Stelle entsprechende Bauteile angebracht werden sollen. Insbesondere bei der

Beschreibung derartiger Handlungsschritte gegenüber einer anderen Person kann der Wechsel von der eigenen in die Perspektive des anderen eine Erleichterung für beide Seiten darstellen und wesentlich zum Gelingen der Handlungsausführung beitragen.

In der kognitiven Psychologie beschäftigt sich das Forschungsfeld der Raumkognition unter Verwendung verschiedener experimenteller Methoden mit der Untersuchung der beteiligten Prozesse bei der Einnahme räumlicher Perspektiven (Huttenlocher & Presson, 1973; Kozhevnikov & Hegarty, 2001; Loomis, Klatzky & Giudice, 2013; Newcombe & Huttenlocher, 2000; Piaget & Inhelder, 1967; Rieser, Guth & Hill, 1986; Shelton & McNamara, 1997; Wang, 2007; Zacks, Mires, Tversky & Hazeltine, 2000; Zacks & Tversky, 2005). In diesen Studien werden die kognitiven Mechanismen, die der Aufnahme, Integration, Verarbeitung und Repräsentation von Rauminformation zugrunde liegen und die beim Wechsel in andere Perspektiven, die sich von der eigenen, körperbezogenen Perspektive unterscheiden, zum Tragen kommen sowie der Einfluss verschiedener Faktoren auf den Gedächtnisabruf untersucht.

Nach genauerer Betrachtung der Studienlage zu Perspektivenwechseln zeigt sich, dass sowohl die zugrundeliegenden Verarbeitungsmechanismen als auch die theoretischen Erklärungsmodelle, die die auftretenden Schwierigkeiten bei imaginierten Perspektivenwechseln zu erklären versuchen, bis heute kontrovers diskutiert werden. Ein integrativer Ansatz, der die wichtigsten Erkenntnisse der zahlreichen Studien zusammenführt, erscheint insbesondere vor dem Hintergrund der Heterogenität der eingesetzten Methoden erschwert zu sein. In den verschiedenen Experimenten zu räumlichen Perspektivenwechseln finden unterschiedlichste methodische Ansätze Anwendung, die sich u. a. in den Abläufen hinsichtlich des räumlichen Lernens (single- vs. multi-perspektivisches Lernen) sowie des räumlichen Testens (einzelne Testdurchgänge vs. Blocktestung; online vs. offline, d. h. die Versuchsperson befindet sich in dem Raum, in dem die Versuchsanordnung gelernt wurde oder sie stellt sich lediglich vor, sich in der Lernumgebung zu befinden), als auch in einer Vielzahl verschiedener Anzeigemethoden unterscheiden, die auf unterschiedlichen sensorischen, motorischen und kognitiven Verarbeitungssystemen basieren (verbales Antworten, Drücken einer Taste auf einer Tastatur, Anzeigebewegungen mit einem Joystick). Vor dem Hintergrund der empirischen Evidenz, dass in Experimenten zur Raumkognition bereits kleine methodische Veränderungen große Unterschiede in den zugrundeliegenden Verarbeitungsmechanismen und in der Folge auch signifikante Unterschiede in den gefundenen Effekten und den damit einhergehenden theoretischen Rückschlüssen zur Folge haben können (Newcombe &

Huttenlocher, 2000; May, 2007; Waller, Montello, Richardson & Hegarty, 2002; Wang, 2004a), bekommen Erkenntnisse über die Einflussfaktoren und die kontrollierte Variation der experimentellen Faktoren in der Versuchskonstruktion in diesem Forschungsfeld eine besondere Bedeutsamkeit.

Versuche zu Perspektivenwechseln lassen sich zwei grundsätzlich unterschiedlichen experimentellen Paradigmen zuordnen. May und Wendt (2013) zeigen in ihrer Arbeit die Unterschiede beider Forschungslinien sowie deren Ansätze zur Aufdeckung der kognitiven Mechanismen auf, die der Fähigkeit zugrunde liegen in andere Perspektiven zu wechseln und aus diesen imaginierten Perspektiven heraus räumliche Handlungen vorzunehmen. In Studien zur visuellen Einnahme der Perspektive werden wahrnehmungsbezogene Testmethoden verwendet, bei denen Versuchspersonen in der Regel die Aufgabe bekommen, räumliche Einschätzungen anhand einer visuellen Darstellung einer räumlichen Szene zu treffen (Amorim, Isableu & Jarraya, 2006; Blanke et al., 2005; Kessler & Thomson, 2010; Sohn & Carlson, 2003; Zacks et al., 2000). In Experimenten zur „Own-Body-Transformation“ soll die Versuchsperson beispielsweise beurteilen, ob ein Avatar ein auffälliges Objekt (z. B. einen Ball) in seiner rechten oder linken Hand trägt, wohingegen in „Avatar-In-Scene“-Experimenten die Versuchsperson entscheiden soll, ob ein externes Objekt sich links oder rechts vom Avatar befindet (z. B., ob eine Person rechts oder links von einer anderen Person an einem Tisch sitzt). In Studien zur mentalen Einnahme der Perspektive kommen hingegen gedächtnisbasierte Testmethoden zur Anwendung, bei denen die experimentelle Aufgabe darin besteht, unter Sichtentzug die räumliche Position von Objekten aus imaginären Perspektiven anzuzeigen, die zuvor in einer Versuchsanordnung im Labor gelernt wurden oder die aus räumlichen Umgebungen des Alltags wie der Küche im eigenen Zuhause oder dem Klassenzimmer in der Schule bekannt sind (Avraamides & Kelly, 2010; Easton & Sholl, 1995; Hintzman, O’Dell & Arndt, 1981; May, 2007; Presson & Montello, 1994; Riecke & McNamara, 2017; Rieser, 1989; Rieser, Garing & Young, 1994).

Die Versuchsreihe der vorliegenden Arbeit untersucht in insgesamt vier Experimenten gedächtnisbasierte Objektlokalisierungsleistungen nach vorgestellten Perspektivenwechseln und fokussiert dabei insbesondere auf die kognitiven Mechanismen, die dem Wissenszugang nach räumlichen Perspektivenwechseln zugrunde liegen. Die Experimente wurden im Arbeitsbereich der Raum- und Umweltkognition der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg durchgeführt. Die Studie zielt im Besonderen auf die Exploration der spezifischen räumlichen Faktoren ab, die bei der Einnahme räumlicher Perspektiven und

dem Anzeigen von zuvor gelernten Objekten zusätzliche Anforderungen an die kognitive Verarbeitung stellen und in Form von zusätzlichen Verarbeitungskosten zum Tragen kommen.

Im theoretischen Teil der Arbeit werden zunächst die Grundlagen der Verarbeitung und Repräsentation von Rauminformation, die zwei zentralen Untersuchungsansätze zur räumlichen Aktualisierung und zur Organisationsstruktur des Raumgedächtnisses sowie die wichtigsten Befunde aus beiden Forschungsbereichen herausgearbeitet. Darauf aufbauend werden experimentelle und neurowissenschaftliche Erkenntnisse aufgezeigt, die eine Verbindung zwischen den beiden Forschungslinien herstellen und auf ein Zusammenwirken der Gedächtnissysteme hindeuten. Der Abschnitt endet mit einer Zusammenfassung der wichtigsten räumlichen Einflussfaktoren auf die Anzeigeleistung in Aufgaben zu mentalen Perspektivenwechseln. Im nachfolgenden Abschnitt werden zwei Erklärungsmodelle sowie deren grundlegenden Annahmen zur Schwierigkeit vorgestellter Perspektivenwechsel dargelegt. Abschließend werden Untersuchungsergebnisse aus Studien zusammengetragen, die den Einfluss unterschiedlicher Experimentalbedingungen (Desorientierung, räumliche Testumgebung, Vorbereitungszeit zur Einnahme der vorzustellenden Perspektive und Antwortmethode) auf die Anzeigeleistung nach vorgestellten Perspektivenwechseln beleuchten.

Im empirischen Teil der Arbeit werden zu Beginn die Vorüberlegungen und Zielsetzungen der eigenen Versuchsreihe erläutert. Im Anschluss wird ein Überblick über die vier Experimente sowie die Ergebnisprognosen und Hypothesen gegeben. Bei der Darstellung der einzelnen Experimente wird zunächst die Methode beschrieben, bevor die Ergebnisse berichtet und diskutiert werden. Das übergeordnete Ziel der Versuchsreihe besteht darin, den Beitrag der einzelnen räumlichen Faktoren an den zusätzlichen Verarbeitungskosten bei gedächtnisbasierten Objektlokalisierungen nach vorgestellten Perspektivenwechseln herauszuarbeiten, um Rückschlüsse auf die zugrundeliegenden Mechanismen und Verarbeitungsprozesse möglich zu machen und somit auch die Gültigkeit der beiden Erklärungsmodelle zu überprüfen. In der Gesamtdiskussion werden die Ergebnisse der eigenen Versuchsreihe mit den Befunden vorheriger Untersuchungen in Zusammenhang gebracht. Auf der Grundlage der Erkenntnisse der Experimente wird ein Konfliktmodell entwickelt, das den Versuch darstellt, die einzelnen räumlichen Konflikte, die eine Versuchsperson bei der Objektlokalisierung nach einem gedächtnisbasierten vorgestellten Perspektivenwechsel zu überwinden hat, in der zeitlichen Abfolge des Auftretens einzuordnen. Darüber hinaus sollen die damit verbundenen sensomotorischen

und kognitiven Mechanismen und Verarbeitungsprozesse zugeordnet und eine Verbindung zu den zugrundeliegenden mentalen Repräsentationen hergestellt werden. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf zukünftige Forschungsvorhaben und einer Zusammenfassung der Ergebnisse.

2 Grundlagen

2.1 Räumliche Referenzsysteme

Die Lokalisierung von Objekten erfolgt bei den meisten Organismen zumeist über die sensorische Wahrnehmung der Umgebung. Zur Bewegung befähigte Organismen benötigen darüber hinaus weitere Mechanismen der räumlichen Orientierung, um das eigene Überleben zu sichern (Wasser- und Nahrungssuche, Kontakt zu Artgenossen, Vermeidung von Gefahren), da in vielen Situationen lediglich ein begrenzter Ausschnitt der Umgebung exterozeptiv wahrgenommen werden kann. Von besonderer Bedeutung sind hierbei propriozeptive Mechanismen (vestibulär, kinästhetisch und motor-efferent), die Informationen über die mit der Bewegung einhergehenden Veränderungen von Objektlokationen in der Umgebung liefern, sowie Gedächtnismechanismen, die eine Erinnerung an nicht mehr sichtbare Objekte ermöglichen.

Grundlage der Verarbeitung und Repräsentation von Rauminformation ist ein räumliches Bezugs- oder Referenzsystem (Klatzky, 1998), das allen sensorischen, motorischen und kognitiven Mechanismen zugrunde liegt und dessen Funktion darin besteht, organismusinterne Kodierungen von Objekten zum Organismus selbst oder im Verhältnis zu anderen Objekten räumlich festzulegen und der weiteren Verarbeitung zugänglich zu machen (May, 2000). In der Raumkognition wird zwischen egozentrischen und allozentrischen Referenzsystemen unterschieden. Egozentrische Referenzsysteme kodieren die Position von Objekten in Relation zur Person, die den Ursprung des Referenzsystems darstellt und deren Blickrichtung die Referenzrichtung definiert. Das egozentrische Referenzsystem bedarf der ständigen Aktualisierung der eigenen Position sowie der Objektlokationen in der Umgebung, deren Richtungen und Entfernungen sich infolge von Bewegungen der Person ständig verändern (Newcombe, 2002). Allozentrische Referenzsysteme sind hingegen auf die Umwelt bezogen und kodieren die Position von Objekten in Relation zu anderen auffälligen Objekten und Strukturen im Raum sowie

beständigen umweltbezogenen Merkmalen, die als Ursprung und Referenzrichtung fungieren. Das allozentrische Referenzsystem stellt somit eine an der Außenwelt verankerte Raumrepräsentation dar (May, 2000), die unabhängig von Bewegungen der Person ist.

In vielen alltäglichen Situationen, in denen räumliche Wahrnehmungs-, Orientierungs- oder Handlungsprozesse beteiligt sind, können mehrere egozentrische und/oder allozentrische Referenzsysteme simultan wirksam sein, die als hierarchisch angeordnet angenommen werden (May, 2000). In der Regel stimmen das egozentrische und das allozentrische Referenzsystem bei der Objektlokalisierung überein. Bei Konflikten zwischen den Referenzsystemen verlassen sich Organismen bevorzugt auf das allozentrische Referenzsystem, das zwei wesentliche Vorteile bietet: Zum einen ermöglicht es eine Nachüberprüfung der Position von Objekten, zum anderen gestattet es den Abruf von Rauminformation über einen deutlich längeren Zeitraum (Newcombe, 2002). Das egozentrische Referenzsystem ist hingegen anfälliger für Abweichungen, da beispielsweise Fehler in der Berechnung von Ausrichtungsveränderungen nachfolgende räumliche Beurteilungen beeinflussen und im Ausmaß zunehmen können. Zudem scheinen egozentrische Repräsentationen kurzlebig zu sein und bereits bei Verzögerungen von wenigen Sekunden zu Beeinträchtigungen räumlicher Handlungen führen (Goodale, Jacobsen & Keillor, 1994). Konflikte zwischen gleichzeitig wirksamen Referenzsystemen können die sensorische, motorische und kognitive Bestimmung von Objektlokationen erschweren (May, 2000).

2.2 Systeme der Verarbeitung von Rauminformation

Die Verarbeitung und Repräsentation von Umweltinformationen beruhen auf der Annahme zweier hierarchisch angeordneter Systeme der Informationsverarbeitung (Bridgeman, Kirch & Sperling, 1981; Bridgeman, Peery & Anand, 1997; Paillard, 1987, 1991; Shettleworth, 1998), deren phylogenetische Entwicklung auf zwei unterschiedlichen evolutionären Ebenen erfolgte und die einem Organismus den Informationsaustausch mit seiner Umgebung ermöglichen. Die sensomotorischen Systeme stellen die erste, basale Ebene dar, die die Kodierung von Rauminformation bei Wahrnehmungs- und Handlungsprozessen leistet. Die sensorischen Systeme nehmen Reize aus der Umwelt auf und die motorischen Systeme erlauben durch Handlungen auf die Umwelt einzuwirken und mit dieser zu interagieren. Die kognitiven Systeme, die auf einer höheren, später

entwickelten Ebene auf den Leistungen der sensomotorischen Systeme aufbauen und im wechselseitigen Austausch mit den sensomotorischen Systemen stehen, realisieren Gedächtnisprozesse, Handlungsplanungen, Funktionen der Speicherung, des räumlichen Sprachverständnisses und der Sprachproduktion sowie die Transformation von enkodierten Objekten der Umgebung (May, 2000).

Die sensomotorische Verarbeitung von räumlicher Information erfolgt durchgängig auf der Grundlage egozentrischer Referenzsysteme, involviert die Aufnahme von Rauminformation durch die Sinnesorgane, die Integration der enkodierten Information sowie deren Umsetzung in räumliche Handlungen. Egozentrische Referenzsysteme unterliegen einer automatischen Aktualisierung auf der Grundlage von Bewegungsinformation, bedürfen keiner bewussten höheren mentalen Prozesse und beanspruchen wenige Aufmerksamkeitsressourcen (Newcombe, 2002). Automatisch ablaufende Prozesse schützen vor einer Überlastung des Aufmerksamkeitssystems, das nur eine begrenzte Kapazität aufweist, indem sie andere kognitive Prozesse nicht störend beeinflussen (Hasher & Zacks, 1979). Der wichtigste sensorische Input für den Menschen beruht auf dem Sehen, wenngleich auch die auditive Wahrnehmung bei der Orientierung im Raum von Bedeutung ist. Zudem stellt die propriozeptive Kodierung von Rauminformation eine bedeutsame Funktion dar und ermöglicht durch ein intaktes Raumerleben zielgerichtetes Handeln im Raum.

Hinsichtlich des Ursprungs der Rauminformation wird die sensomotorische Verarbeitung in exterozeptive und propriozeptive Prozesse unterschieden (Gibson, 1966). Die exterozeptive Kodierung basiert auf sensorischer Information, die über die Sinnesorgane des Organismus von außen aufgenommen wird, wohingegen die propriozeptive Kodierung auf Information beruht, die endogenen Ursprungs ist und durch das vestibuläre, kinästhetische und motor-efferente System geleistet wird. Das vestibuläre System ermöglicht dem Organismus eine vertikale räumliche Orientierung, die durch die Verwendung von Beschleunigungsinformation erlangt wird und zur Aufrechterhaltung der Balance bei Bewegungen dient, sowie eine horizontale Orientierung, die durch die Integration von Geschwindigkeitsinformation erzielt wird, die aus translationalen und rotationalen Veränderungen der Körperposition resultiert. Das kinästhetische System verwendet somatosensorische Information, die aus Bewegungen der Sinnesorgane, aktiven oder passiven Bewegungen von Körperteilen oder aus Ganzkörperbewegungen hervorgerufen wird. Das motor-efferente System leistet die Kodierung von Information anhand zentralnervöser Erregungsmuster infolge aktiv ausgeführter Bewegungen.

Die Repräsentation der räumlichen Umwelt erfolgt demnach durch die Beteiligung verschiedener sensomotorischer Systeme der räumlichen Informationsverarbeitung, die zunächst getrennte modalitätsspezifische Kodierungen bilden, die auf einer frühen Verarbeitungsebene zu einer modalitätsunabhängigen Kodierung des Raumes integriert werden (Stein & Meredith, 1993) und in kurz- und langfristigen Gedächtnissystemen gespeichert werden. May (2000) geht davon aus, dass die propriozeptiven Systeme eigenständige körperbasierte Repräsentationen des Raumes konstituieren, die mit kognitiven Mechanismen der Verarbeitung und Repräsentation von Rauminformation in Wechselwirkung treten und sich beispielsweise auf die Objektlokalisierung nach räumlichen Perspektivenwechseln auswirken können.

Die kognitive Verarbeitung von räumlicher Information nutzt neben egozentrischen Referenzsystemen zusätzlich allozentrische Referenzsysteme, die eine dauerhafte Repräsentation der Umgebung gewährleisten. Wie oben angedeutet, kann es zu Konflikten zwischen den verschiedenen Referenzsystemen kommen, die dann im Unterschied zu den automatisch ablaufenden Prozessen innerhalb der sensomotorischen Systeme kostenaufwändige Verarbeitungsprozesse zur Folge haben. Kognitive Prozesse, die für ihr Auftreten eine beträchtliche Aufmerksamkeitskapazität benötigen, werden in verschiedenen Modellen als bewusste (Posner & Snyder, 1975), kontrollierte (Schneider & Shiffrin, 1977) oder aufwändige Prozesse (Hasher & Zacks, 1979) beschrieben, die sich hinsichtlich der Aufmerksamkeitsressourcen gegenseitig störend beeinflussen.

In Bezug auf räumliche Gedächtnisleistungen haben das Langzeitgedächtnis und das räumliche Arbeitsgedächtnis bedeutsame Funktionen. Navigations- und Orientierungsprozesse werden durch den Hippocampus und verbundene kortikale Strukturen geleistet, die die mittel- und langfristige Enkodierung allozentrischer räumlicher Information, die Konsolidierung von relationaler Rauminformation und den Aufbau allozentrischer Raumrepräsentationen im Langzeitgedächtnis ermöglichen (May, 2000). Einen bedeutenden Beitrag zum Raumgedächtnis liefert die Publikation von O'Keefe und Nadel (1978), die die räumliche Kodierung der Umwelt auf der Grundlage einer allozentrischen Repräsentation als kognitive Karte bezeichnen und den Hippocampus als System der kognitiven Kartierung betrachten. Das räumliche Arbeitsgedächtnis dient der kurzfristigen Bereithaltung räumlicher Information sowie dessen Transformation innerhalb eines Referenzsystems oder zwischen verschiedenen egozentrischen und allozentrischen Referenzsystemen (Kosslyn, 1994; Millar, 1994).

3 Ansätze der Untersuchung räumlicher Mechanismen

In der Forschung zur Raumkognition wurden die oben dargestellten Mechanismen der Enkodierung und Verarbeitung von räumlicher Information lange Zeit getrennt voneinander untersucht. Dabei haben sich zwei zentrale Forschungslinien entwickelt, die anhand unterschiedlicher Aufgabentypen hinsichtlich der Einnahme räumlicher Perspektiven zu wesentlichen Erkenntnissen zum einen im Bereich der räumlichen Aktualisierung, zum anderen im Feld des Raumgedächtnisses beigetragen haben. Die Erforschung der Mechanismen der räumlichen Aktualisierung beruhte überwiegend auf Aufgaben, die räumliche Handlungen in der unmittelbaren Umgebung implizieren und auf einer Online-Verarbeitung von räumlicher Information basieren, die der Wahrnehmung zugänglich ist (Klatzky, Loomis, Beall, Chance & Colledge, 1998; Loomis, Lippa, Klatzky & Golledge, 2002; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989; Rieser et al., 1986). Alltägliche Handlungen wie das Anzeigen von Objekten in der körpernahen Umgebung oder das Ausweichen von Hindernissen während der Bewegung sind auf eine Online-Verarbeitung von räumlichen Relationen zurückzuführen. Zur Untersuchung der Organisationsstruktur des Raumgedächtnisses wurden zumeist Aufgaben verwendet, die den Wissensabruf von räumlichen Relationen in einer abseits gelegenen Umgebung testen und auf eine Offline-Verarbeitung der räumlichen Information abzielen (McNamara, 2003; Mou & McNamara, 2002). Im Alltag kommen Offline-Aufgaben bei der Planung einer Route vor Beginn einer Reise oder bei der Beschreibung einer entfernten Umgebung zum Tragen.

Im Fokus der Forschung der beiden Forschungslinien steht die Untersuchung relevanter Einflussfaktoren auf die Schwierigkeit von Objektlokalisierungsleistungen nach räumlichen Perspektivenwechseln, die zu zusätzlichen spezifischen Verarbeitungskosten führen. Als wesentliche Prüfgrößen werden die Anzeigelatenz als Indikator für die Schnelligkeit des Wissensabrufs nach der Einnahme anderer räumlicher Perspektiven und der Anzeigefehler als Indikator für die Genauigkeit des räumlichen Wissens erfasst. Im nächsten Abschnitt sollen bedeutsame Experimente und Untersuchungsergebnisse aus beiden Forschungsbereichen dargestellt werden. Im Anschluss daran werden Belege aus neueren Studien sowie neuroanatomische Befunde aufgezeigt, die auf ein Zusammenwirken von sensorischen, motorischen und kognitiven Mechanismen der Verarbeitung und Repräsentation von Rauminformation hindeuten.

3.1 Befunde zur Aktualisierung egozentrischer Objektrelationen

In klassischen Versuchen zur räumlichen Aktualisierung prägen sich Versuchspersonen die Position einer bestimmten Anzahl von Objekten ein, die dann von einem neuen Standort aus lokalisiert werden sollen. Die Einnahme des neuen Standorts kann durch eine körperlich ausgeführte oder imaginäre Bewegung erfolgen, mit einer Translation, Rotation oder einer Kombination beider einhergehen und entsprechend Unterschiede in der Position und/oder Ausrichtung zum zuvor gelernten Standort zur Folge haben. Bei der Richtungsangabe des Zielobjekts kommen oftmals verschiedene Methoden zum Einsatz, beispielsweise körperbasierte oder verbale Richtungsangaben. In dieser Forschungslinie dient die Einnahme neuer Perspektiven der Untersuchung der oben dargestellten Mechanismen der egozentrischen Aktualisierung von räumlichen Relationen, die es einer Versuchsperson erlauben, den Überblick über die Relation des Selbst zu anderen Objekten aufrechtzuerhalten, die sich in Folge von körperlich ausgeführten Bewegungen oder vorgestellten Perspektivenwechseln verändern (Loomis et al., 2002; May, 2000; Rieser, 1989; Wang & Spelke, 2000).

Verschiedene Studien konnten aufzeigen, dass körperlich ausgeführte Bewegungen zu einer quasi-automatischen Aktualisierung der eigenen Position (Forschung zur Pfadintegration: Loomis, Klatzky, Golledge & Philbeck, 1999; May & Klatzky, 2000; Péruch, May & Wartenberg, 1997) sowie von Objekten in der Umgebung (Forschung zur räumlichen Aktualisierung: Farrell & Robertson, 1998; Farrell & Thomson, 1998, 1999; May, 2000; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989; Rieser et al., 1986; Simons & Wang, 1998; Wang & Simons, 1999; Wang & Spelke, 2000) führen. Objektlokalisierungen nach räumlichen Perspektivenwechseln fallen Versuchspersonen leicht, wenn sie sich vor dem Anzeigen des Zielobjekts körperlich in die einzunehmende Perspektive begeben dürfen. Die Anzeigezeiten und Anzeigefehler sind bei lokomotorisch ausgeführten Perspektivenwechseln vergleichbar mit den Anzeigeleistungen unter Baseline-Bedingungen, d. h. der Wissenszugang ist schnell und präzise, gleichartig der Leistung, wenn die getestete Perspektive mit der körperlich eingenommenen Perspektive übereinstimmt. Vergleichbare Leistungen zeigen sich auch, wenn die Bewegung zum neuen Standort ohne Sicht (Philbeck, Loomis & Beall, 1997) oder in einer Umgebung erfolgt, die sich abseits der tatsächlichen Umgebung befindet, in der die Objekte zuvor gelernt wurden (Rieser et al., 1994).

Im Gegensatz zu körperlich ausgeführten Perspektivenwechseln fällt Versuchspersonen die Lokalisierung von Objekten schwer, wenn sie sich imaginär in eine Perspektive begeben sollen, die von der körperlich eingenommenen Perspektive abweicht. Die Anzeigeleistungen weisen bei vorgestellten Perspektivenwechseln starke Beeinträchtigungen auf und führen zu zusätzlichen Verarbeitungskosten, die sich in einer Zunahme der Anzeigezeiten und Anzeigefehler widerspiegeln (Easton & Sholl, 1995; Hintzman et al., 1981; May, 2004; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989; Rieser et al., 1994; Rieser et al., 1986). Signifikante Leistungseinbußen in Form von längeren Anzeigezeiten und größeren Anzeigefehlern treten insbesondere bei vorgestellten Rotationen auf, die im Vergleich zu vorgestellten Translationen eine Veränderung der Ausrichtung zur Folge haben (Creem-Regehr, 2003; Easton & Sholl, 1995; May, 2004; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989). Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass die Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit der Zunahme des Winkelbetrags der Rotation zunehmen (Easton & Sholl, 1995; Farrell & Robertson, 1998; Hintzman et al., 1981; May, 2004; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989).

Gesondert vom vorherigen Effekt konnte zudem nachgewiesen werden, dass ein Teil der zusätzlichen Verarbeitungskosten vom Betrag der Winkeldifferenz der egozentrischen Objektrichtungen zwischen der körperlich eingenommenen und der vorzustellenden Perspektive abhängt (May, 2004). In Anlehnung an die Untersuchungen von Rieser (1989) sowie Presson und Montello (1994) konnte May (2004) in einer Studie mit drei Experimenten, in denen die egozentrische Objektrichtungsdisparität experimentell kontrolliert und variiert wurde, sowohl für imaginierte Translationen als auch für imaginierte Rotationen einen linearen Anstieg der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmender Objektrichtungsdisparität belegen. Die Ergebnisse wiesen zudem größere Leistungseinbußen in Form von längeren Anzeigezeiten und größeren Anzeigefehlern für Rotationen im Vergleich zu Translationen auf.

3.2 Befunde zur Organisationsstruktur des Raumgedächtnisses

In typischen Studien zum Raumgedächtnis enkodieren Versuchspersonen zuerst eine räumliche Versuchsanordnung im Gedächtnis, bevor im Anschluss der Wissensabruf der räumlichen Relationen getestet wird. Eine gängige Methode ist die Beurteilung von relativen Richtungen, bei der sich die Versuchsperson vorstellen soll, sich an einer bestimmten Position zu befinden und in eine bestimmte Richtung zu schauen, um dann aus

der definierten Perspektive ein Objekt anzuzeigen. Die Position, Ausrichtung sowie das Zielobjekt werden zumeist über die zuvor gelernten Objekte definiert. Im Unterschied zu Versuchen zur räumlichen Aktualisierung wechseln die Versuchspersonen in diesen Untersuchungen zumeist nach dem Lernen die räumliche Umgebung und werden in einer Umgebung getestet, die von der Versuchsanordnung entfernt liegt. Die Forschungsgruppe um McNamara hat in vielfältigen Studien Prozesse der Enkodierung, Speicherung und Repräsentation räumlicher Information untersucht und die Bedeutung von verschiedenen Lernbedingungen als weiteren Faktor zusätzlicher Verarbeitungskosten bei gedächtnisbasierten Perspektivenwechseln herausgearbeitet (McNamara, 2003; Mou & McNamara, 2002; Shelton & McNamara, 1997, 2001).

In verschiedenen Studien konnte nachgewiesen werden, dass beim Lernen eines Layouts die Lokationen von Objekten unter Verwendung eines Referenzsystems enkodiert und gespeichert werden, dessen bevorzugte Ausrichtung von verschiedenen Faktoren bestimmt wird, die wiederum den Abruf der räumlichen Information aus dem Langzeitgedächtnis beeinflussen (McNamara, 2003; Mou & McNamara, 2002). Frühe Ergebnisse deuteten darauf hin, dass die Repräsentation räumlicher Gedächtnisinhalte vor allem auf egozentrischer Erfahrung basiert und Perspektiven, die während des Lernens eingenommen wurden, zur Strukturierung der Objektlokationen eingesetzt werden. Shelton und McNamara (1997) konnten aufzeigen, dass das Anzeigen von Objekten aus vorgestellten Perspektiven, die mit der Lernperspektive aligniert waren, zu schnelleren Anzeigzeiten und geringeren Anzeigefehlern führte, im Vergleich zu vorgestellten Perspektiven, die mit der Lernperspektive fehlaligniert waren. Sie bewerteten die Ergebnisse als Beleg dafür, dass mentale Repräsentationen vom Standort abhängig sind, die bevorzugte Ausrichtung im Gedächtnis auf der Grundlage der egozentrischen Erfahrung aufgebaut wird und die Lokationen von Objekten hinsichtlich dieser Ausrichtung definiert werden.

Anhand nachfolgender Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Struktur der umgebenden Umwelt einen weiteren Faktor bei der Auswahl des Referenzsystems ausmacht. Umweltstrukturen wie rechteckige Wände eines Raumes oder eine quadratische Matte auf dem Fußboden (Shelton & McNamara, 2001), ein geradliniges Straßennetz (Montello, 1991; Werner & Schmidt, 1999) sowie nahegelegene Gebäude oder Seen (McNamara, Rump & Werner, 2003) können als auffällige umweltbezogene Referenzsysteme fungieren, anhand derer räumliche Objektlokationen im Gedächtnis angeordnet werden. Shelton und McNamara (2001) gehen davon aus, dass egozentrisch

definierte Referenzsysteme bei einem Mangel an auffälligen umweltbezogenen Referenzsystemen überwiegen, diese aber wiederum in den Vordergrund treten, wenn sie hinreichend auffällig sind.

Die Studie von Mou und McNamara (2002) demonstrierte wiederum, dass die räumliche Struktur eines Versuchslayouts weder vorrangig aufgrund egozentrischer Erfahrung noch im Hinblick auf auffällige Umgebungshinweise mental repräsentiert wurde. In insgesamt drei Experimenten sollten Versuchspersonen eine Anordnung von Objekten lernen, die systematisch in Reihen unterteilt war und eine auffällige intrinsische Achse aufwies. Die Versuchspersonen wurden verbal dazu angeleitet, anstatt aus ihrer körperlich eingenommenen Perspektive, deren Ausrichtung fehlaligniert zur intrinsischen Struktur der Objekte war, die Objekte entlang dieser intrinsischen Achse zu lernen. Der nachfolgende Wissensabruf in einem anderen Raum offenbarte, dass die Objektlokationen in Bezug auf die intrinsische Achse repräsentiert wurden, auch wenn diese Perspektive sich in der Ausrichtung von der körperlich eingenommenen Perspektive während des Lernens unterschied und nicht auf egozentrischer Erfahrung beruhte.

Auf der Grundlage der Erkenntnisse der vielfältigen Studien (McNamara, 2003; Mou & McNamara, 2002; Shelton & McNamara, 2001) erweiterte McNamara seine Annahmen dahingehend, dass die räumliche Struktur der Umgebung hinsichtlich allozentrischer Referenzsysteme repräsentiert wird, die durch das Layout selbst definiert werden. Er ist der Auffassung, dass Objektlokationen in einer bevorzugten Ausrichtung repräsentiert und im Gedächtnis gespeichert werden. Weiterhin geht er davon aus, dass die Ausrichtung an spezifischen intrinsischen Achsen orientiert ist und auf einem Zusammenwirken verschiedener Faktoren (egozentrische Erfahrung, Struktur der Umgebung bzw. des Layouts, auffällige Umgebungshinweise, Anforderungen der spezifischen Aufgabe sowie Instruktionen des Versuchsleiters) beruht.

3.3 Untersuchungen zur Integration beider Forschungslinien

In den vergangenen Jahren wurden Studien entwickelt, die durch die Herstellung entsprechender experimenteller Bedingungen die beiden Forschungslinien miteinander vereinen konnten. Eine Versuchsreihe von Mou, McNamara, Valiquette und Rump (2004) zielte darauf ab, die Beiträge von räumlichen Verarbeitungs- und Alignierungsprozessen bezüglich der Leistung in Aufgaben zur räumlichen Aktualisierung und zum Raumgedächtnis näher zu explorieren. Versuchspersonen lernten zunächst die Lokationen

von Objekten aus einer einzelnen Perspektive, nahmen dann eine neue Position in der Mitte der Versuchsanordnung ein und vollzogen Anzeigebewegungen aus verschiedenen Perspektiven, sowohl in Gestalt von egozentrischen Anzeigebewegungen vom Standort der Versuchsperson aus („Du schaust in die Richtung von Objekt Y. Zeige das Objekt Z an.“, „Stell Dir vor, Du schaust in die Richtung von Objekt Y. Zeige das Objekt Z an.“) als auch in Form von Beurteilungen relativer Richtungen („Stell Dir vor, Du befindest dich beim Objekt X und schaust in die Richtung von Objekt Y. Zeige das Objekt Z an.“). Dabei wurden die zwei folgenden Faktoren unabhängig voneinander variiert: zum einen der Winkelunterschied zwischen der während des Testdurchgangs körperlich eingenommenen Perspektive und der durch die Aufgabe definierten vorgestellten Perspektive, zum anderen der Winkelunterschied zwischen der Lernperspektive und der durch die Aufgabe definierten vorgestellten Perspektive. Die Ergebnisse replizierten die beiden charakteristischen Effekte aus beiden Forschungslinien: bessere Anzeigeleistungen für vorgestellte Perspektiven, die mit der Ausrichtung der körperlich definierten Perspektive während des Tests übereinstimmten, sowie bessere Leistungen für vorgestellte Perspektiven, die mit der Ausrichtung der Lernperspektive aligniert waren.

Auch die Studie von Kelly, Avraamides und Loomis (2007) integrierte beide Ansätze und untersuchte in insgesamt vier Experimenten die beiden Effekte unter spezifischen Bedingungen. Versuchspersonen lernten eine virtuelle Versuchsanordnung von Objekten aus einer Perspektive, begaben sich dann in eine neue körperliche Perspektive und führten im Anschluss räumliche Anzeigebeurteilungen aus vorgestellten Perspektiven in einer Virtual-Reality-Umgebung aus. Während der Testdurchgänge standen die Versuchspersonen entweder in der Mitte des Raumes, in dem die Versuchsanordnung gelernt wurde, oder in der Mitte eines neuen, benachbarten Raumes, der durch Gehen ohne Sicht betreten wurde. Wie in der Studie von Mou, McNamara et al. (2004) konnten beide Effekte nachgewiesen werden, wenn die Testdurchführung in der Lernumgebung erfolgte, d. h. schnellere Anzeigezeiten und geringere Anzeigefehler sowohl für vorgestellte Perspektiven, die mit der körperlichen Perspektive aligniert waren im Vergleich zu vorgestellten Perspektiven, die mit der körperlichen Perspektive fehlaligniert waren als auch für vorgestellte Perspektiven, die mit der Lernperspektive aligniert waren im Vergleich zu vorgestellten Perspektiven, die mit der Lernperspektive fehlaligniert waren.

3.4 Gedächtnissysteme und neurowissenschaftliche Erkenntnisse

Die zuvor dargestellten Ergebnisse aus der Raumkognition wie auch Erkenntnisse aus der kognitiven Neurowissenschaft bestätigen die Annahme von verschiedenen Referenzsystemen, die die Steuerung von motorischen Handlungen im Raum und den Abruf von räumlichen Relationen aus dem Gedächtnis vermitteln. Die meisten Modelle zum menschlichen Raumgedächtnis (Amorim, Glasauer, Corpinot & Berthoz, 1997; Avraamides & Kelly, 2008; Creem & Proffitt, 1998; Hartley & Burgess, 2005; Huttenlocher, Hedges & Duncan, 1991; Mou et al., 2004; Sholl, 2001; Waller & Hodgson, 2006; Wang & Spelke, 2000, 2002) beruhen auf den oben dargestellten Systemen der Informationsverarbeitung und differenzieren zwischen zwei getrennten Systemen zur Repräsentation egozentrischer und allozentrischer räumlicher Relationen: zum einen ein egozentrisches Online-System, das kurzlebige räumliche Relationen des Selbst zu anderen Objekten repräsentiert, die für fortlaufende motorische Handlungen sowie Navigationsprozesse benötigt werden, zum anderen ein allozentrisches Offline-System, das langfristige räumliche Gedächtnisinhalte umfasst, die ausrichtungsabhängig sind und um eine kleine Anzahl von umgebungszentrierten Referenzachsen strukturiert ist, die zur Aufrechterhaltung und Verarbeitung von Informationen im Arbeits- und Langzeitgedächtnis verwendet werden. Das kurzlebige Online-System wird vornehmlich durch Wahrnehmungsprozesse unterstützt und kodiert räumliche Information mit einer relativ hohen Genauigkeit. Das beständige Offline-System wird hingegen vorrangig durch das Langzeitgedächtnis unterstützt und basiert auf Raumcodes, die vergleichsweise weniger genau und verzerrter repräsentiert sind.

Neurowissenschaftliche Untersuchungen stützen die Annahme von zwei funktional getrennten Systemen, die bei verschiedenen räumlichen Aufgaben zum Tragen kommen und auf unterschiedlichen neuroanatomischen Strukturen beruhen (Byrne, Becker & Burgess, 2007; Milner & Goodale, 1995; Norman, 2002). Die Differenzierung zwischen einem dorsalen und einem ventralen Pfad wird vorrangig mit Aufgaben in Verbindung gebracht, die der visuellen Wahrnehmung unterliegen, allerdings scheinen die Funktionen, die beiden Systemen zugeordnet werden, auch bei räumlichen Aufgaben zuzutreffen, die ohne visuelle Unterstützung erfolgen. Der dorsale Pfad umfasst bestimmte Gehirnregionen im Okzipital- und Parietallappen des Gehirns und verläuft von der primären visuellen Sehrinde (V1) zur hinteren Parietalarinde des Gehirns (Ungerleider & Mishkin, 1982). Es wird angenommen, dass der dorsale Pfad Informationen verarbeitet, die der Lokalisation

von Objekten („Wo-Pfad“) sowie deren Handhabung dienen. Der dorsale Pfad übernimmt somit auch bei der Ausführung von motorischen Handlungen eine wichtige Funktion. Neurowissenschaftliche Studien deuten darauf hin, dass Teile der hinteren Parietallrinde räumliche Lokationen in unterschiedlichen egozentrischen Referenzsystemen enkodieren (Colby, 1998; Snyder, Batista & Andersen, 1997) und der Precuneus, der dichte Verbindungen zu prämotorischen Arealen aufweist, die Aufrechterhaltung und Aktualisierung von egozentrischen Repräsentationen der unmittelbaren Umgebung leistet (Byrne et al., 2007; Wolbers, Hegarty, Büchel & Loomis, 2008).

Der ventrale Pfad bezeichnet hingegen bestimmte Gehirnregionen im Okzipital- und Temporallappen des Gehirns und erstreckt sich von der primären visuellen Sehrinde (V1) bis zum vorderen Temporallappen des Gehirns (Ungerleider & Mishkin, 1982). Es wird davon ausgegangen, dass der ventrale Pfad Eigenschaften von Objekten wie Form, Größe und Farbe sowie Merkmale der Umgebung („Was-Pfad“) verarbeitet und demnach eine bedeutsame Rolle bei der Objekterkennung erfüllt. Aufgaben, die auf höheren kognitiven Prozessen beruhen, werden dem ventralen Pfad zugeordnet. Auch die Umwandlung von Information in eine dauerhafte Repräsentation wird durch den ventralen Pfad geleistet. Aufbauend auf der Studie von O’Keefe und Nadel (1978), die den medialen Temporallappen und den Hippocampus als neuronale Grundlage für den Aufbau und die Aufrechterhaltung von stabilen räumlichen Repräsentationen der Umwelt anhand von Untersuchungen an Ratten bestimmen konnten, zeigten auch Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren an Menschen eine erhöhte Aktivierung des Hippocampus bei der Navigation in vertrauten Umgebungen (z. B. Maguire et al., 1998), die als Beleg für die Beteiligung des Hippocampus an der Bildung allozentrischer Repräsentationen der Umwelt interpretiert wurden.

Neuere Studien deuten zudem darauf hin, dass der retrospleniale Cortex, auch aufgrund seiner anatomischen Lage zwischen dem medialen Temporallappen und dem Parietallappen, räumliche Informationen miteinander verknüpft und egozentrische in allozentrische bzw. allozentrische in egozentrische Information umwandelt (Epstein, 2008; Epstein, Parker & Feiler, 2007; Wolbers & Büchel, 2005). Auch die oben beschriebenen Studien von Mou, McNamara et al. (2004) sowie Kelly et al. (2007) stützen die Annahme, dass die beiden funktional getrennten Systeme nicht vollkommen unabhängig voneinander arbeiten, sondern vielmehr zusammenwirken und sich sogar gegenseitig unterstützen.

3.5 Zusammenfassung räumlicher Einflussfaktoren auf die Anzeigeleistung

Gedächtnisbasierte Objektlokalisierungen nach imaginierten Perspektivenwechseln stellen eine komplexe Aufgabe dar, dessen Schwierigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren abhängt, die, wie oben auszugsweise dargestellt, in einer Vielzahl von Studien mit unterschiedlichster methodischer Ausrichtung untersucht wurden. Nach genauer Sichtung der Studienlage lässt sich feststellen, dass die zusätzlichen Verarbeitungskosten, die bei gedächtnisbasierten Perspektivenwechseln wirksam werden und sich in einem Anstieg der Anzeigelatenz und des Anzeigefehlers widerspiegeln, insbesondere auf drei experimentelle Faktoren zurückzuführen sind, die sich auf die spezifischen räumlichen Abweichungen bzw. geometrischen Unterschiede zwischen der körperbezogenen, der imaginierten und der gelernten Perspektive beziehen.

Die Ergebnisse experimenteller Untersuchungen zu Objektlokalisierungen nach mentalen Perspektivenwechseln zeigen, dass die Anzeigzeiten und Anzeigefehler in der Regel einen monotonen, in manchen Untersuchungen einen linearen Anstieg in Abhängigkeit von den drei folgenden Faktoren aufweisen: (1) allozentrische Ausrichtungsunterschiede (mit Winkelbeträgen von 0 bis 180°) zwischen der vorgestellten und der körperlich eingenommenen Perspektive während des Testdurchgangs (Kelly et al., 2007; Easton & Sholl, 1995; May, 2004, 2007; Rieser, 1989), (2) egozentrisch definierte Unterschiede in der Zielobjektrichtung (mit Winkelbeträgen von 0 bis 180°) zwischen der vorgestellten und der körperlich eingenommenen Perspektive während des Testdurchgangs (May, 2004; Wang, 2005), (3) allozentrische Ausrichtungsunterschiede (mit Winkelbeträgen von 0 bis 180°) zwischen der vorgestellten Perspektive und der Perspektive, aus der der Raum gelernt wurde, oder zwischen der vorgestellten Perspektive und anderen räumlichen Perspektiven, die als Referenzrahmen während des Lernens oder Testens fungierten (Mou, McNamara et al., 2004). Sowohl intrinsische Referenzrahmen, die durch die Versuchsanordnung erzeugt werden, als auch extrinsische Referenzrahmen, die durch die Umgebungsstrukturen generiert werden, bestimmen oder modifizieren mitunter die Lernperspektive (McNamara, 2003; Shelton & McNamara, 1997, 2001; Street & Wang, 2014). Die Abbildung 1 veranschaulicht die drei Arten der räumlichen Konflikte, die in der Folge als Ausrichtungsdisparität (HDD), Objektrichtungsdisparität (ODD) und Lernrichtungsdisparität (LDD) bezeichnet werden.

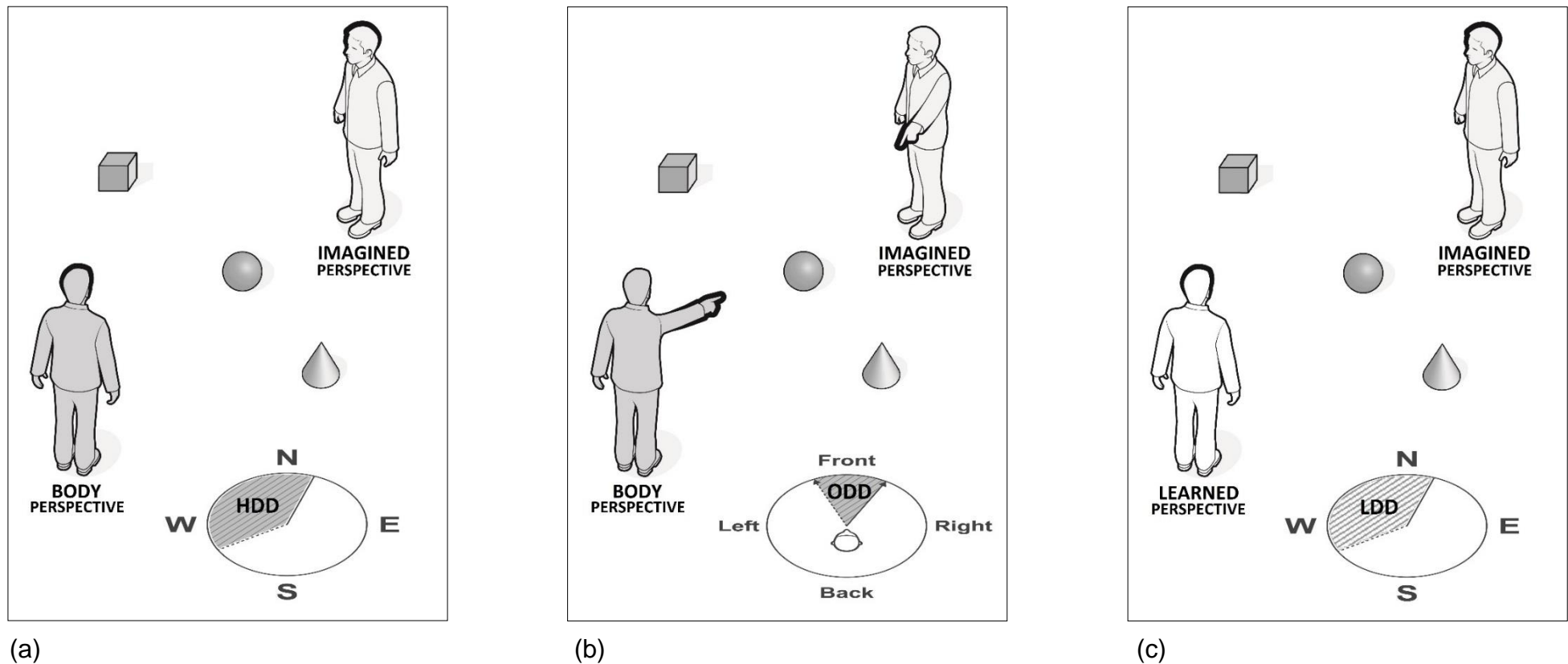


Abbildung 1. Räumliche Konflikte der Ausrichtungsdisparität (HDD), Objektrichtungsdisparität (ODD) und Lernrichtungsdisparität (LDD). Alle drei Darstellungen zeigen Konflikte zwischen allozentrisch definierten räumlichen Perspektiven (a und c) oder egozentrisch definierten Anzeigerichtungen (b). Die linke Darstellung (a) veranschaulicht einen Ausrichtungskonflikt zwischen der vorgestellten Perspektive und der körperlich eingenommenen Perspektive während der Testdurchführung. HDD wird im unteren Bereich als Anteil eines Kreises abgebildet, der durch beide Perspektiven allozentrisch definiert wird (Himmelsrichtungen Nord, Ost, Süd und West). Die gestrichelte Linie im Kreis entspricht der Himmelsrichtung der vorgestellten Perspektive, die durchgezogene Linie bildet die körperlich definierte Perspektive ab. Die mittlere Darstellung (b) veranschaulicht einen Zielobjektrichtungskonflikt zwischen der vorgestellten Perspektive und der körperlich eingenommenen Perspektive während der Testdurchführung. Der jeweils ausgestreckte Arm der beiden menschlichen Figuren und die entsprechende Anzeigerichtung definieren ODD in egozentrischer Hinsicht (vorne, rechts, hinten und links in Bezug zum Körper). Die gestrichelte Linie im Kreis stellt die Anzeigerichtung aus der vorgestellten Perspektive dar, die durchgezogene Linie gibt die Anzeigerichtung aus der körperlichen Perspektive wieder. Die rechte Darstellung (c) zeigt einen Ausrichtungskonflikt zwischen der vorgestellten Perspektive und der Lernperspektive während der Testdurchführung. LDD wird in der gleichen Weise wie HDD dargestellt. Bei allen drei Arten von räumlichen Konflikten kann die Richtungsdisparität im Bereich von 0° und 180° liegen.

4 Erklärungsansätze zur Schwierigkeit vorgestellter Perspektivenwechsel

In der Literatur finden sich zwei grundlegend verschiedene theoretische Modellannahmen, die die zusätzlichen Verarbeitungskosten bei Objektlokalisierungen nach vorgestellten Perspektivenwechseln zu erklären versuchen. Die beiden Erklärungsansätze liegen in jeweils unterschiedlichen Ausführungen vor, die im nächsten Abschnitt genauer dargestellt und deren Annahmen vor dem Hintergrund des aktuellen Forschungsstands näher beleuchtet werden sollen. Transformationsannahmen (Easton & Sholl, 1995; Huttenlocher & Presson, 1973; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989; Shelton & McNamara, 1997; Sholl, 2001) führen die Schwierigkeit imaginiertes Perspektivenwechsel auf zusätzliche kognitive Transformationen von Objektkoordinaten zurück, die mit der Einnahme einer neuen Perspektive verbunden sind.¹ Interferenzannahmen (Avraamides & Kelly, 2008; May, 2004, 2007; Wang, 2005) sehen die zusätzlichen kognitiven Anforderungen hingegen in räumlichen Interferenzkonflikten begründet, die bei Handlungen aus einer imaginierten Perspektive wirksam werden.

4.1 Transformationsannahmen

Die verschiedenen Ausformulierungen von Transformationsannahmen (Easton & Sholl, 1995; Huttenlocher & Presson, 1973; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989; Shelton & McNamara, 1997; Sholl, 2001) machen kognitive Mechanismen, denen Prozesse der Ausformung und Transformation eines räumlichen Abbildes zugeordnet werden, als Hauptquelle der zusätzlichen Verarbeitungskosten bei vorgestellten Perspektivenwechseln aus. Die Grundannahme besteht darin, dass die Aktualisierung der mentalen Repräsentation aus der vorgestellten Perspektive zusätzliche Anforderungen an die kognitive Verarbeitung stellt, die insbesondere kognitiven Transformationsprozessen zugeschrieben wird. Ein frühes Erklärungsmodell von Rieser (1989) führt die Leistungsunterschiede zwischen vorgestellten Rotationen und Translationen auf einen kognitiven Mehraufwand unter Rotationsbedingungen zurück, der sich in zusätzlichen kognitiven Berechnungen widerspiegelt. Den linearen Anstieg von Anzeigezeiten und Anzeige Fehlern interpretiert Rieser (1989) in Anlehnung an die Vorstellung eines mentalen

¹ Transformationsannahmen werden auch als Erklärung für die gefundenen Effekte in Untersuchungen zur visuellen Einnahme der Perspektive herangezogen und stellen neben räumlichen Inkompatibilitätsannahmen einen zentralen Erklärungsansatz in diesem Forschungsfeld dar (siehe May & Wendt, 2013).

Objektrotationsprozesses (Cooper & Shepard, 1978) als mentalen Drehprozess in Form von analogen räumlichen Transformationen. Auch Wraga, Creem und Proffitt (2000) gehen von der impliziten Annahme aus, dass die Einnahme einer neuen Perspektive einem Imaginationsprozess gleicht, der als Selbstrotation in die vorzustellende Perspektive verstanden werden kann.

Die Unterschiede zwischen Objektlokalisierungen nach körperlich ausgeführten und vorgestellten Perspektivenwechseln führt Rieser auf einen Erleichterungseffekt durch bewegungsbegleitende, propriozeptive Information zurück (Rieser et al., 1986, Rieser, 1990), die eine quasi-automatische Aktualisierung der Objektlokationen der Umgebung durch vestibuläre, kinästhetische und motor-efferente Signale zur Folge hat. Die zugrundeliegende Annahme ist, dass die mit der Bewegung einhergehende Information die Gedächtnisrepräsentation mit den realräumlichen Gegebenheiten im Einklang hält. Aufgrund der Abwesenheit propriozeptiver Information bei vorgestellten Perspektivenwechseln bedarf es der bewussten und kognitiv aufwendigen Berechnung der imaginären Perspektive, beispielsweise im Sinne einer mentalen Rotation im Falle von vorgestellten Rotationen (Rieser, 1989, 1990).

Das Modell von Easton und Sholl (1995), das durch Sholl (2001) erweitert wurde, stellt einen ausführlich ausgearbeiteten Transformationsansatz dar und ist zugleich eines der ersten Raumgedächtnismodelle, das zwei verschiedene mentale Repräsentationssysteme integriert. Das Modell unterscheidet zwischen einem körperbezogenen Referenzsystem von Körper-zu-Objekt-Relationen, das den egozentrischen Abruf von Objektlokationen aus dem Gedächtnis vermittelt, und einem umweltzentrierten Referenzsystem von Objekt-zu-Objekt-Relationen, das allozentrische Codes von multiplen Objektlokationen im Langzeitgedächtnis speichert. Das körperbezogene Referenzsystem kodiert und aktualisiert die egozentrischen Relationen zu den Objekten in Bezug auf die Körperachsen vorne-hinten und rechts-links (z. B. Bryant & Tversky, 1999; Franklin & Tversky, 1990; Werner & Schmidt, 1999). Sholl (2001) differenziert das körperbezogene Referenzsystem weiter aus und unterscheidet hinsichtlich der Funktionsweise in ein körperbezogenes Referenzsystem, das auf einer sensomotorischen Ebene arbeitet, und ein körperbezogenes Referenzsystem, das auf einer repräsentationalen Ebene fungiert.

Auf der sensomotorischen Ebene werden die Objektlokationen der unmittelbaren Umgebung repräsentiert, die für Navigationsprozesse sowie objektorientierte Handlungen wie Greifen und Anzeigen notwendig sind. Auf der repräsentationalen Ebene erfolgt hingegen die Kopplung des körperbezogenen Referenzsystems mit dem umweltzentrierten

Referenzsystem, wodurch eine Zusammenarbeit der beiden Systeme und der Abruf der räumlichen Information aus dem Langzeitgedächtnis ermöglicht wird. Das Modell beruht auf der Annahme, dass die Einnahme einer vorgestellten Perspektive durch das imaginäre Auflegen des repräsentationalen körperbezogenen Referenzsystems auf das allozentrische Referenzsystem gewährleistet wird. Zum Lokalisieren und Anzeigen von Objekten aus der vorgestellten Perspektive wird das repräsentationale körperbezogene Referenzsystem an der entsprechenden Position im Raum zentriert und in die erforderliche Ausrichtung gebracht. Der Vorgang des Auflegens der repräsentationalen körperbezogenen Struktur auf die umweltzentrierte Struktur, die mit einer Versetzung und/oder Drehung der egozentrischen auf der allozentrischen Struktur einhergeht, wird als analoger Prozess verstanden. Demnach werden vorgestellte Perspektivenwechsel als analoge mentale Rotations- oder Translationsprozesse angenommen, die zu zusätzlichen kognitiven Verarbeitungskosten führen, je größer der Rotationsbetrag oder die Translationsdistanz der egozentrischen Struktur auf der allozentrischen Struktur ausfällt.

Auch das Modell von Mou, McNamara et al. (2004), das auf dem Modell von Sholl (2001) aufbaut, beruht auf zwei verschiedenen Teilsystemen der menschlichen Navigation und räumlichen Repräsentation. Das egozentrische System berechnet und repräsentiert kurzlebige Selbst-zu-Objekt-Relationen auf einer sensorischen Wahrnehmungsebene und ermöglicht durch die kontinuierliche Aktualisierung der Objektlokationen der unmittelbaren Umgebung die Interaktion mit und die zielgerichtete Fortbewegung in der Umwelt. Das allozentrische System enkodiert Objektlokationen im Langzeitgedächtnis und repräsentiert die räumliche Anordnung vertrauter Umgebungen. Der Körper wird dabei wie andere Objekte in der Umgebung betrachtet. Bewegungen gehen mit einer Aktualisierung des Standorts bezüglich beider Systeme einher und ermöglichen einerseits die Kontrolle von Bewegungen durch egozentrische Aktualisierung, andererseits die Aufrechterhaltung der Orientierung in einer erinnerten Umgebung durch allozentrische Aktualisierung.

Mou, McNamara et al. (2004) nehmen an, dass die räumlichen Repräsentationen des egozentrischen Systems ohne sensorische Unterstützung oder bewusste Wiederholung schnell verfallen. Erfolgt keine weitere Fortbewegung bei gleichzeitigem Ausbleiben sensorischer Information geht eine längere Verzögerung mit einem Verlust der Genauigkeit und Verlässlichkeit einher, der zur Folge hat, dass zum Anzeigen von Objektlokationen in der Umgebung auf räumliche Information aus dem allozentrischen System zurückgegriffen werden muss, die weniger genau, dafür aber beständiger als im kurzlebigen egozentrischen System repräsentiert ist (ähnlich dem Modell von Waller &

Hodgson, 2006). Im Unterschied zu dem Modell von Sholl (2001), das von einem ausrichtungsunabhängigen allozentrischen System ausgeht, dessen Repräsentationen keine bevorzugte Ausrichtung haben, werden nach Mou, McNamara et al. (2004) die Objekt-zu-Objekt-Relationen des allozentrischen Systems ausrichtungsspezifisch in Bezug zum primären Bezugsrahmen repräsentiert, der durch die oben beschriebenen Faktoren bestimmt wird (bspw. Shelton & McNamara, 2001, Mou & McNamara, 2002). Die räumlichen Referenzrichtungen im allozentrischen System werden während der Bewegung nicht aktualisiert und befähigen zur Aufrechterhaltung von stabilen Repräsentationen, die Aufgaben wie zum Beispiel die Planung einer Route erlauben.

Das Modell von Mou, McNamara et al. (2004) kann sowohl den in Untersuchungen gefundenen Effekt der Ausrichtungsdisparität (HDD) als auch den Effekt der Lernrichtungsdisparität (LDD) erklären. Die Vorstellung eines ausrichtungsunabhängigen allozentrischen Systems nach dem Modell von Sholl (Easton & Sholl, 1995; Sholl, 2001; Sholl & Nolin, 1997), das eine spezifische Ausrichtung des Bezugsrahmens erst zum Zeitpunkt des Wissensabrufs durch das Auflegen des repräsentationalen körperbezogenen Referenzsystems auf das allozentrische Referenzsystem bestimmt, impliziert, dass egozentrische Anzeigebeurteilungen und Beurteilungen relativer Richtungen gleichermaßen von einem Ausrichtungsunterschied zwischen der Lernperspektive und der vorzustellenden Perspektive unbeeinflusst sein sollten. Dementsprechend ist der Effekt der Lernrichtungsdisparität (LDD) mit dem Modell von Sholl (2001) kaum in Einklang zu bringen und schwer erklärbar.

Neuere Transformationsannahmen, die räumliche Perspektivenwechsel als einen verkörperten kognitiven Prozess verstehen, gehen davon aus, dass auch körperbezogene sensomotorische Prozesse bei der Einnahme einer vorgestellten Perspektive involviert sein können. Kessler und Thomson (2010) betrachten den Wechsel in eine neue Perspektive als Nachahmung einer Körperrotation, die hauptsächlich auf Transformationen von Körperschemarepräsentationen beruht. Genauer gesagt nehmen sie an, dass der Prozess der mentalen Selbstrotation eine Transformation von Teilen des Körperschemas in eine virtuelle Körperhaltung beinhaltet, die in Form einer Bewegungsnachahmung erfolgt. Daraus folgern sie, dass neben der kognitiven Anstrengung für verkörperte Transformationen, die mit der Zunahme der Winkelabweichung der zugrundeliegenden Perspektiven ansteigt, auch sensomotorische Information einen Einfluss hat.

Transformationsmodellen liegt die generelle Annahme zugrunde, dass die Verarbeitungskosten bei vorgestellten Perspektivenwechseln mit zunehmendem Betrag der imaginierten Selbstrotation, die als Ausrichtungsunterschied zwischen der körperdefinierten und der vorzustellenden Perspektive (HDD) und/oder als Ausrichtungsunterschied zwischen der gelernten und der vorzustellenden Perspektive (LDD) definiert ist, ansteigen. Untersuchungsergebnisse, die einen linearen oder zumindest monotonen Anstieg der Anzeigezeiten und/oder Anzeigefehler in Abhängigkeit von der Zunahme des Betrags der HDD (Easton & Sholl, 1995; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989) oder der Zunahme des Betrags der LDD (Hinton, 1981; Mou, McNamara et al., 2004; Shelton & McNamara, 1997; Street & Wang, 2014) aufweisen, stützen die Erklärungsansätze von Transformationsmodellen.²

4.2 Interferenzannahmen

Interferenzannahmen (Avraamides & Kelly, 2008; May, 2004, 2007; Wang, 2005) legen das Hauptaugenmerk weniger auf den Prozess der Einnahme der Perspektive, vielmehr werden die Schwierigkeiten vorgestellter Perspektivenwechsel auf spezifische Verarbeitungsprobleme zurückgeführt, die aus räumlichen Antwortkonflikten resultieren. Als Hauptquelle der zusätzlichen Verarbeitungskosten werden kognitive und sensomotorische Mechanismen angenommen, die mit der Berechnung, Vorbereitung und Ausführung der räumlichen Handlung aus der vorgestellten Perspektive verbunden sind. Das sensomotorische Interferenzmodell von May (2004) stellt einen spezifischen Erklärungsansatz dar, dem Konflikte in Form von konkurrierenden Raumcodes zugrunde liegen, die zu Interferenzeffekten während der Antwortauswahl führen. Die Interferenzkonflikte resultieren aus der Inkompatibilität sensomotorischer Objektlokationscodes, die durch die körperlich eingenommene Perspektive definiert sind und kognitiven Codes der gleichen Objektlokationen, die durch die vorgestellte Perspektive bestimmt sind. May (2004) nimmt an, dass die sensomotorischen Codes bei

² Easton und Sholl (1995) führen die zusätzlichen Verarbeitungskosten zudem auf die Translationsdistanz zurück, die mit dem Wechsel aus der körperdefinierten in die vorzustellende Perspektive verbunden ist. Sie gehen davon aus, dass mit der Zunahme der linearen Versetzung des Standorts, d. h. der Distanz zwischen der neuen Position, an der das repräsentationale körperbezogene Referenzsystem auf das allozentrische Referenzsystem aufgelegt wird, und dem Ursprung der Körperachse, ein Anstieg der Anzeigezeiten und Anzeigefehler einhergeht. Da diese Annahme allerdings empirisch wenig Unterstützung findet und zudem aus einer potenziellen Konfundierung mit ODD resultiert (siehe May, 2004), wird sie nicht weiter berücksichtigt.

vorgestellten Perspektivenwechseln automatisch aktiviert werden und die Berechnung des Anzeigevektors entsprechend der imaginierten Perspektive erschweren, da die aufgabenrelevanten Codes gegenüber den inkompatiblen Codes durchgesetzt werden müssen.

Die zuvor erläuterte Annahme eines Erleichterungseffekts durch propriozeptive Information (Rieser, 1989, 1990) zur Erklärung der Leistungsunterschiede zwischen körperlich ausgeführten und vorgestellten Perspektivenwechseln wird von May (2000) umgedeutet. Im Unterschied zu Rieser (1990), der das Fehlen propriozeptiver Information für die Leistungseinbußen bei vorgestellten Perspektivenwechseln verantwortlich macht, sieht May (2000) den Einfluss propriozeptiver Information als wesentliche Störvariable bei imaginierten Perspektivenwechseln. Er nimmt an, dass die mit der aktuellen Körperposition verbundene sensomotorische Repräsentation sich im Falle von vorgestellten Perspektivenwechseln störend auf die kognitive Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis auswirkt. May (2000) hebt damit die zugrundeliegenden Gedächtnismechanismen hervor und macht Interferenzen zwischen sensomotorischen und kognitiven Raumcodes der Umgebung für die Leistungseinbußen bei vorgestellten Perspektivenwechseln verantwortlich. Im Falle von vorgestellten Perspektivenwechseln weichen die sensomotorischen und kognitiven Objektlokationscodes entsprechend dem räumlichen Unterschied der körperlich eingenommenen und der vorzustellenden Perspektive voneinander ab. Im Gegensatz dazu stimmen die Raumcodes der Objektlokationen im Falle von ausgeführten Perspektivenwechseln aufgrund der Kongruenz der zugrundeliegenden Perspektiven überein und entfalten keine interferierenden Effekte.

Das Interferenzmodell von May (2000, 2004) differenziert hinsichtlich des Ursprungs zwei verschiedene Interferenzeffekte. Die Ausrichtungsdisparität kennzeichnet einen Konflikt zwischen inkompatiblen allozentrischen Codes von Objektlokationen aufgrund der Abweichung der Ausrichtung zwischen der körperlich eingenommenen und der vorgestellten Perspektive. May (2000) ist der Auffassung, dass nach dem Gedächtnisabruf der Objektlokationen aus dem Langzeitgedächtnis zwei getrennte räumliche Codes im Arbeitsgedächtnis vorliegen, die daraufhin verknüpft werden. Angesichts der Verbindung der Langzeitgedächtnisrepräsentation mit der aktuellen Körperausrichtung im Raum kommt es im Falle von vorgestellten Rotationen zu Abweichungen der Raumcodes aufgrund konfligierender allozentrischer Referenzsysteme. Dieser Rotationskonflikt wird für die gefundenen Leistungsunterschiede zwischen vorgestellten Rotationen und

Translationen verantwortlich gemacht. Die Schwierigkeit liegt in der Bestimmung der allozentrischen Anzeigerichtung aus der imaginierten Perspektive begründet, da das Referenzsystem, das der vorzustellenden Ausrichtung zugrunde liegt, kontinuierlich durch inkompatible Ausrichtungssignale des Referenzsystems, das mit der körperlichen Perspektive im Raum verbunden ist, gestört wird (May, 2004).

Der zweite Interferenzeffekt, den May (2004) als Objektrichtungsdisparität bezeichnet, definiert einen Konflikt zwischen inkompatiblen egozentrischen Codes von Objektlokationen aufgrund von Abweichungen zwischen körper- und aufgabendefinierten egozentrischen Objektrichtungen. Das Interferenzmodell von May (2000) sieht vor, dass auf einer dem Ausrichtungskonflikt nachfolgenden Verarbeitungsstufe der allozentrische Raumcode in einen egozentrischen Raumcode umgewandelt wird, der an die sensomotorischen Systeme weitergeleitet wird. Der durch die aktuelle sensomotorische Repräsentation voraktivierte Raumcode führt im Falle von vorgestellten Perspektivenwechseln zu Interferenzeffekten, da die Vektorrichtung der sensomotorisch definierten Objektlokation von der kognitiv definierten Objektlokation abweicht. Die Schwierigkeit wird als Selektionsproblem während der Bestimmung der Anzeigerichtung verstanden, bei der zwischen zwei divergierenden Handlungsvektoren entschieden werden muss. May (2004) betrachtet die Anzeigebewegung aus der imaginierten Perspektive als abschließende Leistung einer Konfliktlösung zwischen den inkompatiblen Richtungskodes aus der körperlich eingenommenen und vorgestellten Perspektive.

Die Interferenzhypothese von May (2004) bietet einen Erklärungsansatz für zwei der oben aufgeführten zentralen Einflussfaktoren auf die zusätzlichen Verarbeitungskosten bei gedächtnisbasierten Perspektivenwechseln: zum einen eine den Transformationsmodellen gegensätzliche, alternative Modellannahme hinsichtlich des nachteiligen Effekts der Ausrichtungsdisparität (HDD), zum anderen die Annahme eines weiteren Konflikts, der den nachteiligen Effekt der Objektrichtungsdisparität (ODD) berücksichtigt. May (2004) geht davon aus, dass bei vorgestellten Rotationen ohne Veränderungen der Position beide Interferenzeffekte (HDD und ODD) wirksam werden, wohingegen bei vorgestellten räumlichen Translationen ohne Veränderungen der Ausrichtung lediglich der Interferenzeffekt der ODD zum Tragen kommt. Ein Erklärungsansatz für Lerneffekte als weiterer Faktor der zusätzlichen Verarbeitungskosten bei mentalen Perspektivenwechseln findet im Interferenzmodell von May (2004) keine explizite Berücksichtigung, erscheint vor dem Hintergrund der grundlegenden theoretischen Annahme von Interferenzkonflikten aufgrund inkompatibler Objektlokationskodes allerdings gut integrierbar und kann im

Sinne eines Ausrichtungskonflikts zwischen der Lernperspektive und der vorzustellenden Perspektive (LDD) aufgefasst werden.

Avraamides und Kelly (2008) erweiterten die Interferenzhypothese von May (2004) und entwickelten vor allem in Anlehnung an die Modelle von Sholl (2001) und Mou, McNamara et al. (2004) ein Hybridmodell, das die Befunde aus dem Bereich der räumlichen Aktualisierung sowie die Erkenntnisse zur Organisation des Raumgedächtnisses integriert und auch Alignierungseffekte zwischen der Lernperspektive und der vorgestellten Perspektive (LDD) berücksichtigt. Den charakteristischen Effekt aus Untersuchungen zum Raumgedächtnis, der bessere Anzeigeleistungen aufweist, wenn die Ausrichtung der vorgestellten Perspektive mit der Ausrichtung der Lernperspektive übereinstimmt, definieren Avraamides und Kelly (2008) als Gedächtnisalignierungseffekt. Demgegenüber bezeichnen sie den gut belegten Effekt aus Studien zur räumlichen Aktualisierung, der bessere Anzeigeleistungen aufzeigt, wenn die Ausrichtung der vorgestellten Perspektive mit der Ausrichtung der körperlichen definierten Perspektive übereinstimmt, als sensomotorischen Alignierungseffekt.

Wie die Autorinnen und Autoren der zuvor aufgeführten Modelle (Mou, McNamara et al., 2004; Sholl, 2001), gehen auch Avraamides und Kelly (2008) davon aus, dass beim Erkunden bzw. Lernen einer räumlichen Umgebung zeitgleich zwei Repräsentationen gebildet werden: eine dynamische sensomotorische Repräsentation, die Selbst-zu-Objekt-Relationen der unmittelbaren Umgebung enthält, die automatisch während der Bewegung innerhalb der Umgebung durch vestibuläre und kinästhetische Hinweisreize aktualisiert werden und eine allozentrische Repräsentation, die Objekt-zu-Objekt-Relationen im Langzeitgedächtnis speichert. In Übereinstimmung mit May (2004) nehmen Avraamides und Kelly (2008) an, dass die sensomotorischen Raumcodes, die die egozentrischen Objektlokationen definieren, automatisch aktiviert werden, dauerhaft aktiv und verfügbar sind und Interferenzen auslösen, die den Prozess der Berechnung des Anzeigevektors im Verhältnis zur imaginierten Perspektive stören. Die Organisation der allozentrischen Repräsentation wird, im Einklang mit McNamara (2003), auf der Grundlage von intrinsischen Achsen aufgefasst, die mit einer bevorzugten Ausrichtung im Gedächtnis gespeichert werden.

Interferenzmodelle sehen die grundlegende Schwierigkeit imaginiertes Perspektivenwechsel in Konflikten zwischen der räumlichen Repräsentation, die durch die körperlich definierte Perspektive bestimmt wird, und der Repräsentation, die aus der vorzustellenden Perspektive erzeugt wird. Die daraus resultierenden inkompatiblen

Objektlokationskodes müssen zugunsten der aufgabenrelevanten vorgestellten Perspektive überwunden werden, um räumliche Beurteilungen und Handlungen aus der imaginierten Perspektive absolvieren zu können. Nach May (2004) resultieren die zusätzlichen Verarbeitungskosten aus den unabhängigen räumlichen Antwortkonflikten, die durch die beiden Interferenzquellen der HDD und ODD hervorgerufen werden und die mit zunehmenden Disparitätsbeträgen zu einem Anstieg der Anzeigezeiten und/oder Anzeigefehler führen. In vielen Untersuchungen erfolgte das Lernen der Versuchsanordnung aus mehreren zufälligen Perspektiven, um eine Kontrolle der LDD als mögliche weitere räumliche Quelle von Interferenzkonflikten herzustellen und mögliche systematische Lerneinflüsse zu eliminieren.

5 Untersuchungsbefunde

In diesem Abschnitt sollen bedeutsame Untersuchungsbefunde aus Studien zu gedächtnisbasierten räumlichen Perspektivenwechseln zusammengetragen werden. Der Fokus liegt dabei auf vier verschiedenen Einflussfaktoren, die experimentell variiert wurden, um Erkenntnisse hinsichtlich der zugrundeliegenden Verarbeitungsmechanismen und zusätzlichen kognitiven Verarbeitungsanforderungen zu erlangen, wenn Versuchspersonen aus vorgestellten Perspektiven zuvor gelernte Objekte lokalisieren sollen. Im Folgenden soll auf den Einfluss einer Desorientierung, den Einfluss der räumlichen Testumgebung, den Einfluss einer Vorbereitungszeit zur Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive sowie den Einfluss der Antwortmethode auf die Anzeigeleistung eingegangen werden. Nach einer kurzen Darstellung der jeweiligen Studie werden die zentralen Ergebnisse der einzelnen Experimente herausgearbeitet, die hinsichtlich der vier verschiedenen Einflussfaktoren als Belege für Interferenzkonflikte angesehen werden können und die Annahmen der Interferenzmodelle (Avraamides & Kelly, 2008; May, 2004, 2007; Wang, 2005) stützen. Die Beschreibung der Experimente und Befunde orientiert sich an den von den Autorinnen und Autoren verwendeten Begriffen, die sich weitestgehend auf die oben dargestellten räumlichen Faktoren beziehen und zumeist lediglich sprachliche Abwandlungen darstellen.

Darüber hinaus sollen auch Untersuchungen aufgeführt werden, die durch die Variation der verschiedenen Einflussfaktoren Rückschlüsse auf die mentale Repräsentation zulassen und eine Verbindung der Interferenzhypothese mit den theoretischen Überlegungen zur

Raumgedächtnisorganisation ermöglichen (Avraamides & Kelly, 2008; Mou, McNamara et al., 2004; Sholl, 2001; Waller & Hodgson, 2006). Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Untersuchungen und der daraus resultierenden Modellannahmen soll erweitert durch die Erkenntnisse der eigenen Experimente zum Abschluss der Arbeit ein Konfliktmodell entwickelt werden, das unter Berücksichtigung der verschiedenen Einflussfaktoren die räumlichen Konflikte, beteiligte kognitive Verarbeitungsprozesse sowie die zugrundeliegenden mentalen Repräsentationen bei räumlichen Perspektivenwechseln einbezieht.

5.1 Der Einfluss einer Desorientierung

Belege für Interferenzmodelle finden sich in Studien, die den Einfluss einer Desorientierung auf die Anzeigeleistung nach räumlichen Perspektivenwechseln untersuchen und zeigen, dass das Desorientieren von Versuchspersonen durch Drehungen im Kreis oder zufällige Abfolgen von Links- und Rechtsdrehungen bis zum Verlust der Orientierung in Bezug auf die körperliche Perspektive und die unmittelbare Umgebung den Wechsel in eine andere Perspektive in derselben Umgebung erleichtert und die Anzeigeleistung verbessert. Verschiedene Studien konnten eine signifikante Verringerung der zusätzlichen Kosten nachweisen, wenn die Versuchspersonen in Bezug auf die räumliche Umgebung desorientiert wurden (May, 1996; Puls, 2009).

In einem Experiment von May (1996) wurden drei Arten von Repositionierungen (körperlich ausgeführt, vorgestellt und desorientiert) sowie das Ausmaß der jeweiligen Repositionierung variiert. Der Versuch zielte auf die Exploration der Beiträge der kognitiven und sensomotorischen Systeme zur räumlichen Vorstellung der Umgebung sowie die Klärung der Ursachen für die Leistungsunterschiede zwischen körperlich ausgeführten und vorgestellten Perspektivenwechseln ab. Nach der Erleichterungsannahme (Rieser et al., 1986; Rieser, 1989) liegen die besseren Anzeigeleistungen unter Bedingungen körperlich ausgeführter Perspektivenwechsel in Erleichterungseffekten auf den Wissensabruf und die Ausformung des räumlichen Abbildes begründet, die auf die mit der aktiven Körperbewegung einhergehende sensomotorische Information zurückgeführt werden, wohingegen nach der Interferenzannahme (May, 2004) die schlechteren Leistungen unter Bedingungen vorgestellter Perspektivenwechsel mit Interferenzeffekten begründet werden, die auf die Inkompatibilität zwischen kognitiven und sensomotorischen Raumcodes zurückgeführt werden.

Die Bedingung des desorientierten Perspektivenwechsels diente der Kontrastierung drei verschiedener Hypothesen hinsichtlich des Einflusses der sensomotorischen Information auf Prozesse der räumlichen Einnahme der Perspektive und beruht auf der Annahme, dass die Aufhebung aufgabenrelevanter sensomotorischer Information gleichzeitig zu einer Beseitigung der erleichternden und störenden Effekte führt. Die Erleichterungshypothese lässt vergleichbare Leistungseinbußen von vorgestellten und desorientierten Perspektivenwechseln im Vergleich zu körperlich ausgeführten Perspektivenwechseln erwarten und liegt der Vorstellung zugrunde, dass die sensomotorische Information infolge der Desorientierung für die Aufgabe unbrauchbar ist und keine Aktualisierung der räumlichen Umgebung ermöglicht. Die Interferenzhypothese lässt Leistungseinbußen von vorgestellten Perspektivenwechseln im Vergleich zu desorientierten und körperlich ausgeführten Perspektivenwechseln vermuten, die eine vergleichsweise geringere Schwierigkeit darstellen sollten. Die Vorhersage basiert auf der Annahme, dass die Desorientierung die sensomotorische Repräsentation der Umgebung ausschaltet und somit keine Interferenzen zwischen sensomotorischen und kognitiven Codes der Objektlokationen auftreten. Die dritte Hypothese nimmt eine Kombination von Erleichterungs- und Interferenzeffekten an und erwartet, dass desorientierte Perspektivenwechsel im Vergleich zu vorgestellten Perspektivenwechseln leichter und im Vergleich zu körperlich ausgeführten Perspektivenwechseln schwerer fallen. Die Ergebnisse bestätigten die Annahme der Kombinationshypothese und verdeutlichen, dass Körperinformation sowohl einen erleichternden als auch einen störenden Einfluss auf räumliche Perspektivenwechsel ausüben kann (May, 1996).

Die Untersuchung konnte zeigen, dass Versuchspersonen die besten Anzeigeleistungen (schnellste Anzeigezeiten und geringste Anzeigefehler) vollführten, wenn sie die geforderte Perspektive körperlich einnehmen durften, mittlere Anzeigeleistungen (langsamere Anzeigezeiten und größere Anzeigefehler als in Bedingungen körperlich ausgeführter Perspektivenwechsel) vollbrachten, wenn sie im Hinblick auf ihre körperliche Perspektive desorientiert waren und die schwächsten Anzeigeleistungen (langsamste Anzeigezeiten und größte Anzeigefehler) aufwiesen, wenn sie sich lediglich in der Vorstellung in die geforderte Perspektive begeben durften. May (1996) interpretiert die Leistungsunterschiede zwischen vorgestellten und desorientierten Perspektivenwechseln als klaren Hinweis auf unabhängige Interferenzeffekte im Falle vorgestellter Perspektivenwechsel und beurteilt den Anstieg der Anzeigezeiten mit zunehmendem Disparitätsbetrag als weiteren Beleg. Zudem sieht er im Unterschied zwischen körperlich

ausgeführten und desorientierten Perspektivenwechseln einen unabhängigen Erleichterungseffekt auf den Gedächtnisabruf von Objektlokationen, der aus der mit der aktiven Bewegung einhergehenden propriozeptiven Information resultiert. Als Alternativerklärung zum Erleichterungseffekt, die sich auf der Grundlage der Datenbasis allerdings nicht abschließend klären ließ, wird eine allgemeine Positionsunsicherheit infolge der Desorientierung diskutiert, die zu unspezifischen Interferenzeffekten und einem zusätzlichen Kostenaufwand geführt haben könnte.

Puls (2009) führte in Anlehnung an das Experiment von May (1996) zwei Versuche durch, in denen drei Arten von Perspektivenwechseln (kein Wechsel, körperlich ausgeführter Wechsel und vorgestellter Wechsel) unter Bedingungen der räumlichen Orientiertheit (orientiert, desorientiert) untersucht wurden. In der desorientierten Bedingung wurde den Versuchspersonen im ersten Experiment eine Perspektive im Raum vorgegeben, die nicht der körperlich eingenommenen Perspektive entsprechen musste. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von May (1996) konnten bei vorgestellten Perspektivenwechseln geringere Leistungseinbußen nach einer Desorientierung im Vergleich zur orientierten Bedingung festgestellt werden, die als Folge einer räumlichen Entankerung infolge der Desorientierung interpretiert wurden, die das Auftreten von Interferenzeffekten resultierend aus konkurrierenden räumlichen Kodierungen vermindert oder aufhebt. Im zweiten Experiment sollten die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer in der desorientierten Bedingung eine Hypothese hinsichtlich der eigenen körperlichen Perspektive im Raum aufstellen, die daraufhin verstärkt wurde. Der Versuch zielte auf die Überprüfung der Annahme ab, dass trotz einer Desorientierung eine Hypothese über die eigene körperliche Position und Ausrichtung eine räumliche Verankerung der Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer erzeugt, die bei vorgestellten Perspektivenwechseln in der desorientierten Bedingung zu Leistungseinbußen wie in der orientierten Bedingung führen. Die Ergebnisse zeigten keine Leistungsunterschiede zwischen der orientierten und desorientierten Bedingung, d. h. Versuchspersonen fiel das Anzeigen von Objekten nach vorgestellten Perspektivenwechseln in beiden Bedingungen ähnlich schwer. Das Ergebnisbild bestätigte die Vermutung, dass trotz vorheriger räumlicher Entankerung infolge der Desorientierung die subjektive Hypothese über die eigene körperliche Perspektive ausreicht, um eine Verankerung zu erzeugen und Interferenzeffekte wie in der orientierten Bedingung hervorzurufen.

Desorientierungseffekte wurden darüber hinaus auch in verschiedenen Untersuchungen (Mou, McNamara, Rump & Xiao, 2006; Waller & Hodgson, 2006; Wang & Spelke, 2000) eingesetzt, um weiterführende Erkenntnisse zur Enkodierung und mentalen Repräsentation räumlicher Information zu erlangen. Dabei wurden insbesondere die Auswirkungen einer Desorientierung auf die interne Beständigkeit räumlicher Repräsentationen und die Umstände, in denen die beiden Referenzsysteme (dynamisches Online-System und dauerhaftes Offline-System) Verwendung finden, näher beleuchtet. Bei genauer Betrachtung finden sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Funktion und Bedeutung, die den jeweiligen Referenzsystemen von verschiedenen theoretischen Modellen beigemessen werden.

In einer Versuchsreihe von Wang und Spelke (2000), bestehend aus insgesamt sieben Experimenten, lernten Versuchspersonen die Lokationen von verschiedenen Objekten in einem Versuchsraum, bevor sie zur Testdurchführung eine Kammer betraten, die sich in der Mitte des Versuchsraum befand. Die Versuchspersonen führten egozentrische Anzeigebeurteilungen unter drei verschiedenen Versuchsbedingungen durch. Als Baseline diente das Anzeigen der Richtungen von nicht sichtbaren Objekten mit geöffneten Augen. In der zweiten Bedingung erfolgte das Anzeigen der Objekte nach einer kurzen Rotation und nach Sichtentzug. In der dritten Bedingung wurden die Versuchspersonen schließlich durch selbstinitiierte Drehungen desorientiert und die Richtungsbeurteilungen wurden mit geschlossenen Augen vollführt. Wang und Spelke (2000) kontrastierten zwei gegensätzliche Hypothesen über die Auswirkung einer Desorientierung auf die Genauigkeit des Wissens der relativen Richtungen von zuvor gelernten Objektlokationen der Umgebung. Die erste Annahme beinhaltet, dass eine Desorientierung keine Auswirkungen auf den Wissensabruf der relativen Richtungen der Zielobjekte haben sollte, wenn sich das Anzeigen der Zielobjekte auf eine dauerhafte allozentrische Repräsentation stützt, da in diesem Falle die Versuchspersonen sowohl vor als auch nach der Desorientierung auf die gleiche unveränderte mentale Repräsentation der Umgebung zurückgreifen. Im Gegensatz dazu besteht die zweite Annahme darin, dass der Wissensabruf der relativen Richtungen durch eine Desorientierung beeinträchtigt sein sollte, wenn die Richtungsbeurteilungen auf der Grundlage einer dynamischen egozentrischen Repräsentation erfolgen, da das Wissen auf flüchtigen Kodierungen des Selbst in Relation zu den Objekten der Umgebung beruht, die in Folge der Desorientierung verloren gehen. Die Ergebnisse der Studie zeigten in der desorientierten Bedingung einen signifikanten Anstieg des Konfigurationsfehlers, der als Standardabweichung der sechs

individuellen Anzeigefehler definiert wird, die relative Anzeigegenauigkeit jedes einzelnen Objektes im Verhältnis zu den anderen Objekten misst und eine Kennzahl für die Beständigkeit der räumlichen Relationen zwischen den Objekten im Gedächtnis darstellt. Wang und Spelke (2000) interpretieren das Ergebnisbild als Beleg dafür, dass Objekte primär in einer egozentrischen räumlichen Repräsentation abgebildet werden, die während der Bewegung kontinuierlich aktualisiert wird. Sie unterstreichen die Bedeutsamkeit des dynamischen Online-Systems und schreiben dem Offline-System lediglich eine Wichtigkeit bei der Repräsentation von räumlichen Strukturen der unmittelbaren Umgebung (z. B. der Form des umgebenden Raumes) zu, auf das nach Wang und Spelke (2000) ausschließlich zur Reorientierung in dieser Umgebung zurückgegriffen wird.

Im Gegensatz zu Wang und Spelke (2000) schreiben Mou, McNamara et al. (2004) dem Online-System eine untergeordnete Bedeutung zu, die nach ihrer Betrachtung vorrangig der Fortbewegung im Raum dient. In ihrem Modell legen sie das Augenmerk vorrangig auf die Organisation von langanhaltenden Gedächtnisrepräsentationen und heben allozentrische Referenzsysteme hervor, in denen Langzeitrepräsentationen kodiert werden. In einer Studie mit vier Experimenten untersuchten Mou et al. (2006) die Beschaffenheit der räumlichen Repräsentationen, indem sie Versuchspersonen nach Sichtentzug zuvor gelernte Objektlokationen in drei verschiedenen Bedingungen anzeigen ließen (Baseline-Bedingung ohne Veränderung der Ausrichtung, Aktualisierungsbedingung mit Veränderung der Ausrichtung und Desorientierungsbedingung mit Drehungen bis zum Verlust der Orientierung). Mou et al. (2006) stellten die Hypothese auf, dass sich Versuchspersonen nur dann auf das egozentrische Online-System verlassen, wenn die räumlichen Repräsentationen des allozentrischen Offline-Systems ungenau und wenig verlässlich sind. Einen Anstieg des Konfigurationsfehlers im Falle einer Desorientierung verstehen Mou et al. (2006) als Folge der Störung von Selbst-zu-Objekt-Repräsentationen des egozentrischen Systems, die eine Verwendung ungenauer Objekt-zu-Objekt-Repräsentationen zur Folge hat. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigten einen Anstieg des Konfigurationsfehlers in der desorientierten Bedingung, wenn die Versuchspersonen während des Lernens inmitten der Versuchsanordnung standen und das Layout keine auffälligen intrinsischen Achsen aufwies. Allerdings fand sich kein Anstieg des Konfigurationsfehlers, wenn die Versuchspersonen die Lokationen der Objekte von außerhalb des Layouts gelernt hatten. Nach Mou et al. (2006) deuten die Ergebnisse darauf hin, dass Versuchspersonen beim Lernen einer Versuchsanordnung eine allozentrische Repräsentation von Objekt-zu-Objekt-Relationen aufbauen, die zur Lokalisierung von

Objekten verwendet wird. Egozentrische Repräsentationen werden nach Mou et al. (2006) dann genutzt, wenn allozentrische Repräsentationen von geringer Genauigkeit sind. Im Falle einer Desorientierung sind Versuchspersonen trotz geringer Genauigkeit der allozentrischen Repräsentationen auf diese Repräsentationen angewiesen.

Waller und Hodgson (2006) überprüften anhand einer Versuchsreihe von vier Experimenten eine alternative Erklärung des Desorientierungseffekts, indem sie Versuchspersonen zwei verschiedene Arten von Anzeigeaufgaben ausführen ließen. Die egozentrische Anzeigeaufgabe war identisch mit der Aufgabe, die im Versuch von Wang und Spelke (2000) zum Einsatz kam und erforderte das Anzeigen von Objektlokationen der unmittelbaren Umgebung aus der gegenwärtigen Perspektive. Die zweite Aufgabe bestand in der Beurteilung relativer Richtungen, in denen die Versuchspersonen sich vor dem Anzeigen der Lokation des Zielobjekts eine definierte Position und Ausrichtung vorstellen sollten, die jeweils von der tatsächlich eingenommenen Position und Ausrichtung abwich. Waller und Hodgson (2006) vermuteten vor dem Hintergrund der Annahme flüchtiger, dynamischer Online-Repräsentationen als auch beständiger Offline-Repräsentationen gegensätzliche Auswirkungen der Desorientierung: einerseits schlechtere Leistungen beim egozentrischen Anzeigen, andererseits bessere Leistungen beim Beurteilen relativer Richtungen. Die Ergebnisse bestätigten beide Hypothesen: zum einen fand sich beim egozentrischen Anzeigen ein Anstieg des Konfigurationsfehlers nach einer Desorientierung, der eine Replikation der Befunde von Wang und Spelke (2000) darstellt, zum anderen zeigte sich beim Beurteilen relativer Richtungen eine Verringerung des Konfigurationsfehlers nach einer Desorientierung. Die Desorientierungseffekte werden von Waller und Hodgson (2006) als Beleg sowohl für flüchtige, dynamische Online-Repräsentationen als auch für beständige Offline-Repräsentationen angeführt, die beide beim Lernen der Versuchsanordnung aufgebaut werden und sich in der Beständigkeit und Genauigkeit unterscheiden. Der Anstieg des Konfigurationsfehlers beim egozentrischen Anzeigen nach einer Desorientierung wird von Waller und Hodgson (2006) nicht als Beeinträchtigung einer flüchtigen egozentrischen Repräsentation infolge der Desorientierung verstanden, vielmehr bewerten sie diesen als Wechsel von einer kurzlebigen, präzisen Online-Repräsentation zu einer beständigeren, ungenaueren Langzeitrepräsentation. Die Verringerung des Konfigurationsfehlers beim Beurteilen relativer Richtungen wird demgegenüber darauf zurückgeführt, dass nach einer Desorientierung keine Online-Information über die aktuelle Ausrichtung im Raum vorhanden ist, die mit der für die Aufgabe notwendigen Prozesse interferieren kann. Im

Unterschied zur desorientierten Bedingung sind die Versuchspersonen beim Anzeigen relativer Richtungen in der orientierten Bedingung nach Waller und Hodgson (2006) mit der Schwierigkeit konfrontiert, die Information über die aktuelle Ausrichtung, die durch das Online-System bereitgestellt wird und mit der in der Aufgabe geforderten Ausrichtung interferiert, auszublenden.

5.2 Der Einfluss der räumlichen Testumgebung

Weitere Nachweise für Interferenzmodelle zeigen sich in Untersuchungen, die den Einfluss der räumlichen Testumgebung auf die Anzeigeleistung nach räumlichen Perspektivenwechseln näher beleuchten und verdeutlichen, dass vorgestellte Perspektivenwechsel üblicherweise leichter fallen, wenn die Versuchspersonen in einer abseits gelegenen Umgebung getestet werden, als wenn die Testung in der unmittelbaren Umgebung erfolgt. Verschiedene Studien konnten eine signifikante Verringerung der zusätzlichen Kosten belegen, wenn die Versuchspersonen in einer abgelegenen Umgebung getestet wurden (Avraamides & Kelly, 2010; Kelly et al., 2007; May, 2007; May, Rieser & Young, 2006).

May (2007) untersuchte in zwei Experimenten den Wissenszugang nach räumlichen Perspektivenwechseln und testete die Versuchspersonen entweder in dem Raum, in dem die Objektlokationen gelernt wurden (unmittelbare Umgebung), oder in einem anderen Raum, der vom Lernraum entfernt lag (abgelegene Umgebung). Im ersten Experiment erfolgte die Testdurchführung auf der Grundlage einzelner Testdurchgänge, im zweiten Experiment absolvierten die Versuchspersonen Testblöcke. Bei Einzeltests wird in jedem Durchgang eine neue vorzustellende Perspektive definiert, aus der ein Zielobjekt angezeigt werden soll. Bei Blocktests werden hingegen mehrere Zielobjekte aus der gleichen vorgestellten Perspektive angezeigt. May (2007) erwartete größere Anzeigezeiten und Anzeigefehler in den Einzeltestdurchgängen im Vergleich zu den Durchgängen mit Blocktestung, die er in zusätzlichen Kosten begründet sieht, die mit dem Wechsel der Perspektive in jedem einzelnen Durchgang verbunden sind. Hinsichtlich der Einzeldurchgänge vermutete er die gesamte Bandbreite von kognitiven Transformationskosten, die aus den Wechseln der Perspektive zwischen den Durchgängen resultieren, sowie Interferenzkosten, die sich aus den möglichen Konflikten zwischen der körperlich eingenommenen und der vorgestellten Perspektive innerhalb eines Durchgangs ergeben. Im Falle der Blocktestung ging er hingegen davon aus, dass diese Methode den

Versuchspersonen die Möglichkeit bietet, im Vorfeld des jeweiligen Testblocks die geforderte Perspektive einzunehmen, so dass sich die zusätzlichen Kosten überwiegend aus Interferenzkosten zusammensetzen sollten. Zudem erwartete May (2007) eine Verringerung der Disparitätskosten, die aus Interferenzen konkurrierender Repräsentationen der unmittelbaren räumlichen Umgebung herrühren, wenn die Versuchspersonen in einer abseits gelegenen Umgebung getestet werden, da eine räumliche Entankerung zu einer Lockerung der Konflikte zwischen der körperlich eingenommenen und der vorgestellten Perspektive führen sollte.

In einem vorangegangenen Versuch von May et al. (2006), in dem die Methode der Blocktestung eingesetzt wurde, konnte nachgewiesen werden, dass die Leistungseinbußen, die mit der Zunahme der Disparitäten ansteigen, wenn die Versuchspersonen in der unmittelbaren Umgebung getestet werden, stark verringert waren, wenn die Versuchspersonen in einer entfernt gelegenen Umgebung willkürlich positioniert und getestet wurden. Wurden die Versuchspersonen in der entfernt gelegenen Umgebung allerdings in die vorzustellende Umgebung räumlich eingebettet, zeigten sich keine Unterschiede zwischen den beiden Bedingungen.

Die Ergebnisse der beiden Experimente von May (2007) belegten eine signifikante Verringerung der Verarbeitungskosten, wenn die Versuchspersonen blockweise getestet wurden. May (2007) bewertet dieses Resultat als Beleg dafür, dass sich die beiden Methoden hinsichtlich der Art und Anzahl beteiligter kognitiver Prozesse unterscheiden. Weiterhin wurde die Annahme bestätigt und das Ergebnis der Untersuchung von May et al. (2006) repliziert, dass die Testung in einer entfernt gelegenen Umgebung zu einer Abnahme der Anzeigezeiten und Anzeigefehler führt. Entgegen der Erwartung zeigte sich die Verringerung der Interferenzeffekte in der entfernt gelegenen Umgebung jedoch nur in der Blocktestbedingung (Experiment 2) und nicht in der Einzeltestbedingung (Experiment 1). Den Leistungsunterschied zwischen den beiden Umgebungsbedingungen im zweiten Experiment führt May (2007) auf eine Verringerung zusätzlicher Verarbeitungskosten resultierend aus räumlichen Interferenzkonflikten zurück, die er als Folge einer Herabsetzung der Quelle der Interferenzen hinsichtlich der Inkompatibilität zwischen der körperlich definierten und vorgestellten Objektlokationen in der Umgebung interpretiert, die mit der Herausnahme der Versuchspersonen aus dem räumlichen Kontext einhergeht. Im Hinblick auf das Ausbleiben der Verringerung der Interferenzeffekte in der entfernt gelegenen Umgebung im ersten Experiment stellt May (2007) die Vermutung an, dass die Anforderungen, die mit einem Wechsel der Perspektive in jedem einzelnen Durchgang

verbunden sind, so hoch waren, dass die Versuchspersonen dazu gezwungen waren, in eine zeitweilig erzeugte mentale Abbildung der räumlichen Umgebung einzutauchen, so dass eine Herausnahme aus dem räumlichen Kontext nicht gelang und somit eine Entankerung nicht erfolgen konnte.

Die oben bereits angedeutete Studie von Kelly et al. (2007), in der Versuchspersonen Anzeigebeurteilungen aus vorgestellten Perspektiven in einer Virtual-Reality-Umgebung ausführten und sich dabei entweder in der Mitte des Raumes befanden, in dem die Versuchsanordnung gelernt wurde, oder sich in die Mitte eines neuen, benachbarten Raumes begaben, beleuchtete verschiedene Bedingungen, die zu sensomotorischen Alignierungseffekten beitragen. Im Gegensatz zur Testdurchführung in der Lernumgebung, in der sich sowohl Gedächtnisalignierungseffekte als auch sensomotorische Alignierungseffekte fanden, zeigten sich bei der Testdurchführung im benachbarten Raum bessere Anzeigeleistungen nur für Testdurchgänge, die mit der Lernperspektive übereinstimmten (Gedächtnisalignierungseffekte). Leistungsunterschiede zwischen Testdurchgängen, die mit der körperlichen Perspektive aligniert waren und Testdurchgängen, die mit der körperlichen Perspektive fehlaligniert waren, konnten bei der Testdurchführung im benachbarten Raum nicht nachgewiesen werden. Die Anzeigezeiten und Anzeigefehler zeigten ein ähnliches Ausmaß für körperlich alignierte Perspektiven wie für körperlich fehlalignierte Perspektiven. In Anlehnung an Wang & Brockmole (2003a), die eine aktive Aufrechterhaltung von Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis nur für Objektlokationen innerhalb der aktuellen Umgebung andeuten, interpretieren Kelly et al. (2007) das Fehlen sensomotorischer Alignierungseffekte damit, dass die sensomotorische Repräsentation der gelernten Objekte bei der Testung im neuen Raum nicht länger aktiv war.

Des Weiteren konnten Kelly et al. (2007) belegen, dass sensomotorische Interferenzeffekte wiederum erneut auftraten, wenn die Versuchspersonen nach Absolvierung eines Testblocks in der benachbarten Umgebung in die Lernumgebung zurückkehrten. Im zweiten Testblock zeigten die Versuchspersonen in der Lernumgebung bessere Anzeigeleistungen für vorgestellte Perspektiven, die mit der körperlichen Perspektive aligniert waren. Dieser Befund deutet nach Kelly et al. (2007) darauf hin, dass die egozentrische Repräsentation von sensorischer Information abhängig ist und die egozentrisch kodierten Objektlokationen nicht infolge der verstrichenen Zeit verfallen, sondern aufgrund mangelnder Wahrnehmungsunterstützung inaktiv werden. Zudem konnte in einem weiteren Experiment gezeigt werden, dass Interferenzeffekte auch dann im neuen,

benachbarten Raum auftraten, wenn die Versuchspersonen durch Instruktionen kognitiv in der Lernumgebung verankert wurden. Wenn sich die Versuchspersonen vorstellen sollten, in der Mitte der Lernumgebung zu stehen und von den Testobjekten umgeben zu sein, zeigten sie bessere Anzeigeleistungen für vorgestellte Perspektiven, die mit der körperlich definierten Perspektive aligniert waren, unabhängig davon, ob sie sich in der Lernumgebung oder der neuen Umgebung aufhielten. Kelly et al. (2007) sehen darin die Befähigung, die Objektlokationen der Lernumgebung willentlich egozentrisch abrufen zu können. Hinsichtlich des Fehlens einer Verringerung der Interferenzeffekte in der abgelegenen Raumbedingung im ersten Experiment von May (2007) führen sie zwei methodische Faktoren als mögliche Erklärung an: Zum einen vermuten sie, dass die spezifische Instruktion vor der Testdurchführung eine kognitive Verankerung der Versuchspersonen zur Folge hatte, zum anderen nehmen sie an, dass die Testdurchführung mit verbundenen Augen den Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmern die Möglichkeit gegeben hat, kognitiv in die Lernumgebung einzutauchen.

Das Herausnehmen der Versuchspersonen aus der Lernumgebung durch Testen in einer entfernt gelegenen Umgebung wurde üblicherweise in Untersuchungen zum Raumgedächtnis eingesetzt, um Interferenzeffekte, die mit der körperlich eingenommenen Perspektive einhergehen, aufzuheben. Verschiedene Untersuchungen (Kelly et al., 2007; Wang, 2004b; Wang & Brockmole, 2003b) konnten zeigen, dass die körperliche Ausrichtung zum Zeitpunkt der Testdurchführung in der Regel keinen Einfluss auf die Anzeigeleistung in einer abgelegenen Umgebung hat. Avraamides und Kelly (2008) folgern daraus, dass die egozentrische Repräsentation von der allozentrischen Repräsentation getrennt ist, wenn Anzeigebewertungen in einer abgelegenen Umgebung erfolgen. Die Aufhebung der Verbindung der beiden Repräsentationen ermöglicht nach Avraamides und Kelly (2008) die Positionierung eines imaginierten egozentrischen Referenzrahmens an einer beliebigen Position mit einer beliebigen Ausrichtung im allozentrischen System und den Abruf der räumlichen Relationen ohne Interferenzeffekte. Nach dem Modell von Sholl (2001) sind die Unterschiede des Auftretens sensomotorischer Alignierungseffekte in Bezug auf die Testumgebung dadurch zu erklären, dass das körperbezogene Referenzsystem beim Testen in der unmittelbaren Umgebung auf einer sensomotorischen Ebene arbeitet, wohingegen beim Testen in einer abgelegenen Umgebung das egozentrische System auf einer repräsentationalen Ebene abläuft. Das Modell von Mou, McNamara et al. (2004) führt diesen Unterschied auf einen Verfall der flüchtigen, egozentrischen Repräsentation beim Testen in einer abgelegenen Umgebung

zurück, die ohne Wahrnehmungsunterstützung schnell verblasst. Das Wiederauftreten von sensomotorischen Alignierungseffekten nach Durchführung eines Testdurchgangs in der entfernten Umgebung und anschließender Rückkehr in die unmittelbare Umgebung stellt das Modell von Mou, McNamara et al. (2004) allerdings vor Schwierigkeiten, da dieser Befund darauf hindeutet, dass egozentrische Repräsentationen nach einer längeren Verzögerung und mit lediglich geringer sensorischer Unterstützung wieder abgerufen werden können. Das Modell von Sholl (2001) geht von einem beständigen egozentrischen System aus und steht daher auch mit diesem Befund im Einklang. Das Auftreten von Gedächtnisalignierungseffekten in beiden Testumgebungen kann wiederum nicht durch Sholl (2001) erklärt werden, da nach deren Modell Langzeitgedächtnisrepräsentationen ausrichtungsunabhängig im allozentrischen System enkodiert werden. Das Modell von Mou, McNamara et al. (2004) sieht hingegen ausrichtungsspezifische allozentrische Repräsentationen vor, deren Referenzrahmen durch Faktoren wie der egozentrischen Ausrichtung während des Lernens oder der Struktur der Umgebung definiert werden (Shelton & McNamara, 2001; Mou & McNamara, 2002) und die einen Erklärungsansatz für diesen Befund bieten. Der Gedächtnisalignierungseffekt wird dabei auf das Enkodieren der Versuchsanordnung zurückgeführt und nicht der spezifischen Körperausrichtung beim Wissensabruf zugeordnet.

Mehrere Untersuchungen (Kelly et al., 2007, Experiment 3 und 4; May, 2007, Experiment 1, May et al., 2006) haben allerdings gezeigt, dass die körperliche Ausrichtung auch beim Beurteilen relativer Richtungen in einer abgelegenen Umgebung die Anzeigeleistung beeinflussen und zu sensomotorischen Interferenzeffekten führen kann. Avraamides und Kelly (2008) gehen davon aus, dass die körperliche Ausrichtung das Beurteilen von relativen Richtungen in einer abgelegenen Umgebung dann beeinflusst, wenn die spezifische Situation zur Herstellung einer Verbindung zwischen den beiden Referenzsystemen anregt, beispielweise durch das Orientieren der Versuchspersonen in Bezug auf ein körperfernes Objekt oder durch die Aufforderung, sich körperferne Objekte in der unmittelbaren Umgebung vorzustellen. Das Auftreten von sensomotorischen Alignierungseffekten nach einer kognitiven Verankerung in die Lernumgebung durch verbale Instruktionen stellt sich für das Modell von Mou, McNamara et al. (2004) aufgrund der Annahme flüchtiger egozentrischer Repräsentationen als problematisch dar. Das beständige repräsentationale System im Modell von Sholl (2001) kann beim Beurteilen relativer Richtungen in einer abgelegenen Umgebung hingegen dynamisch ausgerichtet werden und bietet damit für diesen Effekt eine passende Erklärung.

Eine neuere Studie von Riecke und McNamara (2017) konnte Interferenzeffekte sogar dann nachweisen, wenn Versuchspersonen sich mit geöffneten Augen in einer abgelegenen Umgebung mit unbekanntem räumlichem Zusammenhang zur Lernumgebung befanden und sich somit bewusst waren, dass sie sich während der Testung nicht mehr in der Lernumgebung aufhielten. Drei Gruppen von Versuchspersonen lernten eine Versuchsanordnung von 15 Objekten in einem rechteckigen, nicht aufgeräumten Büro aus drei verschiedenen Ausrichtungen und wurden im Anschluss in einer der Lernumgebung entfernten Testumgebung in verschiedenen körperlichen Ausrichtungen positioniert. Im Vorfeld als auch im Anschluss des Lernens wurden sie auf einen Drehstuhl gesetzt, durch Drehungen und Bewegungen des Stuhls desorientiert und jeweils zum Lern- und Testraum geschoben. Die Desorientierung sollte nach Riecke und McNamara (2017) die egozentrische sensomotorische Repräsentation der Lernumgebung aufheben, so dass die Beurteilungen relativer Richtungen auf der Grundlage der Langzeitgedächtnisrepräsentationen der Lernumgebung ablaufen. Die Versuchspersonen wurden gebeten, die relativen Richtungsbeurteilungen so auszuführen, als würden sie sich in der Mitte des Lernraums mit Blick auf eine von drei vorzustellenden Ausrichtungen befinden. Im ersten Experiment erfolgte die Testdurchführung in einem nahezu leeren Raum, der dem Lernraum hinsichtlich der Anordnung und Geometrie ähnelte; im zweiten Experiment wurde hingegen ein unaufgeräumter, wesentlich größerer Testraum verwendet, der Unterschiede hinsichtlich des Seitenverhältnisses der Wandlängen sowie der relativen Positionen der Tür und des Schreibtisches aufwies.

Die Ergebnisse bestätigten alle drei Hypothesen von Riecke und McNamara (2017): eine verbesserte Anzeigeleistung, wenn die vorzustellende Ausrichtung im Lernraum mit der körperlich eingenommenen Ausrichtung im Testraum aligniert war (sensomotorischer Alignierungseffekt), eine verbesserte Leistung, wenn die vorzustellende Ausrichtung im Lernraum mit der Hauptreferenzachse des Lernraums aligniert war (Gedächtnisalignierungseffekt für den umgebungsbedingten Referenzrahmen) und eine verbesserte Leistung, wenn die vorzustellende Ausrichtung im Lernraum mit der Lernausrichtung aligniert war (Gedächtnisalignierungseffekt für die Lernausrichtung). Anhand einer weiterführenden Analyse, die auf eine Ursachenklärung der Kosten abzielte, konnten Riecke und McNamara (2017) herausfinden, dass die gefundenen Effekte nicht hinreichend durch frühzeitige Transformationskosten, die mit dem Abruf und der mentalen Transformation des geforderten sekundären Referenzrahmens verbunden sind, erklärt werden können, sondern vor allem durch fortwährende sensomotorische Interferenzkosten

verursacht werden, die nach Riecke und McNamara (2017) aus konkurrierenden egozentrischen Repräsentationen der Testumgebung und der vorgestellten Perspektive in der Lernumgebung resultieren.

Das zweite Experiment führte eine Desorientierungsbedingung als Baseline ein und diente vor allem der Überprüfung, ob die zuvor gefundenen Effekte sich auf lebensnahe Räume verallgemeinern lassen, die weniger Ähnlichkeit mit einem Testraum haben. Sensomotorische Alignierungseffekte konnten in beiden Testräumen nachgewiesen werden; dabei zeigte sich, dass die Erleichterungseffekte für alignierte Perspektiven und die Interferenzeffekte für fehlalignierte Perspektiven verringert waren, wenn der Testraum weniger Ähnlichkeit mit dem vorzustellenden Raum hatte (Experiment 2). Sensomotorische Alignierung verbesserte die absolute und relative Anzeigegenauigkeit im Vergleich zur desorientierten Kontrollbedingung, wohingegen sensomotorische Fehlalignierung zu erhöhten Anzeigezeiten führte, die Riecke und McNamara (2017) auf zusätzliche kognitive Anforderungen zurückführen.

Die Ergebnisse der beiden Experimente deuten nach Riecke und McNamara (2017) darauf hin, dass keine direkte räumliche Verknüpfung der Lernumgebung mit der sensomotorischen Repräsentation der Testumgebung bestand und die Alignierungseffekte auf konkurrierende egozentrische Repräsentationen der Testumgebung und der vorgestellten Lernumgebung zurückzuführen sind, die im Arbeitsgedächtnis auftraten. Sie interpretieren dies dahingehend, dass Alignierungseffekte nicht nur zwischen egozentrisch definierten und vorgestellten Zielobjektrichtungen, sondern auch zwischen konkurrierenden sensomotorischen und vorgestellten Repräsentationen verschiedener Umgebungen und deren räumlicher Anordnung vorkommen können. Sie vermuten, dass die Versuchspersonen in ihrem Versuch aufgrund der geöffneten Augen und des damit verbundenen Wissens, sich nicht im Lernraum zu befinden, große Schwierigkeiten hatten, sich selbst im Versuchsraum vorzustellen. Diese Schwierigkeit führen sie auf eine stärker ausgeprägte, automatisch ausgelöste sensomotorische Repräsentation des gegenwärtigen Testraums zurück. Nach Riecke und McNamara (2017) haben viele Versuchspersonen scheinbar versucht, den Lernraum in die gegenwärtige Umgebung zu imaginieren, um dadurch die vorgestellte abgelegene Umgebung in die sensomotorische Repräsentation des Testraums einzubetten.

5.3 Der Einfluss einer Vorbereitungszeit

Die Annahmen der Interferenzmodelle werden zudem durch Studien gestützt, die den Einfluss einer Vorbereitungszeit zur Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive auf die Anzeigeleistung nach räumlichen Perspektivenwechseln untersuchen und zeigen, dass eine Verlängerung der Vorbereitungszeit zu keiner Verringerung der nachteiligen Auswirkungen der Ausrichtungs- und Objektrichtungsdisparität führt. Die Studie von May (2004, Experiment 2 und 3) konnte einen Anstieg der Anzeigezeiten und Anzeigefehler nachweisen, wenn die Versuchspersonen eine Vorbereitungszeit zwischen der Information über die Perspektive und der Information über das Zielobjekt erhielten. Die HDD und ODD zeigten trotz der Vorbereitungszeit weiterhin einen starken nachteiligen Effekt auf die Anzeigeleistung und konnten durch eine Verlängerung der Vorbereitungszeit nicht reduziert werden.

Die Versuchsreihe von May (2004) untersuchte in insgesamt drei Experimenten vorgestellte Rotationen und Translationen bei gleichzeitiger Kontrolle des Winkelbetrags der Objektrichtungsdisparität. Die Versuche zielten insbesondere auf eine Überprüfung der gegensätzlichen Annahmen der Transformations- und Interferenzmodelle hinsichtlich der Ursachen der zusätzlichen Verarbeitungskosten bei vorgestellten Perspektivenwechseln ab. Dazu wurde in Experiment 2 (Lernen durch Exploration in der Lernumgebung) und Experiment 3 (Lernen von einer topografischen Karte) zum einen die Reihenfolge der Darbietung der Perspektiv- und Zielobjektinformation geändert, zum anderen wurde ein variierendes Zeitintervall zwischen der Darbietung der Perspektiv- und Zielobjektinformation von 1, 3 und 5 Sekunden eingeführt. Im Unterschied zum Experiment 1 sowie zu vielen vorherigen Studien, in denen die Versuchspersonen zuerst die Information über das Zielobjekt und dann die Information über die Perspektive erhalten hatten, bekamen sie im zweiten und dritten Experiment zuerst die Information über die Perspektive und im Anschluss die Information über das Zielobjekt benannt.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Versuchspersonen das Zeitintervall vor der Darbietung des Zielobjekts nutzen konnten, um die Anzeigebeurteilungen zu beschleunigen, allerdings waren sie nicht dazu in der Lage, die nachteiligen Effekte der HDD und ODD durch eine Vorbereitungszeit zu reduzieren. Damit bestätigten die Ergebnisse die Vorhersage des Interferenzmodells von May (2004), das durch eine Verlängerung der Vorbereitungszeit keine Veränderung der Disparitätseffekte erwarten ließ, da die Interferenzkonflikte während der Antwortspezifizierung und -auswahl angenommen werden und damit durch

eine Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive nicht umgangen werden können. Die Annahme von Transformationsmodellen konnte wiederum nicht bestätigt werden und steht im Widerspruch zu den gefundenen Ergebnissen. Transformationsmodellen zufolge wäre eine Verringerung der spezifischen Verarbeitungskosten durch eine Vorbereitungszeit zu erwarten gewesen, da imaginierte Selbstrotationen vor der Darbietung des Zielobjekts auf der Grundlage der Perspektivinformation ausgeführt werden können und somit eine Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive hätten ermöglichen sollen.

Auch Wang (2005) stellte die Annahme von Transformationsmodellen infrage, die den Anstieg der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmendem Abweichungsbetrag zwischen der vorgestellten und körperlich eingenommenen Ausrichtung bei Aufgaben mentaler Perspektivenwechsel auf einen imaginierten Selbstrotationsprozess (Rieser, 1989; Wraga et al., 2000) zurückführen und diesen mit einem mentalen Rotationsprozesses nach Cooper und Shepard (1978) gleichsetzen. Wang (2015) knüpft an einen Befund von Cooper und Shepard (1973) an, der zeigt, dass der Disparitätseffekt in mentalen Rotationsaufgaben nahezu verschwindet, wenn die Ausrichtung des Buchstabens im Vorfeld dargeboten und ausreichend Zeit zur Absolvierung der mentalen Rotation gegeben wurde, und untersucht, ob sich dieser Effekt auch bei mentalen Perspektivenwechseln finden lässt. Vor dem Hintergrund der Annahme, dass auch die Leistung bei mentalen Perspektivenwechseln vor allem auf der Schwierigkeit eines Imaginationsprozesses beruht, sollte die imaginierte Rotation unabhängig von der Darbietung des Zielobjekts sein und bei hinreichender Zeit zur Durchführung der mentalen Drehung zu einem Verschwinden des Disparitätseffekts führen.

In drei Versuchen der Studie von Wang (2005) befanden sich die Versuchspersonen auf einem Drehstuhl in der Mitte des Versuchsraums und lernten zunächst die Positionen von fünf Objekten, die um sie herum platziert waren. Im Anschluss führten die Versuchspersonen egozentrische Anzeigeaufgaben durch, in denen sie sich vorstellen sollten, auf eines der Objekte der Versuchsanordnung ausgerichtet zu sein. In allen drei Experimenten wurde den Versuchspersonen die vorzustellende Ausrichtung mit einem zeitlichen Vorlauf vor der Darbietung des Zielobjekts bereitgestellt. Im ersten Experiment erhielten die Versuchspersonen eine umfangreiche Vorbereitungszeit von 10 Sekunden, im zweiten Versuch konnten die Versuchspersonen das Vorbereitungsintervall selbst bestimmen und im dritten Experiment führten die Versuchspersonen mehrere Anzeigebewegungen nach der Darbietung einer einzelnen vorzustellenden Perspektive aus (Blocktestmethode). Die Ergebnisse zeigten in allen drei Versuchen einen Anstieg der

Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmenden Disparitätsbetrag; eine Vorbereitungszeit führte zu keiner signifikanten Verbesserung der Leistung. Auch beim Anzeigen mehrerer Zielobjekte aus einer einzelnen Perspektive (Experiment 3) fand sich keine Verringerung des Disparitätseffekts für die späteren Anzeigeantworten. Die Ergebnisse widersprechen damit der Annahme der Transformationsmodelle, dass die spezifischen Verarbeitungskosten in Aufgaben zu mentalen Perspektivenwechseln aus einem imaginierten Selbstrotationsprozess resultieren. Auf der Grundlage der Interferenzannahmen schlussfolgert Wang (2005), dass die Schwierigkeit mentaler Perspektivenwechsel vielmehr auf einem Konflikt zwischen der Realität und der Vorstellung beruht, der erst nach Bekanntgabe des Zielobjekts aufgelöst werden kann.

Die Studie von Avraamides, Theodorou, Agathokleous und Nicolaou (2013) beleuchtete, ob Versuchspersonen ohne die Information über das Zielobjekt vorgestellte Perspektiven einnehmen und aufrechterhalten können. Versuchspersonen führten gedächtnisbasierte Perspektivenwechsel in unterschiedlichen räumlichen Umgebungen aus und erhielten in einer Versuchsbedingung die Information über die vorzustellende Perspektive vor der Information über das Zielobjekt, um zu klären, ob in Situationen, in denen sensomotorische Interferenzeffekte erwartet werden, diese Vorabinformation zu einer Verbesserung der Anzeigeleistung und einer Verringerung oder Auflösung der Alignierungseffekte führt. Im ersten Experiment erfolgte die Lern- und Testdurchführung in einer lebensnahen virtuellen Umgebung, die auf einem Desktop-Computer dargeboten wurde. Zur Testdurchführung wechselten die Versuchspersonen in einen anderen Laborraum und in eine andere körperliche Ausrichtung als in der Lernumgebung. Die Informationen wurden in drei unterschiedlichen Reihenfolgen bereitgestellt (Information über die Perspektive vor der Zielobjektinformation, Information über das Zielobjekt vor der Information über die Perspektive und gleichzeitige Darbietung beider Informationen). Avraamides et al. (2013) erwarteten zum einen eine schnellere Gesamtleistung, zum anderen eine Reduktion der Alignierungseffekte, wenn die Information über die Perspektive vor der Darbietung des Zielobjekts zur Alignierung der bevorzugten Richtung der Langzeitrepräsentation mit der vorgestellten Ausrichtung genutzt werden kann. Die Ergebnisse zeigten eine Verbesserung der Gesamtleistung, wenn die Versuchspersonen die Perspektivinformation vor der Zielobjektinformation erhielten. Zudem konnte eine Verringerung der Alignierungseffekte für vorgestellte Perspektiven nachgewiesen werden, die rechtwinklig zur Lernperspektive ausgerichtet waren. Avraamides et al. (2013) interpretieren das Vorliegen von Alignierungseffekten in allen drei Bedingungen der

Informationsreihenfolge als Beleg dafür, dass die Versuchspersonen die vorgestellte Perspektive in Erwartung des Zielobjekts nicht aufrechterhalten konnten. Die Verringerung des Alignierungseffekts für rechtwinklige Perspektiven in der Bedingung der Perspektivinformation vor der Zielobjektinformation deutet nach Avraamides et al. (2013) darauf hin, dass die Versuchspersonen vorgestellte Perspektiven aufrechterhalten konnten, die mit der geometrischen Struktur des Raumes aligniert waren, oder dass sie diese Perspektiven schnell wieder einnehmen konnten, wenn die Information über das Zielobjekt dargeboten wurde.

Im zweiten Experiment erfolgte die Lernphase in einer Virtual-Reality-Umgebung, in der die Versuchspersonen in die Umgebung eingebettet waren. Vorherige Studien haben identische sensomotorische Interferenzeffekte in realen und virtuellen Umgebungen aufgezeigt (Kelly & Avramides, 2007; Williams, Narasimham, Westerman, Rieser & Bodenheimer, 2007). Die Testdurchführung erfolgte in einer anderen virtuellen Umgebung, die einen Laborraum darstellte, und aus einer anderen körperlichen Ausrichtung als in der Lernumgebung. Avraamides et al. (2013) erwarteten im zweiten Experiment keine sensomotorischen Einflüsse, da die Versuchspersonen in einer anderen Umgebung als der Lernumgebung getestet wurden. Die Ergebnisse zeigten, wie im ersten Experiment, eine Verringerung der Gesamtanzeigzeit, wenn die Versuchspersonen die Information über die Perspektive vor der Zielobjektinformation erhielten. Der Alignierungseffekt für vorgestellte Perspektiven, die rechtwinklig zur Lernperspektive ausgerichtet waren, wurde in der Bedingung der Perspektivinformation vor der Zielobjektinformation vollständig aufgehoben und wird von Avraamides et al. (2013) als Nachweis verstanden, dass die Versuchspersonen diese vorgestellten Perspektiven einnehmen und aufrechterhalten konnten. Zudem wurde der Alignierungseffekt für vorgestellte Perspektiven, die schiefwinklig zur Lernperspektive ausgerichtet waren, in der Bedingung der Perspektivinformation vor der Zielobjektinformation verringert. Dieses Ergebnis verstehen Avraamides et al. (2013) als Beleg dafür, dass die Versuchspersonen diese vorgestellten Perspektiven entweder zum Teil aufrechterhalten konnten oder dass sie diese Perspektiven schnell wieder einnehmen konnten, wenn die Information über das Zielobjekt vorlag.

Im dritten Experiment gingen Avraamides et al. (2013) den Unterschieden in ihren Ergebnissen im Vergleich zur Studie von Wang (2005) nach, die sie auf das Fehlen von sensomotorischen Einflüssen in ihren beiden vorherigen Experimenten zurückführten. Im Unterschied zur Untersuchung von Wang (2005), in der die Versuchspersonen in der

Versuchsanordnung eingebettet waren, erfolgte in den beiden Versuchen von Avraamides et al. (2013) die Testdurchführung nach einem Wechsel in eine andere Umgebung. Im dritten Experiment verblieben die Versuchspersonen daher während der Testdurchgänge in der virtuellen Umgebung, in der sie die Versuchsanordnung zuvor gelernt hatten, und führten die Anzeigebeurteilungen aus der gleichen Ausrichtung aus, die sie während des Lernens eingenommen hatten. Avraamides et al. (2013) vermuteten aufgrund des Auftretens sensomotorischer Interferenzeffekte keine Verringerung der Alignierungseffekte, wenn die Information über die Perspektive vor der Zielobjektinformation dargeboten wird. Die Ergebnisse bestätigten die Annahme von Avraamides et al. (2013) und ergaben weder für vorgestellte Perspektiven, die rechtwinklig zur Lernperspektive ausgerichtet waren, noch für vorgestellte Perspektiven, die schiefwinklig zur Lernperspektive ausgerichtet waren, eine Reduktion der Alignierungseffekte. Die Gesamtanzeigezeit war in der Bedingung der Perspektivinformation vor der Zielobjektinformation verringert, allerdings war der Effekt nicht signifikant. Avraamides et al. (2013) schließen daraus, dass das Aufrechterhalten einer vorgestellten Perspektive bis zur Bekanntgabe des Zielobjekts voraussichtlich aufgrund des Auftretens von Interferenzen durch die automatische Aktivierung sensomotorischer Objektlokationscodes schwerfällt.

Nach dem Modell von Avraamides und Kelly (2008) ist der Alignierungseffekt im ersten und zweiten Experiment als Folge der Abweichung zwischen der vorgestellten Perspektive und der Richtung, aus der die allozentrische Repräsentation im Langzeitgedächtnis aufgebaut wurde, zu verstehen. Die Darbietung der Perspektivinformation im Voraus ermöglichte den Versuchspersonen die vorzustellende Perspektive einzunehmen, indem ein vorgestellter egozentrischer Referenzrahmen mit der geforderten Ausrichtung aligniert wird. Als Ausgangspunkt dieses Alignierungsprozesses wird die bevorzugte Richtung im Langzeitgedächtnis angesehen. Die Aufrechterhaltung der vorgestellten Perspektive fiel den Versuchspersonen hingegen schwer, mit der Ausnahme, dass die vorgestellte Perspektive einen Winkel aufwies, der senkrecht zur Lernausrichtung verlief und mit den Raumachsen aligniert war. Im dritten Experiment mussten die Versuchspersonen dem Modell von Avraamides und Kelly (2008) zufolge fortwährend sensomotorische Interferenzen überwinden, die aus der automatischen Aktivierung von Selbst-zu-Objekt-Relationen der egozentrischen Repräsentation resultieren, um die vorgestellte Perspektive einzunehmen und aufrechtzuerhalten. Auch wenn die Einnahme einer vorgestellten Perspektive den Versuchspersonen vor der

Darbietung des Zielobjekts gelungen sein sollte, verhinderten nach Avraamides et al. (2013) sensomotorische Interferenzeffekte die Aufrechterhaltung dieser Perspektive.

5.4 Der Einfluss der Antwortmethode

Einen weiteren Beleg für Interferenzmodelle stellen Untersuchungen dar, in denen unterschiedliche Antwortmethoden zum Einsatz kommen und deren Untersuchungsergebnisse aufzeigen, dass die nachteiligen Interferenzeffekte und die daraus resultierenden zusätzlichen Verarbeitungskosten abgeschwächt sind, wenn Antwortmethoden verwendet werden, die weniger Anforderungen an die sensomotorischen Systeme stellen. In verschiedenen Studien konnten schnellere und genauere Anzeigeleistungen nachgewiesen werden, wenn die Versuchspersonen die Objekte durch verbale Beschreibungen lokalisierten, anstatt die Objekte anzuzeigen (Avraamides, Ioannidou, & Kyranidou, 2007; De Vega & Rodrigo, 2001; Wang, 2004a; Wraga, 2003).

Wraga (2003) testete in insgesamt drei Experimenten die von ihr aufgestellte Referenzrahmen-Konflikt-Hypothese, die auf der Annahme beruht, dass Leistungsunterschiede in Aufgaben zur räumlichen Aktualisierung im Zusammenhang mit dem Vorhandensein oder Fehlen von Referenzrahmenkonflikten auf der Ebene der Speicherung und/oder Antwortausführung stehen. Sie vermutet Schwierigkeiten in der Aktualisierung von Objektlokationen während einer vorgestellten Selbstrotation, wenn die Aufgabe eine Anzeigeanwort vorsieht, da diese einen körperlichen Verankerungseffekt zur Folge hat, der den räumlichen Konflikt zwischen dem egozentrischen Referenzrahmen des physikalischen Körpers und dem Referenzrahmen des neuen Standorts besonders hervorhebt. Nach Wraga (2003) stört dieser Konflikt die Fähigkeit der mentalen Bewegung zur Position des neuen egozentrischen Referenzrahmens während der vorgestellten Selbstrotation. Im Hinblick auf Aufgaben, die eine verbale Antwort erfordern, erwartet Wraga (2003) hingegen eine Verringerung des Konflikts zwischen dem körperlichen und dem neu aufgebauten egozentrischen Bezugsrahmen, da sie verbales Antworten als weniger abhängig vom Bezugssystem des Körpers erachtet, so dass eine mentale Bewegung zum neuen egozentrischen Referenzrahmen erleichtert wird.

Im ersten Experiment führten die Versuchspersonen Aufgaben zur räumlichen Aktualisierung durch, bei der sie sich in einem Drehstuhl in der Mitte einer Versuchsanordnung von sechs Objekten befanden. Den Versuchspersonen wurde unter Sichtentzug zunächst die Position eines Objekts mitgeteilt, zu der sie sich ausrichten

sollten, bevor sie danach ein anderes Objekt der Versuchsanordnung aus der neuen Perspektive mit einem Zeigegerät anzeigen sollten. Die Einnahme der neuen Perspektive erfolgte durch drei unterschiedliche Bewegungsbedingungen: eine körperliche Selbstrotation, eine vorgestellte Selbstrotation und eine Rotationsbedingung, in der die Versuchspersonen überflüssige sensomotorische Signale ignorieren sollten. Die dritte Bedingung war angelehnt an eine Untersuchung von Farrell und Robertson (1998), in der Versuchspersonen große Schwierigkeiten bei der Bewältigung der Aufgabe zeigten, wenn sie eine Bewegung in eine neue Position ausführten, diese allerdings ignorieren und die Objekte so anzeigen sollten, als befänden sie sich noch in der ursprünglichen Position. Die Anzeigeleistung in der Ignorieren-Bedingung war vergleichbar mit den Ergebnissen in der Bedingung, in der sich die Versuchspersonen die Bewegung vorstellen sollten. In beiden Bedingungen waren die Anzeigeleistungen langsamer und ungenauer im Vergleich zu einer Kontrollbedingung; zudem zeigte sich in beiden Bedingungen ein Anstieg der Anzeigeweiten und Anzeigefehler mit der Zunahme des Rotationsbetrags. Farrell und Robertson (1998) nahmen an, dass die Versuchspersonen in der Ignorieren-Bedingung die automatische Aktualisierung, die sie nicht unterdrücken konnten, rückgängig machen mussten, um die ursprüngliche Ausrichtung wieder einzunehmen.

In den Ergebnissen des ersten Experiments von Wraga (2003) fand sich eine verbesserte Anzeigeleistung in der Bedingung der körperlichen Selbstrotation im Vergleich zu den Bedingungen, in denen die Versuchspersonen sich die Drehung in die neue Perspektive lediglich vorstellen oder die Bewegung in eine nicht zutreffende Perspektive ignorieren sollten. Wie in der Untersuchung von Farrell und Robertson (1998) zeigte sich zwischen der Imaginieren-Bedingung und der Ignorieren-Bedingung kein Leistungsunterschied. Im zweiten Experiment wurden die gleichen drei Versuchsbedingungen untersucht, allerdings erfolgte das Lokalisieren der Zielobjekte durch verbales Antworten. Die Veränderung der Antwortmethode hatte eine verbesserte Lokalisierungsleistung in der Bedingung der imaginierten Selbstrotation im Vergleich zu den beiden anderen Bedingungen zur Folge. Darüber hinaus fanden sich sowohl in der Anzeigelatenz als auch im Anzeigefehler nahezu identische Leistungen für die Bedingung der körperlichen Selbstrotation und für die Bedingung, in der die Bewegung ignoriert werden sollte. Dieser Befund gibt nach Wraga (2003) Anlass zur Vermutung, dass die Leistung in diesen beiden Bedingungen durch andere kognitive Prozesse als einen mentalen Rotationsprozess beeinflusst wurde, da die Annahme einer mentalen Rotation in der Ignorieren-Bedingung den gleichen Verarbeitungsprozess in der Bedingung der körperlichen Rotation bedeuten würde. Wraga

(2003) geht davon aus, dass die körperliche Bewegung in diesen beiden Bedingungen eher eine Art von Interferenzeffekt erzeugt hat.

Anhand der Ergebnisse des dritten Experiments konnte Wraga (2003) nachweisen, dass die bessere Leistung in der vorgestellten Rotationsbedingung nicht generell auf eine sprachbasierte Antwortmethode zurückzuführen ist, sondern vielmehr die Folge einer Verringerung des Konflikts zwischen dem körperlichen und dem neu aufgebauten egozentrischen Referenzrahmen ist. Im dritten Experiment wurden lediglich noch die körperliche und vorgestellte Selbstrotationsbedingung untersucht und das Anzeigen der Zielobjekte erfolgte durch das Drücken von Pfeiltasten auf einer Computertastatur, die räumlich versetzt zum körperlichen Referenzrahmen der Versuchsperson angeordnet waren. Die Ergebnisse zeigten erneut eine bessere Leistung in der Imaginieren-Bedingung im Vergleich zur Bedingung der körperlichen Selbstrotation und bestätigten die Hypothese von Wraga (2003), dass der entscheidende Faktor für eine bessere räumliche Aktualisierungsleistung eine Antwortmethode ist, die die Versuchsperson nicht mit dem egozentrischen Referenzrahmen des physikalischen Körpers verankert.

Wang (2004a) untersuchte anhand einer räumlichen Objektlokalisierungsaufgabe nach vorgestellten Perspektivenwechseln den Einfluss der Art der Antwortmethode und die Bedeutung des Unterschieds zwischen motorischen Handlungen und verbalen Beurteilungen. Versuchspersonen lernten die Lokationen von fünf Objekten, während sie in einem Drehstuhl in der Mitte eines Versuchsraums saßen. Im Anschluss wurde den Versuchspersonen die Sicht entzogen und sie wurden auf eines der Objekte ausgerichtet. Sie vollführten daraufhin egozentrische Richtungsangaben aus verschiedenen vorgestellten Perspektiven. Die Hälfte der Versuchspersonen zeigte die Richtung des Zielobjekts mit einer Handbewegung an, die andere Hälfte der Versuchspersonen berichtete die Richtung des Zielobjekts durch das Benennen des egozentrischen Winkels (geradeaus 0° , direkt nach hinten 180° , geradlinig nach links 90°). Die Forschungsfrage bestand darin, ob der in vielen Studien belegte Disparitätseffekt zwischen der vorgestellten und der körperlich eingenommenen Ausrichtung (Kelly et al., 2007; Easton & Sholl, 1995; May, 2004, 2007; Rieser, 1989) charakteristisch für das sensomotorische System ist und lediglich bei motorischen Handlungen auftritt oder sich auch zeigt, wenn die Antwortmethode verbale Beschreibungen der Objekte vorsieht.

Das Ergebnisbild der Untersuchung von Wang (2004) wies ein unterschiedliches Muster für die beiden Antwortmethoden auf. Wenn die Versuchspersonen die Zielobjekte durch Handbewegungen anzeigten, zeigte sich ein signifikanter Disparitätseffekt für die

Anzeigezeiten und Anzeigefehler. Dagegen fand sich kein signifikanter Disparitätseffekt, wenn die Versuchspersonen verbale Beurteilungen des Winkelbetrags vollzogen. Das Ergebnis lässt nach Wang (2004a) vermuten, dass die Information über die egozentrische Richtung der Zielobjekte aus der vorgestellten Perspektive den Versuchspersonen schnell verfügbar war, wie sich in der Bedingung der verbalen Beschreibung zeigte, diese Information allerdings nicht unmittelbar zum Anzeigen der Zielobjekte verwendet werden konnte und zu zusätzlichen Verarbeitungskosten in der Bedingung des motorischen Anzeigens führte. Als eine mögliche Erklärung diskutiert Wang (2004a) Interferenzeffekte, von denen sie annimmt, dass sie im Falle von Anzeigeaufgaben deutlich auftreten, da das sensomotorische System eng mit der körperlichen Repräsentation der tatsächlichen Positionen der Objekte verbunden ist, wodurch der Abruf der Information aus der Repräsentation der vorgestellten Perspektive erschwert ist. Im Falle von verbalen Beurteilungsaufgaben nimmt Wang (2004a) an, dass das verbale System nicht an eine spezifische Perspektive gebunden und dadurch flexibler ist, so dass kaum Interferenzen auftreten. Die Ergebnisse der Untersuchung von Wang (2004a) stehen im Einklang mit den theoretischen Annahmen zahlreicher Studien (Bridgeman et al., 1981; Bridgeman et al., 1997; Creem & Proffitt, 1998; Goodale & Milner, 1992; Loomis, Da Silva, Philbeck & Fukusima, 1996), die von unterschiedlichen Repräsentationen ausgehen, die der Wahrnehmung und dem Handeln zugrunde liegen, und deuten an, dass motorische Handlungen und verbale Beurteilungen auf unterschiedlichen Repräsentationen und Prozessen beruhen.

Auch Avraamides et al. (2007) führten eine Studie durch, in der sie die Lokalisierungsleistung von Objekten aus vorgestellten Perspektiven untersuchten, bei der die Objekte entweder angezeigt oder anhand sprachlicher Beurteilungen berichtet wurden. Die ersten beiden Versuche basierten auf der Untersuchung von Sohn und Carlson (2003), die Versuchspersonen Beurteilungen relativer Positionen absolvieren ließen, die auf der Darstellung räumlicher Szenen beruhten, die auf einem Computermonitor dargeboten wurden. Die Szenen enthielten die Darstellung eines Tisches, an dem fünf Personen mit Blick zur Mitte des Tisches saßen. Die Aufgabe bestand darin, aus der Perspektive einer der fünf Personen, die als Referenzperson fungierte und in jedem Durchgang an einer anderen Position des Tisches saß, eine der anderen vier Personen am Tisch durch das Drücken einer entsprechenden Taste zu lokalisieren, die der relativen Richtung zur Zielperson entsprach (nah-links, weit-links, nah-rechts, weit-rechts). Sohn und Carlson

(2003) konnten anhand ihrer beiden Experimente zeigen, dass der Misalignierungseffekt³ sowohl auf einen Neuausrichtungsprozess (Realignierungsprozess) als auch auf Antwortkonflikte zurückgeht. Im ersten Versuch war der Misalignierungseffekt verringert, wenn die Versuchspersonen vor der Bekanntgabe der Zielperson die Information über die vorzustellende Perspektive erhielten. Der Hinweis über die Ausrichtung ermöglichte nach Sohn und Carlson (2003) die frühzeitige Veranlassung des Realignierungsprozesses in Erwartung der Information über die Zielperson. Im zweiten Versuch zeigte sich, unabhängig von der Abfolge der Information über die Perspektive und Zielperson, eine Zunahme des Misalignierungseffekts, wenn die Lokalisierung anhand von Tasten erfolgte, die, wie im ersten Versuch, räumlich gekennzeichnet und angeordnet waren, so dass sie mit dem beobachterzentrierten Standpunkt der Versuchsperson übereinstimmten (nah-links, etc.), als wenn die Tasten mit beliebigen, nicht räumlichen Buchstaben des Alphabets (W, S, L, P) gekennzeichnet waren. Sohn und Carlson (2003) sehen das Ergebnis darin begründet, dass in der räumlichen Lokalisierungsbedingung ein Antwortkonflikt aufgrund der automatischen Aktivierung konkurrierender Antwortcodes entsteht, der in der Bedingung ohne räumlichen Bezug nicht gegeben ist.⁴

Die Studie von Avraamides et al. (2007) zielte darauf ab, das Ausmaß des Antwortkonflikts, das die beiden Antwortmethoden beinhalten, zu vergleichen und näher zu beleuchten. Dazu erfolgte die Lokalisierung der Zielpersonen in den ersten beiden Versuchen durch die Auswahl von Tasten, die entweder durch in verschiedene Richtungen weisende Pfeile oder durch räumliche Begriffe (vorne, hinten, links, rechts, vorne-links, vorne-rechts, hinten-links, hinten-rechts) gekennzeichnet waren. Avraamides et al. (2007) nahmen an, dass bei der Antwortmethode des Anzeigens die Intensität der Interferenz im Vergleich zur Auswahl verbaler Beurteilungen verstärkt ist. Ihrer Auffassung nach treten Interferenzeffekte, deren Ursprung sie in Konflikten zwischen Referenzrahmen sehen, auf

³ Der Misalignierungseffekt beschreibt den Anstieg der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmender Abweichung des aufgabenrelevanten allozentrischen Referenzrahmens vom körperbezogenen Referenzrahmen und ist synonym zu dem in vielen Studien verwendeten Begriff des Winkeldisparitätseffekts zu verstehen. In der vorliegenden Arbeit findet dieser Effekt unter der Bezeichnung der Ausrichtungsdisparität (HDD) Berücksichtigung.

⁴ Insgesamt zeigen die Ergebnisse der beiden Experimente von Sohn und Carlson (2003), dass sowohl mentale Transformationsprozesse als auch räumliche Konflikte zu den Schwierigkeiten bei räumlichen Perspektivenwechseln beitragen. Allerdings gilt es bei dieser Studie zu beachten, dass es sich um Wahrnehmungsaufgaben (Aufgaben zur visuellen Einnahme der Perspektive) handelte, d. h. die Versuchspersonen hatten visuellen Zugriff auf die Versuchsanordnung. Zudem waren die Versuchspersonen nicht in die Testumgebung eingebettet, sondern betrachteten die Versuchsanordnung auf einem Monitor. Daher ist davon auszugehen, dass die Versuchspersonen keine egozentrischen Relationen zu den Objekten enkodierten, die sensomotorische Effekte hätten auslösen können.

einer Verarbeitungsstufe auf, in der die Position des Zielobjekts im Verhältnis zur Ausrichtung des allozentrischen Referenzrahmens bestimmt wird. Auf dieser Verarbeitungsstufe verorten Avraamides et al. (2007) die automatische Aktivierung einer Antwortreaktion, die im Falle von Ausrichtungsabweichungen der Referenzrahmen die Unterdrückung der automatischen Reaktion erfordert, um die aufgabenbezogene Antwort zu berechnen. Im Unterschied zu Antwortreaktionen, die weniger auf einem Referenzrahmen des physischen Körpers beruhen, wie beispielsweise verbale Beschreibungen, vermuten Avraamides et al. (2007) beim Antworten durch Anzeigen eine zusätzliche Verarbeitungsstufe, in der der Anzeigevektor in Bezug zum gegenwärtigen egozentrischen Referenzrahmen festgelegt werden muss.

Die Ergebnisse des ersten Experiments bestätigten die Annahme schwächerer Leistungen aus fehlalignierten Perspektiven, wenn die Versuchspersonen die Zielpersonen anhand von Pfeilen anzeigten, anstatt die relativen Positionen anhand von sprachlichen Begriffen zu lokalisieren. Im Vergleich der beiden Antwortbedingungen zeigte sich, dass der Leistungsunterschied umso stärker ausgeprägt war, je mehr die vorgestellte Perspektive mit der körperlich eingenommenen Ausrichtung der Versuchsperson fehlausgerichtet war. In Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen zu körperbezogenen Antwortmethoden (z. B. Avraamides, Klatzky, Loomis & Golledge, 2004), ergaben die Fehleranalysen, dass ein Großteil der Fehler beim Anzeigen egozentrisch erfolgte, d. h. die Versuchspersonen schienen beim Anzeigen der Zielpersonen die Abweichung zwischen ihrer gegenwärtigen und vorgestellten Ausrichtung nicht zu berücksichtigen.

Das zweite Experiment diente der Klärung, ob die unterschiedlichen Ergebnismuster der beiden Antwortmethoden, insbesondere der steilere Anstieg der Anzeigezeiten beim Antworten durch Anzeigen, auf einen zusätzlichen Kostenfaktor zurückzuführen sind, der ausschließlich beim Anzeigen auftritt, oder auf Unterschieden im Realignierungsprozess beruhen. Die Variation der Darbietungsreihenfolge der Perspektiv- und Zielobjektinformation ermöglichte eine Trennung der Zeit, die zur Einnahme der vorzustellenden Perspektive benötigt wird (Ausrichtungszeit), von der Zeit, die es zur Berechnung und Ausführung der Antwort bedarf (Reaktionszeit). Die Versuchspersonen erhielten zuerst die Information über die Person, deren Perspektive sie einnehmen sollten, bevor sie durch Drücken der Leertaste die anderen Personen sowie das Zielobjekt betrachten konnten. Avraamides et al. (2007) gingen davon aus, dass Unterschiede in der Ausrichtungszeit, nicht aber in der Reaktionszeit nachweisbar sein sollten, wenn der Unterschied zwischen den beiden Antwortmethoden durch Realignierungsprozesse hervorgerufen wurde,

wohingegen sich Unterschiede in der Reaktionszeit zeigen sollten, wenn die unterschiedlichen Ergebnismuster durch Referenzrahmenkonflikte verursacht wurden. Die Ergebnisse des zweiten Experiments zeigten zum einen, dass der Realignierungsprozess bei beiden Antwortmethoden identisch war, zum anderen konnten die Ergebnisse des ersten Experiments repliziert werden, auch wenn die Versuchspersonen die Information über die vorzustellende Perspektive vor der Bekanntgabe des Zielobjekts erhalten hatten.

In einem dritten Experiment konnten Avraamides et al. (2007) die Ergebnisse der ersten beiden Experimente replizieren, wenn die beiden Antwortmethoden auch alltagsüblicher zur Anwendung kamen und die Lokalisierung der Zielpersonen entweder durch das Anzeigen der Richtung durch Ausstrecken des Arms erfolgte oder durch das Aussprechen der räumlichen Kennzeichnung, die die relative Position der Zielperson definierte. Die zusätzliche Schwierigkeit bei der Antwortmethode des Anzeigens führen Avraamides et al. (2007) darauf zurück, dass das Anzeigen von Objekten mit einem egozentrischen Referenzrahmen verbunden ist und daher die Ausführung erschwert ist, wenn das Anzeigen aus einem allozentrischen Referenzrahmen erfolgen soll, der nicht auf den Körper ausgerichtet ist.

Avraamides et al. (2007) sehen aufgrund der Ergebnisse ihre Annahme bestätigt, dass bei der Antwortmethode des Anzeigens ein kostenintensiver Prozess auf einer zusätzlichen Verarbeitungsstufe zum Tragen kommt, der nach den Verarbeitungsstufen der allozentrischen Referenzrahmenaktivierung und der Antwortberechnung den berechneten Anzeigevektor auf körperbezogene Koordinaten überträgt, damit auf der letzten Verarbeitungsstufe die Antwortausführung vollzogen werden kann. Sie ordnen ihrem Prozessmodell die beiden Interferenzeffekte des Interferenzmodells von May (2004) zu und verorten ODD-Effekte auf der Verarbeitungsstufe der Antwortberechnung, wohingegen HDD-Effekte auf der Verarbeitungsstufe der Umwandlung der Antwort auf den egozentrischen Referenzrahmen angenommen werden. Daraus folgern Avraamides et al. (2007), dass HDD-Effekte bei Antwortmethoden vorkommen, die auf der Grundlage egozentrischer Referenzrahmen organisiert sind, wie beispielsweise dem Anzeigen von Objekten, währenddessen bei der Objektlokalisierung durch verbale Beschreibungen keine HDD-Effekte auftreten, da bei dieser Antwortmethode die Antwortausführung nicht mit dem gegenwärtigen egozentrischen Referenzrahmen der Versuchsperson verbunden ist, der auf einer zusätzlichen Verarbeitungsstufe die Umwandlung des Anzeigevektors notwendig machen würde.

6 Konzeption der experimentellen Versuchsreihe

6.1 Vorüberlegungen zur eigenen Untersuchung

In der frühen Forschung zu mentalen Perspektivenwechseln wurden Rotationen und Translationen bei körperlich ausgeführten und vorgestellten Perspektivenwechseln kontrastiert, um Erkenntnisse über räumliche Einflussfaktoren zu gewinnen, die die gefundenen Leistungsunterschiede erklärbar machen (Easton & Sholl, 1995; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989). Weitere Studien versuchten durch die Variation von Rotations- und Translationskomponenten unter verschiedenen Experimentalbedingungen (Desorientierung der Versuchspersonen, Testdurchführung in einer abgelegenen Umgebung, Reihenfolge der Darbietung der räumlichen Information, Vorbereitungszeit zur Einnahme der vorzustellenden Perspektive) die spezifischen räumlichen Faktoren näher zu beleuchten, die an den zusätzlichen Verarbeitungskosten beteiligt sind. In Studien zur räumlichen Aktualisierung wurde der Effekt der Ausrichtungsdisparität (HDD), in Studien zum Raumgedächtnis der Effekt der Lernrichtungsdisparität (LDD) untersucht. Bei genauer Betrachtung zeigte sich, dass in den frühen Studien häufig eine Konfundierung der beiden Disparitätseffekte gegeben war und sowohl die allozentrische Ausrichtungsdisparität zwischen der vorgestellten und der körperlich eingenommenen Perspektive zum Zeitpunkt der Testdurchführung als auch die allozentrische Disparität zwischen der vorgestellten Perspektive und der Lernperspektive nicht hinreichend kontrolliert wurden. Zudem blieb der Faktor der Objektrichtungsdisparität (ODD) weitgehend unberücksichtigt, so dass auch eine Konfundierung des Effekts der Ausrichtungsdisparität zwischen der vorgestellten und der körperlich eingenommenen Perspektive zum Zeitpunkt der Testdurchführung mit dem Effekt der egozentrischen Zielobjektrichtungsdisparität zwischen der vorgestellten und der körperlich eingenommenen Perspektive zum Zeitpunkt der Testdurchführung angenommen werden kann.

In jüngeren Studien konnten die getrennten Beiträge der HDD und LDD an den zusätzlichen Verarbeitungskosten bei vorgestellten Perspektivenwechseln wiederholt nachgewiesen werden (Kelly et al., 2007; May, 2004, 2007; Mou, McNamara et al., 2004; Riecke & McNamara, 2017). Untersuchungen zu getrennten Beiträgen der ODD sind, abgesehen von der Studie von May (2004), allerdings keine bekannt. In drei Experimenten, in denen die ODD experimentell kontrolliert und unabhängig variiert wurde, konnte May

(2004) erstmals nachteilige Effekte von ODD aufgezeigt und repliziert werden. Die empirische Evidenz dieser Studie ist jedoch indirekter Natur, da die ODD-Effekte auf Leistungsunterschieden zwischen vorgestellten Translationen ohne Veränderungen der Ausrichtung und vorgestellten Rotationen ohne Veränderungen der Position beruhen. Dem Vergleich liegt die Idee zugrunde, dass in den Translationsbedingungen lediglich ODD zum Tragen kommt, wohingegen in den Rotationsbedingungen HDD und ODD wirksam werden. Die Ergebnisse zeigten in den Translationsbedingungen nachteilige Effekte der ODD in Form linearer Anstiege der Anzeigezeiten und Anzeigefehler; in den Rotationsbedingungen waren die nachteiligen Effekte stärker ausgeprägt und ergaben ebenfalls lineare Anstiege der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit Zunahme der konfundierten Beträge der HDD und ODD.

Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit war das Vorhaben, eine direkte Testung der Effekte der HDD und ODD durch die unabhängige Variation der beiden Faktoren zu erreichen und damit auch den theoretischen Erkenntnisstand der zugrundeliegenden Prozesse zu erweitern. Von besonderem Interesse waren die spezifischen räumlichen Faktoren, die zusätzliche Anforderungen an die kognitive Verarbeitung bei gedächtnisbasierten Objektlokalisierungen nach vorgestellten Perspektivenwechseln stellen. Die Experimente der Versuchsreihe zielten darauf ab, die möglichen unabhängigen Beiträge der drei Arten von räumlichen Konflikten (HDD, ODD und LDD) sowie deren Beziehung zueinander näher zu beleuchten. Anhand von vier Experimenten wurden die kognitiven Prozesse untersucht, die der Einnahme vorgestellter Perspektiven in erinnerten Umgebungen zugrunde liegen. Dazu wurde ein Versuchslayout konzipiert, das es erstmals ermöglichte, verschiedene Beträge der HDD und ODD zu kontrollieren und unabhängig voneinander zu variieren. Durch die gezielte Auswahl von Objektgruppen bestehend aus drei entsprechenden Objekten der Versuchsanordnung, die in jedem Testdurchgang die vorzustellende Position, die vorzustellende Ausrichtung und das anzuzeigende Zielobjekte definierten, wurde eine vollständige Kreuzung von HDD und ODD mit einer Variation von vier Beträgen der HDD (0° , 60° , 120° und 180°) und vier Beträgen der ODD ($0-45^\circ$, $46-90^\circ$, $91-135^\circ$ und $136-180^\circ$) realisiert. Die unabhängige Variation von HDD und ODD erlaubte die Differenzierung der spezifischen Beiträge der beiden räumlichen Disparitäten hinsichtlich der zusätzlichen Anzeigezeiten und Anzeigefehler und ermöglichte damit die Erforschung der unabhängigen und wechselwirkenden Effekte und Effektstärken von HDD und ODD.

Ein weiterer Schwerpunkt der Studie galt der Überprüfung der Validität von Transformations- und Interferenzannahmen bei gedächtnisbasierten vorgestellten Perspektivenwechseln. Zur Testung der divergierenden Annahmen beider theoretischer Modelle waren die Experimente so angelegt, dass sie zum einen eine Entflechtung der getrennten Beiträge von HDD, ODD und LDD, zum anderen gleichzeitig eine Vorverarbeitung der zu imaginierenden Perspektive vor der Bekanntgabe des Zielobjekts ermöglichten. Die zentrale Idee der Arbeit war, durch die Trennung der zusätzlichen Verarbeitungskosten, die aus den verschiedenen räumlichen Konflikten (HDD, ODD und LDD) resultieren, weitere Erkenntnisse über die sensomotorischen und kognitiven Prozesse zu gewinnen, die mentalen Perspektivenwechseln zugrunde liegen.

6.2 Überblick über die Experimente

In den Experimenten der Versuchsreihe wurden gedächtnisbasierte vorgestellte Perspektivenwechsel in der unmittelbaren Umgebung unter Kontrolle und Variation der Beträge der Ausrichtungsdisparität (HDD in den Ausprägungen: 0° , 60° , 120° und 180°) und der Objektrichtungsdisparität (ODD in den Kategorien: $0-45^\circ$, $46-90^\circ$, $91-135^\circ$, $136-180^\circ$) untersucht. Durch die Gestaltung des Versuchsaufbaus wurde die Möglichkeit geschaffen, HDD und ODD als unabhängige experimentelle Faktoren zu manipulieren und auf ihre jeweiligen Effekte zu untersuchen. Ein wesentliches Ziel war die Klärung der Forschungsfrage, ob die beiden räumlichen Konflikte unabhängige Effekte aufweisen oder in Wechselwirkung miteinander stehen. Darüber hinaus zielte das Experiment auf eine Kontrastierung der Transformations- und Interferenzannahmen hinsichtlich der Ursachen der zusätzlichen Verarbeitungskosten imaginierter Perspektivenwechsel ab.

Experiment 1

In Experiment 1 ging es darum, erstmalig die Effekte der HDD und ODD unabhängig voneinander zu untersuchen. Die Versuchspersonen lernten eine Versuchsanordnung von Objekten aus mehreren zufällig ausgewählten Perspektiven und wurden im Anschluss auf ihr räumliches Wissen getestet, indem sie aus vorgestellten Perspektiven nicht sichtbare Zielobjekte anzeigen sollten. Die Reihenfolge der Darbietung der Perspektiv- und Zielobjektinformation wurde dabei zwischen den Versuchspersonen variiert (Vorabinformation des Zielobjekts, Vorabinformation der Perspektive), um die

gegensätzlichen Vorhersagen der Transformations- und Interferenzannahmen im Hinblick auf die Möglichkeit der Vorverarbeitung einer zu imaginierenden Perspektive zu testen.

Experiment 2

In Experiment 2 wurde die Abfolge der Darbietung der Perspektiv- und Zielobjektinformation im Vergleich zum Experiment 1 dahingehend verändert, dass alle Versuchspersonen die Information über die Perspektive vor der Information über das Zielobjekt erhielten. Zudem wurde zur weiterführenden Prüfung der gegensätzlichen Annahmen der beiden Erklärungsmodelle ein Vorbereitungsintervall zwischen der Darbietung der Perspektivinformation und der Darbietung des Zielobjekts eingeführt, das dreistufig variiert wurde (SOA 1s, 3s, 5s). Von besonderem Interesse war die Frage nach den Verarbeitungsstufen und Mechanismen, aus denen sich Schwierigkeiten bei gedächtnisbasierten vorgestellten Perspektivenwechseln ergeben.

Experiment 3

In Experiment 3 wurde das gleiche experimentelle Design wie in Experiment 2 verwendet, allerdings lernten die Versuchspersonen die Versuchsanordnung aus einer einzelnen festgelegten Perspektive im Raum, die mit der körperlich eingenommenen Perspektive während der Testdurchgänge übereinstimmte, so dass eine vollständige Überschneidung der LDD und HDD gegeben war. Die Variation der räumlichen Lernbedingungen zwischen dem zweiten und dritten Experiment wurde eingeführt, um die experimentellen Befunde in Bezug auf verschiedene Lernverfahren zu verallgemeinern und mögliche Einflüsse unterschiedlicher Lernperspektiven auf HDD und ODD zu beleuchten, die zu Unterschieden in den daraus resultierenden Wissensstrukturen führen könnten.

Experiment 4

In Experiment 4 wurde das Experiment 2 mit zwei Veränderungen repliziert. Zum einen bestimmten die Versuchspersonen das Zeitintervall zwischen der Darbietung der Perspektivinformation und der Darbietung des Zielobjekts durch das Drücken einer Taste in jedem Durchgang selbst, zum anderen wurde zur Untersuchung eines Übungseffekts eine Unterteilung in zwei Testblöcke vorgenommen. Ergänzend zur Messung der Anzeigezeiten und Anzeigefehler erfolgte zudem die Messung der Vorbereitungszeit.

6.3 Ergebnisprognosen und Hypothesen zu den eigenen Experimenten

Aus den Annahmen der beiden Erklärungsmodelle ergeben sich unterschiedliche Vorhersagen hinsichtlich der zu erwartenden Ergebnisse der eigenen Untersuchung. Zunächst sollen an dieser Stelle die zentralen Hypothesen beider Modelle gegenübergestellt werden. Die spezifischen Vorhersagen zu den einzelnen Experimenten und deren experimentellen Variationen werden im Vorfeld der Beschreibung der Methode des jeweiligen Experiments berichtet.

Transformationsmodelle gehen von kontinuierlichen mentalen Selbstrotationen bei der Einnahme einer vorgestellten Perspektive aus, die zu zusätzlichen Verarbeitungskosten führen, die umso höher ausfallen, je weiter die vorzustellende Perspektive von der körperlich eingenommenen Perspektive abweicht. Demzufolge prognostizieren Transformationsannahmen einen signifikanten, monotonen oder linearen Anstieg der Anzeigezeiten und/oder Anzeigefehler mit zunehmendem Winkelbetrag der HDD (0 bis 180°). Zudem sollte die Möglichkeit der Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive vor der Darbietung der Zielobjektinformation nach dem Grundverständnis der Transformationsannahmen zu einer deutlichen Verringerung der spezifischen Verarbeitungskosten in Form von Anzeigezeiten und Anzeigefehlern führen. Folglich erwarten Transformationsannahmen eine signifikante Verringerung der linearen Steigungen der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit ansteigenden Beträgen der HDD (0 bis 180°). In Bezug auf mögliche nachteilige Effekte der ODD finden sich in Transformationsmodellen keine Aussagen. Mögliche signifikante Effekte von ODD stehen nicht im Widerspruch zu Transformationsmodellen, allerdings finden sie in den theoretischen Überlegungen keine Berücksichtigung und sind der theoretischen Grundkonzeption eher fremd.

Interferenzmodelle sehen die Schwierigkeit vorgestellter Perspektivenwechsel hingegen in verschiedenen räumlichen Konflikten zwischen der körperlich eingenommenen und der vorgestellten Perspektive begründet. Dementsprechend prognostizieren Interferenzannahmen, dass sowohl HDD als auch ODD zu einem signifikanten, monotonen oder linearen Anstieg der Anzeigezeiten und/oder Anzeigefehler in Abhängigkeit von zunehmenden räumlichen Disparitätsbeträgen der HDD und ODD (0 bis 180°) führen. Es wird angenommen, dass beide Interferenzkonflikte durch die Darbietung der Zielobjektinformation ausgelöst werden und die zusätzlichen Verarbeitungskosten aus spezifischen Verarbeitungsanforderungen zur Überwindung der räumlichen Interferenzen

resultieren. Demnach gehen Interferenzmodelle davon aus, dass die zusätzlichen Verarbeitungskosten von einer Vorverarbeitung der zu imaginierenden Perspektive unbeeinflusst bleiben. Ein genereller Effekt der Vorverarbeitung, der sich in einer absoluten Verringerung der Anzeigezeiten und Anzeigefehler widerspiegelt, wird nach interferenztheoretischer Auffassung aufgrund einer möglichen Entspannung des Zeitdrucks zur Ausformung und Verarbeitung des räumlichen Abbildes als möglich erachtet. Allerdings sollte eine Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive nicht zu einer Verringerung der spezifischen nachteiligen Effekte auf die Antwortausführung führen, die sich aus den ansteigenden Beträgen der HDD und ODD (0 bis 180°) ergeben. Erleichternde Effekte der Vorverarbeitung der Perspektivinformation werden für ODD grundsätzlich nicht erwartet, da der Interferenzkonflikt nicht vor der Darbietung des Zielobjekts ausgelöst werden kann.

6.4 Überblick über die Hypothesen

H1: Haupteffekt der Ausrichtungsdisparität (HDD)

Transformationsmodelle: Mit zunehmendem Disparitätsbetrag der HDD (0-180°) zeigt sich ein monotoner oder linearer Anstieg der Anzeigezeiten und/oder Anzeigefehler.

Interferenzmodelle: Mit zunehmendem Disparitätsbetrag der HDD (0-180°) zeigt sich ein monotoner oder linearer Anstieg der Anzeigezeiten und/oder Anzeigefehler.

H2: Haupteffekt der Objektrichtungsdisparität (ODD)

Transformationsmodelle: keine Vorhersagen zu einer ODD

Interferenzmodelle: Mit zunehmendem Disparitätsbetrag der ODD (0-180°) zeigt sich ein monotoner oder linearer Anstieg der Anzeigezeiten und/oder Anzeigefehler.

H3: Haupteffekt der Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive

Transformationsmodelle: Die Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive führt zu einer absoluten Verringerung der Anzeigezeiten und/oder Anzeigefehler.

Interferenzmodelle: Die Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive führt zu einer absoluten Verringerung der Anzeigezeiten und/oder Anzeigefehler.

H4: Wechselwirkung zwischen der Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive und der Ausrichtungsdisparität (HDD)

Transformationsmodelle: Die Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive führt zu einer Verringerung der linearen Steigungen der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmendem Disparitätsbetrag der HDD (0-180°).

Interferenzmodelle: Die Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive führt zu keiner Verringerung der linearen Steigungen der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmendem Disparitätsbetrag der HDD (0-180°).

7 Experimentelle Untersuchungen

7.1 Experiment 1

Das erste Experiment der Versuchsreihe stellte eine Erweiterung vorheriger Untersuchungen zu gedächtnisbasierten vorgestellten Perspektivenwechseln dar, indem es durch die Konzeption des Versuchslayouts die Möglichkeit schuf, den räumlichen Konflikt der Objektrichtungsdisparität (ODD) als einen weiteren Faktor der zusätzlichen Verarbeitungskosten getrennt von der Ausrichtungsdisparität (HDD) zu untersuchen und damit den jeweiligen Einfluss der beiden Konflikte auf die Schwierigkeit von

Objektlokalisierungen nach imaginierten Perspektivenwechseln zu explorieren. ODD wurde als unabhängige Variable eingeführt und in vier Kategorien variiert (0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°). Aus interferenztheoretischer Betrachtung war es von besonderem Interesse, ob die beiden Arten von räumlichen Konflikten zu unabhängigen Effekten führen oder ob sich eine Wechselwirkung zwischen den beiden Konflikten zeigt. Eine Wechselwirkung würde auf einen wechselseitigen Austausch zwischen den Mechanismen hindeuten, die beiden Arten von räumlichen Konflikten zugrunde liegen.

Die Variation der Reihenfolge der Darbietung der Information über die Perspektive und der Information über das Zielobjekt zielte auf eine Kontrastierung gegensätzlicher Annahmen der beiden zentralen Erklärungsmodelle hinsichtlich einer Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive ab. Sollte die Kenntnis über die zu imaginierende Perspektive den Versuchspersonen vor der Bekanntgabe des Zielobjekts von Nutzen sein, um die Ausrichtungsunterschiede beispielsweise im Sinne eines Alignierungsprozesses der vorgestellten Perspektive mit der körperlich eingenommenen Perspektive vorab zu berechnen, dann sollte sich sowohl eine Verringerung der Gesamtkosten als auch eine Verringerung der spezifischen HDD-bezogenen Verarbeitungskosten zeigen. Sollten die nachteiligen Effekte der Ausrichtungsdisparität allerdings erst nach der Bekanntgabe des Zielobjekts im Sinne eines räumlichen Ausrichtungskonflikts zwischen der vorgestellten und der körperlich eingenommenen Perspektive wirksam werden, so wäre durch die Vorabinformation über die Perspektive lediglich eine Verringerung der Gesamtkosten, jedoch keine Verringerung der spezifischen HDD-bezogenen Verarbeitungskosten zu erwarten.

7.1.1 Methode

7.1.1.1 Versuchspersonen

35 Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer nahmen freiwillig und ohne Entgelt an dem Versuch teil, darunter zwölf Frauen und 20 Männer im Alter von 18 bis 27 Jahren. Für die Teilnahme wurden ihnen Versuchspersonenstunden angerechnet. Die Versuchspersonen waren Studentinnen und Studenten der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer gaben vor der Durchführung des Experiments eine informierte Einwilligung zur Teilnahme am Experiment ab. Die Daten von drei Versuchspersonen wurden aus der Datenanalyse ausgeschlossen, da sie das

Fehlerkriterium von mindestens 50 Prozent korrekter Antworten unterschritten.⁵ Damit gingen die Daten von 32 Versuchspersonen in die Auswertung ein.

7.1.1.2 Versuchsraum und Versuchsaufbau

Der Versuch fand in einem 5,20 x 3,40 m großen Raum des Arbeitsbereichs Raum- und Umweltkognition der Helmut-Schmidt-Universität in Hamburg statt. Der Versuchsaufbau und die theoretischen Hintergründe des Versuchs waren den Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmern im Vorfeld nicht bekannt. Im Raum befanden sich eine Versuchsanordnung von Objekten, ein Einbauschrank, ein Wandregal sowie ein Schreibtisch, auf dem ein Computer, ein Monitor, ein Drucker und ein Joystick abgestellt waren. Vor dem Schreibtisch stand ein Bürostuhl und an der Seite des Schreibtisches ein weiterer Stuhl, der im Verlauf des Experiments für die Versuchsperson vorgesehen war.

Wie in Abbildung 2 dargestellt, bestand der Versuchsaufbau aus einer Anordnung von 18 Objekten des alltäglichen Gebrauchs, die gleichmäßig auf dem Fußboden des Versuchsraums verteilt waren. Die Versuchsanordnung war schiefwinklig zu den Wänden des Raumes ausgerichtet. 16 Objekte (*Akte, Apfel, Eimer, Hammer, Kleber, Locher, Pinsel, Pflaster, Schere, Schlüssel, Stempel, Tasse, Teller, Tesa, Wecker, Zeitung*) waren mit einem Abstand von jeweils 80 cm platziert; je nach Größe des entsprechenden Objekts konnte der Abstand um wenige Zentimeter variieren. Die zwei übrigen Objekte (*Kerze* und *Bleistift*), die während des Versuchs dazu dienten, die Position und Ausrichtung der Versuchsperson zu definieren, befanden sich jeweils mittig zwischen vier anderen Objekten (siehe Abbildung 2). Die Kerze definierte die körperlich eingenommene Position, der Bleistift die körperlich definierte Ausrichtung. Neben jedem Objekt wurde eine Karteikarte (21,0 x 14,5 cm) platziert, auf der der Name des jeweiligen Objekts geschrieben stand. Die Ausrichtung der Karteikarten wurde zufällig variiert, so dass sie aus unterschiedlichen Positionen gut lesbar waren und die Versuchspersonen im Vorfeld keine Information über die spätere Testposition erhielten. Alle Objektbezeichnungen bestanden aus zweisilbigen Namen und unterschieden sich akustisch hinsichtlich der ersten Silbe. Durch die unterschiedlichen Ausmaße der Objekte als auch die zufällige Platzierung der

⁵ Eine korrekte Antwort war als absoluter Anzeigefehler mit einer Abweichung von weniger als 40 Winkelgraden zu beiden Seiten der Position des Zielobjekts definiert. Das Fehlerkriterium von 50 % stellte ein beträchtliches Ausmaß räumlichen Wissens bei den Versuchspersonen sicher, da ein zufälliges Anzeigen der Zielobjekte lediglich zu 22 % korrekter Antworten geführt hätte (80°/360°).

7.1.1.4 Versuchsablauf

Die Datenerhebung erfolgte durch zwei Versuchsleiter. Zur Sicherstellung möglichst identischer Instruktionen und Abläufe wurde das Experiment auf der Grundlage eines Versuchsprotokolls durchgeführt, das entsprechend der beiden Variationen des Experiments (Darbietungsreihenfolge: Vorabinformation der Perspektive, Vorabinformation des Zielobjekts) in zwei Versionen vorlag. Zudem erfolgten im Vorfeld Testdurchläufe, damit die Versuchsleiter mit den Abläufen vertraut waren und eine Handlungssicherheit erlangen konnten. Die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer wurden in drei Durchgängen mit einer Gesamtdauer von 60-70 Minuten einzeln getestet.

Nach der Begrüßung der Versuchsperson vor dem Versuchsraum wurde ihr/ihm mitgeteilt, dass sie/er an einem Raumgedächtnisexperiment mit einer Dauer von ca. 60 Minuten teilnehmen wird. Daraufhin wurden Angaben zum Alter und Geschlecht der Versuchsperson aufgenommen sowie die informierte Einwilligung durch die Versuchsperson eingeholt. Abschließend wurde die Versuchsperson explizit darauf hingewiesen, dass sie/er das Experiment bei körperlichem Unwohlsein jederzeit abbrechen könne.

Im Anschluss betraten die Versuchsperson und der Versuchsleiter den Versuchsraum. Der Versuchsperson wurde erläutert, dass sie fünf Minuten Zeit hat, um den Namen und die Position jedes der 18 Objekte im Raum zu lernen. Zudem wurde sie/er darauf hingewiesen während des Lernens mehrfach die eigene Position im Raum zu wechseln, so dass das Layout aus mindestens vier verschiedenen, selbstgewählten Perspektiven gelernt wurde, die in einem zufälligen Verhältnis zur späteren Testperspektive standen. Bestanden keine weiteren Fragen, erfolgte die fünfminütige Lernphase. Der Versuchsleiter achtete während der Lernphase darauf, dass die Versuchsperson die Wechsel der eigenen Position vornahm. Wenn nach Ablauf einer gewissen Zeit kein Wechsel erfolgte, erinnerte der Versuchsleiter die Versuchsperson daran, eine neue Position einzunehmen.

Nach Ablauf der fünf Minuten folgte eine Kriteriumsüberprüfung, die sicherstellen sollte, dass die Versuchsperson ein stabiles Wissen über die Namen der Objekte und deren jeweilige Position hatte. Dazu wurden der Versuchsperson insgesamt vier verschiedene, zufällig ausgewählte Positionen und Ausrichtungen im Versuchsraum zugewiesen. Nach der körperlichen Einnahme der entsprechenden Perspektive wurden alle Objekte jeweils einmal in zufälliger Reihenfolge vom Versuchsleiter benannt und die Versuchsperson hatte

die Aufgabe, das jeweilige Objekt mit ausgestrecktem Arm anzuzeigen. Die ersten beiden Durchgänge erfolgten mit geöffneten Augen, die letzten beiden wurden mit geschlossenen Augen absolviert. In den beiden Durchgängen mit geöffneten Augen hatte die Versuchsperson die Möglichkeit, ihre Richtungsangabe durch die Betrachtung der genauen Position des gesuchten Objekts anzupassen. Bestanden in den Durchgängen mit geschlossenen Augen größere Abweichungen der genauen Position des gesuchten Objekts, berichtigte der Versuchsleiter durch verbale Hinweise. Nach vier Durchgängen zeigte sich ein stabiles Wissen der Versuchsanordnung bei den Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmern, die alle Objekte ohne größere Fehler anzeigen konnten.

Nach der Lernphase wurde die Versuchsperson gebeten, den Versuchsraum zu verlassen und für einen kurzen Moment vor dem Raum zu warten. Während dieses Zeitraums platzierte der Versuchsleiter den Stuhl, der neben dem Schreibtisch stand, auf dem Objekt *Kerze* mit Ausrichtung auf das Objekt *Bleistift*. Daraufhin wurde die Versuchsperson wieder in den Raum hereingelassen und gebeten, auf dem Stuhl Platz zu nehmen. Der Versuchsleiter instruierte die Versuchsperson über ihre physische Position und Ausrichtung, indem er der Versuchsperson das Objekt *Kerze* als ihre Position und das Objekt *Bleistift* als ihre Ausrichtung benannte. Zudem wurde die Versuchsteilnehmerin oder der Versuchsteilnehmer über die Verwendung des Joysticks als Anzeigegerät sowie über den Ablauf der Übungsdurchgänge informiert, in denen sie/er verschiedene der zuvor gelernten Objekte aus ihrer/seiner körperlich eingenommenen Perspektive anzeigen sollte.

In der Bedingung Vorabinformation der Perspektive erhielt die Versuchsperson zunächst die Information über die Position und Ausrichtung und im Anschluss wurde das Zielobjekt benannt. In der Bedingung Vorabinformation des Zielobjekts wurde hingegen zuerst das Zielobjekt angesagt, bevor die Information zur Position und Ausrichtung folgte. In den Übungsdurchgängen erfolgte jede Anzeigebewegung aus der körperlich eingenommenen Perspektive (Position *Kerze*, Ausrichtung *Bleistift*). Nach dem Aufsetzen der blickdichten Skibrille durch die Versuchsperson erfolgten acht Übungsdurchgänge, die insbesondere dazu dienten, die Versuchsteilnehmerin oder den Versuchsteilnehmer mit der Handhabung des Joysticks sowie dem akustischen Ablauf des Experiments vertraut zu machen.

In der Testphase wurde die Versuchsperson zunächst über den genauen Ablauf der Testdurchgänge informiert, in denen sie/er in jedem Durchgang aus einer vorgestellten Perspektive möglichst schnell und gleichzeitig genau eines der Zielobjekte anzeigen sollte. Dazu wurde in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive der Versuchsteilnehmerin

oder dem Versuchsteilnehmer mitgeteilt, dass ein Testdurchgang aus den folgenden Instruktionen bestand: (1) die Position wurde durch das Wort „IN“ gefolgt von einem Objektnamen dargeboten und definierte die Objektlokation, an der sich die Versuchsperson vorstellen sollte, sich zu befinden; (2) die Ausrichtung wurde durch das Wort „NACH“ gefolgt von einem Objektnamen präsentiert und definierte die Richtung, in die sich die Versuchsperson vorstellen sollte zu schauen; (3) das Zielobjekt wurde durch einen weiteren Objektnamen angegeben und definierte die Objektposition, die von der Versuchsperson aus der zuvor bestimmten, vorzustellenden Perspektive angezeigt werden sollte. In der Bedingung Vorabinformation des Zielobjekts wurde hingegen als Erstes das Zielobjekt benannt, bevor die vorzustellende Position und Ausrichtung angesagt wurden. Nach Bekanntgabe des Zielobjekts sollte die Versuchsperson in dieser Bedingung in jedem Durchgang die Richtung des Zielobjekts durch ein Kopfnicken in die entsprechende Richtung kurz anzeigen. In beiden Bedingungen erhielt die Versuchsteilnehmerin oder der Versuchsteilnehmer den Hinweis, dass auf eine korrekte Richtungsangabe des gesuchten Zielobjekts ein kurzer Signalton ertönt, wohingegen bei einer falschen Anzeigebewegung kein Ton zu hören sein wird. Außerdem wurde ihr/ihm mitgeteilt, dass die Testphase in drei Abschnitte mit einer Dauer von jeweils ungefähr 15 Minuten unterteilt war, zwischen denen kurze Pausen erfolgten. Nach Abklärung eventueller Fragen wurde der erste Testdurchgang gestartet.

Die computergesteuerten Testdurchgänge bestanden entsprechend der dargestellten Anweisungen aus der aufeinanderfolgenden Ansage der drei Objektnamen. Die Darbietung der Positions-, Ausrichtungs-, und Zielobjektinformation dauerte jeweils 1000 Millisekunden. Das Auslenken des Joysticks durch die Versuchsteilnehmerin oder den Versuchsteilnehmer beendete einen Testdurchgang und startete automatisch den nächsten Durchgang. Die Messung der Anzeigezeit startete in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive mit dem Einsetzen der akustischen Darbietung des Namens des Zielobjekts und endete mit der Einleitung des Auslenkens des Joysticks. In der Bedingung Vorabinformation des Zielobjekts begann die Messung mit dem Einsetzen der Darbietung der Ausrichtungsinformation und endete mit der Einleitung des Auslenkens des Joysticks. Der Anzeigefehler wurde als absolute Winkelabweichung ($0-180^\circ$) zwischen der angezeigten und geforderten Objekttrichtung gemessen.

Die Ausrichtungs- (HDD) und Objekttrichtungsdisparität (ODD) wurden über die Kombination von drei Objektlokationen realisiert, die jeweils die Position, die Ausrichtung und das Zielobjekt definierten. Der Winkelbetrag von HDD und ODD wurde für jede

Kombination wie folgt berechnet: Als Erstes wurden die zu imaginierenden Perspektiven über die Positions- und Ausrichtungsinformation bestimmt, die mit einem von vier Beträgen der HDD (0° , 60° , 120° und 180°) übereinstimmten. Bei der Auswahl des Objekts *Schere* als Position konnten beispielsweise die folgenden Objekte dazu dienen, die Perspektive zu bestimmen: *Stempel* (HDD: 0°), *Apfel* (HDD: 60°), *Locher* (HDD: 120°), *Wecker* oder *Tasse* (HDD: 180°). In der Abbildung 3 sind die vier verschiedenen HDD-Stufen (0° , 60° , 120° und 180°) anhand unterschiedlicher vorgestellter Perspektiven veranschaulicht.

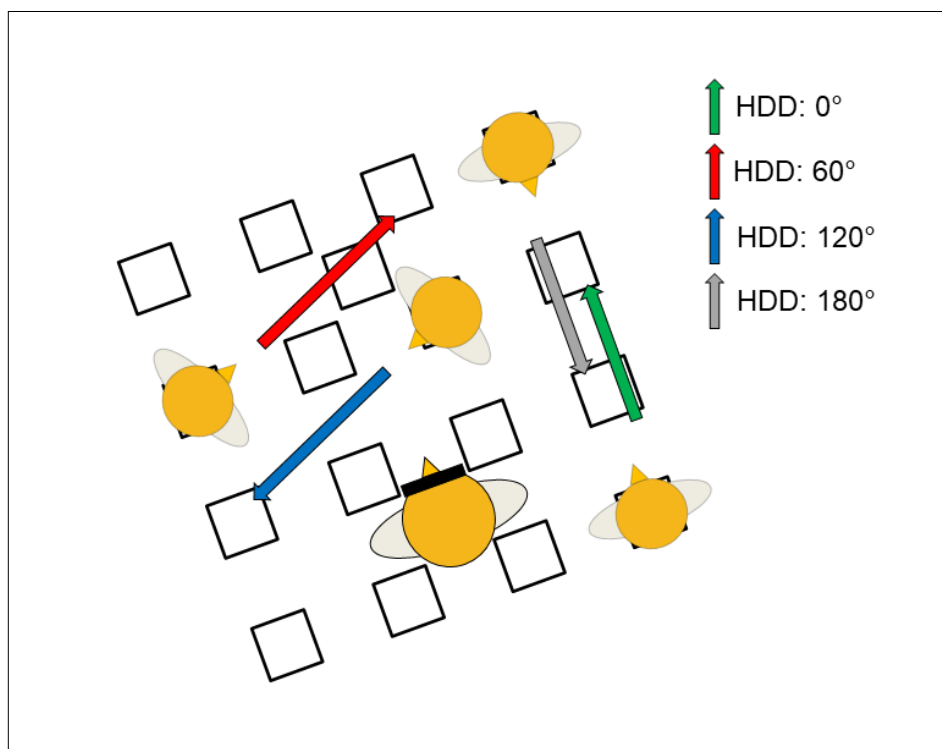


Abbildung 3. Illustration der HDD in der Versuchsanordnung. Die Darstellung zeigt die körperlich eingenommene Perspektive sowie vier verschiedene vorgestellte Perspektiven, die jeweils mit einer unterschiedlichen HDD (0° , 60° , 120° , 180°) einhergehen.

In einem zweiten Schritt wurde für jedes Zielobjekt der Betrag der ODD berechnet, d. h. 14 ODD-Werte wurden für jede vorzustellende Perspektive errechnet. Beispielsweise verblieben bei der Auswahl der *Schere* als Positionsobjekt und des *Stempels* als Ausrichtungsobjekt 14 weitere Objekte als mögliche Zielobjekte, da die beiden Objekte *Kerze* und *Bleistift* dazu dienen, die körperliche Perspektive zu definieren und daher nicht als Zielobjekte verwendet wurden. Die ODD-Beträge wurden dann einer von vier

Kategorien zugeordnet ($0-45^\circ$, $46-90^\circ$, $91-135^\circ$ und $136-180^\circ$). Die Abbildung 4 veranschaulicht anhand einer vorgestellten Perspektive und dem geforderten Zielobjekt eine ODD der Kategorie $0-45^\circ$.

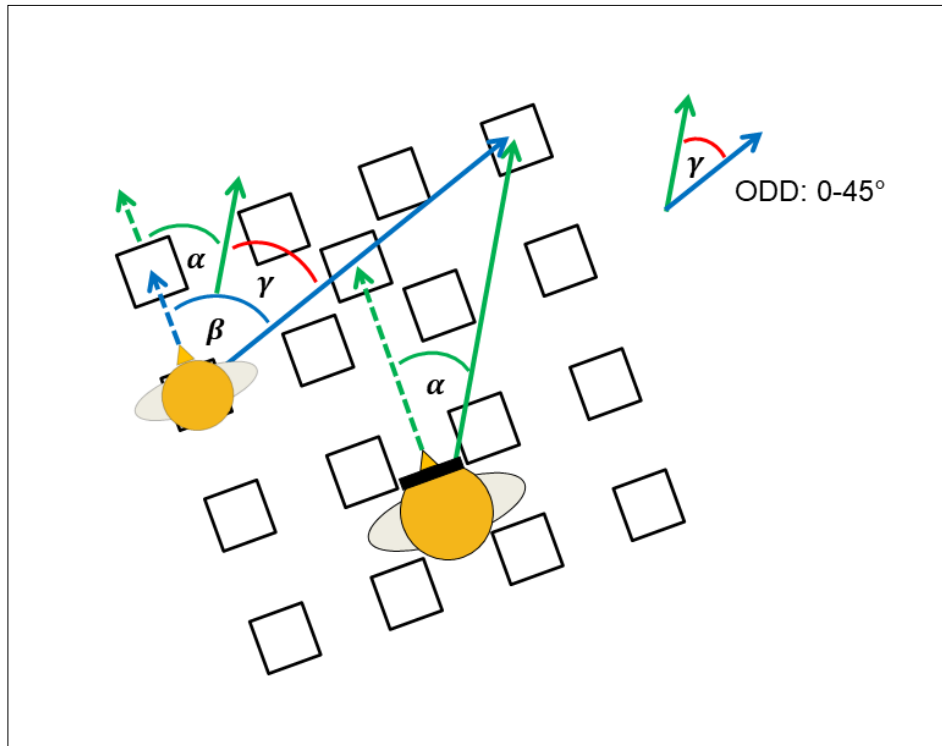


Abbildung 4. Illustration der ODD in der Versuchsanordnung. Die Darstellung zeigt die körperlich eingenommene Perspektive mit dem Abweichungswinkel α zur Objektlokation sowie eine vorgestellte Perspektive mit dem Abweichungswinkel β zur transponierten Objektlokation. Die Differenz der beiden Abweichungswinkel α und β ergibt den Winkelgrad γ , der in diesem Beispiel einer ODD der Kategorie $0-45^\circ$ entspricht.

Insgesamt wurden 16 Objektgruppen definiert, die jeweils aus drei Objekten bestanden und deren Zusammensetzung eine Kombination von vier ansteigenden Winkelbeträgen von HDD (0° , 60° , 120° und 180°) mit vier ansteigenden Winkelbeträgen von ODD, die in Kategorien eingeteilt waren ($0-45^\circ$, $46-90^\circ$, $91-135^\circ$ und $136-180^\circ$), darstellt. Für jede der 16 faktoriellen Kombinationen von HDD und ODD wurden sechs unterschiedliche Objektgruppen ausgewählt, so dass insgesamt 96 verschiedene Objektgruppen im Experiment Anwendung fanden. Die 96 Kombinationen wurden in zufälliger Reihenfolge dargeboten und einmal wiederholt. Jede Versuchsperson wurde somit in insgesamt 192 Durchgängen getestet, davon 16 Versuchspersonen in der Bedingung Vorabinformation

der Perspektive und 16 Versuchspersonen in der Bedingung Vorabinformation des Zielobjekts.

7.1.1.5 Experimentelles Design

Bei dem Experiment handelte es sich um ein 2 x 4 x 4 Design mit der „between-subjects“-Variablen Darbietungsreihenfolge (Vorabinformation der Perspektive, Vorabinformation des Zielobjekts) und den „within-subjects“-Variablen Ausrichtungsdisparität (HDD: 0°, 60°, 120° und 180°) und Objektrichtungsdisparität (ODD: 0-45°, 46-90°, 91-135° und 136-180°). Als abhängige Variablen wurden die Anzeigelatenz (in Millisekunden) und der Anzeigefehler als absoluter Fehler (in Winkelgraden) gemessen.

7.1.2 Ergebnisse

In den individuellen Daten der 32 Versuchspersonen fanden sich keine Anzeichen für einen Schnelligkeits-Genauigkeits-Austausch. Die individuellen Pearson Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten zwischen Anzeigezeiten und Anzeigefehlern erstreckten sich von $r = -0.09$ bis 0.29 . Die mittleren absoluten Fehler in der Anzeigerichtung befanden sich im Bereich von $16,7^\circ$ bis $54,2^\circ$ und zeigten damit ein beträchtliches Ausmaß an interindividuellen Unterschieden in der Anzeigegenauigkeit.⁶

7.1.2.1 Anzeigelatenz

Eine dreifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA mit Messwiederholung) mit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur für Verletzungen der Sphärizität⁷ zeigte signifikante Haupteffekte der HDD ($F[3,90] = 15.34$, $\varepsilon = .88$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .34$) und ODD ($F[3,90] =$

⁶ Die mittleren absoluten Fehler als auch die interindividuellen Unterschiede liegen in einem Bereich, der für Anzeigebeurteilungen nach vorgestellten Perspektivenwechseln in der unmittelbaren Umgebung charakteristisch ist. In Anbetracht der Tatsache, dass zufällige Richtungsangaben zu mittleren absoluten Anzeigefehlern von 90° geführt hätten, so zeigen die Fehlerwerte, dass sogar Versuchspersonen mit eher schwachen Leistungen (mittlere Fehler über 50°) ein beträchtliches Ausmaß an räumlichem Wissen aufwiesen.

⁷ Zur Verbesserung der Lesbarkeit werden die Greenhouse-Geisser-Korrekturen, die ε s und die korrigierten p -Werte berichtet, die Freiheitsgrade bleiben jedoch unverändert.

4.41, $\varepsilon = .89$, $p_c < .01$, $\eta_p^2 = .13$) auf die Anzeigelatenz. Der Haupteffekt der Darbietungsreihenfolge ($F[1,30] = 2.28$, $p_c = .142$, $\eta_p^2 = .07$) hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Anzeigelatenz. Die Wechselwirkung zwischen HDD und ODD ($F[9,270] = 3.38$, $\varepsilon = .45$, $p_c < .05$, $\eta_p^2 = .10$) und die Wechselwirkung zwischen Darbietungsreihenfolge, HDD und ODD ($F[9,270] = 2.96$, $\varepsilon = .45$, $p_c < .05$, $\eta_p^2 = .09$) zeigten einen signifikanten Effekt. Wechselwirkungseffekte zwischen Darbietungsreihenfolge und HDD ($F[3,90] < 1.0$, $\varepsilon = .88$, $p_c = .429$, $\eta_p^2 = .03$) sowie Darbietungsreihenfolge und ODD ($F[3,90] = 1.58$, $\varepsilon = .89$, $p_c = .206$, $\eta_p^2 = .05$) waren nicht signifikant.

Der Haupteffekt der Darbietungsreihenfolge, der keinen signifikanten Effekt aufwies, deutet an, dass die Versuchspersonen die Zielobjekte schneller anzeigen konnten, denen die Information über die Perspektive vor dem Zielobjekt dargeboten wurde, im Vergleich zu den Versuchspersonen, die zuerst die Information über das Zielobjekt erhalten hatten. Die mittlere Anzeigelatenz betrug 3452 Millisekunden in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive und 4502 Millisekunden in der Bedingung Vorabinformation des Zielobjekts.

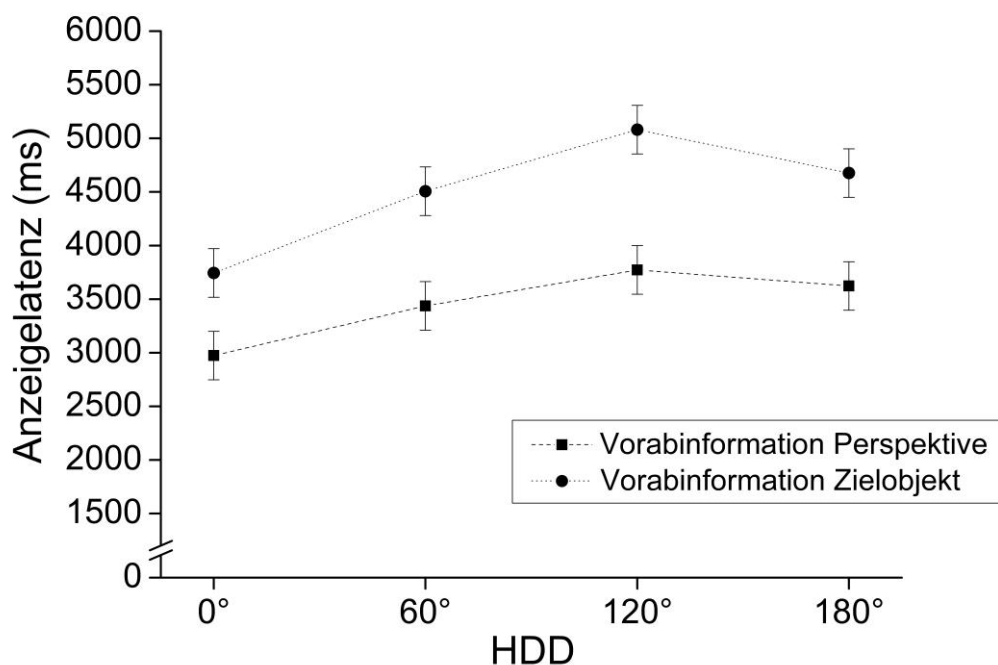


Abbildung 5. Mittlere Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der Darbietungsreihenfolge (Vorabinformation der Perspektive, Vorabinformation des Zielobjekts) und der HDD (0°, 60°, 120°, 180°) in Experiment 1. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Abbildung 5 zeigt die mittleren Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der Darbietungsreihenfolge (Vorabinformation der Perspektive, Vorabinformation des Zielobjekts) und der Ausrichtungsdisparität (HDD 0°, 60°, 120°, 180°) gemittelt über die vier ODD-Kategorien. Der Haupteffekt der HDD geht darauf zurück, dass die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer mit zunehmendem Betrag der Ausrichtungsdisparität bis zu einer HDD von 120° mehr Zeit benötigten, um die Zielobjekte anzuzeigen. Eine weitere Zunahme der Ausrichtungsdisparität bis zu einer HDD von 180° führte hingegen zu einem Abfall der Anzeigelatenz (HDD 0°: 3359 ms, HDD 60°: 3972 ms, HDD 120°: 4427 ms und HDD 180°: 4150 ms). Polynom-berechnungen ergaben einen signifikanten Effekt für ein lineares ($F[1,30] = 40.76$, $p < .001$) und ein quadratisches Trendmodell ($F[1,30] = 9.82$, $p < .01$), wohingegen ein kubisches Trendmodell keinen signifikanten Effekt zeigte ($F[1,30] = 1.64$, $p = .210$). Das gleichzeitige Vorhandensein eines linearen und quadratischen Trendmodells beruht auf dem Anstieg der Anzeigelatenz von der HDD 0°- bis zur HDD 120°-Bedingung, dem Abflachen von der HDD 60°- zur HDD 120°-Bedingung und dem Absinken der Anzeigelatenz in der HDD 180°-Bedingung. Signifikanztests für geplante Vergleiche zeigten signifikante Unterschiede zwischen der HDD 0°- und 60°-Bedingung ($F[1,30] = 12.94$, $p < .01$, $d = .32$) sowie der HDD 60°- und 120°-Bedingung ($F[1,30] = 10.48$, $p < .01$, $d = .21$). Der Leistungsunterschied zwischen der HDD 120°- und 180°-Bedingung ($F[1,30] = 2.42$, $p = .130$, $d = .13$) erwies sich als nicht signifikant.

Die Abbildung 6 zeigt die mittleren Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der Darbietungsreihenfolge (Vorabinformation der Perspektive, Vorabinformation des Zielobjekts) und der Objektrichtungsdisparität (ODD 0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) gemittelt über die vier HDD-Kategorien. Der Haupteffekt der ODD zeigt, dass die Versuchspersonen, abgesehen von einer leichten Abnahme von der 46-90°- zur 0-45°-Bedingung, mit zunehmender Objektrichtungsdisparität mehr Zeit brauchten, um die geforderten Objektlokationen anzuzeigen (ODD 0-45°: 3861 ms, ODD 46-90°: 3847 ms, ODD 91-135°: 4027 ms und ODD 136-180°: 4173 ms). Polynom-berechnungen zeigten einen signifikanten Effekt für ein lineares Trendmodell ($F[1,30] = 10.71$, $p < .01$), während ein quadratisches ($F[1,30] = 1.99$, $p = .169$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,30] < 1.0$, $p = .553$) keine Signifikanz aufwiesen. Kontrastvergleiche ergaben einen signifikanten Leistungsunterschied zwischen der ODD 0-45°- und 136-180°-Bedingung ($F[1,30] = 7.94$, $p < .01$, $d = .15$), während sich die Unterschiede zwischen der ODD 0-45°- und 46-90°-Bedingung ($F[1,30] < 1.0$, $p = .894$, $d = .01$), der 46-90°- und 91-135°-Bedingung ($F[1,30]$

= 2.37 , $p = .134$, $d = .09$) und der 91-135°- und 136-180°-Bedingung ($F[1,30] = 2.10$, $p = .157$, $d = .07$) als nicht signifikant erwiesen. Betrachtet man die Anzeigelatenz getrennt für den Faktor Darbietungsreihenfolge, so zeigt sich, dass in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive eine stetige Zunahme der Anzeigelatenz über alle vier Kategorien der ODD erfolgte (0-45°: 3363 ms, 46-90°: 3439 ms, 91-135°: 3445 ms, 136-180°: 3560 ms) und die Abnahme der Anzeigelatenz von der ODD-Kategorie 46-90° zur ODD-Kategorie 0-45° auf die Bedingung Vorabinformation des Zielobjekts zurückzuführen ist (0-45°: 4359 ms, 46-90°: 4254 ms, 91-135°: 4608 ms, 136-180°: 4787 ms).

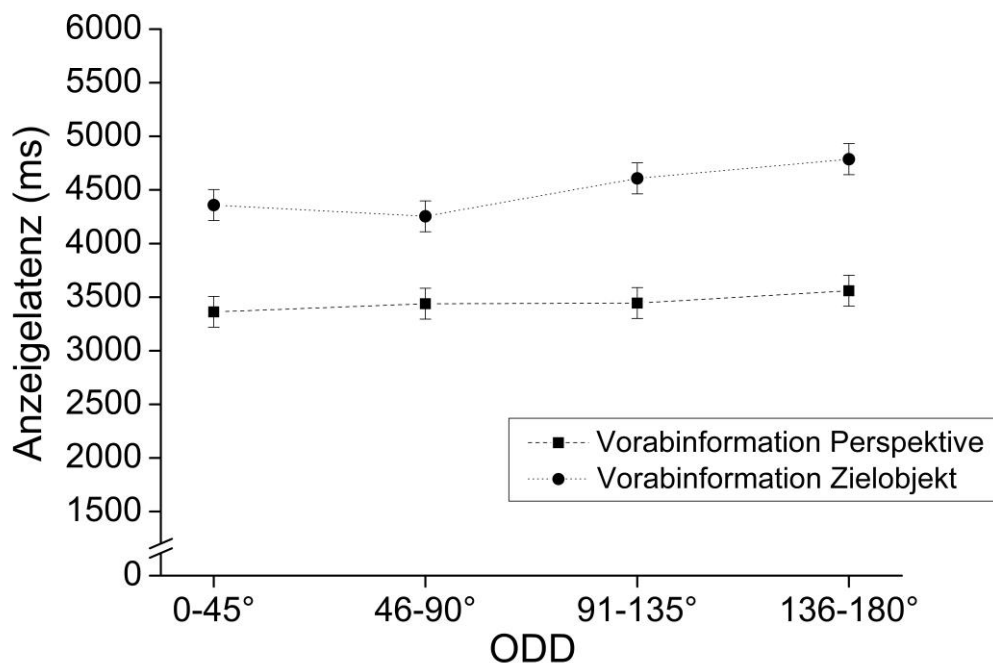


Abbildung 6. Mittlere Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der Darbietungsreihenfolge (Vorabinformation der Perspektive, Vorabinformation des Zielobjekts) und der ODD (0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) in Experiment 1. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Zur Klärung der Ursachen der signifikanten Wechselwirkung zwischen HDD und ODD bedurfte es einer umfangreichen Datensichtung der 4x4-Matrix der HDD-ODD-Kombinationen. Dabei stellte sich heraus, dass die Anzeigebeurteilungen der Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer von der spezifischen Kombination der HDD-ODD-Stufen abhingen. Die Versuchspersonen zeigten die Versuchsobjekte deutlich langsamer an, wenn die Kombination der HDD- und ODD-Stufen eine Stufe (wie im Falle

der HDD-ODD-Kombinationen von 1-2, 2-3, 3-4, 2-1, 3-2, und 4-3) oder zwei Stufen auseinander lagen (1-3, 2-4, 3-1, 4-2), im Vergleich zu HDD-ODD-Kombinationen, bei denen die Disparitätsstufen gleich waren (1-1, 2-2, 3-3, 4-4) oder drei Stufen voneinander abwichen (1-4 und 4-1).⁸

Die mittlere Anzeigelatenz für die verschiedenen HDD-ODD-Kombinationen, die Abstände von 0-, 1-, 2- und 3- ordinalskalierten Disparitätsstufen aufwiesen, betrug 3859 ms, 4228 ms, 3972 ms und 3470 ms. Polynomrechnungen ergaben einen signifikanten Effekt für ein lineares ($F[1,30] = 18.14, p < .001$) und ein quadratisches Trendmodell ($F[1,30] = 15.90, p < .001$), während ein kubisches Trendmodell ($F[1,30] = 1.67, p = .206$) keine Signifikanz aufwies. Tukey HSD post-hoc Tests zeigten signifikante Unterschiede zwischen den HDD-ODD-Kombinationen mit einer Abweichung von 0 und 1 ($p < .05, d = .18$), 0 und 3 ($p < .01, d = .22$) sowie 2 und 3 ($p < .001, d = .27$), während der Unterschied zwischen den Kombinationen mit einer Abweichung von 1 und 2 ($p = .155, d = .12$) nicht signifikant war.

7.1.2.2 Anzeigefehler

Eine dreifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA mit Messwiederholung) mit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur für Verletzungen der Sphärizität zeigte signifikante Haupteffekte der Darbietungsreihenfolge ($F[1,30] = 6.82, p_c < .05, \eta_p^2 = .19$) und HDD ($F[3,90] = 13.31, \epsilon = .60, p_c < .001, \eta_p^2 = .31$) auf den Anzeigefehler. Der Haupteffekt der ODD hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Anzeigefehler ($F[3,90] = 1.95, \epsilon = .78, p_c = .143, \eta_p^2 = .06$). Die Wechselwirkung zwischen HDD und ODD ergab wiederum einen signifikanten Effekt ($F[9,270] = 6.31, \epsilon = .68, p_c < .001, \eta_p^2 = .17$). Für alle anderen Wechselwirkungseffekte zeigte sich kein signifikanter Effekt (Darbietungsreihenfolge x HDD: $F[3,90] < 1.0, \epsilon = .60, p_c = .402, \eta_p^2 = .03$; Darbietungsreihenfolge x ODD: $F[3,90] < 1.0, \epsilon = .78, p_c = .596, \eta_p^2 = .02$; Darbietungsreihenfolge x HDD x ODD: $F[9,270] < 1.0, \epsilon = .68, p_c = .931, \eta_p^2 = .01$).

Der Haupteffekt der Darbietungsreihenfolge zeigt, dass die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer, die vorab die Information über das Zielobjekt erhalten hatten, im Vergleich zu den Versuchspersonen, die zuerst die Information über die vorzustellende

⁸ Die erste Zahl gibt den Disparitätsbetrag der HDD (Ordinalstufe 1-4), die zweite Zahl den Disparitätsbetrag der ODD (Ordinalstufe 1-4) an.

Perspektive mitgeteilt bekamen, die Zielobjekte genauer anzeigen konnten. Die mittlere Abweichung zwischen der angezeigten und geforderten Objektlokation betrug $28,7^\circ$ in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive und $22,2^\circ$ in der Bedingung Vorabinformation des Zielobjekts.

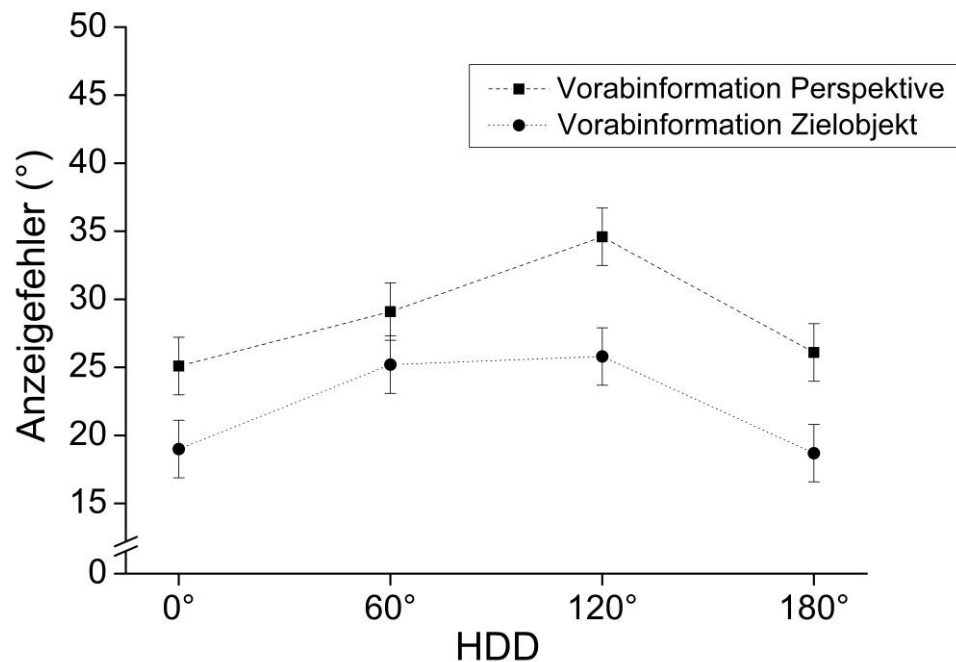


Abbildung 7. Mittlere Anzeigefehler in Abhängigkeit der Darbietungsreihenfolge (Vorabinformation der Perspektive, Vorabinformation des Zielobjekts) und der HDD (0° , 60° , 120° , 180°) in Experiment 1. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Abbildung 7 zeigt die mittleren Anzeigefehler in Abhängigkeit der Darbietungsreihenfolge (Vorabinformation der Perspektive, Vorabinformation des Zielobjekts) und der Ausrichtungsdisparität (HDD 0° , 60° , 120° , 180°) gemittelt über die vier ODD-Kategorien. Der Haupteffekt der HDD zeigt, dass die Versuchspersonen mit zunehmender Ausrichtungsdisparität bis zu einem Betrag von 120° größere Fehler beim Anzeigen der Zielobjekte machten, während die weitere Zunahme der Ausrichtungsdisparität zu einem Abfall der Anzeigefehler führte. Dabei zeigten die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer in der HDD 180° -Bedingung eine Anzeigegenauigkeit ähnlich der HDD 0° -Bedingung (HDD 0° : $22,0^\circ$, HDD 60° : $27,2^\circ$, HDD 120° : $30,2^\circ$, HDD 180° : $22,4^\circ$). Polynomberechnungen ergaben einen signifikanten

Effekt für ein quadratisches ($F[1,30] = 17.14$, $p < .001$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,30] = 7.79$, $p < .01$). Ein lineares Trendmodell zeigte hingegen keinen signifikanten Effekt ($F[1,30] = 1.53$, $p = .226$). Kontrastvergleiche wiesen signifikante Leistungsunterschiede zwischen der HDD 0°- und 60°-Bedingung ($F[1,30] = 11.96$, $p < .01$; $d = .61$), der HDD 60°- und 120°-Bedingung ($F[1,30] = 7.64$, $p < .01$; $d = .41$) und der HDD 120°- und 180°-Bedingung ($F[1,30] = 17.94$, $p < .001$; $d = .85$) auf.

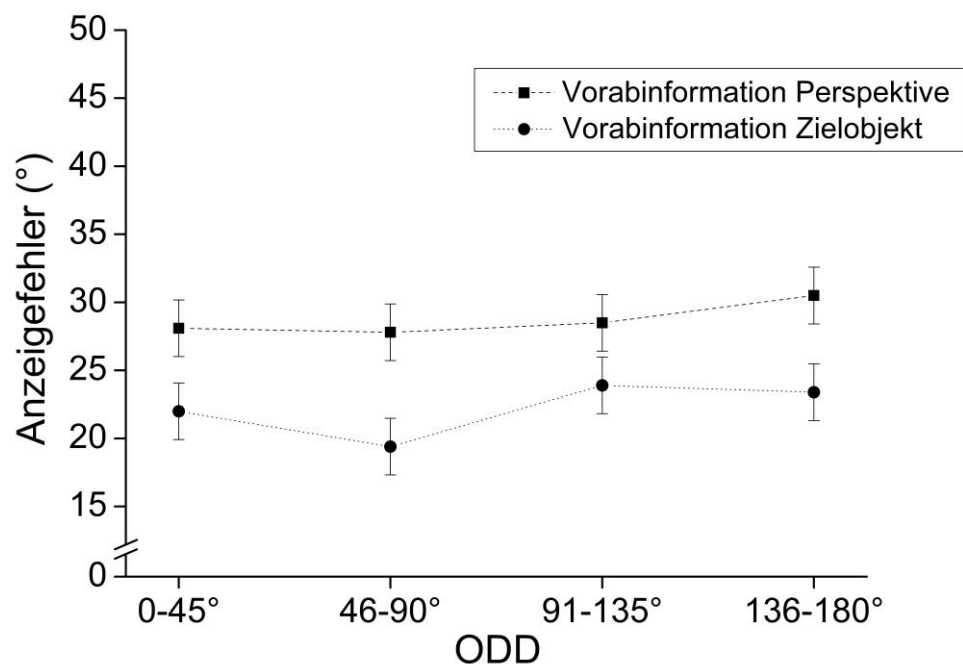


Abbildung 8. Mittlere Anzeigefehler in Abhängigkeit der Darbietungsreihenfolge (Vorabinformation der Perspektive, Vorabinformation des Zielobjekts) und der ODD (0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) in Experiment 1. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Abbildung 8 zeigt die mittleren Anzeigefehler in Abhängigkeit der Darbietungsreihenfolge (Vorabinformation der Perspektive, Vorabinformation des Zielobjekts) und der Objektrichtungsdisparität (ODD 0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) gemittelt über die vier HDD-Kategorien. Für den Haupteffekt der ODD zeigt sich ein Anstieg der Anzeigefehler für höhere Beträge der Objektrichtungsdisparität (ODD 91-135°: 26,2° und ODD 136-180°: 27,0°), wohingegen die ODD 46-90°-Bedingung (ODD 46-90°: 23,6°) zu verringerten Anzeigefehlern im Vergleich zur ODD 0-45°-Bedingung (ODD 0-45°: 25,1) führte. Weder Polynomrechnungen (lineares Trendmodell: $F[1,30] = 2.75$, $p = .108$; quadratisches Trendmodell: $F[1,30] < 1.0$, $p = .351$; kubisches

Trendmodell: $F[1,30] = 2.49$, $p = .125$) noch Kontrastvergleiche (ODD 0-45° und 46-90°: $F[1,30] = 1.68$, $p = .205$; $d = .18$; ODD 46-90° und 91-135°: $F[1,30] = 3.84$, $p = .059$; $d = .29$; ODD 91-135° und 136-180°: $F[1,30] < 1.0$, $p = .669$; $d = .08$) stellten sich als signifikant dar. Vergleichbar dem Ergebnismuster der Anzeigelatenz, zeigt sich in der Bedingung Vorabinformation des Zielobjekts eine Verringerung des Anzeigefehlers von der ODD-Kategorie 46-90° (22,0°) zur ODD-Kategorie 0-45° (19,4°).

Die signifikante Wechselwirkung zwischen HDD und ODD stand erneut mit der Abweichung der Disparitätsstufen zwischen HDD und ODD im Zusammenhang. Der mittlere Anzeigefehler für die verschiedenen HDD-ODD-Kombinationen mit Abständen von 0-, 1-, 2- und 3- ordinalskalierten Disparitätsstufen betrug 24,8°, 27,6°, 25,3° und 20,6°. Polynomrechnungen zeigten einen signifikanten Effekt für ein lineares ($F[1,30] = 6.35$, $p < 0.5$) und ein quadratisches Trendmodell ($F[1,30] = 11.41$, $p < .01$), während ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] < 1.0$, $p = .401$) nicht signifikant war. Tukey HSD post-hoc-Vergleiche ergaben signifikante Unterschiede zwischen den HDD-ODD-Kombinationen mit einer Abweichung von 0 und 3 ($p < .05$, $d = .44$) sowie 2 und 3 ($p < .05$, $d = .45$), während sich die Unterschiede zwischen den Kombinationen mit einer Abweichung von 0 und 1 ($p = .273$, $d = .39$) sowie 1 und 2 ($p = .447$, $d = .27$) als nicht signifikant herausstellten.

7.1.2.3 Zusätzliche Ergebnisse

An dieser Stelle soll eine weiterführende Analyse der Wechselwirkungseffekte zwischen HDD und ODD erfolgen, die erstmals durch die unabhängige Variation der beiden Faktoren gefunden und untersucht werden konnten. Die Wechselwirkungen zwischen HDD und ODD zeigen, dass die Versuchspersonen die Objektlokationen schneller anzeigen konnten und weniger Fehler machten, wenn das Anzeigen aus vorgestellten Perspektiven erfolgte, bei denen die ordinalskalierten Disparitätsbeträge von HDD und ODD gleich waren (d. h. HDD-ODD-Kombinationen 1-1, 2-2, 3-3, 4-4) oder weit auseinander lagen (1-4, 4-1), im Vergleich zu HDD-ODD-Kombinationen, deren Disparitätsbeträge um eine (1-2, 2-3, 3-4, 2-1, 3-2, 4-3) oder zwei ordinalskalierte Stufen (1-3, 2-4, 3-1, 4-2) auseinander lagen. Als Ursache für die Leistungsunterschiede zwischen den HDD-ODD-Kombinationen kann die geometrische Beschaffenheit angenommen werden, die aus der unabhängigen Variation von HDD und ODD resultiert. Anhand einer post-hoc-Analyse der 96 Objektgruppen (bestehend aus Positions-, Ausrichtungs- und

Zielobjekt) konnte festgestellt werden, dass die allozentrisch definierten Objekttrichtungsdisparitäten, die unabhängig von den a priori definierten egozentrischen Objekttrichtungsdisparitäten sind, für die HDD-ODD Kombinationen mit Abweichungen von 0-, 1-, 2- und 3- Disparitätsstufen $19,6^\circ$ (gemittelt über 24 Objektgruppen), $53,6^\circ$ (36 Objektgruppen), $104,3^\circ$ (24 Objektgruppen) und $148,1^\circ$ (12 Objektgruppen) betragen.⁹

Die Ergebnisse der Wechselwirkungen deuten darauf hin, dass eine allozentrische Objekttrichtungsdisparität (ODD_{allo}), die als allozentrisch definierter Unterschied in der Zielobjekttrichtung (mit Winkelbeträgen von $0-180^\circ$) zwischen der vorgestellten und der körperlich eingenommenen Perspektive definiert werden kann, als mögliche dritte Quelle räumlicher Konflikte berücksichtigt werden sollte. Die Abbildung 9 veranschaulicht die beiden Arten von Objekttrichtungsdisparität. ODD_{ego} und ODD_{allo} sind beide als Winkeldifferenz der Zielobjekttrichtung definiert, allerdings unterscheiden sich die beiden hinsichtlich der zugrundeliegenden Referenzsysteme voneinander. Die egozentrische Objekttrichtungsdisparität (ODD_{ego}) stellt den Unterschied der Anzeigerichtung zwischen der vorgestellten und der körperlichen Perspektive egozentrisch dar, während die allozentrische Objekttrichtungsdisparität (ODD_{allo}) den Unterschied derselben Anzeigerichtung im Verhältnis zu einem umweltzentrierten Referenzsystem abbildet. ODD_{ego} bezieht sich damit auf die Richtungsdivergenz in Bezug zum Körper, wohingegen ODD_{allo} auf die Richtungsdivergenz in Bezug zu dem durch den Raum definierten Referenzsystem zurückgeht. Die unterschiedlichen Ergebnismuster der beiden Arten von Objekttrichtungsdisparität, die für ODD_{ego} einen linearen Trend andeuten, während sich für ODD_{allo} ein quadratischer Trend abzeichnet, weisen auf zwei verschiedene räumliche Konflikte hin, die auf unterschiedlichen Referenzsystemen beruhen.

Die Abbildung 10 veranschaulicht die zentralen Ergebnisse für die Anzeigezeiten und Anzeigefehler. Abbildung 10a stellt die mittleren Anzeigezeiten und Abbildung 10b die mittleren absoluten Anzeigefehler in Abhängigkeit der zunehmenden räumlichen Disparitätsbeträge zwischen der vorgestellten und der körperlichen Perspektive von HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo} dar. Anhand der Abbildung 10 wird der Unterschied in Bezug auf die Signifikanz der Trendmodelle für HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo} erkennbar. Für HDD ergab sich ein linearer Trend für die Anzeigezeiten und ein quadratischer Trend für die Anzeigefehler. Für ODD_{ego} fand sich ein linearer Trend für die Anzeigezeiten, der sich

⁹ Die Unterschiede der allozentrischen Winkeldisparität für die vier verschiedenen HDD-ODD-Kombinationen resultieren nicht aus einer Konfundierung mit der HDD oder der egozentrisch definierten ODD. Dies zeigt sich darin, dass für beide Arten von Disparitäten getrennte Haupteffekte auf die Anzeigelatenz und den Anzeigefehler in den Varianzanalysen gefunden wurden.

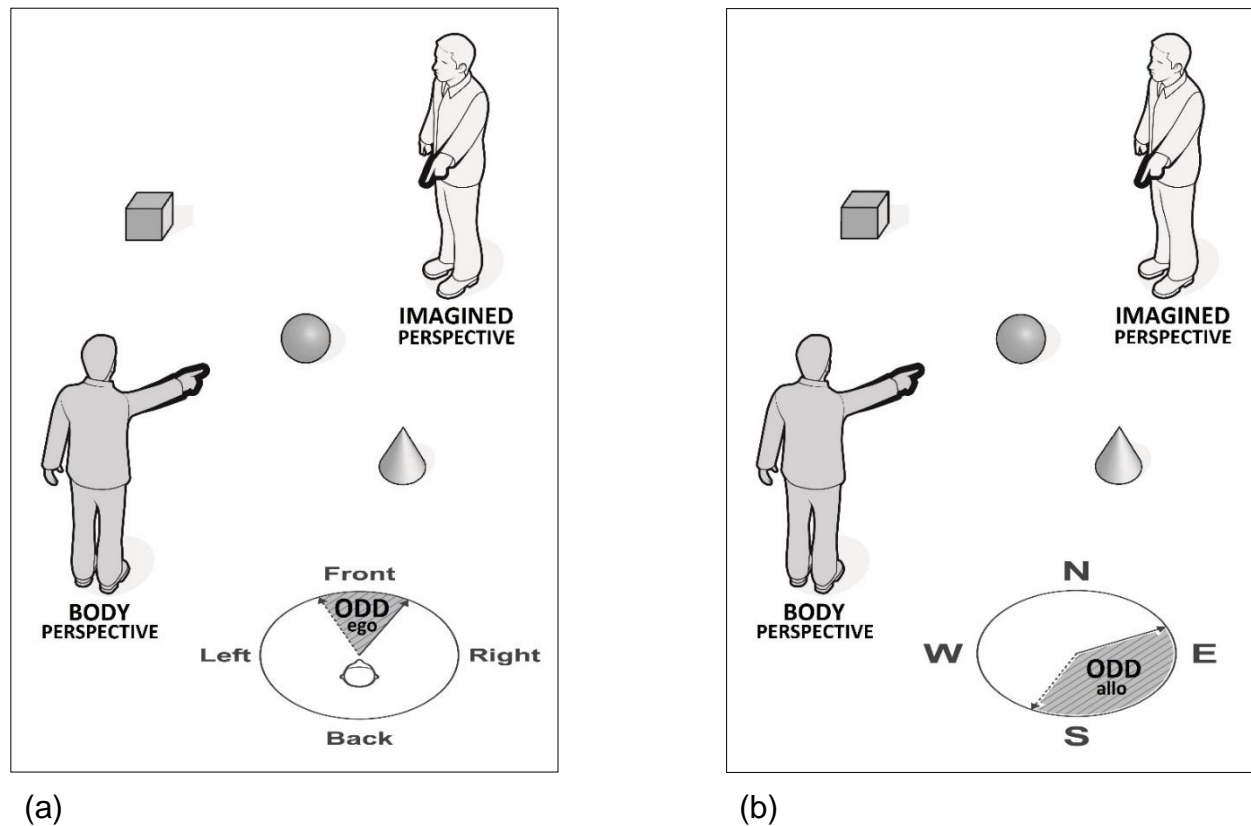


Abbildung 9. Räumliche Konflikte der beiden Arten von Objektrichtungsdisparität (ODD_{ego} und ODD_{allo}). Die linke Darstellung (a) veranschaulicht einen egozentrisch definierten Zielobjektrichtungskonflikt zwischen der vorgestellten Perspektive und der körperlich eingenommenen Perspektive während der Testdurchführung (ODD_{ego}), die rechte Darstellung (b) zeigt einen allozentrisch definierten Zielobjektrichtungskonflikt zwischen der vorgestellten Perspektive und der körperlich eingenommenen Perspektive während der Testdurchführung (ODD_{allo}). Der jeweils ausgestreckte Arm der beiden menschlichen Figuren und die entsprechende Anzeigerichtung definieren ODD in (a) egozentrischer (vorne, rechts, hinten und links in Bezug zum Körper) und (b) allozentrischer Hinsicht (Himmelsrichtungen Nord, Ost, Süd und West). Die gestrichelte Linie im Kreis bildet die Anzeigerichtung aus der vorgestellten Perspektive ab, die durchgezogene Linie stellt die Anzeigerichtung aus der körperlichen Perspektive dar. Bei beiden Arten von räumlichen Konflikten kann die Richtungsdisparität im Bereich von 0° und 180° liegen.

auch für die Anzeigefehler andeutete, allerdings nicht signifikant war. Für ODD_{allo} zeichneten sich hingegen quadratische Trends für die Anzeigzeiten und Anzeigefehler ab, die es in den weiteren Experimenten abzusichern gilt. Das Gesamtbild der Ergebnisse stützt die Annahme von verschiedenartigen räumlichen Konflikten und deutet zudem auf eine Wechselbeziehung zwischen den Mechanismen hin, die den verschiedenen Arten von räumlichen Konflikten zugrunde liegen. Korrelationen (Kendall's Tau) zwischen den 96 aufgabendefinierten räumlichen Disparitäten (HDD , ODD_{ego} und ODD_{allo}) deuten auf eine Unabhängigkeit der räumlichen Konflikte hin (Korrelation von HDD mit ODD_{ego} : $\tau = .06$; HDD mit ODD_{allo} : $\tau = .03$; ODD_{ego} mit ODD_{allo} : $\tau = .06$).

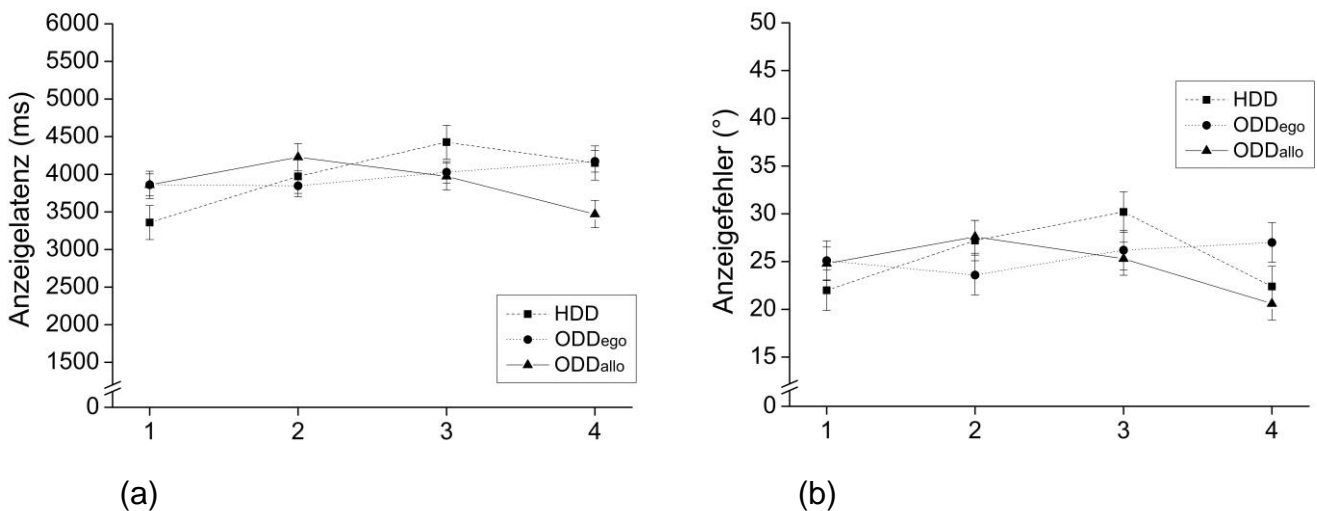


Abbildung 10. Übersicht der Effekte der HDD , ODD_{ego} und ODD_{allo} auf (a) die mittlere Anzeigelatenz und (b) den mittleren Anzeigefehler in Experiment 1. Die Disparitätsstufen (1, 2, 3 und 4) betragen 0° , 90° , 120° und 180° für HDD , $22,5^\circ$, $67,5^\circ$, $112,5^\circ$ und $157,5^\circ$ für ODD_{ego} und $19,5^\circ$, $53,6^\circ$, $104,3^\circ$ und $148,1^\circ$ für ODD_{allo} . Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

7.1.3 Diskussion

Die Ergebnisse des ersten Experiments unterstreichen, dass zusätzliche Verarbeitungskosten anfallen, wenn Versuchspersonen eine vorgestellte Perspektive einnehmen, die sich von der körperlichen Perspektive unterscheidet, und aus dieser Perspektive nicht sichtbare Objekte der unmittelbaren Umgebung anzeigen. Die beiden untersuchten experimentellen Faktoren (HDD und ODD_{ego}) zeigten einen signifikanten nachteiligen Effekt auf die Anzeigzeiten, bei den Anzeigefehlern ergab lediglich die

Ausrichtungsdisparität (HDD) einen signifikanten Haupteffekt. Für HDD konnte bei den Anzeigezeiten ein linearer Anstieg über die ersten drei Disparitätsbedingungen (HDD 0-120°) und ein Abflachen am oberen Ende des Disparitätsbereichs (HDD > 120°) festgestellt werden. Ein ähnliches Muster zeigte sich bei den Anzeigegehlern mit einem deutlich stärker ausgeprägten Abflachen von der 120°- zur 180°-Bedingung und einem dadurch bedingten quadratischen Trend. Für ODD_{ego} wurde bei den Anzeigezeiten ein linearer Anstieg über einen Teil des Disparitätsbereichs und ein geringes Abflachen am unteren Ende des Disparitätsbereichs (ODD_{ego} < 90°) gefunden. Die Versuchspersonen in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive zeigten einen linearen Anstieg der Anzeigegehlern über den gesamten Disparitätsbereich der ODD_{ego}. Bei den Anzeigegehlern fand sich ein vergleichbares Muster wie bei den Anzeigezeiten, allerdings mit einem stärkeren Abflachen von der ODD_{ego} 46-90°- zur ODD_{ego} 0-45°-Bedingung und ohne signifikante Unterschiede zwischen den Disparitätskategorien. Die Wechselwirkungen zwischen HDD und ODD_{ego} brachten ODD_{allo} als eine weitere Quelle räumlicher Konflikte hervor. Für ODD_{allo} zeigten sich quadratische Trends bei den Anzeigezeiten und Anzeigegehlern mit einem Abflachen zu beiden Enden des Disparitätsbereichs (ODD_{allo} < / > 53,6°).

Die Darbietungsreihenfolge ergab einen Einfluss auf die absoluten Anzeigezeiten und Anzeigegehlern, der für die Anzeigezeiten jedoch nicht signifikant war. Die Versuchspersonen konnten in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive die Vorbereitungszeit nutzen, um die geforderten Objektlokationen um etwa 1000 ms schneller anzuzeigen als die Versuchspersonen in der Bedingung Vorabinformation des Zielobjekts. Entgegen der Annahme waren die Versuchspersonen in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive allerdings rund 6,5° weniger genau im Anzeigen der Zielobjekte als die Versuchspersonen in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive. Dieser Befund überrascht, da die Studie von May (2004) in einem interexperimentellen Vergleich aufzeigen konnte, dass Versuchspersonen nicht nur mehr Zeit brauchten, sondern auch größere Fehler machten, wenn die Information über das Zielobjekt vor der Information über die Perspektive dargeboten wurde (Experiment 1) im Vergleich zu Versuchspersonen, denen die Information über die Perspektive vor der Information über das Zielobjekt präsentiert wurde (Experiment 2). Eine mögliche Erklärung für das genauere Anzeigen der Zielobjekte in der Bedingung Vorabinformation des Zielobjekts bestünde darin, dass die Versuchspersonen die Zeit bis zur Bekanntgabe der Perspektive nutzen konnten, um das geforderte Zielobjekt aus dem Gedächtnis abzurufen und die Lokation des Zielobjekts

möglichst präzise zu bestimmen. Für den Fall, dass das mentale Vorladen des Zielobjekts nicht ausschließlich auf der Grundlage einer allozentrischen Repräsentation ablief, sondern auch egozentrisch mit Bezug zur körperlich eingenommenen Perspektive erfolgte, könnte dieser Prozess zu einer verstärkten Verankerung der Versuchspersonen geführt haben, der zwar ein genaueres Anzeigen des Zielobjekts möglich machte, aber viel Zeit benötigte, um die kognitive Kodierung gegenüber der sensomotorischen Kodierung durchzusetzen. Dementsprechend könnte der Unterschied in den Anzeigezeiten zwischen beiden Darbietungsreihenfolgen nicht nur auf einer Zeitersparnis durch die Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive beruhen, sondern auch aus einer Erschwernis durch das vorangegangene Abrufen der Zielobjektlokation aus der körperlichen Perspektive in der Bedingung Vorabinformation des Zielobjekts resultieren. Die einzelnen Ursachen lassen sich abschließend nicht klären. Die Frage bleibt auch, warum sich in den Versuchen von May (2004) ein unterschiedliches Ergebnisbild im Vergleich zu den Ergebnissen des vorliegenden Experiments zeigte. Als weitere mögliche Erklärung wären zudem unterschiedliche Strategien der Versuchspersonen in den beiden Varianten der Darbietungsreihenfolge vorstellbar, die auf willentlich gesteuerte Verarbeitungsprozesse während der Vorbereitungsintervalle zurückgehen.

Die Darbietungsreihenfolge zeigte weder mit der Ausrichtungs- (HDD) noch mit der Objekttrichtungsdisparität (ODD) eine signifikante Wechselwirkung. Unabhängig davon, welche Verarbeitungsprozesse jeweils durch die vorangestellte Perspektiv- oder Zielobjektinformation bis zur Bekanntgabe der abschließenden Aufgabeninformation abliefen, zeigten die Ergebnisse, dass diese den Versuchspersonen nicht ermöglichten, die spezifischen nachteiligen Effekte von HDD (mit einem Anstieg der Anzeigezeiten von rund 1070 Millisekunden und der Anzeigefehler von rund $8,2^\circ$) und ODD (mit einem Anstieg der Anzeigezeiten von rund 310 Millisekunden und der Anzeigefehler von rund $1,9^\circ$) zu verringern. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den Annahmen von Transformationsmodellen (Easton & Sholl, 1995; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989; Shelton & McNamara, 1997; Sholl, 2001), deren Erwartung darin besteht, dass die Versuchspersonen die vorgeschaltete Information über die zu imaginierende Perspektive dazu verwenden können, Ausrichtungsunterschiede zwischen der körperlich eingenommenen und der vorgestellten Perspektive im Vorfeld zu berechnen und damit die spezifischen HDD-bezogenen Verarbeitungskosten, die mit dem Betrag der imaginierten Selbstrotation einhergehen, zu verringern. Die fehlenden Effekte der Vorverarbeitung der

Perspektivinformation sind hingegen in guter Übereinstimmung mit den Annahmen von Interferenzmodellen (Avraamides & Kelly, 2008; May, 2004, 2007; Wang, 2005), die davon ausgehen, dass die Versuchspersonen durch eine Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive die nachteiligen Effekte der HDD und ODD nicht umgehen können, da die erwarteten Antwortkonflikte erst nach dem Vorliegen beider räumlicher Informationen, d. h. nach der Bekanntgabe des Zielobjekts in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive bzw. der Perspektive in der Bedingung Vorabinformation des Zielobjekts, ausgelöst werden.

7.2 Experiment 2

Das zweite Experiment der Versuchsreihe zielte auf eine vertiefende Untersuchung der Verarbeitungsstufen ab, auf denen die in vorgestellten Perspektivenwechseln vorgefundenen Schwierigkeiten auftreten. Dazu wurde allen Versuchspersonen die Information über die Perspektive vor der Information über das Zielobjekt dargeboten und das Zeitintervall zwischen der Darbietung der Perspektiv- und Zielobjektinformation variiert (SOA mit 1000, 3000 und 5000 Millisekunden). Zur Überprüfung der gegensätzlichen Annahmen der Transformations- und Interferenzmodelle sollte die getrennte Untersuchung der zusätzlichen Verarbeitungskosten, die sich aus den unterschiedlichen Arten der räumlichen Disparität ergeben, bei gleichzeitiger Einführung unterschiedlicher Zeitintervalle zur Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive wesentlich beitragen.

Transformationsmodelle führen einen Großteil der Schwierigkeiten auf kognitive Transformationsprozesse zurück, die auf einer frühen Verarbeitungsstufe ablaufen können, wenn die Information über die Perspektive vorliegt. Nach transformationstheoretischer Auffassung kann daher angenommen werden, dass mit zunehmendem Betrag der HDD und länger andauernder Vorbereitungszeit (SOA) die Verringerung der zusätzlichen Verarbeitungskosten umso größer ausfallen sollte. Dementsprechend ist mit einem Anstieg der SOA ein signifikantes Abflachen der linearen Steigungen der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmendem Betrag der HDD zu erwarten, d. h. durch die Verlängerung der SOA (1000, 3000 und 5000 Millisekunden) sollten die Unterschiede zwischen den verschiedenen Ausprägungen der HDD (0°, 60°, 120° und 180°) zurückgehen. Bei einer hinreichend langen Vorbereitungszeit wäre sogar ein vollständiges Verschwinden der HDD-bezogenen Verarbeitungskosten vorstellbar.

Interferenzmodelle sehen die Schwierigkeiten in räumlichen Antwortkonflikten begründet, die auf einer späten Verarbeitungsstufe auftreten und ausgelöst werden, wenn das Zielobjekt dargeboten und identifiziert wird. Aus interferenztheoretischer Betrachtung ist deshalb zu erwarten, dass eine Verlängerung der Vorbereitungszeit zu einer absoluten Verringerung der Verarbeitungskosten führt, die sich mit zunehmender Dauer (SOA 5000 Millisekunden) allerdings abschwächen sollte. Die spezifischen Verarbeitungskosten, die auf Antwortkonflikte zurückgehen, sollten dagegen von der Vorbereitungszeit unbeeinflusst bleiben. Demnach ist mit einem Anstieg der SOA kein Abflachen der linearen Steigungen der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmendem Betrag der HDD zu erwarten, d. h. die Unterschiede zwischen den verschiedenen Ausprägungen der HDD (0° , 60° , 120° und 180°) sollten über alle SOA-Stufen (1000, 3000 und 5000 Millisekunden) konstant bleiben.

Von zentralem Interesse war darüber hinaus, ob sich die in Experiment 1 gefundenen Haupteffekte von HDD und ODD replizieren lassen und ob sich auch für den Anzeigefehler ein signifikanter ODD-Effekt nachweisen lässt. Gleichzeitig konnte im zweiten Experiment überprüft werden, ob sich erneut eine Wechselwirkung zwischen HDD und ODD zeigt, die die Annahme einer allozentrisch definierten Objektrichtungsdisparität (ODD_{allo}) als dritte Quelle räumlicher Konflikte unterstützt.

7.2.1 Methode

7.2.1.1 Versuchspersonen

33 Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer nahmen freiwillig und ohne Entgelt an dem Versuch teil, darunter 13 Frauen und 20 Männer im Alter von 20 bis 27 Jahren. Für die Teilnahme wurden ihnen Versuchspersonenstunden angerechnet. Die Versuchspersonen waren Studentinnen und Studenten der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg. Keine der Versuchspersonen hatte im vorherigen Experiment teilgenommen. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer gaben vor der Durchführung des Experiments eine informierte Einwilligung zur Teilnahme am Experiment ab. Die Daten von einer Versuchsperson wurden aus der Datenanalyse ausgeschlossen, da sie das Fehlerkriterium von mindestens 50 Prozent korrekter Anzeigebewegungen unterschritt. Demzufolge gingen die Daten von 32 Versuchspersonen in die Auswertung ein.

7.2.1.2 Versuchsraum und Versuchsaufbau

Als Versuchsraum wurde derselbe Raum wie in Experiment 1 genutzt. Der räumliche Versuchsaufbau blieb unverändert zu Experiment 1.

7.2.1.3 Apparatur und Material

Die Apparatur und Materialien waren dieselben wie in Experiment 1.

7.2.1.4 Versuchsablauf

Die Datenerhebung erfolgte durch eine Versuchsleiterin und einen Versuchsleiter. Zur Sicherstellung möglichst identischer Instruktionen und Abläufe wurde das Experiment auf der Grundlage eines Versuchsprotokolls durchgeführt. Zudem wurden im Vorfeld Testdurchläufe durchgeführt. Die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer wurden in fünf Durchgängen mit einer Gesamtdauer von 80-90 Minuten einzeln getestet.

Die Instruktions- und Lernphase erfolgte unverändert zu Experiment 1. Die Übungsphase wurde in der gleichen Weise durchgeführt wie in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive in Experiment 1, d. h. der Versuchsperson wurde zunächst die Information über die Position und Ausrichtung mitgeteilt und im Anschluss wurde das Zielobjekt benannt. In allen acht Übungsdurchgängen erfolgte erneut jede Anzeigebewegung aus der körperlich eingenommenen Perspektive (Position *Kerze*, Ausrichtung *Bleistift*). Auch die Instruktionen der Testphase erfolgten wie in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive in Experiment 1. Unterschiede zum Experiment 1 ergaben sich aus der Variation der Zeitintervalle zwischen der Darbietung der Perspektive und der Darbietung des Zielobjekts. Die computergesteuerten Testdurchgänge bestanden aus der aufeinanderfolgenden Ansage der drei Objektnamen (1. Position, 2. Ausrichtung, 3. Zielobjekt). Die Darbietung der Positions- und Ausrichtungsinformation dauerte jeweils 1000 ms. Das Zeitintervall zwischen der Ansage der Ausrichtung und der Darbietung des Zielobjekts wurde in Intervallen von 1000, 3000 und 5000 Millisekunden (SOA) variiert. Ein SOA-Intervall von einer Sekunde bedeutete eine kontinuierliche Darbietung von allen drei Objektnamen. Das Auslenken des Joysticks durch die Versuchsperson beendete einen Testdurchgang und startete automatisch den nächsten Durchgang. Die Messung der Reaktionszeit startete mit dem Einsetzen der

akustischen Darbietung des Namens des Zielobjekts und endete mit der Einleitung des Auslenkens des Joysticks. Wie im ersten Experiment erhielt die Versuchsteilnehmerin oder der Versuchsteilnehmer ein akustisches Feedback bei korrekter Anzeige des Zielobjekts (Abweichung geringer als 40° von der korrekten Richtung).

Die gleichen 96 verschiedenen Objektgruppen, die in Experiment 1 Anwendung fanden, wurden auch im zweiten Experiment verwendet. Die 96 Kombinationen wurden jeweils einmal für die drei verschiedenen SOA-Intervalle (1 s, 3 s und 5 s) getestet und in zufälliger Reihenfolge dargeboten. Jede Versuchsperson wurde damit in insgesamt 288 Durchgängen getestet. Die Testdurchgänge waren in fünf Abschnitte mit einer Dauer von jeweils ungefähr 15 Minuten unterteilt, zwischen denen kurze Pausen erfolgten.

7.2.1.5 Experimentelles Design

Bei dem Experiment handelte es sich um ein $3 \times 4 \times 4$ Design mit den „within-subjects“-Variablen Vorbereitungszeit (SOA: 1, 3 und 5 Sekunden), Ausrichtungsdisparität (HDD: 0° , 60° , 120° und 180°) und Objektrichtungsdisparität (ODD: $0-45^\circ$, $46-90^\circ$, $91-135^\circ$ und $136-180^\circ$). Als abhängige Variablen wurden die Anzeigelatenz (in Millisekunden) und der Anzeigefehler als absoluter Fehler (in Winkelgraden) gemessen.

7.2.2 Ergebnisse

In den individuellen Daten der 32 Versuchspersonen fanden sich keine Anzeichen eines Schnelligkeits-Genauigkeits-Austauschs. Die individuellen Pearson Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten reichten von $r = 0.00$ bis 0.29 . Die mittleren absoluten Fehler in der Anzeigerichtung lagen im Bereich von $19,2^\circ$ bis $56,8^\circ$ und zeigten damit vergleichbare interindividuelle Unterschiede in der Anzeigenauigkeit wie in Experiment 1.

7.2.2.1 Anzeigelatenz

Eine dreifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA mit Messwiederholung) mit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur für Verletzungen der Sphärizität zeigte signifikante Haupteffekte der SOA ($F[2,62] = 16.60$, $\epsilon = .56$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .35$), HDD ($F[3,93] = 18.92$, $\epsilon = .60$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .38$) und ODD ($F[3,93] = 8.25$, $\epsilon = .87$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .21$)

auf die Anzeigelatenz. Die Wechselwirkung zwischen HDD und ODD ($F[9,279] = 3.22$, $\varepsilon = .53$, $p_c < .01$, $\eta_p^2 = .09$) zeigte ebenfalls einen signifikanten Effekt. Alle anderen Wechselwirkungen zwischen den drei Faktoren waren nicht signifikant (SOA x HDD: $F[6,186] = 1.48$, $\varepsilon = .58$, $p_c = .219$, $\eta_p^2 = .05$; SOA x ODD: $F[6,186] < 1.0$, $\varepsilon = .41$, $p_c = .729$, $\eta_p^2 = .01$; und SOA x HDD x ODD: $F[18,558] = 1.42$, $\varepsilon = .28$, $p_c = .217$, $\eta_p^2 = .04$).

Der Haupteffekt der SOA zeigt, dass die Versuchspersonen das Zeitintervall vor der Bekanntgabe des Zielobjekts nutzen konnten, um beim Anzeigen des Zielobjekts Zeit einzusparen. Die Anzeigezeiten verringerten sich mit der Zunahme der Dauer des SOA-Intervalls (SOA 1 s: 2904 ms, SOA 3 s: 2407 ms, SOA 5 s: 2331 ms). Signifikanztests für geplante Vergleiche ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen den SOA-Intervallen von 1 s und 3 s ($F[1,31] = 21.37$, $p < .001$, Cohen's $d = .41$) sowie zwischen den SOA-Intervallen von 1 s und 5 s ($F[1,31] = 15.88$, $p < .001$, $d = .50$). Der Leistungsunterschied zwischen den SOA-Intervallen von 3 s und 5 s erwies sich hingegen als nicht signifikant ($F[1,31] = 2.04$, $p = .164$, $d = .09$).

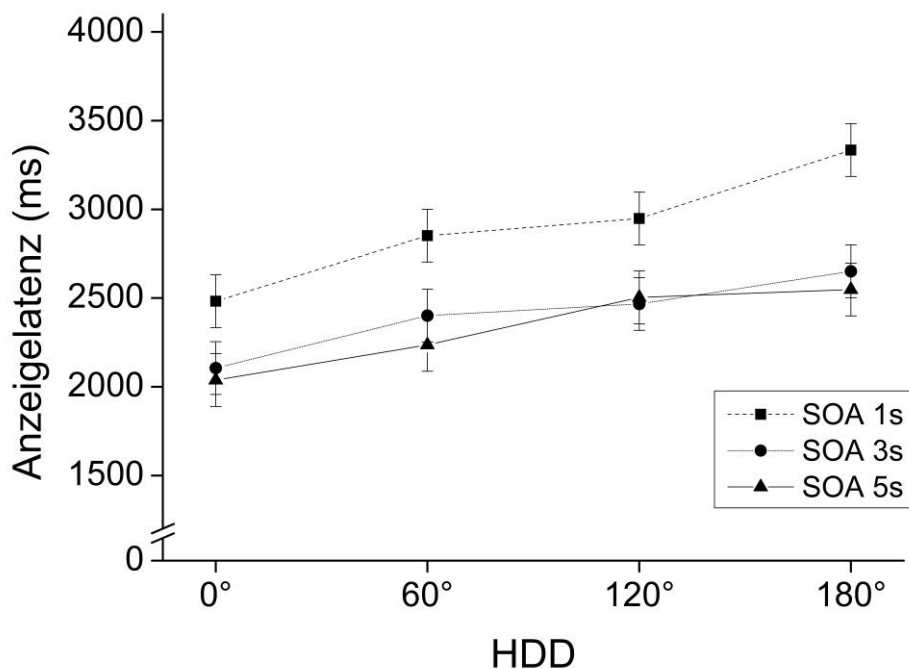


Abbildung 11. Mittlere Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der SOA (1 s, 3 s, 5 s) und der HDD (0°, 60°, 120°, 180°) in Experiment 2. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Abbildung 11 zeigt die mittleren Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der Vorbereitungszeit (SOA 1 s, 3 s, 5 s) und der Ausrichtungsdisparität (HDD 0°, 60°, 120°, 180°) gemittelt über die vier ODD-Kategorien. Der Haupteffekt der HDD zeigt, dass die Versuchspersonen umso mehr Zeit zum Anzeigen der Zielobjekte benötigten, je größer der Betrag der Ausrichtungsdisparität zwischen der körperlichen und der vorgestellten Perspektive war (HDD 0°: 2208 ms, HDD 60°: 2496 ms, HDD 120°: 2640 ms und HDD 180°: 2844 ms). Polynomberechnungen ergaben einen signifikanten Effekt für ein lineares Trendmodell ($F[1,31] = 26.41$, $p < .001$), während ein quadratisches Trendmodell ($F[1,31] = 1.37$, $p = .250$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] = 1.01$, $p = .324$) keine signifikanten Effekte aufwiesen. Kontrastvergleiche zeigten einen signifikanten Leistungsunterschied zwischen der HDD 0°- und 60°-Bedingung ($F[1,31] = 19.55$, $p < .001$, $d = .29$) sowie der HDD 120°- und 180°-Bedingung ($F[1,31] = 12.63$, $p < .01$, $d = .18$). Der Leistungsunterschied zwischen der HDD 60°- und 120°-Bedingung ($F[1,31] = 3.16$, $p = .085$, $d = .14$) stellte sich als nicht signifikant heraus.

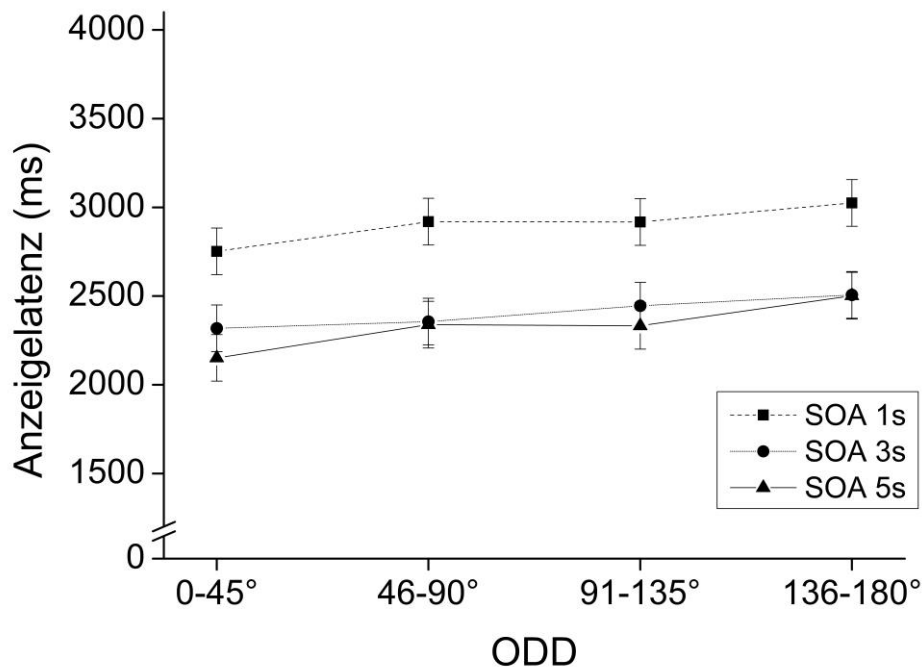


Abbildung 12. Mittlere Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der SOA (1 s, 3 s, 5 s) und der ODD (0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) in Experiment 2. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Abbildung 12 zeigt die mittleren Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der Vorbereitungszeit (SOA 1 s, 3 s, 5 s) und der Objektrichtungsdisparität (ODD 0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) gemittelt über die vier HDD-Kategorien. Der Haupteffekt der ODD zeigt, dass die Versuchspersonen umso mehr Zeit zum Anzeigen der Zielobjekte brauchten, je größer der Betrag der egozentrischen Disparität zwischen der körperlich definierten und der vorgestellten Zielobjektrichtung war (ODD 0-45°: 2407 ms, ODD 46-90°: 2538 ms, ODD 91-135°: 2566 ms und ODD 136-180°: 2678 ms). Polynomrechnungen zeigten einen signifikanten Effekt für ein lineares Trendmodell ($F[1,31] = 25.76$, $p < .001$), während ein quadratisches ($F[1,31] < 1.0$, $p = .840$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] = 1.68$, $p = .205$) keine Signifikanz aufwiesen. Kontrastvergleiche ergaben einen signifikanten Leistungsunterschied zwischen der ODD 0-45°- und 46-90°-Bedingung ($F[1,31] = 5.07$, $p < .05$, $d = .13$), während sich die Unterschiede zwischen der ODD 46-90°- und 91-135°-Bedingung ($F[1,31] < 1.0$, $p = .524$, $d = .03$) sowie der 91-135°- und 136-180°-Bedingung ($F[1,31] = 3.66$, $p = .065$, $d = .11$) als nicht signifikant erwiesen.

Die signifikante Wechselwirkung zwischen HDD und ODD schien erneut auf die spezifische Kombination der HDD-ODD-Stufen zurückzugehen. Die Anzeigebewegungen der Versuchspersonen waren im Falle von HDD-ODD-Kombinationen, deren ordinalskalierte Disparitätsstufen um eine Stufe oder zwei Stufen voneinander abwichen, deutlich langsamer als im Falle von HDD-ODD-Kombinationen, deren Disparitätsstufen gleich waren oder drei Stufen voneinander abwichen. Die mittlere Anzeigelatenz für die verschiedenen HDD-ODD-Kombinationen mit Abständen von 0-, 1-, 2- und 3-Disparitätsstufen betrug 2402 ms, 2654 ms, 2592 ms und 2429 ms. Polynomrechnungen zeigten einen signifikanten Effekt für ein quadratisches Trendmodell ($F[1,31] = 14.55$, $p < .001$), während ein lineares ($F[1,31] < 1.0$, $p = .925$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] = 1.30$, $p = .263$) keine signifikanten Effekte ergaben. Tukey HSD post-hoc-Vergleiche zeigten einen signifikanten Leistungsunterschied zwischen den HDD-ODD-Kombinationen mit einer Abweichung von 0 und 1 ($p < .01$, $d = .25$), während die Unterschiede zwischen den Kombinationen mit einer Abweichung von 0 und 3 ($p = .978$, $d = .03$), 1 und 2 ($p = .793$, $d = .06$) sowie 2 und 3 ($p = .083$, $d = .16$) nicht signifikant waren.

7.2.2.2 Anzeigefehler

Eine dreifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA mit Messwiederholung) mit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur für Verletzungen der Sphärizität zeigte signifikante Haupteffekte der HDD ($F[3,93] = 8.35$, $\varepsilon = .87$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .21$) und ODD ($F[3,93] = 12.86$, $\varepsilon = .85$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .29$) auf den Anzeigefehler. Der Haupteffekt der SOA ($F[2,62] = 2.93$, $\varepsilon = .96$, $p_c = .063$, $\eta_p^2 = .09$) war nicht signifikant. Die Wechselwirkung zwischen HDD und ODD ($F[9,279] = 16.54$, $\varepsilon = .71$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .35$) zeigte wieder einen signifikanten Effekt. Die anderen Wechselwirkungen zwischen den drei Faktoren ergaben keine signifikanten Effekte (SOA x HDD: $F[6,186] < 1.0$, $\varepsilon = .63$, $p_c = .692$, $\eta_p^2 = .02$; SOA x ODD: $F[6,186] = 1.01$, $\varepsilon = .86$, $p_c = .414$, $\eta_p^2 = .03$; SOA x HDD x ODD: $F[18,558] < 1.0$, $\varepsilon = .56$, $p_c = .491$, $\eta_p^2 = .03$).

Der Haupteffekt der SOA, der nicht signifikant war, deutet an, dass die Versuchspersonen bis zu einem gewissen Ausmaß die Vorbereitungszeit nutzen konnten, um die Anzeigegenauigkeit zu verbessern. Die Versuchspersonen konnten die Objektlokationen etwas genauer anzeigen, wenn eine verlängerte Vorbereitungszeit gegeben war (SOA 1 s vs. 3 s), wohingegen eine weitere Verlängerung der Vorbereitungszeit (SOA 5 s) zu keiner weiteren Verbesserung der Anzeigegenauigkeit führte (SOA 1 s: 33.7° , SOA 3 s: 31.7° , SOA 5 s: 31.9°). Signifikanztests für geplante Vergleiche ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen den SOA-Intervallen von 1 s und 3 s ($F[1,31] = 4.35$, $p < .05$, $d = .24$) sowie zwischen den SOA-Intervallen von 1 s und 5 s ($F[1,31] = 4.80$, $p < .05$, $d = .20$), wohingegen der Leistungsunterschied zwischen den SOA-Intervallen von 3 s und 5 s nicht signifikant war ($F[1,31] < 1.0$, $p = .805$, $d = .03$).

Die Abbildung 13 zeigt die mittleren Anzeigefehler in Abhängigkeit der Vorbereitungszeit (SOA 1 s, 3 s, 5 s) und der Ausrichtungsdisparität (HDD 0° , 60° , 120° , 180°) gemittelt über die vier ODD-Kategorien. Der Haupteffekt der HDD zeigt, dass die Versuchspersonen mit Zunahme der Ausrichtungsdisparität bis zu einem Betrag von 120° größere Anzeigefehler machten, während die weitere Zunahme der Ausrichtungsdisparität auf 180° zu einem Abfall der Anzeigefehler führte (HDD 0° : 27.9° , HDD 60° : 34.1° , HDD 120° : 35.1° , HDD 180° : 32.8°). Polynomberechnungen ergaben signifikante Effekte für ein lineares ($F[1,31] = 8.80$, $p < .01$) und ein quadratisches Trendmodell ($F[1,31] = 11.49$, $p < .01$), während ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] < 1.0$, $p = .608$) keine Signifikanz aufwies. Kontrastvergleiche zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen der HDD

0°- und 60°-Bedingung ($F[1,31] = 12.98$, $p < .01$, $d = .67$), wohingegen sich der Unterschied zwischen der HDD 60°- und 120°-Bedingung ($F[1,31] < 1.0$, $p = .431$, $d = .13$) und der HDD 120°- und 180°-Bedingung ($F[1,31] = 2.66$, $p = .113$, $d = .23$) als nicht signifikant herausstellte.

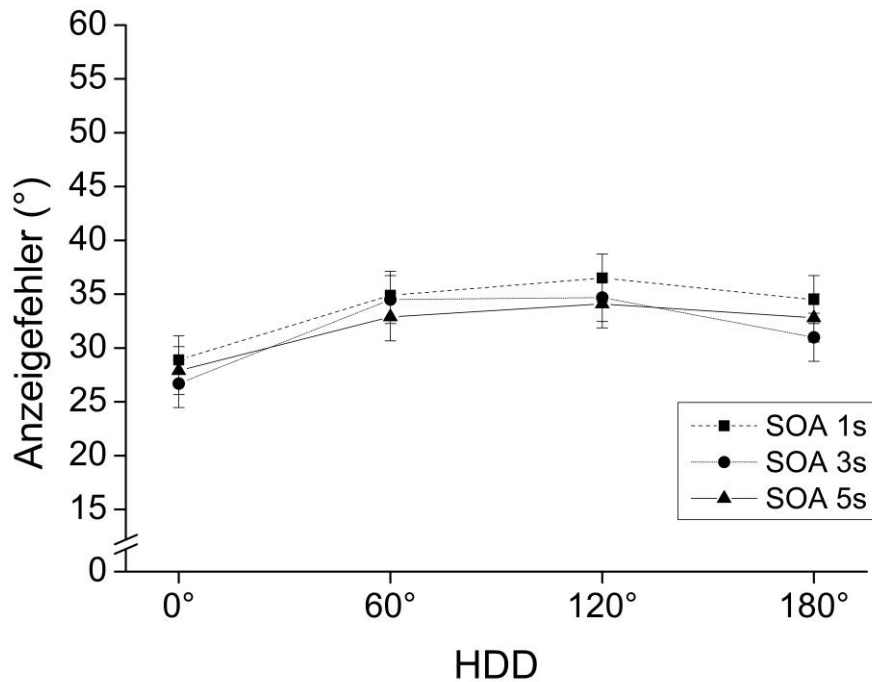


Abbildung 13. Mittlere Anzeigefehler in Abhängigkeit der SOA (1 s, 3 s, 5 s) und der HDD (0°, 60°, 120°, 180°) in Experiment 2. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Abbildung 14 zeigt die mittleren Anzeigefehler in Abhängigkeit der Vorbereitungszeit (SOA 1 s, 3 s, 5 s) und der Objektrichtungsdisparität (ODD 0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) gemittelt über die vier HDD-Kategorien. Der Haupteffekt der ODD geht darauf zurück, dass die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer mit zunehmendem Betrag der Objektrichtungsdisparität größere Anzeigefehler machten, wobei sich in der ODD 46-90°-Bedingung eine leichte Verringerung der Anzeigefehler im Vergleich zur ODD 0-45°-Bedingung zeigte (ODD 0-45°: 29,8°, ODD 46-90°: 28,6°, ODD 91-135°: 34,1° und ODD 136-180°: 37,3°). Polynomrechnungen ergaben einen signifikanten Effekt für ein lineares ($F[1,31] = 21.17$, $p < .001$), ein quadratisches ($F[1,31] = 4.24$, $p < .05$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] = 5.05$, $p < .05$). Die gleichzeitige

Signifikanz der drei Trendmodelle beruht darauf, dass die Anzeigefehler bei höheren ODD-Beträgen (91-180°) ansteigen, bei geringeren ODD-Beträgen allerdings abflachen und sich sogar leicht umkehren (0-90°). Kontrastvergleiche zeigten einen signifikanten Leistungsunterschied zwischen der ODD 46-90°- und 91-135°-Bedingung ($F[1,31] = 14.86$, $p < .001$, $d = .59$) sowie der 91-135°- und 136-180°-Bedingung ($F[1,31] = 4.19$, $p < .05$, $d = .31$), während sich der Unterschied zwischen der ODD 0-45°- und 46-90°-Bedingung ($F[1,31] < 1.0$, $p = .362$, $d = .13$) als nicht signifikant erwies.

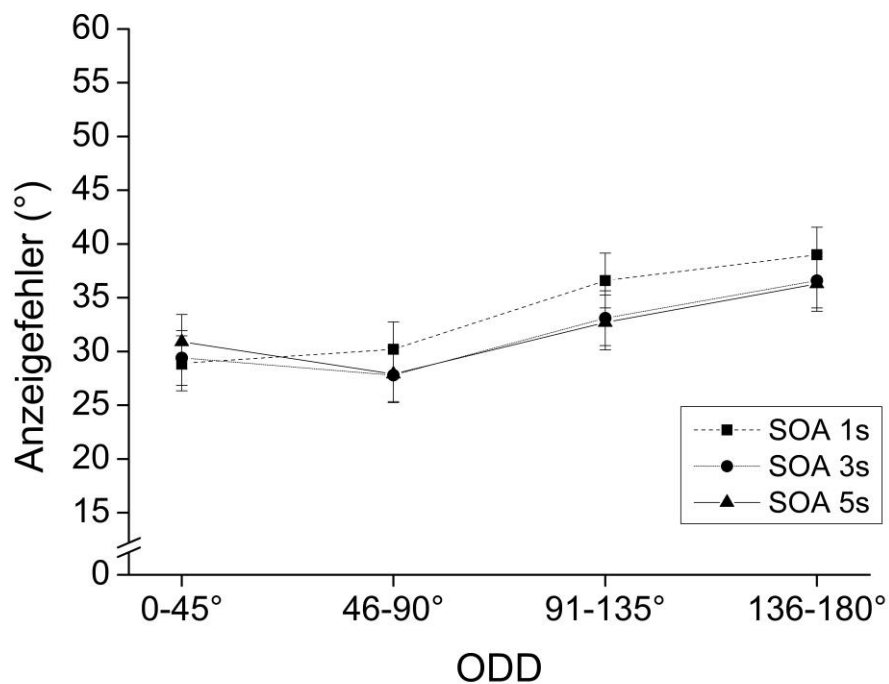


Abbildung 14. Mittlere Anzeigefehler in Abhängigkeit der SOA (1 s, 3 s, 5 s) und der ODD (0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) in Experiment 2. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Wechselwirkung zwischen HDD und ODD war wieder auf die Abweichung der Disparitätsstufen zwischen HDD und ODD zurückzuführen. Der mittlere Anzeigefehler für die verschiedenen HDD-ODD-Kombinationen mit Abständen von 0-, 1-, 2- und 3-Disparitätsstufen ergab 28,2°, 36,8°, 31,8° und 29,2°. Polynomrechnungen zeigten einen signifikanten Effekt für ein quadratisches ($F[1,31] = 24.09$, $p < .001$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] = 18.07$, $p < .001$), während ein lineares Trendmodell ($F[1,31] < 1.0$, $p = .759$) keine Signifikanz aufwies. Tukey HSD post-hoc-Tests zeigten signifikante

Unterschiede zwischen den HDD-ODD-Kombinationen mit einer Abweichung von 0 und 1 ($p < .001$, $d = 1.02$) sowie 1 und 2 ($p < .05$, $d = .59$), wohingegen sich die Unterschiede zwischen den Kombinationen mit einer Abweichung von 0 und 3 ($p = .924$, $d = .09$) sowie 2 und 3 ($p = .372$, $d = .23$) als nicht signifikant herausstellten.

7.2.2.3 Zusätzliche Ergebnisse

Die Abbildung 15 gibt einen Überblick über die zentralen Ergebnisse für die Anzeigeezeiten und Anzeigefehler. Abbildung 15a veranschaulicht die mittleren Anzeigeezeiten und Abbildung 15b die mittleren absoluten Anzeigefehler in Abhängigkeit der zunehmenden räumlichen Disparitätsbeträge zwischen der vorgestellten und der körperlichen Perspektive von HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo}.

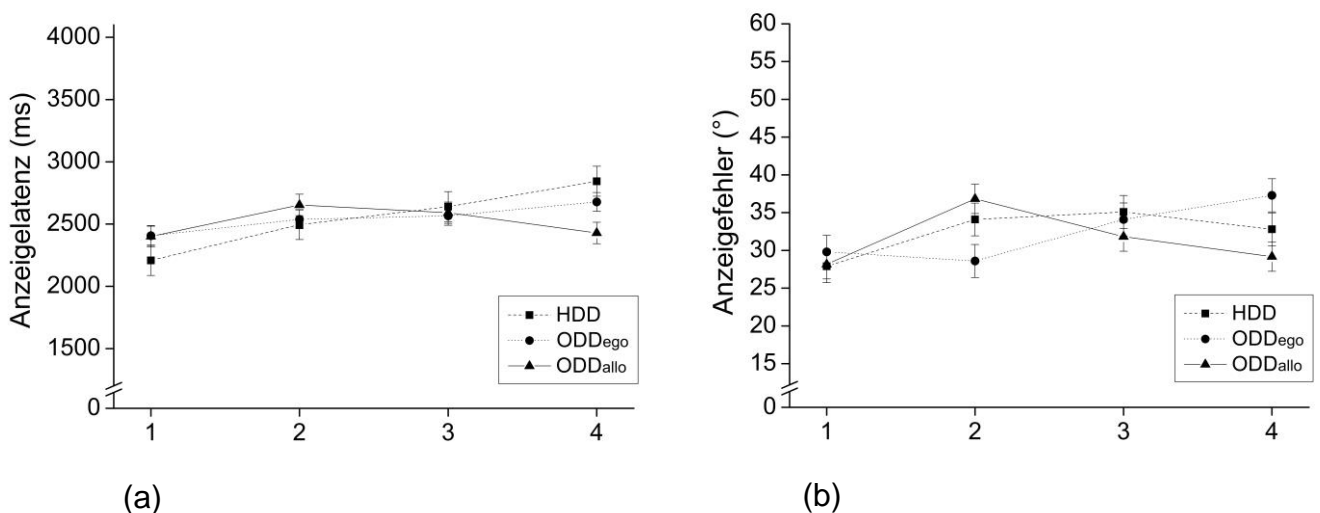


Abbildung 15. Übersicht der Effekte der HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo} auf (a) die mittlere Anzeigelatenz und (b) den mittleren Anzeigefehler in Experiment 2. Die Disparitätsstufen (1, 2, 3 und 4) betragen 0°, 90°, 120° und 180° für HDD, 22,5°, 67,5°, 112,5° und 157,5° für ODD_{ego} und 19,5°, 53,6°, 104,3° und 148,1° für ODD_{allo}. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Abbildung 15 verdeutlicht die erneuten Unterschiede in den Übereinstimmungen mit den Trendmodellen für HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo}. Für HDD zeigte sich, wie in Experiment 1, ein linearer Trend für die Anzeigeezeiten und ein quadratischer Trend für die Anzeigefehler. Für ODD_{ego} konnte ein signifikanter linearer Trend nicht nur für die Anzeigeezeiten, sondern auch für die Anzeigefehler belegt werden. Zudem ließen sich für

ODD_{allo} quadratische Trends für die Anzeigezeiten und Anzeigefehler nachweisen. Im Hinblick auf die Effektstärken (η_p^2 -Werte) zeigte sich eine Veränderung des Ergebnismusters für die verschiedenen Arten der räumlichen Disparität. Während bei den Anzeigezeiten stärkere nachteilige Effekte der Ausrichtungsdisparität festgestellt werden konnten (HDD = 0.38, ODD_{ego} = 0.21 und ODD_{allo} = 0.09), fand sich für die Anzeigefehler eine Verschiebung in Richtung stärkerer nachteiliger Effekte der Objektrichtungsdisparität (HDD = 0.21, ODD_{ego} = 0.29 und ODD_{allo} = 0.35).

7.2.3 Diskussion

Auch im zweiten Experiment konnten systematische und nachteilige Effekte der verschiedenen experimentellen Faktoren (HDD, ODD_{ego}, ODD_{allo}) auf die Anzeigezeiten und Anzeigefehler nachgewiesen werden, die auf räumliche Konflikte zwischen der vorgestellten und der körperlich eingenommenen Perspektive hindeuten. Im Unterschied zum Experiment 1 stellte sich der Haupteffekt der ODD_{ego} auch bei den Anzeigefehlern als signifikant heraus. Bei den Anzeigezeiten konnte für HDD ein linearer Anstieg über den gesamten Bereich der Ausrichtungsdisparität (HDD 0-180°) beobachtet werden, während sich bei den Anzeigefehlern ein linearer Anstieg bis zur HDD 120°-Bedingung und ein Abflachen von der 120°- zur 180°-Bedingung fand. Für ODD_{ego} zeigte sich bei den Anzeigezeiten ebenfalls ein linearer Anstieg über den gesamten Bereich der egozentrischen Objektrichtungsdisparität (ODD_{ego} 0-180°), wohingegen bei den Anzeigefehlern ein linearer Anstieg über einen Teil des Disparitätsbereichs mit einem Abflachen am unteren Ende des Disparitätsbereichs (ODD_{ego} < 90°) festgestellt werden konnte. Abweichend vom ersten Experiment zeigte sich somit sowohl für HDD als auch für ODD_{ego} ein linearer Anstieg der Anzeigezeiten über den gesamten Disparitätsbereich (0-180°). Ein linearer Anstieg der Anzeigezeiten über alle Disparitätsstufen konnte in Experiment 1 lediglich für ODD_{ego} in der Bedingung Vorabinformation der Perspektive nachgewiesen werden. Für ODD_{allo} zeigten sich in Übereinstimmung mit dem ersten Experiment quadratische Trends bei den Anzeigezeiten und Anzeigefehlern mit einem Abflachen zu beiden Enden des Disparitätsbereichs (ODD_{allo} < / > 53,6°).

Der Haupteffekt der SOA verdeutlicht, dass die Versuchspersonen die Vorbereitungszeit, die ihnen zwischen der Darbietung der Perspektiv- und Zielobjektinformation gegeben wurde, nutzen konnten, um die Zielobjekte signifikant schneller und genauer anzuzeigen (im Durchschnitt mit einer Zeiteinsparung von 570 ms

und einer Verbesserung der Genauigkeit von $1,8^\circ$). Bei Betrachtung der einzelnen SOA-Stufen zeigt sich, dass eine Verlängerung des Zeitintervalls auf 3000 Millisekunden einen signifikanten Nutzen mit sich brachte, eine weitere Verlängerung auf 5000 Millisekunden jedoch keinen zusätzlichen Vorteil bedeutete. Das Fehlen signifikanter Wechselwirkungen zwischen SOA und HDD sowie SOA und ODD belegt, dass eine Verlängerung des Zeitintervalls allerdings keinen Einfluss auf die spezifischen Verarbeitungskosten hatte, die aus den zunehmenden Beträgen der HDD und ODD resultieren. Die Versuchspersonen konnten die Vorbereitungszeit nicht nutzen, um die nachteiligen Effekte der HDD (mit einem Anstieg der Anzeigezeiten von rund 630 ms und der Anzeigefehler von rund $7,2^\circ$) und ODD (mit einem Anstieg der Anzeigezeiten von rund 270 ms und der Anzeigefehler von rund $7,5^\circ$) zu verringern.

Insbesondere vor dem Hintergrund des von Transformationsmodellen zu erwartenden, aber nicht vorhandenen Effekts der Verringerung der Unterschiede zwischen den HDD-Stufen über die drei SOA-Intervalle (Abflachen der linearen Steigungen der Anzeigezeiten und Anzeigefehler) ist das Ergebnisbild des zweiten Experiments mit Transformationsannahmen nicht vereinbar. Unter der Prämisse, dass die Schwierigkeit gedächtnisbasierter vorgestellter Perspektivenwechsel in beträchtlicher Weise auf analogen mentalen Transformationsprozessen (Easton & Sholl, 1995; Kessler & Thomson, 2010; Presson & Montello, 1994) beruht, wäre zumindest eine teilweise Verringerung der spezifischen Verarbeitungskosten durch eine Vorbereitungszeit zu erwarten gewesen. Der Effekt konstant bleibender Unterschiede zwischen den HDD-Stufen über die drei SOA-Intervalle steht dagegen mit den Annahmen von Interferenzmodellen (Avraamides & Kelly, 2008; May, 2004, 2007; Wang, 2004a, 2005) im Einklang, die räumliche Interferenzkonflikte als Hauptquelle der zusätzlichen Verarbeitungskosten in Aufgaben zu räumlichen Perspektivenwechseln ausmachen. Da die Interferenzeffekte während der Antwortauswahl erwartet werden und demnach erst nach dem Vorliegen beider räumlicher Informationen (Perspektive und Zielobjekt) auftreten können, war aus interferenztheoretischer Betrachtung ein unverändertes Ergebnismuster zwischen dem kürzesten und längsten SOA-Intervall vermutet worden.

Ein Vergleich der Ergebnisse des vorliegenden Experiments mit den Untersuchungsergebnissen der Versuchsreihe von May (2004), in denen räumliche Anzeigebewertungen nach vorgestellten Rotationen und Translationen untersucht wurden, anhand derer indirekte Rückschlüsse auf die nachteiligen Effekte der Ausrichtungs- (HDD) und Objektrichtungsdisparität (ODD) gezogen werden konnten, lässt eine gute

Übereinstimmung beider ersichtlich werden. Drei bedeutsame Untersuchungsergebnisse der Studie von May (2004), zu denen die ausgeprägten SOA-Effekte bis zu einem Intervall von 3 Sekunden, die linearen HDD- und ODD_{ego} -Effekte über den gesamten Disparitätsbereich von 0 bis 180° sowie die fehlenden Einflüsse der SOA auf HDD und ODD_{ego} gehören, konnten im zweiten Experiment der Versuchsreihe repliziert werden. Darüber hinaus konnte zum einen belegt werden, dass HDD und ODD_{ego} getrennte nachteilige Auswirkungen auf die Anzeigezeiten und Anzeigefehler haben und eigenständige Beiträge an den zusätzlichen Verarbeitungskosten ausmachen, zum anderen konnte durch das Auffinden der Wechselwirkungen zwischen HDD und ODD_{ego} eine allozentrische Objekttrichtungsdisparität (ODD_{allo}) als weitere Quelle räumlicher Konflikte festgestellt werden.

7.3 Experiment 3

Im dritten Experiment wurde eine Variation der Lernbedingung eingeführt, um mögliche Einflüsse verschiedener Lernbedingungen auf HDD und ODD zu untersuchen. Die zentrale Fragestellung war, ob sich das gleiche Bild experimenteller Effekte für die faktorielle Variation von SOA, HDD und ODD (ODD_{ego} und ODD_{allo}) zeigt, wenn das Raumwissen aus einer einzelnen Lernperspektive erworben wird und die Anzeigebeurteilungen der Versuchspersonen auf single-perspektivischem Wissen beruhen. Im Unterschied zu Experiment 2, in dem die Versuchspersonen sich frei im Raum bewegten und die Versuchsanordnung aus mehreren zufällig ausgewählten Perspektiven lernten, erwarben die Versuchspersonen in Experiment 3 ihr Raumwissen aus einer einzelnen festgelegten Perspektive, die die gleiche Perspektive war, aus der sie später getestet wurden. Von besonderem Interesse war die Frage, ob die Variation des Lernverfahrens zu einer Veränderung des zuvor gefundenen Ergebnismusters führt. Abgesehen von der Modifikation der Lernbedingung war das Experiment 3 mit Experiment 2 identisch.

Wie in vorherigen Studien (z. B. May, 2004) wurde LDD als eine mögliche weitere Quelle zusätzlicher Verarbeitungskosten in Experiment 2 dadurch kontrolliert, dass die Versuchspersonen die Versuchsanordnung aus mehreren zufälligen Perspektiven lernten. In Anbetracht früherer Forschungsarbeiten zu Lerneffekten in Aufgaben zu visuellen und mentalen Perspektivenwechseln (Mou & McNamara, 2002; Mou, McNamara et al., 2004, Mou, Zhao & McNamara, 2007; Shelton & McNamara, 2001) war davon auszugehen, dass

die Ausformung der räumlichen Repräsentationen bei den Versuchspersonen voraussichtlich auf mehreren unterschiedlichen Faktoren beruhte (egozentrische Erfahrungen aus mehreren Perspektiven, mögliche extrinsische oder intrinsische Referenzrahmen der Versuchsanordnung), von denen allerdings keiner in einem systematischen Zusammenhang mit HDD oder ODD gestanden haben sollte. Demzufolge sollte LDD in Experiment 2 keinen systematischen Einfluss gehabt und auch mit HDD oder ODD in keinem systematischen Zusammenhang gestanden haben. In Experiment 3 wurde eine Lernbedingung realisiert, in der sich LDD und HDD vollständig überlagerten, da die Perspektive während des Lernens mit der körperlich eingenommenen Perspektive während der Testdurchführung übereinstimmte. Angesichts der Position und Ausrichtung der Lernperspektive (siehe Abbildung 2) sollten die Versuchspersonen dazu in der Lage sein, von einem Referenzrahmen Gebrauch zu machen, der an den Achsen der Versuchsanordnung ausgerichtet ist. Die daraus resultierende Annahme bestand darin, dass das Lernen aus einer einzelnen Perspektive (Experiment 3) im Vergleich zum Lernen aus mehreren Perspektiven (Experiment 2) zu stabileren und genaueren räumlichen Repräsentationen der Versuchsanordnung führen sollte.

Vorausgesetzt, es lassen sich genauere Anzeigebeurteilungen in der Bedingung des single-perspektivischen Lernens (Experiment 3) im Vergleich zur Bedingung des multi-perspektivischen Lernens (Experiment 2) nachweisen, dann ergeben sich gegensätzliche Vorhersagen der beiden Erklärungsansätze. Nach den theoretischen Annahmen der Transformationsmodelle wären nach single-perspektivischem Lernen schnellere Anzeigebeurteilungen zu erwarten, da genauere räumliche Repräsentationen eine schnellere Ausformung des räumlichen Abbildes und schnellere Transformationsprozesse ermöglichen sollten. Demzufolge sollte sich sowohl eine absolute Verringerung der Anzeigezeiten als auch eine Zeitersparnis mit zunehmenden Beträgen der HDD (Abflachen der Steigungen) zeigen. Entsprechend der interferenztheoretischen Annahmen wären hingegen langsamere Anzeigebeurteilungen nach single-perspektivischem Lernen zu erwarten, da das präzisere räumliche Wissen zu einer Verstärkung der räumlichen Konflikte führen sollte, deren Überwindung zusätzliche kognitive Anforderungen notwendig macht. Dementsprechend sollte sich zum einen ein absoluter Anstieg der Anzeigezeiten, zum anderen ein relativer Anstieg der Anzeigezeiten für größere Beträge der HDD zeigen.

7.3.1 Methode

7.3.1.1 Versuchspersonen

35 Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer nahmen freiwillig und ohne Entgelt an dem Versuch teil, darunter 12 Frauen und 23 Männer im Alter von 21 bis 27 Jahren, die an der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg studierten. Für die Teilnahme wurden ihnen Versuchspersonenstunden angerechnet. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer gaben vor der Durchführung des Experiments eine informierte Einwilligung zur Teilnahme am Experiment ab. Die Daten von zwei Versuchspersonen wurden aus der Datenanalyse ausgeschlossen, da sie das Fehlerkriterium von mindestens 50 Prozent korrekter Antworten unterschritten. Zudem mussten die Daten einer weiteren Versuchsperson ausgeschlossen werden, da sich herausstellte, dass sie bereits in dem vorherigen Experiment teilgenommen hatte. Demzufolge gingen die Daten von 32 Versuchspersonen in die Auswertung ein.

7.3.1.2 Versuchsraum und Versuchsaufbau

Der Versuchsraum und Versuchsaufbau waren dieselben wie in den beiden vorherigen Experimenten.

7.3.1.3 Apparatur und Material

Es wurden dieselbe Apparatur und dieselben Materialien wie in den vorherigen Experimenten verwendet.

7.3.1.4 Versuchsablauf

Die Datenerhebung erfolgte auf der Grundlage eines Versuchsprotokolls und nach vorrangigener Durchführung von Testdurchläufen durch zwei Versuchsleiter. Die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer wurden in fünf Durchgängen mit einer Gesamtdauer von 80-90 Minuten einzeln getestet.

Im Unterschied zu Experiment 2 lernte die Versuchsperson die Versuchsanordnung von einer einzelnen festgelegten Position im Raum aus. Die Lernperspektive war identisch mit

der Perspektive, die die Versuchsperson während der Testdurchführung einnahm, d. h. die Versuchsperson stand während des Lernens auf der Position des Objekts *Kerze* und schaute in die Richtung des Objekts *Bleistift*. Während der gesamten Lernphase durfte die Versuchsperson diese Position nicht verlassen. Dazu wurde die Versuchsperson aufgefordert, ihren linken und rechten Fuß jeweils auf einen Streifen Klebeband zu stellen, der links und rechts des Objekts *Kerze* auf dem Boden aufgeklebt war. Die Versuchsperson durfte sowohl ihren Kopf als auch ihren Oberkörper drehen, um die Position der Objekte sowie deren Namen zu lernen.

Die Testdurchgänge bestanden, wie in Experiment 2, aus der aufeinanderfolgenden Ansage der drei Objektnamen (1. Position, 2. Ausrichtung, 3. Zielobjekt). Die Darbietung der Positions- und Ausrichtungsinformation dauerte jeweils 1000 ms. Das Zeitintervall zwischen der Ansage der Ausrichtung und der Darbietung des Zielobjekts wurde in Intervallen von 1000, 3000 und 5000 Millisekunden (SOA) variiert. Die 96 HDD-ODD-Kombinationen wurden in zufälliger Reihenfolge für die drei SOA-Intervalle getestet. Die insgesamt 288 Testdurchgänge waren wieder in fünf Abschnitte mit kurzen Pausen unterteilt. Wie in den vorherigen Experimenten wurde die Versuchsperson gebeten, die Zielobjekte möglichst schnell und gleichzeitig genau anzuzeigen.

7.3.1.5 Experimentelles Design

Bei dem Experiment handelte es sich um ein 3 x 4 x 4 Design mit den „within-subjects“-Variablen Vorbereitungszeit (SOA: 1, 3 und 5 Sekunden), Ausrichtungsdisparität (HDD: 0°, 60°, 120° und 180°) und Objektrichtungsdisparität (ODD: 0-45°, 46-90°, 91-135° und 136-180°). Als abhängige Variablen wurden die Anzeigelatenz (in Millisekunden) und der Anzeigefehler als absoluter Fehler (in Winkelgraden) gemessen.

7.3.2 Ergebnisse

Die Analyse der individuellen Daten der 32 Versuchspersonen ergab keine Anzeichen für einen Schnelligkeits-Genauigkeits-Austausch. Die individuellen Pearson Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten zwischen Anzeigezeiten und Anzeigefehlern reichten von $r = -0.11$ bis 0.31 . Die mittleren absoluten Fehler in der Anzeigerichtung befanden sich im Bereich von $17,0^\circ$ bis $47,5^\circ$ und zeigten damit ein vergleichbares Ausmaß an

interindividuellen Unterschieden in der Anzeigenauigkeit wie in den vorherigen Experimenten.

7.3.2.1 Anzeigelatenz

Eine dreifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA mit Messwiederholung) mit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur für Verletzungen der Sphärizität zeigte signifikante Haupteffekte der SOA ($F[2,62] = 31.87$, $\varepsilon = .61$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .51$), HDD ($F[3,93] = 17.87$, $\varepsilon = .76$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .37$) und ODD ($F[3,93] = 10.29$, $\varepsilon = .85$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .25$) auf die Anzeigelatenz. Die Wechselwirkung zwischen HDD und ODD ($F[9,279] = 2.47$, $\varepsilon = .53$, $p_c < .05$, $\eta_p^2 = .07$) wies ebenfalls einen signifikanten Effekt auf. Die zweifaktoriellen Wechselwirkungen zwischen SOA und HDD ($F[6,186] < 1.0$, $\varepsilon = .51$, $p_c = .481$, $\eta_p^2 = .03$) sowie SOA und ODD ($F[6,186] = 1.38$, $\varepsilon = .76$, $p_c = .247$, $\eta_p^2 = .07$) als auch die dreifaktorielle Wechselwirkung zwischen SOA, HDD und ODD ($F[18,558] = 1.06$, $\varepsilon = .51$, $p_c = .390$, $\eta_p^2 = .03$) waren nicht signifikant.

Wie in Experiment 2 konnten die Versuchspersonen die Anzeigezeit verringern, wenn ihnen zusätzliche Zeit gegeben wurde, um die vorzustellende Perspektive vor der Bekanntgabe des Zielobjekts zu verarbeiten. Die Anzeigezeiten verringerten sich mit zunehmender Vorbereitungszeit (SOA 1 s: 3484 ms, SOA 3 s: 2886 ms, SOA 5 s: 2766 ms). Kontrastvergleiche zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen allen drei SOA-Bedingungen (SOA 1 s vs. 3 s: $F[1,31] = 40.78$, $p < .001$, $d = .38$; SOA 3 s vs. 5 s: $F[1,31] = 4.66$, $p < .05$, $d = .10$; SOA 1 s vs. 5 s: $F[1,31] = 32.23$, $p < .001$, $d = .48$).

Die Abbildung 16 zeigt die mittleren Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der Vorbereitungszeit (SOA 1 s, 3 s, 5 s) und der Ausrichtungsdisparität (HDD 0°, 60°, 120°, 180°) gemittelt über die vier ODD-Kategorien. Der Haupteffekt der HDD zeigt, dass die Versuchspersonen signifikant mehr Zeit zum Anzeigen der Zielobjekte benötigten, wenn die vorzustellende Ausrichtung von der körperlichen Ausrichtung abwich. Bezüglich der drei Ausrichtungsdisparitäten von 60°, 120° und 180° verblieben die Anzeigezeiten aber annähernd konstant (HDD 0°: 2584 ms; HDD 60°: 3226 ms, HDD 120°: 3208 ms und HDD 180°: 3163 ms). Polynomrechnungen ergaben einen signifikanten Effekt für ein lineares ($F[1,31] = 28.42$, $p < .001$), ein quadratisches ($F[1,31] = 14.21$, $p < .001$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] = 8.06$, $p < .01$). Kontrastvergleiche zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen der HDD 0°- und 60°-Bedingung ($F[1,31] = 37.25$, $p <$

.001, $d = .48$), während sich die Unterschiede zwischen der HDD 60°- und 120°-Bedingung ($F[1,31] < 1.0$, $p = .820$, $d = .01$) und zwischen der HDD 120°- und 180°-Bedingung ($F[1,31] < 1.0$, $p = .665$, $d = .03$) als nicht signifikant herausstellten.

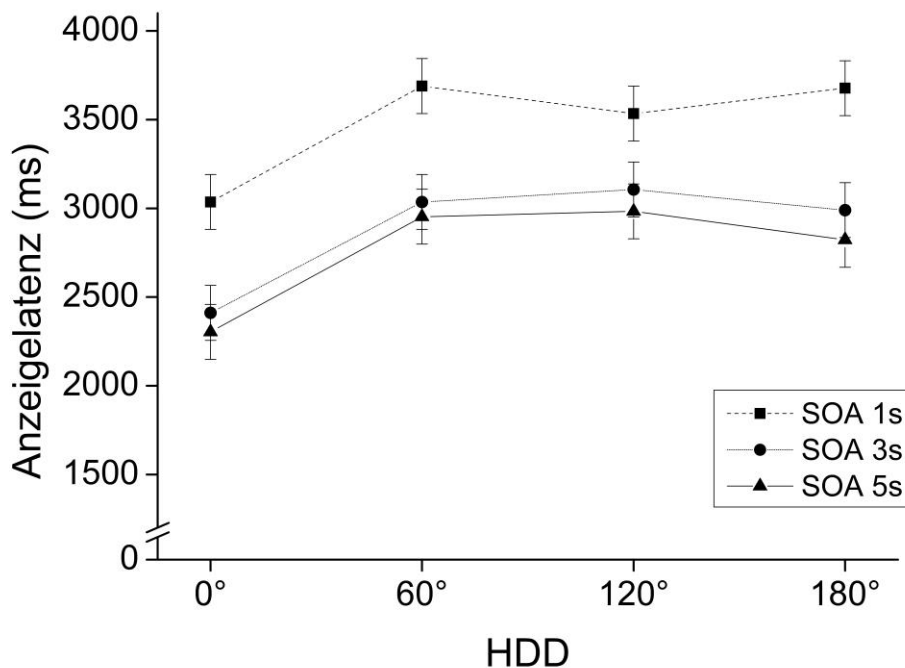


Abbildung 16. Mittlere Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der SOA (1 s, 3 s, 5 s) und der HDD (0°, 60°, 120°, 180°) in Experiment 3. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Abbildung 17 zeigt die mittleren Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der Vorbereitungszeit (SOA 1 s, 3 s, 5 s) und der Objektrichtungsdisparität (ODD 0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) gemittelt über die vier HDD-Kategorien. Der Haupteffekt der ODD beruht darauf, dass die Versuchspersonen mit zunehmendem Betrag egozentrischer Objektrichtungsdisparität zwischen der körperlichen und vorgestellten Perspektive mehr Zeit brauchten, um die Zielobjekte anzuzeigen (ODD 0-45°: 2906 ms, ODD 46-90°: 2976 ms, ODD 91-135°: 3062 ms und ODD 136-180°: 3237 ms). Polynomrechnungen zeigten einen signifikanten Effekt für ein lineares Trendmodell ($F[1,31] = 23.10$, $p < .001$), während ein quadratisches ($F[1,31] = 1.31$, $p = .261$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] < 1.0$, $p = .665$) keine Signifikanz aufwiesen. Kontrastvergleiche ergaben einen signifikanten Leistungsunterschied zwischen der ODD 91-135°- und 136-180°-Bedingung

($F[1,31] = 5.71, p < .05, d = .12$). Die Unterschiede zwischen der ODD 0-45°- und 46-90°-Bedingung ($F[1,31] = 1.92, p = .175, d = .05$) und der ODD 46-90°- und 91-135°-Bedingung ($F[1,31] = 3.01, p = .093, d = .06$) erwiesen sich als nicht signifikant.

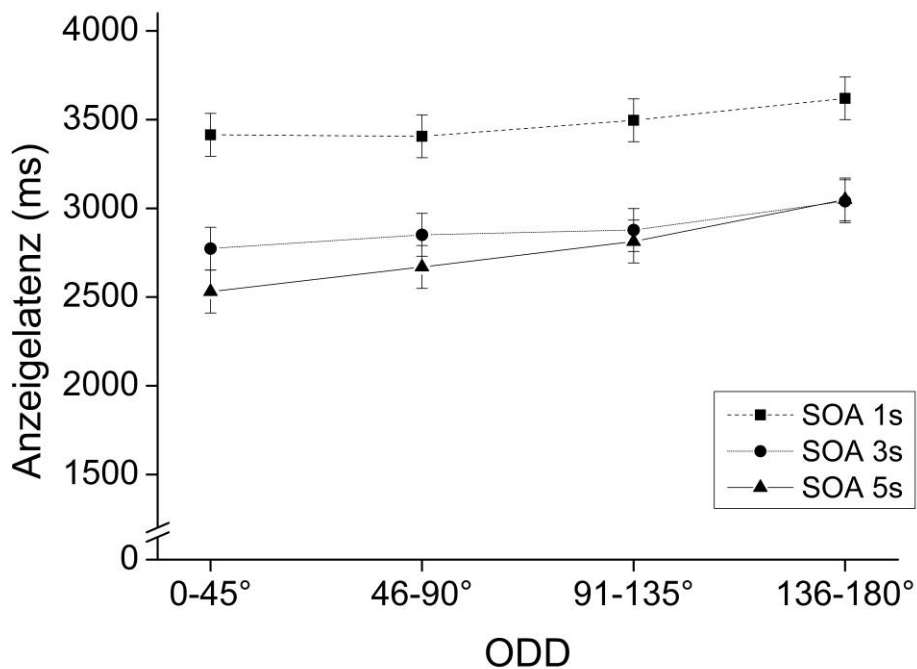


Abbildung 17. Mittlere Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der SOA (1 s, 3 s, 5 s) und der ODD (0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) in Experiment 3. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Im Hinblick auf die Wechselwirkung zwischen HDD und ODD zeigte sich eine mittlere Anzeigelatenz für die verschiedenen HDD-ODD-Kombinationen mit Abweichungen von 0-, 1-, 2- und 3- Disparitätsstufen von 2960 ms, 3160 ms, 3086 ms und 2786 ms. Polynomrechnungen ergaben einen signifikanten Effekt für ein quadratisches Trendmodell ($F[1,31] = 9.40, p < .01$), wohingegen weder für ein lineares ($F[1,31] = 2.78, p = .105$) noch für ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] < 1.0, p = .783$) ein signifikanter Effekt festgestellt werden konnte. Tukey HSD post-hoc-Vergleiche zeigten einen signifikanten Leistungsunterschied zwischen den HDD-ODD-Kombinationen mit einer Abweichung von 2 und 3 ($p < .05, d = .20$), während sich die Unterschiede zwischen den Kombinationen mit einer Abweichung von 0 und 1 ($p = .185, d = .14$), 0 und 3 ($p = .297, d = .12$) sowie 1 und 2 ($p = .875, d = .05$) als nicht signifikant erwiesen.

7.3.2.2 Anzeigefehler

Eine dreifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA mit Messwiederholung) mit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur für Verletzungen der Sphärizität zeigte signifikante Haupteffekte der SOA ($F[2,62] = 3.99$, $\varepsilon = .90$, $p_c < .05$, $\eta_p^2 = .11$), HDD ($F[3,93] = 38.37$, $\varepsilon = .86$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .55$) und ODD ($F[3,93] = 4.92$, $\varepsilon = .74$, $p_c < .01$, $\eta_p^2 = .14$) auf den Anzeigefehler. Die Wechselwirkung zwischen HDD und ODD ($F[9,279] = 5.77$, $\varepsilon = .57$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .16$) war ebenfalls signifikant. Keine der anderen Wechselwirkungen zeigte einen signifikanten Effekt (SOA x HDD: $F[6,186] < 1.0$, $\varepsilon = 1.00$, $p_c = .837$, $\eta_p^2 = .01$; SOA x ODD: $F[6,186] < 1.0$, $\varepsilon = .82$, $p_c = .417$, $\eta_p^2 = .03$; SOA x HDD x ODD: $F[18,558] < 1.0$, $\varepsilon = .67$, $p_c = .491$, $\eta_p^2 = .03$).

Der Haupteffekt der SOA zeigt, dass die Versuchspersonen die Vorbereitungszeit nutzen konnten, um die Genauigkeit ihrer Richtungsangaben zu verbessern. Die absoluten Anzeigefehler konnten vom kürzesten (SOA 1 s: $25,0^\circ$) zum mittleren Vorbereitungsintervall (SOA 3 s: $23,2^\circ$) verringert werden, allerdings fand sich keine weitere Verringerung für das längste Zeitintervall (SOA 5 s: $23,7^\circ$). Kontrastvergleiche zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen der SOA 1 s- und 3 s-Bedingung ($F[1,31] = 8.26$, $p < .01$, $d = .23$), während die Unterschiede zwischen der 3 s- und 5 s-Bedingung ($F[1,31] < 1.0$, $d = .05$) sowie der 1 s- und 5 s-Bedingung ($F[1,31] = 3.20$, $p = .061$, $d = .17$) keinen signifikanten Effekt ergaben.

Die Abbildung 18 zeigt die mittleren Anzeigefehler in Abhängigkeit der Vorbereitungszeit (SOA 1 s, 3 s, 5 s) und der Ausrichtungsdisparität (HDD 0° , 60° , 120° , 180°) gemittelt über die vier ODD-Kategorien. Der Haupteffekt der HDD zeigt, dass die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer bis zu einer HDD von 120° umso größere Anzeigefehler machten, je größer der Betrag der Disparität war (HDD 0° : $19,4^\circ$, HDD 60° : $27,5^\circ$, HDD 120° : $28,8^\circ$), während in der HDD 180° -Bedingung (HDD 180° : $20,3^\circ$) ein Rückgang der Anzeigefehler zu verzeichnen war, der annähernd den Fehlergrößen in der HDD 0° -Bedingung entsprach. Polynomberechnungen zeigten einen signifikanten Effekt für ein quadratisches Trendmodell ($F[1,31] = 107.51$, $p < .001$), während ein lineares ($F[1,31] = 1.71$, $p = .201$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] < 1.0$, $p = .408$) sich als nicht signifikant herausstellten. Kontrastvergleiche ergaben signifikante Unterschiede zwischen der HDD 0° - und 60° -Bedingung ($F[1,31] = 52.61$, $p < .001$, $d = .94$) und zwischen der HDD 120° - und 180° -Bedingung ($F[1,31] = 67.80$, p

< .001, $d = 1.03$), wohingegen der Unterschied zwischen der HDD 60°- und 120°-Bedingung ($F[1,31] = 1.24$, $p = .275$, $d = .18$) keinen signifikanten Effekt zeigte.

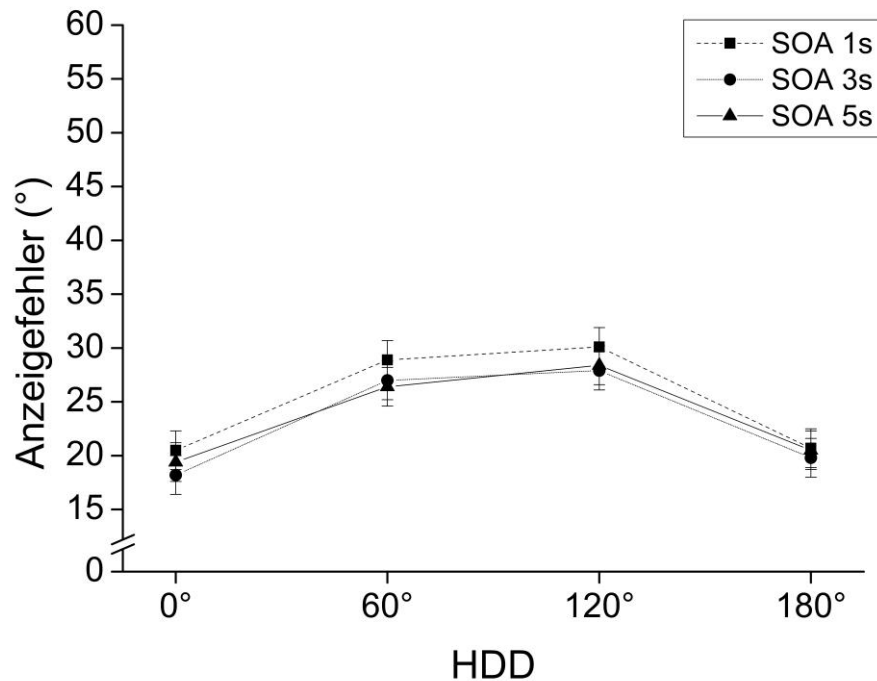


Abbildung 18. Mittlere Anzeigefehler in Abhängigkeit der SOA (1 s, 3 s, 5 s) und der HDD (0°, 60°, 120°, 180°) in Experiment 3. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Abbildung 19 zeigt die mittleren Anzeigefehler in Abhängigkeit der Vorbereitungszeit (SOA 1 s, 3 s, 5 s) und der Objektrichtungsdisparität (ODD 0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) gemittelt über die vier HDD-Kategorien. Der Haupteffekt der ODD resultiert aus den größeren Anzeigefehlern, die die Versuchspersonen in der ODD-Bedingung von 136-180° (26,8°) im Vergleich zu den ODD-Bedingungen von 0-45° (23,2°), 45-90° (22,2°) und 91-135° (23,7°) machten. Polynomrechnungen ergaben signifikante Effekte für ein lineares ($F[1,31] = 8.09$, $p < .01$) und ein quadratisches Trendmodell ($F[1,31] = 5.24$, $p < .05$), während ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] < 1.0$, $p = .840$) keine Signifikanz aufwies. Kontrastvergleiche zeigten einen signifikanten Leistungsunterschied zwischen der ODD 0-45°- und 136-180°-Bedingung ($F[1,31] = 6.57$, $p < .05$, $d = .38$) sowie zwischen der 46-90°- und 136-180°-Bedingung ($F[1,31] = 12.28$, $p < .01$, $d = .51$). Unterschiede zwischen den drei anderen ODD-Bedingungen waren nicht signifikant (ODD 0-45° vs. 46-90°: $F[1,31] = 2.12$, $p = .156$, $d = .13$; ODD 46-90° vs. 91-

135°: $F[1,31] = 1.92$, $p = .176$, $d = .19$; ODD 91-135° vs. 136-180°: $F[1,31] = 3.50$, $p = .071$, $d = .33$).

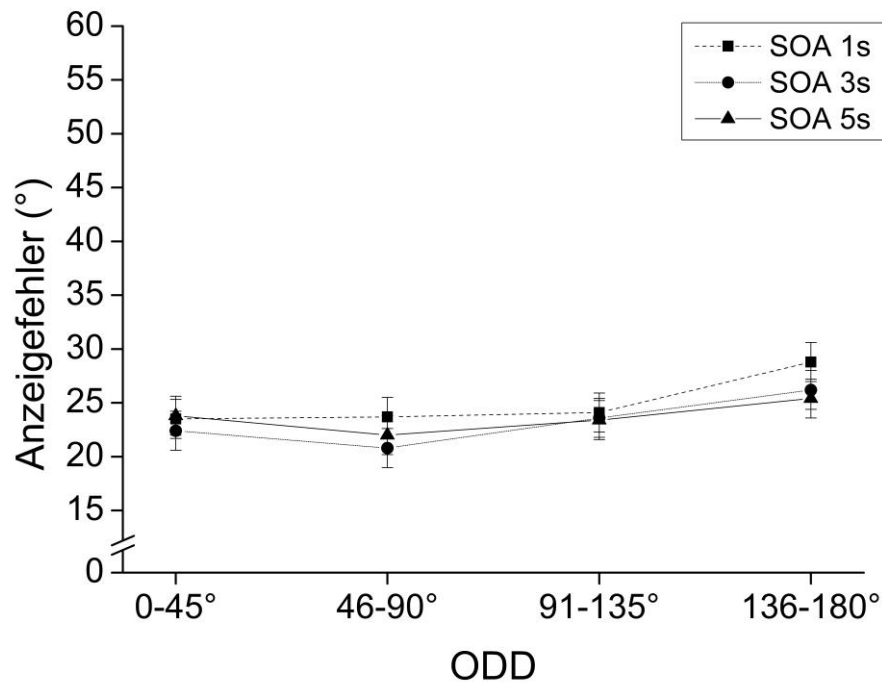


Abbildung 19. Mittlere Anzeigefehler in Abhängigkeit der SOA (1 s, 3 s, 5 s) und der ODD (0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) in Experiment 3. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Ursächlich für die signifikante Wechselwirkung zwischen HDD und ODD schien abermals die spezifische Kombination der HDD-ODD-Stufen zu sein. Der mittlere Anzeigefehler für die verschiedenen HDD-ODD-Kombinationen mit Abweichungen von 0-, 1-, 2- und 3- Disparitätsstufen betrug 22,0°, 25,7°, 26,0° und 18,8°. Polynom-berechnungen zeigten einen signifikanten Effekt für ein quadratisches Trendmodell ($F[1,31] = 70.51$, $p < .001$), während für ein lineares ($F[1,31] = 3.19$, $p = .084$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] = 1.24$, $p = .275$) kein signifikanter Effekt festgestellt werden konnte. Tukey HSD post-hoc-Vergleiche ergaben signifikante Unterschiede zwischen den HDD-ODD-Kombinationen mit einer Abweichung von 0 und 1 ($p < .05$; $d = .54$) sowie 2 und 3 ($p < .001$; $d = .65$), während sich die Unterschiede zwischen den Kombinationen mit einer Abweichung von 0 und 3 ($p = .066$; $d = .35$) sowie 1 und 2 ($p = .996$; $d = .03$) als nicht signifikant herausstellten.

7.3.2.3 Zusätzliche Ergebnisse

Die Abbildung 20 fasst die Hauptergebnisse für die Anzeigzeiten und Anzeigefehler zusammen. Abbildung 20a stellt die mittleren Anzeigzeiten und Abbildung 20b die mittleren absoluten Anzeigefehler als Funktion der zunehmenden räumlichen Disparitätsbeträge zwischen der vorgestellten und der körperlichen Perspektive von HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo} dar.

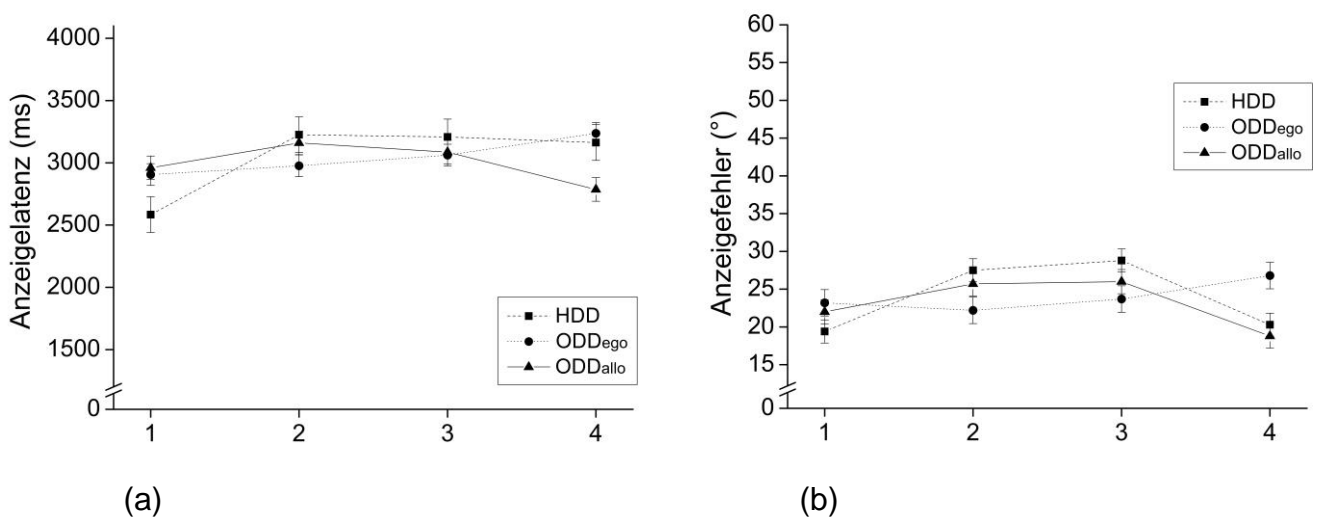


Abbildung 20. Übersicht der Effekte der HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo} auf (a) die mittlere Anzeigelatenz und (b) den mittleren Anzeigefehler in Experiment 3. Die Disparitätsstufen (1, 2, 3 und 4) betragen 0°, 90°, 120° und 180° für HDD, 22,5°, 67,5°, 112,5° und 157,5° für ODD_{ego} und 19,5°, 53,6°, 104,3° und 148,1° für ODD_{allo}. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

In Experiment 3 konnten die unterschiedlichen Ergebnismuster der verschiedenen Arten der räumlichen Disparität repliziert und damit die Annahme verschiedener räumlicher Konflikte gestützt werden. Wie in Experiment 2 fand sich für HDD bei den Anzeigzeiten ein signifikanter Effekt für ein lineares und bei den Anzeigefehlern ein signifikanter Effekt für ein quadratisches Trendmodell, für ODD_{ego} zeigte sich bei den Anzeigzeiten und Anzeigefehlern eine Übereinstimmung mit einem linearen Trendmodell und für ODD_{allo} konnte bei den Anzeigzeiten und Anzeigefehlern eine Übereinstimmung mit einem quadratischen Trendmodell bestätigt werden. Hinsichtlich der Effektstärken zeigten sich sowohl für die Anzeigzeiten (HDD = 0.37, ODD_{ego} = 0.25 und ODD_{allo} = 0.07) als auch

für die Anzeigefehler ($HDD = 0.55$, $ODD_{ego} = 0.14$ und $ODD_{allo} = 0.16$) stärkere nachteilige Effekte der HDD als der ODD_{ego} und ODD_{allo} .

7.3.3 Diskussion

Die Ergebnisse des dritten Experiments waren in vielerlei Hinsicht mit den Ergebnissen des zweiten Experiments vergleichbar. In beiden Experimenten fand sich ein übereinstimmendes Ergebnismuster der Haupteffekte von SOA, HDD und ODD sowie eine signifikante Wechselwirkung zwischen HDD und ODD auf beide abhängige Variablen (Anzeigezeiten und Anzeigefehler). Keine der anderen Wechselwirkungen zwischen den drei Faktoren zeigte in einem der beiden Experimente einen signifikanten Effekt. Die Vorbereitungszeit konnte in keinem der beiden Experimente von den Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmern dazu genutzt werden, die nachteiligen Effekte der HDD und ODD zu verändern. Der Anstieg der Anzeigezeiten lag im dritten Experiment bei rund 640 Millisekunden für HDD und rund 330 Millisekunden für ODD, wohingegen der Anstieg der Anzeigefehler rund 9,4 Winkelgrade für HDD und rund 3,6 Winkelgrade für ODD betrug.

Bei genauerer Betrachtung ließen sich bei einem insgesamt konsistenten Gesamtbild allerdings auch Unterschiede zwischen den Ergebnissen der beiden Experimente ausmachen. Für HDD zeigte sich bei den Anzeigezeiten ein Ergebnisbild, das sich von dem in Experiment 2 gefundenen sichtlich unterschied. Wenn das Anzeigen der Zielobjekte auf Raumwissen beruhte, das aus einer einzelnen Perspektive erworben wurde, schienen Veränderungen der Ausrichtung einen starken und nachteiligen Alles-oder-Nichts-Effekt auf die Anzeigelatenz gehabt zu haben. Im Gegensatz dazu zeigte sich ein linearer Effekt der Anzeigelatenz über den gesamten Bereich der HDD (0 bis 180°), wenn die Versuchspersonen die Versuchsanordnung aus mehreren zufälligen Perspektiven gelernt hatten. Die Unterschiede in den räumlichen Lernverfahren (multi-perspektivisches vs. single-perspektivisches Lernen) und den dadurch entstandenen Wissensstrukturen führten offenbar zu Unterschieden in der Art und Weise, wie HDD die Anzeigebewertungen nach vorgestellten Perspektivenwechseln beeinflusste. Im nachfolgenden Abschnitt werden die Unterschiede zwischen Experiment 2 und 3 genauer in Augenschein genommen.

7.4 Interexperimenteller Vergleich der Lernbedingungen

Die Durchführung einer zusätzlichen Analyse der kombinierten Daten der Experimente 2 und 3 zielte darauf ab, den Einfluss der Lernperspektive (multi-perspektivisches Lernen in Experiment 2; single-perspektivisches Lernen in Experiment 3) auf gedächtnisbasierte vorgestellte Perspektivenwechsel eingehender zu untersuchen. Besonderes Interesse galt dabei den Auswirkungen der Lernperspektive auf die zunehmenden Disparitätsbeträge der Ausrichtungs- (HDD) und egozentrischen Objektrichtungsdisparität (ODD_{ego}) sowie auf die allozentrische Objektrichtungsdisparität (ODD_{allo}), die auf der Grundlage der relativen Abweichung der HDD-ODD-Kombinationen a posteriori definiert wurde.

7.4.1 Ergebnisse

Im Folgenden werden lediglich die Haupt- und Wechselwirkungseffekte berichtet, die den Faktor Lernen beinhalten.

7.4.1.1 Anzeigelatenz

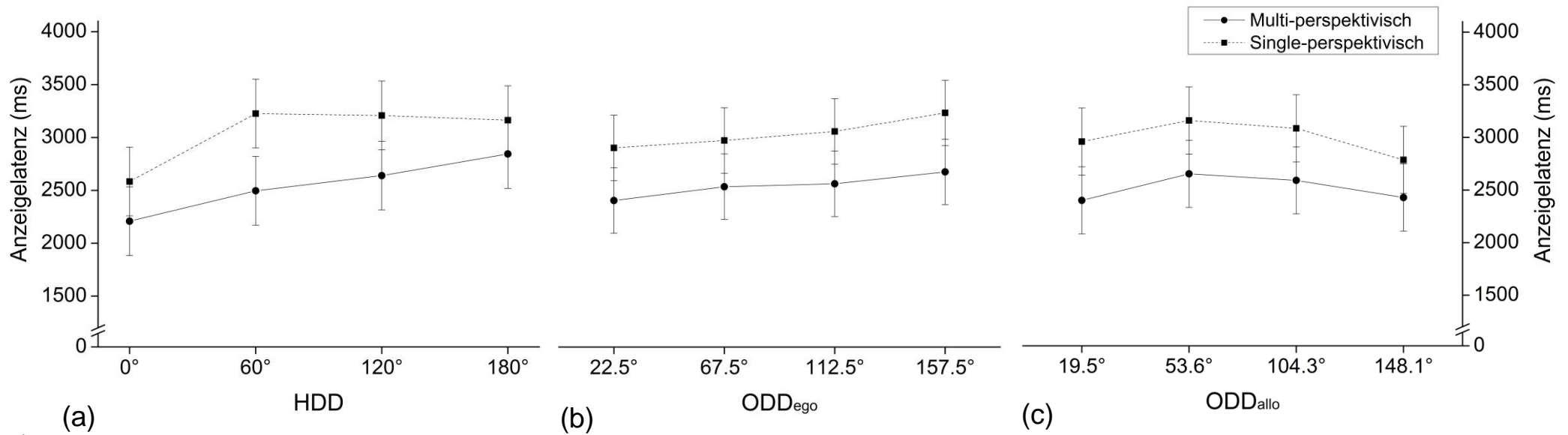
Eine vierfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA mit Messwiederholung) mit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur für Verletzungen der Sphärizität mit SOA, HDD und ODD als „within-subjects“-Faktoren sowie Lernen als „between-subjects“-Faktor zeigte keinen signifikanten Haupteffekt des Lernens ($F[1,62] = 2.64$, $p = .109$, $\eta_p^2 = .04$) auf die Anzeigelatenz. Die Wechselwirkung zwischen Lernen und HDD ergab einen signifikanten Effekt ($F[3,186] = 3.87$, $\varepsilon = .82$, $p_c < .05$, $\eta_p^2 = .06$). Keine der anderen Wechselwirkungen mit Lernen war signifikant: Lernen x SOA: $F[2,124] < 1.0$, $\varepsilon = .58$, $p_c = .494$, $\eta_p^2 = .01$; Lernen x ODD: $F[3,186] < 1.0$, $\varepsilon = .91$, $p_c = .536$, $\eta_p^2 = .01$; Lernen x SOA x HDD: $F[6,372] < 1.0$, $\varepsilon = .63$, $p_c = .673$, $\eta_p^2 = .01$; Lernen x SOA x ODD: $F[6,372] < 1.0$, $\varepsilon = .68$, $p_c = .691$, $\eta_p^2 = .01$; Lernen x HDD x ODD: $F[9,558] < 1.0$, $\varepsilon = .70$, $p_c = .642$, $\eta_p^2 = .01$; Lernen x SOA x HDD x ODD: $F[18,1116] = 1.76$, $\varepsilon = .52$, $p_c = .070$, $\eta_p^2 = .03$.

Die Abbildung 21 fasst die Hauptergebnisse für die Anzeigelatenz zusammen. Die mittleren Anzeigezeiten werden in Abhängigkeit der zunehmenden räumlichen Disparitätsbeträge zwischen der körperlichen und vorgestellten Perspektive von (a) HDD, (b) ODD_{ego} und (c) ODD_{allo} für beide Lernbedingungen (single-perspektivisches und multi-

perspektivisches Lernen) dargestellt. Anhand der Abbildungen 21 a, b und c wird ersichtlich, dass die Versuchspersonen, die die Versuchsanordnung aus einer einzelnen Perspektive gelernt hatten, die identisch mit der Perspektive war, in der sie während der Testdurchgänge körperlich positioniert waren, etwa eine halbe Sekunde mehr Zeit benötigten, um die Zielobjekte aus vorgestellten Perspektiven anzuzeigen (Mittelwert von 3045 ms in Experiment 3) als die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer, die das Versuchslayout aus mehreren zufälligen Perspektiven gelernt hatten (Mittelwert von 2547 ms in Experiment 2). Der Haupteffekt des Lernens ergab aufgrund der großen individuellen Unterschiede in der Anzeigelatenz keine Signifikanz. In Experiment 2 benötigte die schnellste Versuchsperson eine Anzeigzeit von 1334 Millisekunden im Vergleich zur langsamsten Versuchsperson mit 6159 Millisekunden. In Experiment 3 betrug die Anzeigzeit der schnellsten Versuchsperson 1539 Millisekunden im Vergleich zur Anzeigzeit von 7215 Millisekunden der langsamsten Versuchsperson.

Die Abbildung 21a veranschaulicht die Ursache der signifikanten Wechselwirkung zwischen Lernen und HDD. Während multi-perspektivisch erworbenes Raumwissen (Experiment 2) zu einem linearen Anstieg der Anzeigelatenz über den gesamten Bereich der Ausrichtungsdisparitäten führte, hatte single-perspektivisch erworbenes Wissen (Experiment 3) einen starken und annähernd gleich hohen Anstieg der Anzeigelatenz für alle Bedingungen zur Folge, in denen die vorgestellte Ausrichtung von der körperdefinierten Ausrichtung abwich (HDD 60°, 120° und 180°). Kontrastvergleiche zwischen den interexperimentellen Mittelwerten zeigten, dass der kombinierte Unterschied für HDD 0° und 180° nicht signifikant war ($F[1,62] = 1.20, p = .277, d = .27$), wohingegen der kombinierte Unterschied für HDD 60° und 120° einen signifikanten Effekt aufwies ($F[1,62] = 4.56, p < .05, d = .52$). Darüber hinaus zeigte die Varianzanalyse, dass die Lernperspektive weder auf die Nutzung der Vorbereitungszeit (SOA) noch auf eine der beiden Arten der Objekttrichtungsdisparität (ODD_{ego} und ODD_{allo}) einen Einfluss hatte (siehe Abbildung 21b und 21c).

In der Tabelle 1 sind die Übereinstimmungen mit den Trendmodellen und die relativen Effektstärken für alle drei Arten der räumlichen Disparität (HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo}) auf die Anzeigzeit zusammengefasst. Abgesehen von den interexperimentellen Unterschieden in den Anzeigzeitfunktionen für die unterschiedlichen Disparitätsbeträge der HDD fanden sich keine bedeutsamen Einflüsse des räumlichen Lernens auf die Anzeigzeitfunktionen für ODD_{ego} (linear für single- und multi-perspektivisches Lernen)



1

Abbildung 21. Übersicht der Effekte der (a) HDD, (b) ODD_{ego} und (c) ODD_{allo} auf die mittlere Anzeigelatenz für die multi- vs. single-perspektivischen Lernbedingungen der Experimente 2 und 3. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Tabelle 1

Übersicht der Übereinstimmungen mit den Trendmodellen (linear, quadratisch, kubisch) und der Effektstärken (η_p^2) der HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo} auf die mittlere Anzeigelatenz

	HDD		ODD _{ego}		ODD _{allo}	
	Trendmodell	η_p^2	Trendmodell	η_p^2	Trendmodell	η_p^2
Multi-perspektivisch (Experiment 2)	linear	.38	linear	.21	quadratisch	.09
Single-perspektivisch (Experiment 3)	linear, quadratisch, kubisch	.37	linear	.25	quadratisch	.07

oder ODD_{allo} (quadratisch für single- und multi-perspektivisches Lernen). Die partiellen Eta-Quadrate (η_p^2), die einen Vergleich der Effektstärken über mehrere Experimente hinweg ermöglichen, deuteten auf keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Experimenten hin. Die Effektstärken zeigten generell stärkere nachteilige Effekte von HDD (.38 für Experiment 2 und .37 für Experiment 3) als von ODD_{ego} (.21 und .25) und ODD_{allo} (.09 und .07).

7.4.1.2 Anzeigefehler

Eine vierfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA mit Messwiederholung) mit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur für Verletzungen der Sphärizität mit SOA, HDD und ODD als „within-subjects“-Faktoren sowie Lernen als „between-subjects“-Faktor zeigte einen signifikanten Haupteffekt des Lernens ($F[1,62] = 19.24$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .24$) auf den Anzeigefehler. Die Wechselwirkung zwischen Lernen und HDD ($F[3,186] = 4.30$, $\varepsilon = .91$, $p_c < .01$, $\eta_p^2 = .06$) sowie die dreifache Wechselwirkung zwischen Lernen, HDD und ODD ($F[9,558] = 5.40$, $\varepsilon = .79$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .08$) waren ebenfalls signifikant. Alle anderen Wechselwirkungen mit Lernen ergaben keinen signifikanten Effekt: Lernen x SOA: $F[2,124] < 1.0$, $\varepsilon = 1.00$, $p_c = .944$, $\eta_p^2 = .001$; Lernen x ODD: $F[3,186] = 2.57$, $\varepsilon = .85$, $p_c = .066$, $\eta_p^2 = .04$; Lernen x SOA x HDD: $F[6,372] < 1.0$, $\varepsilon = .79$, $p_c = .853$, $\eta_p^2 = .01$; Lernen x SOA x ODD: $F[6,372] < 1.0$, $\varepsilon = .88$, $p_c = .736$, $\eta_p^2 = .01$; Lernen x SOA x HDD x ODD: $F[18,1116] < 1.0$, $\varepsilon = .69$, $p_c = .598$, $\eta_p^2 = .01$.

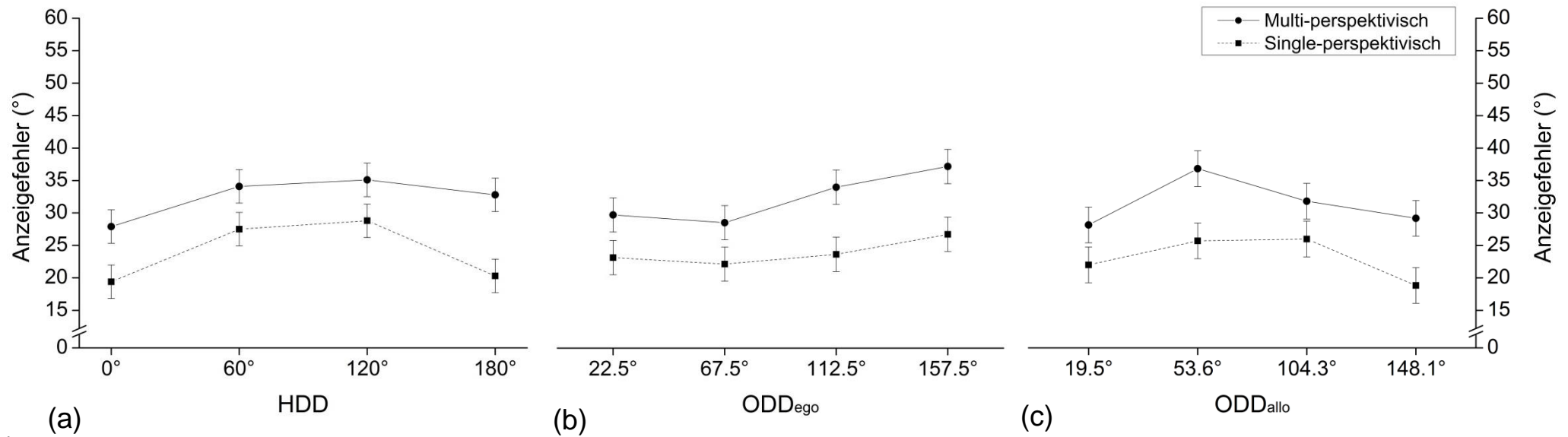
Die Abbildung 22 fasst die zentralen Ergebnisse für die Anzeigegenauigkeit zusammen. Die mittleren Anzeigefehler werden in Abhängigkeit der zunehmenden räumlichen Disparitätsbeträge zwischen der körperlichen und vorgestellten Perspektive von (a) HDD, (b) ODD_{ego} und (c) ODD_{allo} für beide Lernbedingungen (single-perspektivisches und multi-perspektivisches Lernen) dargestellt. Die Abbildungen 22 a, b und c veranschaulichen den Haupteffekt des Lernens, der darauf zurückzuführen ist, dass die Versuchspersonen, die ihr räumliches Wissen aus einer einzelnen Perspektive erworben hatten, die Zielobjekte deutlich genauer anzeigen konnten (Mittelwert von $24,0^\circ$) im Vergleich zu den Versuchspersonen, deren räumliche Kenntnisse auf mehreren Perspektiven beruhten (Mittelwert von $32,5^\circ$). Wenn die Versuchspersonen die Versuchsanordnung aus einer einzelnen festgelegten Perspektive gelernt hatten (Experiment 3), hatten sie ein genaueres räumliches Wissen der Umgebung. Allerdings scheint das genauere Wissen die

Versuchspersonen in ihren Anzeigebeurteilungen verlangsamt zu haben. Wie oben bereits dargestellt, führte das genauere räumliche Wissen im Falle der mittleren Disparitätsbeträge von HDD (60° und 120°) zu zusätzlichen nachteiligen Effekten auf die Anzeigezeiten (siehe Abbildung 21a).

Die Ursache für die signifikante Wechselwirkung zwischen Lernen und HDD scheint auf die Unterschiede in der Anzeigegenauigkeit zwischen den HDD-Bedingungen von 0° und 180° im Vergleich zu den HDD-Bedingungen von 60° und 120° zurückzugehen (siehe Abbildung 22a). Kontrastvergleiche ergaben signifikante interexperimentelle Mittelwertsunterschiede für alle vier Beträge der Ausrichtungsdisparität (alle p-Werte $< .001$). Die Effektstärke für die HDD 180° -Bedingung (Cohen's $d = 1.15$) ergab im Vergleich zu den anderen HDD-Bedingungen (HDD 0° : $d = .87$, HDD 60° : $d = .82$, HDD 120° : $d = .89$) einen größeren Effekt.

Die signifikante Wechselwirkung zwischen Lernen, HDD und ODD deutet, unter Berücksichtigung der Interpretation der Wechselwirkung zwischen HDD und ODD als allozentrischer Objektrichtungsdisparität, auf einen unterschiedlichen Effekt der Qualität des räumlichen Wissens auf ODD_{allo} hin. Die Ergebnisse zeigen, dass HDD-ODD-Kombinationen mit Abständen von 1- und 3- Disparitätsstufen einen unterschiedlichen Anstieg der absoluten Anzeigefehler aufwiesen. Alle vier interexperimentellen Mittelwertvergleiche zeigten signifikante Unterschiede auf (alle p-Werte $< .001$), allerdings war die Effektstärke für den Mittelwertvergleich in der ODD_{allo}-Bedingung von $53,6^\circ$ ($d = 1.27$) im Vergleich zu den Effektstärken in den ODD_{allo}-Bedingungen von $19,5^\circ$ ($d = .94$), $104,3^\circ$ ($d = .65$) und $148,1^\circ$ ($d = .80$) besonders groß. Die Varianzanalyse ergab erneut keine weiteren Einflüsse des räumlichen Wissens auf die Nutzung der Vorbereitungszeit (SOA) oder, wie in der Abbildung 22b zu sehen ist, auf die egozentrische Objektrichtungsdisparität (ODD_{ego}).

Die Tabelle 2 gibt eine Zusammenfassung der Übereinstimmungen mit den Trendmodellen und der relativen Effektstärken für alle drei Arten der räumlichen Disparität (HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo}) auf den Anzeigefehler. Das Gesamtbild der interexperimentellen Unterschiede ist für den Anzeigefehler etwas komplexer als für die Anzeigezeiten. Im Hinblick auf die partiellen Eta-Quadrate (η_p^2) zeigte sich zwischen beiden Experimenten eine Veränderung des Ergebnismusters auf die unterschiedlichen Arten der räumlichen Disparität. Die Effektstärken waren für beide Arten der Objektrichtungsdisparität größer (HDD = $.21$, ODD_{ego} = $.29$ und ODD_{allo} = $.35$), wenn das Anzeigen der Objekte auf multi-perspektivisch erlerntem Wissen beruhte (Experiment 2),



1

Abbildung 22. Übersicht der Effekte der (a) HDD, (b) ODD_{ego} und (c) ODD_{allo} auf den mittleren Anzeigefehler für die multi- vs. single-perspektivischen Lernbedingungen der Experimente 2 und 3. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Tabelle 2

Übersicht der Übereinstimmungen mit den Trendmodellen (linear, quadratisch, kubisch) und der Effektstärken (η_p^2) der HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo} auf den mittleren Anzeigefehler

	HDD		ODD _{ego}		ODD _{allo}	
	Trendmodell	η_p^2	Trendmodell	η_p^2	Trendmodell	η_p^2
Multi-perspektivisch (Experiment 2)	linear, quadratisch	.21	linear, quadratisch, kubisch	.29	quadratisch, kubisch	.35
Single-perspektivisch (Experiment 3)	quadratisch	.55	linear, quadratisch	.14	quadratisch	.16

wohingegen die Effektstärke für die Ausrichtungsdisparität größer war ($HDD = .55$, $ODD_{ego} = .14$ und $ODD_{allo} = .16$), wenn die Anzeigebeurteilungen auf single-perspektivisch gelerntem Wissen basierten (Experiment 3).

7.4.2 Diskussion

Die Variation des Lernverfahrens zwischen Experiment 2 und 3 diente der Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Lernbedingungen auf die Prozesse vorgestellter Perspektivenwechsel. In Experiment 2, in dem die Versuchspersonen aus mehreren zufälligen Perspektiven lernten, sollte LDD zu zufälligen Interferenzeffekten bzw. Störeinflüssen führen, während in Experiment 3, in dem die Versuchspersonen aus einer einzelnen Perspektive lernten, die mit der Perspektive übereinstimmte, die sie später während der Testdurchführung eingenommen hatten, ein genaueres räumliches Wissen zu erwarten war, das möglicherweise zu einer Veränderung des Ausmaßes der sich überlagernden HDD-LDD-Effekte führt. Die Verringerung der absoluten Anzeigefehler um einen Betrag von $8,5^\circ$ in Experiment 3 bestätigte die Annahme des genaueren räumlichen Wissens in der Bedingung des single-perspektivischen im Vergleich zum multi-perspektivischen Lernen. Von besonderer Bedeutung war die Frage, ob single-perspektivisches Lernen zu schnelleren Anzeigebeurteilungen führt, wie es anhand der Annahmen von Transformationsmodellen zu erwarten wäre, oder ob es eine Verlangsamung der Richtungsangaben zur Folge hat, wie es Interferenzmodelle vorhersagen würden.

Die absoluten Anzeigezeiten (siehe Abbildung 21) deuten auf eine Vergrößerung der räumlichen Interferenzkonflikte beim Lernen aus einer einzelnen Perspektive hin. Die Versuchspersonen benötigten in Experiment 3 rund 500 Millisekunden mehr Zeit zum Anzeigen der Zielobjekte, obwohl deren räumliches Wissen für alle vorgestellten Perspektiven signifikant genauer war. Aus transformationstheoretischer Sicht ist es schwer erklärbar, wie genauere räumliche Kenntnisse der Versuchsanordnung zu einer signifikanten Verlangsamung mentaler räumlicher Transformationsprozesse führen sollten. Hinsichtlich der zusätzlichen nachteiligen Effekte der verschiedenen Beträge von HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo} war das Ergebnisbild nicht so eindeutig, aber auch hier sind die in den Ergebnissen gefundenen Unterschiede zwischen den beiden Experimenten mit den Annahmen von Interferenzmodellen gut vereinbar. Insbesondere der starke und annähernd gleich hohe Anstieg der Anzeigezeiten für mittlere Beträge der HDD (60° und 120°) in der

single-perspektivischen Lernbedingung (siehe Abbildung 21a sowie die signifikante Wechselwirkung zwischen Lernen und HDD), der auf einen Alles-oder-Nichts-Effekt verweist, spricht für einen verstärkten Interferenzkonflikt. Abgesehen von den Unterschieden in den absoluten Anzeigezeiten wiesen die funktionalen Merkmale für die verschiedenen Beträge der ODD_{ego} und ODD_{allo} in beiden Experimenten keine signifikanten Abweichungen auf (siehe Abbildung 21b und 21c sowie die fehlenden Wechselwirkungen zwischen Lernen und ODD).

Die Umkehrung der Anzeigezeiten und Anzeigefehler für die beiden unterschiedlichen Lernbedingungen lässt sich auch auf alternative Erklärungen zurückführen und steht nicht notwendigerweise mit den zugrundeliegenden kognitiven Mechanismen (Transformationsprozesse oder Interferenzkonflikte) im Zusammenhang. Ein anderer möglicher Erklärungsansatz könnte sein, dass die Umkehrung der Anzeigezeiten und Anzeigefehler auf unterschiedlichen Antwortstrategien der Versuchspersonen in den beiden Experimenten beruht. Das genauere räumliche Wissen nach single-perspektivischem Lernen könnte zu dem Bemühen der Versuchspersonen geführt haben, die Objekte noch präziser anzeigen zu wollen und dafür mehr Zeit in Kauf zu nehmen. Es besteht auch die Möglichkeit, dass die Versuchspersonen die genaueren Anzeigebeurteilungen überhaupt erst dadurch erreicht haben, dass sie sich mehr Zeit zum Anzeigen genommen haben. Dieser alternative Erklärungsansatz lässt sich nicht ausschließen, allerdings erscheint er für eine derartige Veränderung des Ergebnismusters durch Unterschiede in den Lernverfahren wenig überzeugend, insbesondere in Anbetracht der Tatsache, dass die Anzeigezeiten und Anzeigefehler in anderen, auf einzelnen Testdurchgängen basierenden Untersuchungen, grundlegend gute unabhängige Indikatoren für die Aufgabenschwierigkeit darstellen. Zudem sprechen beide abhängigen Variablen auf eine stärkere experimentelle Manipulation üblicherweise mit einer Bewegung in die gleiche Richtung an, anstatt sich gegenseitig auszugleichen. Aus diesen Gründen wird die Annahme der Interferenzmodelle, die den Anstieg der Anzeigezeiten auf einen verstärkten Konflikt infolge des genaueren räumlichen Wissens zurückführen, als vielversprechender angesehen.

Eine weitere alternative Erklärung für die Umkehrung der Anzeigezeiten und Anzeigefehler zwischen den Experimenten ergibt sich daraus, dass in der vorliegenden Versuchsreihe LDD als unabhängiger experimenteller Faktor nicht kontrolliert wurde, sondern lediglich zwei häufig verwendete räumliche Lernverfahren (single- und multi-perspektivisches Lernen) gegenübergestellt wurden. Daher könnte vielmehr die

geometrische Anordnung des Raumes in Kombination mit den Lernverfahren (McNamara, 2003; Rump & McNamara, 2013; Shelton & McNamara, 2001) die Umkehrung der Anzeigezeiten und Anzeigefehler erzeugt haben als das Lernverfahren als solches. Eine mögliche Annahme bestünde darin, dass die Versuchspersonen in Experiment 2 bei der Enkodierung der Objektlokationen aus mehreren zufälligen Perspektiven einen extrinsischen Referenzrahmen verwendeten, der mit der langen Achse des Raumes aligniert war, wohingegen die Versuchspersonen in Experiment 3 aus der festgelegten Perspektive lernten, in der sie sich körperlich befanden und die einen intrinsischen Referenzrahmen mit einer nahezu bilateral symmetrischen Anordnung der Objekte darbot. Durch die schiefwinklige Ausrichtung der Versuchsanordnung im Verhältnis zu den Wänden des Raumes war die Testperspektive (siehe Abbildung 2) um einen Drehbetrag von etwa 40° zur Längsachse des Raumes versetzt. Die Versuchspersonen in Experiment 2 hätten daher ihre Anzeigebeurteilungen während der Testdurchführung möglicherweise auf der Grundlage einer fehlalignierten Repräsentation der räumlichen Anordnung der Objektlokationen ausführen müssen. Die vergleichsweise großen Anzeigefehler und verhältnismäßig kurzen Anzeigezeiten nach multi-perspektivischem Lernen könnten diese Gegebenheit in der Hinsicht widerspiegeln, dass die Versuchspersonen eine systematische Verzerrung in der Anzeigerichtung zeigten, die mit ihrem räumlichen Wissen, das entsprechend der Längsachse des Raumes organisiert war, übereinstimmte und zu größeren Anzeigefehlern führte, während das begrenzte Bewusstsein über diese Verzerrung den Versuchspersonen gleichzeitig ein schnelleres Anzeigen der Zielobjekte im Vergleich zu den Versuchspersonen, die das Versuchslayout aus einer einzelnen Perspektive gelernt hatten, ermöglichte.

Zur Überprüfung der Validität dieses alternativen Erklärungsansatzes der Umkehrung der Anzeigezeiten und Anzeigefehler wurden die konstanten Anzeigefehler (CE) in beiden Experimenten genauer betrachtet. Sollten die Anzeigebeurteilungen der Versuchspersonen in Experiment 2 auf der Grundlage einer um etwa 40° fehlalignierten räumlichen Repräsentation erfolgt sein, wären signifikante Unterschiede bei den konstanten oder systematischen Fehlern zu erwarten, die neben den variablen oder zufälligen Fehlern in den absoluten Fehler (AE) einfließen (Schutz & Roy, 1973). Ein interexperimenteller Vergleich der konstanten Fehler zeigte keine Unterschiede zwischen den beiden Lernbedingungen (Experiment 1: CE = $+3.5^\circ$ vs. Experiment 2: CE = $+2.9^\circ$, $F[1,62] < 1.0$, $p > .60$). Die absoluten Unterschiede in den Anzeigefehlern (AE) zwischen den beiden Experimenten scheinen Unterschiede in Bezug auf den variablen Fehler (im Sinne von

Störeinflüssen) und nicht in Bezug auf den konstanten Fehler (im Sinne von Verzerrungen) widerzuspiegeln.

Auch wenn die beiden hier dargelegten, alternativen Erklärungsansätze wenig wahrscheinlich erscheinen, sind weitere Annahmen vorstellbar, die die unterschiedlichen Effekte der räumlichen Lernverfahren begründen könnten. Da in der vorliegenden Arbeit der Faktor der LDD nicht als zusätzliche und unabhängige Quelle räumlicher Interferenzeffekte berücksichtigt wurde, lassen sich die gefundenen Effekte abschließend nicht klären. Sowohl die Anzeichen eines variablen Fehlers als auch die schnelleren Anzeigebeurteilungen nach multi-perspektivischem Lernen sind allerdings in guter Übereinstimmung mit den Annahmen der Interferenzmodelle und lassen verstärkte Interferenzkonflikte als Ursache plausibel erscheinen. Wie in mehreren Untersuchungen gezeigt (Mou, McNamara et al., 2004; Riecke & McNamara, 2017), lassen sich unabhängige Effekte für HDD und LDD nachweisen, daher sollte zur Vermeidung derartiger Schwierigkeiten in zukünftigen Untersuchungen der Faktor der LDD unabhängig kontrolliert werden.

7.5 Experiment 4

Das vierte Experiment zielte auf eine weiterführende Exploration der zugrundeliegenden Mechanismen ab, aus denen die vorgefundenen Schwierigkeiten bei vorgestellten Perspektivenwechseln resultieren könnten. Angelehnt an die Untersuchungen von Wang (2005, Experiment 2) und Avraamides et al. (2013, Experiment 3) wurde gegenüber Experiment 2 das Vorbereitungsintervall zwischen der Darbietung der Perspektivinformation und der Darbietung des Zielobjekts dahingehend verändert, dass anstelle vordefinierter variierender Zeitintervalle (SOA) die Versuchspersonen das Vorbereitungsintervall selbst bestimmen konnten. Diese methodische Veränderung sowie die damit einhergehende Messung der Vorbereitungszeiten der einzelnen Testdurchgänge sollte nicht nur einen Beleg dafür liefern, dass die Versuchspersonen den Versuchsinstruktionen nachkamen und die Zeit vor der Darbietung des Zielobjekts zur Einnahme der vorzustellenden Perspektive nutzten, sondern auch einen Einblick in frühe mentale Verarbeitungsprozesse gewähren.

Zudem bot Experiment 4 die Möglichkeit, alternative Erklärungen für die fehlende Verringerung der spezifischen Verarbeitungskosten der HDD durch eine Vorbereitungszeit zu überprüfen. Eine mögliche Argumentation könnte sein, dass die Versuchspersonen

keinen Nutzen darin sahen, die Vorbereitungszeit für eine Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive zu verwenden. Eine weitere Annahme könnte darin bestehen, dass infolge der Unsicherheit über die Dauer des SOA-Intervalls die Vorbereitungszeit von den Versuchspersonen nicht genutzt wurde, um die vorzustellende Perspektive mental einzunehmen. Kessler und Thomson (2010) stellen die Schlussfolgerung von May (2004) und Wang (2005) infrage, die den fehlenden Einfluss einer Vorbereitungszeit auf die spezifischen HDD-Kosten in ihren jeweiligen Versuchen auf sensomotorische Interferenzen zurückführen, und deuten auf eine mögliche kognitive Überforderung aufgrund der Komplexität der Versuchsanordnung und der Anzahl der möglichen Zielobjekte hin, die nach Kessler und Thomson (2010) dazu geführt haben könnte, dass die Versuchspersonen während des Vorbereitungsintervalls nichts machten und abwarteten, bis das Zielobjekt bekanntgegeben wurde.

Da die Versuchsanordnung der vorliegenden Versuchsreihe mit insgesamt 16 Zielobjekten im Vergleich zu den Experimenten von Avraamides et al. (2013), May (2004) und Wang (2005) mit Versuchslayouts von jeweils sechs, vier und fünf Objekten eine deutlich höhere Anzahl an Objekten aufweist und somit vor dem Hintergrund der Annahme von Kessler und Thomson (2010) einen größeren kognitiven Aufwand bedeuten würde, war die Frage nach den frühen Verarbeitungsprozessen und deren Auswirkung auf die spezifischen HDD-Kosten von besonderem Interesse. Zentrale Fragestellungen waren, ob die Versuchspersonen auf der frühen Verarbeitungsstufe vor der Bekanntgabe des Zielobjekts mental die vorzustellende Perspektive einnehmen können und ob durch eine selbstdefinierte Vorbereitungszeit die spezifischen Verarbeitungskosten, die sich aus der HDD ergeben, verringert werden können.

Nach den Annahmen der Transformationsmodelle ist davon auszugehen, dass eine Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive auf der Grundlage der Information über die Position und Ausrichtung während des Vorbereitungsintervalls möglich ist und die Ausrichtungsunterschiede zwischen der körperlich eingenommenen und vorzustellenden Perspektive bereits auf einer frühen Verarbeitungsstufe durch mentale Rotations- oder Alignierungsprozesse (Easton & Sholl, 1995; Mou, McNamara et al., 2004; Rieser, 1989) berechnet werden können. Folglich lassen Transformationsmodelle bei einem selbstbestimmten Vorbereitungsintervall ein Verschwinden der HDD-spezifischen Verarbeitungskosten vermuten. Im Gegensatz dazu ist entsprechend der Annahmen der Interferenzmodelle keine Verringerung der spezifischen HDD-Kosten durch die frühzeitige Darbietung der Perspektivinformation und die Bereitstellung einer Vorbereitungszeit zu

erwarten, da die Verarbeitungskosten mit einem Antwortkonflikt in Zusammenhang gebracht werden, der erst auf einer späten Verarbeitungsstufe nach Kenntnis über das Zielobjekt ausgelöst wird, nicht vor der Antwortspezifizierung umgangen oder aufgelöst werden kann und während der Bestimmung der Anzeigerichtung wirksam wird (May, 2004). Daher kann hinsichtlich der Interferenzmodelle auch bei einem selbstbestimmten Vorbereitungsintervall ein Anstieg der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmenden Beträgen der HDD angenommen werden.

7.5.1 Methode

7.5.1.1 Versuchspersonen

38 Studentinnen und Studenten der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg nahmen freiwillig und ohne Entgelt an dem Experiment teil, darunter 10 Frauen und 28 Männer im Alter von 19 bis 28 Jahren. Für die Teilnahme wurden ihnen Versuchspersonenstunden angerechnet. Keine der Versuchspersonen hatte im vorherigen Experiment teilgenommen. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer gaben vor der Durchführung des Experiments eine informierte Einwilligung zur Teilnahme am Experiment ab. Die Daten von sechs Versuchspersonen wurden aus der Datenanalyse ausgeschlossen, da sie das Fehlerkriterium von mindestens 50 Prozent korrekter Anzeigebewegungen unterschritten. Damit gingen die Daten von 32 Versuchspersonen in die Auswertung ein.

7.5.1.2 Versuchsraum und Versuchsaufbau

Die Testdurchführung erfolgte im selben Raum wie in den vorherigen Experimenten. Auch der Versuchsaufbau war unverändert zu den vorherigen Experimenten.

7.5.1.3 Apparatur und Material

Die Apparatur und verwendeten Materialien waren dieselben wie in den vorherigen Experimenten.

7.5.1.4 Versuchsablauf

Die Datenerhebung erfolgte durch einen Versuchsleiter auf der Grundlage eines Versuchsprotokolls. Die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer wurden in drei Durchgängen mit einer Gesamtdauer von 60-70 Minuten einzeln getestet.

Die Instruktions- und Lernphase erfolgte unverändert zu Experiment 2. Die Instruktionen zur Handhabung des Joysticks vor Beginn der Übungsphase wurden dahingehend erweitert, dass die Versuchsperson angeleitet wurde, jeweils die Joysticktaste mit dem Zeigefinger zu betätigen, wenn sie sich die Position (Objekt *Kerze*) und die Ausrichtung (Objekt *Bleistift*) vorgestellt hatte. Nach dem ersten Drücken der Taste erfolgte die Ansage der Ausrichtung, nach dem zweiten Betätigen der Taste wurde das Zielobjekt benannt, das wiederum durch die Bewegung des Joysticks in die entsprechende Richtung möglichst schnell und gleichzeitig genau angezeigt werden sollte. Alle Übungsdurchgänge erfolgten erneut aus der körperlich eingenommenen Perspektive (Position *Kerze*, Ausrichtung *Bleistift*).

In der Testphase bestand der Unterschied zum Experiment 2 darin, dass die Versuchsperson, wie zuvor in der Übungsphase, das Zeitintervall zwischen der Darbietung der Position und der Darbietung der Ausrichtung sowie das Zeitintervall zwischen der Darbietung der Ausrichtung und der Darbietung des Zielobjekts selbst bestimmen konnte. Dazu sollte die Versuchsteilnehmerin oder der Versuchsteilnehmer die Taste am Joystick jeweils erst dann betätigen, wenn sie/er sich mental in die vorzustellende Position hineinversetzt und die vorzustellende Ausrichtung eingenommen hatte. Die Versuchsperson wurde instruiert, die Vorbereitungszeit zu nutzen, um sich die Perspektive vorzustellen und die Zeit zum Anzeigen des Zielobjekts möglichst kurz zu halten, ohne dabei an Genauigkeit einzubüßen. Wie in den vorherigen Experimenten beendete das Auslenken des Joysticks einen Testdurchgang und startete automatisch den nächsten Durchgang. Die Messung der Reaktionszeit startete mit dem Einsetzen der akustischen Darbietung des Namens des Zielobjekts und endete mit der Einleitung des Auslenkens des Joysticks. Bei korrekter Anzeige des Zielobjekts (Abweichung geringer als 40° von der korrekten Richtung) erhielt die Versuchsperson ein akustisches Feedback. Die 96 HDD-ODD-Kombinationen wurden in zufälliger Reihenfolge dargeboten und einmal wiederholt. Die insgesamt 192 Testdurchgänge waren in drei Abschnitte mit kurzen Pausen unterteilt.

7.5.1.5 Experimentelles Design

Bei dem Experiment handelte es sich um ein 2 x 4 x 4 Design mit den „within-subjects“-Variablen Übung (Testblock 1, Testblock 2), Ausrichtungsdisparität (HDD: 0°, 60°, 120° und 180°) und Objektrichtungsdisparität (ODD: 0-45°, 46-90°, 91-135° und 136-180°). Als abhängige Variablen wurden die Vorbereitungslatenz (in Millisekunden), die Anzeigelatenz (in Millisekunden) und der Anzeigefehler als absoluter Fehler (in Winkelgraden) gemessen. Die Vorbereitungslatenz war als Zeit zwischen der Darbietung der Perspektivinformation und dem Drücken der Joysticktaste zum Abrufen der Zielobjektinformation definiert.

7.5.2 Ergebnisse

In den individuellen Daten der 32 Versuchspersonen fanden sich keine Anzeichen eines Schnelligkeits-Genauigkeits-Austauschs. Die individuellen Pearson Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten erstreckten sich von $r = -0.09$ bis 0.32 . Die mittleren absoluten Fehler in der Anzeigerichtung befanden sich im Bereich von $19,0^\circ$ bis $56,1^\circ$ und zeigten damit vergleichbare interindividuelle Unterschiede in der Anzeigegenauigkeit wie in den vorherigen Experimenten.

7.5.2.1 Vorbereitungslatenz

Eine dreifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA mit Messwiederholung) mit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur für Verletzungen der Sphärizität zeigte signifikante Haupteffekte der Übung ($F[1,31] = 14.88$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .32$) und HDD ($F[3,93] = 7.03$, $\epsilon = .62$, $p_c < .01$, $\eta_p^2 = .18$) auf die Vorbereitungslatenz. Der Haupteffekt der ODD war nicht signifikant ($F[3,93] < 1.0$, $\epsilon = .53$, $p_c = .447$, $\eta_p^2 = .02$). Keine der Wechselwirkungen zwischen den drei Faktoren zeigte einen signifikanten Effekt (Übung x HDD: $F[3,93] < 1.0$, $\epsilon = .83$, $p_c = .562$, $\eta_p^2 = .02$; Übung x ODD: $F[3,93] < 1.0$, $\epsilon = .53$, $p_c = .580$, $\eta_p^2 = .02$; HDD x ODD: $F[9,279] = 1.57$, $\epsilon = .27$, $p_c = .210$, $\eta_p^2 = .05$; und Übung x HDD x ODD: $F[9,279] = 1.38$, $\epsilon = .31$, $p_c = .256$, $\eta_p^2 = .04$).

Der Haupteffekt der Übung geht auf die Verringerung der mittleren Vorbereitungslatenz von Testblock 1 auf Testblock 2 zurück. Die mittlere Vorbereitungslatenz betrug 3864

Millisekunden in der ersten Hälfte der Testdurchgänge und 3074 Millisekunden in der zweiten Hälfte der Testdurchgänge.

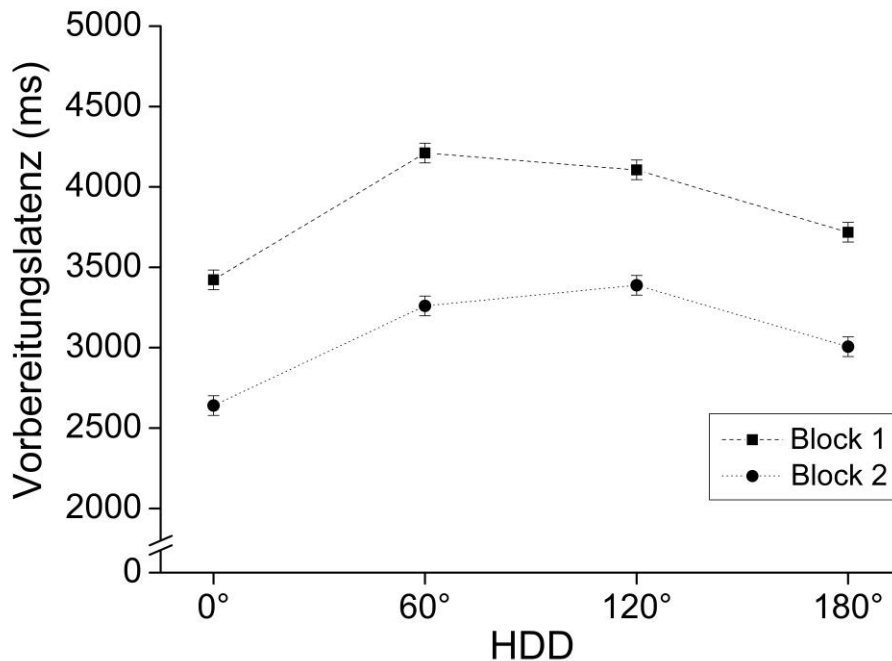


Abbildung 23. Mittlere Vorbereitungszeiten in Abhängigkeit der Übung (Testblock 1, Testblock 2) und der HDD (0°, 60°, 120°, 180°) in Experiment 4. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Abbildung 23 zeigt die mittleren Vorbereitungszeiten in Abhängigkeit der Übung (Testblock 1, Testblock 2) und der Ausrichtungsdisparität (HDD 0°, 60°, 120°, 180°) gemittelt über die vier ODD-Kategorien. Der Haupteffekt der HDD zeigt, dass die Versuchspersonen mehr Vorbereitungszeit in Anspruch nahmen, wenn die Ausrichtung der vorzustellenden Perspektive von der Ausrichtung der körperlich eingenommenen Perspektive abwich. Dabei zeigte sich ein Anstieg der Vorbereitungszeiten mit zunehmendem Betrag der Ausrichtungsdisparität bis zu einer HDD von 120°, während eine Zunahme der HDD auf 180° zu einem Rückgang der Vorbereitungszeiten führte (HDD 0°: 3031 ms, HDD 60°: 3736 ms, HDD 120°: 3747 ms, HDD 180°: 3362 ms). Für die beiden mittleren HDD-Bedingungen (60° und 120°) fanden sich annähernd gleiche mittlere Vorbereitungszeiten. Polynomrechnungen ergaben einen signifikanten Effekt für ein quadratisches Trendmodell ($F[1,31] = 8.83$, $p < .01$), wohingegen ein lineares ($F[1,31] =$

4.10, $p = .052$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] = 1.07$, $p = .309$) keinen signifikanten Effekt aufwiesen. Der quadratische Trend spiegelt die längeren Zeiten für schiefwinklige Ausrichtungsdisparitäten (HDD 60° und 120°) im Vergleich zu Ausrichtungsdisparitäten mit geraden Achsen (HDD 0° und 180°) wider. Signifikanztests für geplante Vergleiche zeigten signifikante Unterschiede zwischen der HDD 0° - und 60° -Bedingung ($F[1,31] = 12.18$, $p < .01$, $d = .46$), während die Unterschiede zwischen der HDD 60° - und 120° -Bedingung ($F[1,31] < 1.0$, $p = .912$, $d = .01$) und zwischen der HDD 120° - und 180° -Bedingung ($F[1,31] = 3.96$, $p = .055$, $d = .25$) nicht signifikant waren.

7.5.2.2 Anzeigelatenz

Eine dreifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA mit Messwiederholung) mit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur für Verletzungen der Sphärizität zeigte signifikante Haupteffekte der Übung ($F[1,31] = 14.51$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .32$), HDD ($F[3,93] = 21.49$, $\epsilon = .85$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .41$) und ODD ($F[3,93] = 9.70$, $\epsilon = .82$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .24$) auf die Anzeigelatenz. Die Wechselwirkung zwischen HDD und ODD ($F[9,279] = 2.20$, $\epsilon = .59$, $p_c = .053$, $\eta_p^2 = .07$) zeigte eine schwache Signifikanz. Die weiteren Wechselwirkungen zwischen den drei Faktoren waren nicht signifikant (Übung x HDD: $F[3,93] = 2.29$, $\epsilon = .93$, $p_c = .088$, $\eta_p^2 = .07$; Übung x ODD: $F[3,93] < 1.0$, $\epsilon = .57$, $p_c = .802$, $\eta_p^2 = .01$; und Übung x HDD x ODD: $F[9,279] = 1.66$, $\epsilon = .52$, $p_c = .153$, $\eta_p^2 = .05$).

Der Haupteffekt der Übung zeigt, dass die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer mit zunehmender Übung die Zielobjekte schneller anzeigen konnten. Die mittlere Anzeigzeit wies eine signifikante Verringerung von Testblock 1 (2355 ms) auf Testblock 2 (2105 ms) auf.

Die Abbildung 24 zeigt die mittleren Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der Übung (Testblock 1, Testblock 2) und der Ausrichtungsdisparität (HDD 0° , 60° , 120° , 180°) gemittelt über die vier ODD-Kategorien. Der Haupteffekt der HDD ergibt sich daraus, dass die Versuchspersonen signifikant mehr Zeit zum Anzeigen der Zielobjekte benötigten, je größer die vorzustellende Ausrichtung von der körperlich definierten Ausrichtung abwich (HDD 0° : 1939 ms, HDD 60° : 2278 ms, HDD 120° : 2295 ms und HDD 180° : 2407 ms). Polynomrechnungen ergaben einen signifikanten Effekt für ein lineares ($F[1,31] = 37.30$, $p < .001$), ein quadratisches ($F[1,31] = 8.44$, $p < .01$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] = 5.89$, $p < .05$). Kontrastvergleiche wiesen einen signifikanten

Leistungsunterschied zwischen der HDD 0°- und 60°-Bedingung ($F[1,31] = 27.58$, $p < .001$, $d = .49$) auf, während sich die Unterschiede zwischen der HDD 60°- und 120°-Bedingung ($F[1,31] < 1.0$, $p = .735$, $d = .02$) und der HDD 120°- und 180°-Bedingung ($F[1,31] = 4.05$, $p = .053$, $d = .14$) als nicht signifikant herausstellten.

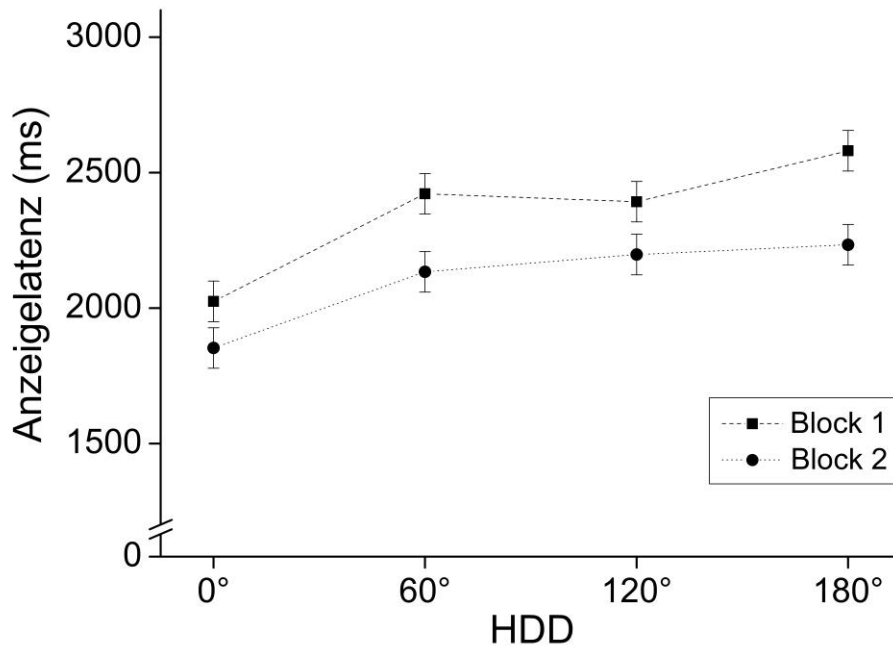


Abbildung 24. Mittlere Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der Übung (Testblock 1, Testblock 2) und der HDD (0°, 60°, 120°, 180°) in Experiment 4. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Abbildung 25 zeigt die mittleren Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der Übung (Testblock 1, Testblock 2) und der Objektrichtungsdisparität (ODD 0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) gemittelt über die vier HDD-Kategorien. Der Haupteffekt der ODD zeigt, dass die Versuchspersonen umso mehr Zeit zum Anzeigen der Zielobjekte benötigten, je größer der Betrag der egozentrischen Objektrichtungsdisparität zwischen der körperlich definierten und der vorgestellten Richtung des Zielobjekts war (ODD 0-45°: 2145 ms, ODD 46-90°: 2167 ms, ODD 91-135°: 2205 ms und ODD 136-180°: 2402 ms). Polynom-berechnungen zeigten einen signifikanten Effekt für ein lineares ($F[1,31] = 18.75$, $p < .001$) und ein quadratisches Trendmodell ($F[1,31] = 14.27$, $p < .001$), während ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] < 1.0$, $p = .478$) keinen signifikanten Effekt aufwies.

Kontrastvergleiche ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen der ODD 91-135°- und 136-180°-Bedingung ($F[1,31] = 14.26$, $p < .001$, $d = .25$), während sich die Leistungsunterschiede zwischen der ODD 0-45°- und 46-90°-Bedingung ($F[1,31] < 1.0$, $p = .636$, $d = .03$) und der ODD 46-90°- und 91-135°-Bedingung ($F[1,31] < 1.0$, $p = .557$, $d = .05$) als nicht signifikant erwiesen.

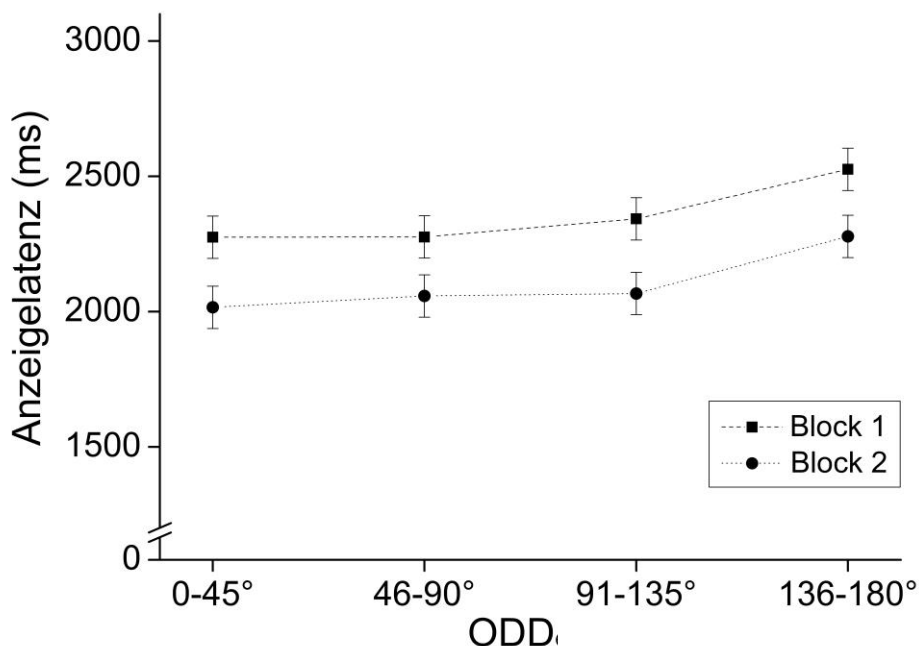


Abbildung 25. Mittlere Anzeigelatenzen in Abhängigkeit der Übung (Testblock 1, Testblock 2) und der ODD (0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) in Experiment 4. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Ursachen der signifikanten Wechselwirkung zwischen HDD und ODD hingen mit der Abweichung der ordinalskalierten Disparitätsstufen zwischen HDD und ODD zusammen. Die mittlere Anzeigelatenz für die verschiedenen HDD-ODD-Kombinationen mit Abweichungen von 0-, 1-, 2- und 3- Disparitätsstufen betrug 2173 ms, 2241 ms, 2294 ms und 2183 ms. Polynomberechnungen zeigten einen signifikanten Effekt für ein quadratisches Trendmodell ($F[1,31] = 6.14$, $p < .05$), während ein lineares ($F[1,31] < 1.0$, $p = .672$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] = 1.52$, $p = .227$) keinen signifikanten Effekt aufwiesen. In Übereinstimmung mit dem relativ schwachen Wechselwirkungseffekt in der Varianzanalyse ($\eta_p^2 = .07$) zeigten die Tukey HSD post-hoc-Vergleiche keinen signifikanten Unterschied zwischen den HDD-ODD-Kombinationen (Abweichung von 0

und 1: $p = .533$, $d = .09$; 0 und 3: $p = .997$, $d = .01$; 1 und 2: $p = .732$, $d = .07$; 2 und 3: $p = .134$, $d = .15$).

7.5.2.3 Anzeigefehler

Eine dreifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA mit Messwiederholung) mit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur für Verletzungen der Sphärizität zeigte signifikante Haupteffekte der Übung ($F[1,31] = 20.36$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .40$), HDD ($F[3,93] = 2.91$, $\epsilon = .83$, $p_c < .05$, $\eta_p^2 = .09$) und ODD ($F[3,93] = 10.88$, $\epsilon = .87$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .26$) auf den Anzeigefehler. Die Wechselwirkung zwischen HDD und ODD ($F[9,279] = 11.12$, $\epsilon = .60$, $p_c < .001$, $\eta_p^2 = .26$) zeigte ebenfalls einen signifikanten Effekt. Alle anderen Wechselwirkungen zwischen den drei Faktoren stellten sich als nicht signifikant heraus (Übung x HDD: $F[3,93] < 1.0$, $\epsilon = .77$, $p_c = .631$, $\eta_p^2 = .02$; Übung x ODD: $F[3,93] = 2.56$, $\epsilon = .92$, $p_c = .065$, $\eta_p^2 = .08$; Übung x HDD x ODD: $F[9,279] = 1.60$, $\epsilon = .66$, $p_c = .149$, $\eta_p^2 = .05$).

Der Haupteffekt der Übung zeigt, dass die Versuchspersonen mit zunehmender Übung ihre Anzeigegenauigkeit verbessern konnten. Der mittlere Anzeigefehler ergab eine signifikante Verringerung von Testblock 1 ($29,8^\circ$) auf Testblock 2 ($27,1^\circ$).

Die Abbildung 26 zeigt die mittleren Anzeigefehler in Abhängigkeit der Übung (Testblock 1, Testblock 2) und der Ausrichtungsdisparität (HDD 0° , 60° , 120° , 180°) gemittelt über die vier ODD-Kategorien. Der Haupteffekt der HDD zeigt, dass die Versuchspersonen größere Anzeigefehler machten, wenn die vorzustellende Ausrichtung von der körperdefinierten Ausrichtung abwich. Dabei zeigten sich ähnlich große Anzeigefehler für die beiden mittleren Ausrichtungsdisparitäten von 60° ($30,7^\circ$) und 120° ($29,8^\circ$), während der Anzeigefehler in der HDD 180° -Bedingung ($26,8^\circ$) annähernd auf das Niveau der HDD 0° -Bedingung ($26,5^\circ$) zurückging. Polynomberechnungen ergaben einen signifikanten Effekt für ein quadratisches Trendmodell ($F[1,31] = 5.25$, $p < .05$), während ein lineares ($F[1,31] < 1.0$, $p = .984$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] < 1.0$, $p = .479$) keine Signifikanz aufwiesen. Kontrastvergleiche stellten den Unterschied zwischen der HDD 0° - und 60° -Bedingung ($F[1,31] = 4.97$, $p < .05$; $d = .38$) als signifikant heraus, während die Unterschiede zwischen der HDD 60° - und 120° -Bedingung ($F[1,31] < 1.0$, $p = .519$; $d = .11$) sowie der HDD 120° - und 180° -Bedingung ($F[1,31] = 2.86$, $p = .101$; $d = .35$) keinen signifikanten Effekt zeigten.

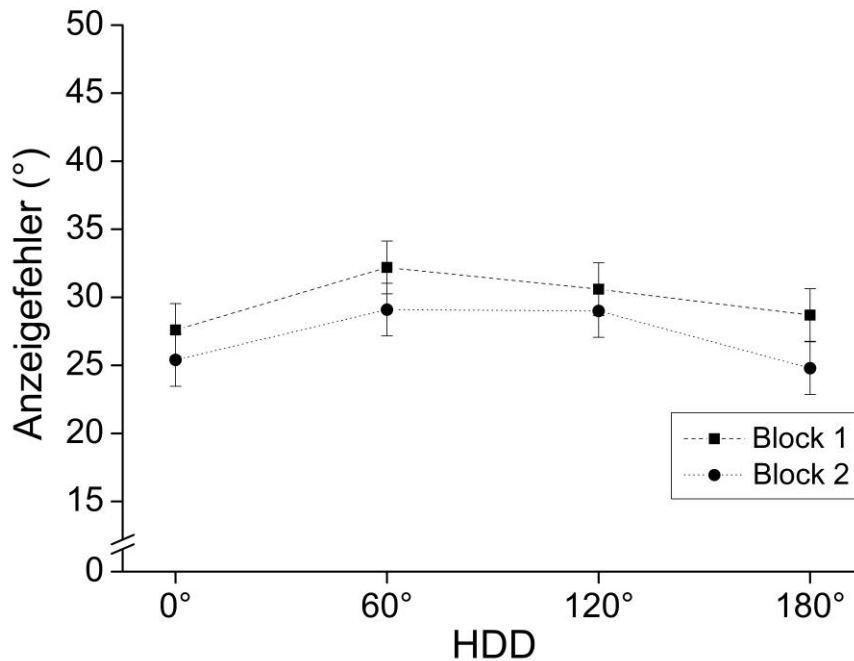


Abbildung 26. Mittlere Anzeigefehler in Abhängigkeit der Übung (Testblock 1, Testblock 2) und der HDD (0°, 60°, 120°, 180°) in Experiment 4. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Abbildung 27 zeigt die mittleren Anzeigefehler in Abhängigkeit der Übung (Testblock 1, Testblock 2) und der Objekttrichtungsdisparität (ODD 0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) gemittelt über die vier HDD-Kategorien. Der Haupteffekt der ODD zeigt, dass die Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer mit zunehmenden Beträgen der Objekttrichtungsdisparität bis zur ODD 91-135°-Kategorie größere Anzeigefehler machten, während die weitere Zunahme der ODD auf 136-180° zu einem leichten Abfall der Anzeigefehler führte (ODD 0-45°: 25,9, ODD 46-90°: 26,0°, ODD 91-135°: 31,7°, ODD 136-180°: 30,2°). Polynomberechnungen ergaben einen signifikanten Effekt für ein lineares ($F[1,31] = 15.49$, $p < .001$) und ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] = 12.71$, $p < .01$), während ein quadratisches Trendmodell ($F[1,31] < 1.0$, $p = .326$) keinen signifikanten Effekt aufwies. Kontrastvergleiche zeigten einen signifikanten Leistungsunterschied zwischen der ODD 46-90°- und 91-135°-Bedingung ($F[1,31] = 19.92$, $p < .001$; $d = .62$), wohingegen die Unterschiede zwischen der ODD 0-45°- und 46-90°-Bedingung ($F[1,31] < 1.0$, $p = .941$; $d = .01$) und zwischen der ODD 91-135°- und 136-180°-Bedingung ($F[1,31] = 1.56$, $p = .222$; $d = .16$) nicht signifikant waren.

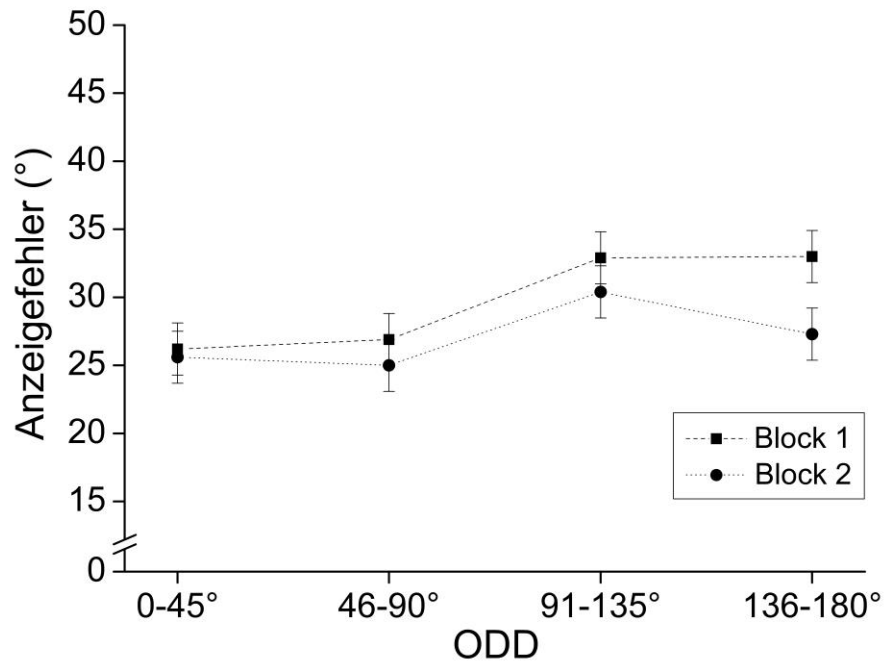


Abbildung 27. Mittlere Anzeigefehler in Abhängigkeit der Übung (Testblock 1, Testblock 2) und der ODD (0-45°, 46-90°, 91-135°, 136-180°) in Experiment 4. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen HDD und ODD zeigte sich ein mittlerer Anzeigefehler für die verschiedenen HDD-ODD-Kombinationen mit Abweichungen von 0-, 1-, 2- und 3- Disparitätsstufen von 27,5°, 31,3°, 26,6° und 25,2°. Polynomrechnungen ergaben einen signifikanten Effekt für ein lineares ($F[1,31] = 7.42$, $p < 0.5$) und ein quadratisches Trendmodell ($F[1,31] = 6.68$, $p < .05$), während ein kubisches Trendmodell ($F[1,31] = 11.43$, $p < .01$) keinen signifikanten Effekt zeigte. Tukey HSD post-hoc-Tests wiesen signifikante Unterschiede zwischen den HDD-ODD-Kombinationen mit einer Abweichung von 0 und 1 ($p < .05$, $d = .44$) sowie 1 und 2 ($p < .01$, $d = .58$) auf, wohingegen die Unterschiede zwischen den Kombinationen mit einer Abweichung von 0 und 3 ($p = .282$, $d = .22$) sowie 2 und 3 ($p = .686$, $d = .14$) nicht signifikant waren.

7.5.2.4 Zusätzliche Ergebnisse

Die Abbildung 28 stellt die zentralen Ergebnisse für die Anzeigezeiten und Anzeigefehler dar. Abbildung 28a zeigt die mittleren Anzeigezeiten und Abbildung 28b die mittleren absoluten Anzeigefehler als Funktion der zunehmenden räumlichen Disparitätsbeträge zwischen der vorgestellten und der körperlichen Perspektive von HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo}.

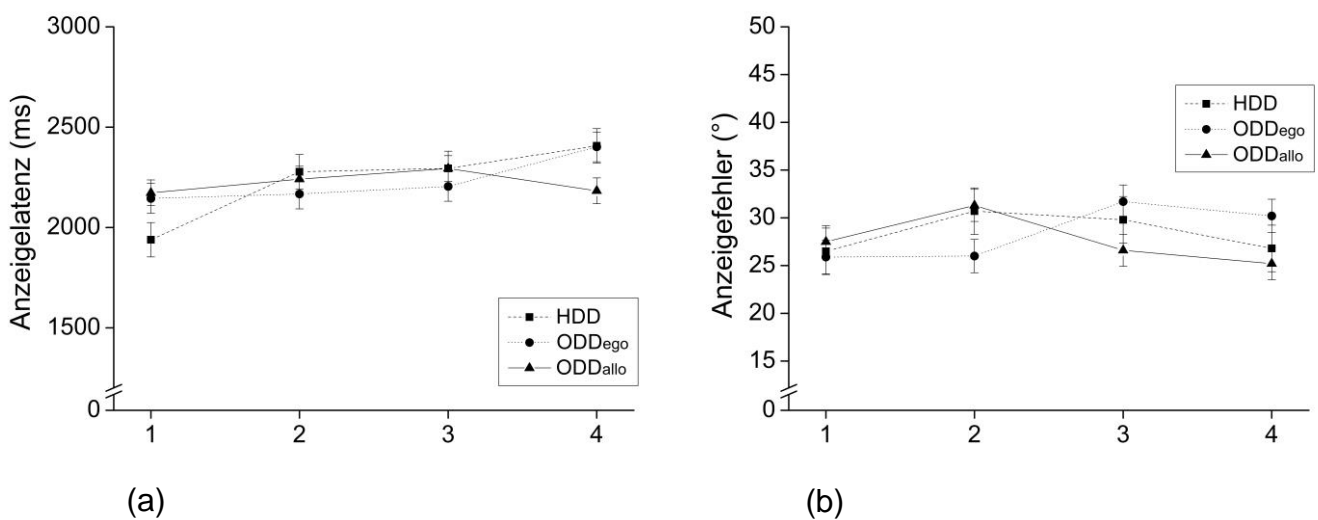


Abbildung 28. Übersicht der Effekte der HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo} auf (a) die mittlere Anzeigelatenz und (b) den mittleren Anzeigefehler in Experiment 4. Die Disparitätsstufen (1, 2, 3 und 4) betragen 0°, 90°, 120° und 180° für HDD, 22,5°, 67,5°, 112,5° und 157,5° für ODD_{ego} und 19,5°, 53,6°, 104,3° und 148,1° für ODD_{allo}. Die Fehlerbalken sind als 95 %-Konfidenzintervalle angegeben, die auf der Grundlage des Fehlerwerts der Wechselwirkung mit wiederholten Messungen berechnet wurden (siehe Jarmasz & Hollands, 2009, S. 130).

Die Abbildung 28 veranschaulicht die Unterschiede in den Übereinstimmungen mit den Trendmodellen für HDD (linearer Trend für die Anzeigezeiten und quadratischer Trend für die Anzeigefehler), ODD_{ego} (lineare Trends für die Anzeigezeiten und Anzeigefehler) und ODD_{allo} (quadratische Trends für die Anzeigezeiten und Anzeigefehler). Hinsichtlich der Effektstärken (η_p^2 -Werte) zeigte sich, wie in Experiment 2, eine Verschiebung von stärkeren nachteiligen Effekten der Ausrichtungsdisparität bei den Anzeigezeiten (HDD = 0.41, ODD_{ego} = 0.24 und ODD_{allo} = 0.07) zu stärkeren nachteiligen Effekten der Objekttrichtungsdisparität (HDD = 0.09, ODD_{ego} = 0.26 und ODD_{allo} = 0.26) bei den Anzeigefehlern.

7.5.3 Diskussion

Das vierte Experiment konnte alle drei räumlichen Faktoren (HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo}) als zusätzliche Verarbeitungskosten in Objektlokalisierungsaufgaben bestätigen, in denen Versuchspersonen zuvor gelernte Objektlokationen der unmittelbaren Umgebung aus vorgestellten Perspektiven anzeigen sollten, die von der körperlich definierten Perspektive abwichen. Dabei zeigte sich ein Ergebnismuster, das mit den Ergebnissen des zweiten Experiments überwiegend identisch war. Bei den Anzeigezeiten konnte sowohl für HDD als auch für ODD_{ego} ein linearer Anstieg über den gesamten Disparitätsbereich festgestellt werden ($0-180^\circ$), während bei den Anzeigegehlern für HDD ein Abflachen zu beiden Enden des Disparitätsbereichs ($HDD < / > 60^\circ$) und für ODD_{ego} ein Anstieg mit einem Abflachen am oberen Ende des Disparitätsbereichs ($ODD_{ego} > 135^\circ$) zu beobachten war. Für ODD_{allo} zeigten sich quadratische Trends mit einem Abflachen zu beiden Enden des Disparitätsbereichs ($ODD_{allo} < / > 104,3^\circ$ für die Anzeigezeiten und $ODD_{allo} < / > 53,6^\circ$ für die Anzeigegehlern).

Der Haupteffekt der Übung auf die Vorbereitungslatenz verdeutlicht, dass die Versuchspersonen von Testblock 1 auf Testblock 2 signifikant weniger Zeit benötigten, um sich mental in die vorzustellende Perspektive zu begeben (mit einer Verringerung der Vorbereitungszeit von rund 800 ms). Trotz der Verringerung der Vorbereitungszeiten konnten die Versuchspersonen die Zielobjekte im Vergleich von Testblock 1 auf Testblock 2 signifikant schneller und genauer anzeigen (mit einer Zeiteinsparung von rund 250 ms und einer Verbesserung der Anzeigegegnauigkeit von rund $2,7^\circ$). Somit zeigte sich mit zunehmender Übung eine Stabilisierung der Anzeigeleistungen.

Interessanterweise gleicht die selbstbestimmte durchschnittliche Dauer der Vorbereitungszeit in Testblock 2 (3074 ms) dem Vorbereitungsintervall in Experiment 2 (SOA 3000 ms), das einen signifikanten Nutzen für die Versuchspersonen beim Anzeigen der Zielobjekte mit sich brachte. Dies unterstützt die Annahme, dass Vorbereitungszeiten von mehr als 3 Sekunden zu keinen signifikanten Verbesserungen der Anzeigeleistungen führen. Ein selbstbestimmtes Vorbereitungsintervall ermöglichte den Versuchspersonen nicht, die HDD-spezifischen Verarbeitungskosten bei den Anzeigezeiten und Anzeigegehlern zu verringern. Wengleich die Versuchspersonen mit zunehmender Übung sowohl die Vorbereitungszeiten als auch die Anzeigezeiten und Anzeigegehlern insgesamt verringern konnten, so waren sie dennoch nicht dazu in der Lage, unter Verwendung eines selbstbestimmten Vorbereitungsintervalls die nachteiligen Effekte zunehmender Beträge

der HDD (mit einem Anstieg der Anzeigezeiten von rund 470 ms und der Anzeigefehler von rund $4,2^\circ$) und ODD (mit einem Anstieg der Anzeigezeiten von rund 260 ms und der Anzeigefehler von rund $5,8^\circ$) auf die Anzeigezeiten und Anzeigefehler zu verringern.

Das Ergebnismuster der HDD auf die Vorbereitungslatenz verdeutlicht, dass die Versuchspersonen die Zeit vor der Darbietung des Zielobjektes dazu verwendeten, sich mental in die vorzustellende Perspektive zu begeben. Im Unterschied zu den Versuchen von Wang (2005, Experiment 2) und Avraamides et al. (2013, Experiment 3), bei denen sich jeweils ein Anstieg der Vorbereitungszeiten über den gesamten Bereich der HDD von 0 bis 180° zeigte, der entsprechend eine Übereinstimmung mit einem linearen Trendmodell vermuten lässt, ergab das vorliegende Experiment einen signifikanten Effekt für ein quadratisches Trendmodell, der auf einen Anstieg der Vorbereitungszeiten für die mittleren HDD-Bedingungen (60° und 120°) und einem Abfall zum oberen Ende des Disparitätsbereichs (HDD 180°) zurückgeht.

Das Ergebnisbild zweifelt nicht nur die Annahme der Transformationsmodelle an, dass die Schwierigkeit vorgestellter Perspektivenwechsel auf Transformationsprozessen im Sinne einer mentalen Rotation beruht und die zusätzlichen Verarbeitungskosten primär aus einem imaginären Selbstrotationsprozess resultieren, indem es aufzeigt, dass die spezifischen Verarbeitungskosten der HDD auch bei einer selbstbestimmten Vorbereitungszeit nicht auf einer frühen Verarbeitungsstufe vor der Bekanntgabe des Zielobjektes berechnet werden können, sondern stellt angesichts des Ergebnismusters der HDD auf die Vorbereitungslatenz auch infrage, ob die frühen Verarbeitungsprozesse zur Einnahme der vorzustellenden Perspektive einem mentalen Rotations- bzw. Alignierungsprozess gleichen. Zudem widerlegen die Ergebnisse alternative Erklärungen, die den fehlenden Einfluss einer Vorbereitungszeit auf die HDD-spezifischen Verarbeitungskosten darauf zurückführen, dass die Versuchspersonen aufgrund der Ungewissheit über die Dauer des Zeitintervalls oder angesichts einer kognitiven Überlastung des Arbeitsgedächtnisses hinsichtlich der möglichen Anzahl der Zielobjekte, die zusätzlich zur vorzustellenden Perspektive verarbeitet werden müssen (Kessler & Thomson, 2010), während der Vorbereitungszeit bis zur Bekanntgabe des Zielobjektes nichts machen würden. Vielmehr machen die Ergebnisse deutlich, dass die Versuchspersonen auch bei einer Versuchsanordnung mit einer hohen Anzahl an Objekten die Vorbereitungszeit nutzen, um sich in die vorzustellende Perspektive zu begeben.

Demgegenüber steht das Auftreten eines HDD-Effekts auf der frühen Verarbeitungsstufe (Vorbereitungszeiten) bei gleichzeitigem Ausbleiben einer

Verringerung der HDD-spezifischen Kosten auf der späten Verarbeitungsstufe (Anzeigezeiten und Anzeigefehler) mit den Annahmen der Interferenzmodelle gut im Einklang. Auch bei einer hinreichenden Vorbereitungszeit, die zur Einnahme der vorzustellenden Perspektive und damit für eine frühzeitige Verarbeitung der Ausrichtungsunterschiede zwischen der vorgestellten und der körperlich eingenommenen Perspektive genutzt werden kann, lassen Interferenzmodelle keine Verringerung der nachteiligen Effekte der HDD auf die Anzeigezeiten und Anzeigefehler erwarten, da der Antwortkonflikt erst nach der Bekanntgabe des Zielobjekts angenommen wird. Die Tatsache, dass die Versuchspersonen mit zunehmender Übung sogar Vorbereitungszeit einsparen und dennoch die Anzeigeleistungen verbessern konnten, unterstreicht die Vermutung, dass nicht der Prozess der Einnahme anderer Perspektiven als der eigenen, sondern die Handlungsausführung aus der imaginierten Perspektive die wesentliche Schwierigkeit ausmacht. Wenn Prozesse auf der frühen Verarbeitungsstufe mit erheblichen Schwierigkeiten für die Versuchspersonen verbunden wären, so wäre eher zu erwarten gewesen, dass sie sich mit fortschreitender Anzahl an Durchgängen mehr Vorbereitungszeit nehmen würden. Ergänzend zu den Annahmen der Interferenzmodelle bietet die Interpretation von Avraamides et al. (2013), die die Aufrechterhaltung der vorgestellten Perspektive bis zur Darbietung des Zielobjekts aufgrund sensomotorischer Interferenzeffekte als grundlegende Problematik ansehen, einen überzeugenden Erklärungsansatz, der später ausführlicher diskutiert werden soll.

8 Gesamtdiskussion

Die Experimente der vorliegenden Versuchsreihe zielten auf eine Untersuchung der kognitiven Prozesse ab, die gedächtnisbasierten vorgestellten Perspektivenwechseln in der unmittelbaren Umgebung zugrunde liegen und die sich in zusätzlichen Verarbeitungskosten widerspiegeln. Darüber hinaus sollten die verschiedenen Modellannahmen der beiden vorherrschenden Erklärungsansätze hinsichtlich der Schwierigkeit räumlicher Perspektivenwechsel überprüft werden. Die Konzeption des Versuchslayouts und die Auswahl der Objektgruppen ermöglichte eine unabhängige Variation der verschiedenen räumlichen Konflikte und damit eine Entflechtung der getrennten Beiträge der Ausrichtungs- (HDD) und Objektrichtungsdisparität (ODD) auf die Anzeigezeiten und Anzeigefehler. Die wichtigsten Ergebnisse aus den vier

Experimenten waren: (1) getrennte nachteilige Effekte der HDD und ODD mit einem durchgängigen Muster monoton ansteigender Anzeigezeiten und Anzeigefehler; (2) eine allozentrische Objekttrichtungsdisparität als weitere mögliche Quelle zusätzlicher Verarbeitungskosten; (3) eine Verringerung der absoluten Anzeigezeiten und Anzeigefehler durch die Möglichkeit der Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive; (4) keine Veränderung im Ergebnismuster der HDD und ODD durch vordefinierte, variierende Vorbereitungsintervalle oder durch ein selbstbestimmtes Vorbereitungsintervall; (5) modulierende Effekte der Art des Lernverfahrens auf das Ergebnismuster. Nachfolgend sollen die einzelnen Befunde in ihrer Gesamtheit ausführlich dargestellt, zu Ergebnissen vorheriger Studien in Bezug gesetzt und hinsichtlich der Vorhersagen und Annahmen der beiden Erklärungsmodelle eingeordnet werden.

8.1 Ausrichtungsdisparität (HDD)

Der experimentelle Faktor der Ausrichtungsdisparität (HDD), der den allozentrischen Winkelunterschied in der Ausrichtung zwischen der vorgestellten und der körperlich eingenommenen Perspektive in der gegenwärtigen Testsituation definiert, ergab in allen vier Experimenten einen signifikanten Haupteffekt mit gleichbleibenden Ergebnismustern bei den Anzeigezeiten und Anzeigefehlern. Für die Anzeigezeiten zeigte sich mit zunehmendem Betrag der HDD ($0-180^\circ$) ein linearer Anstieg, für die Anzeigefehler fand sich ein quadratischer Trend mit höheren Anzeigefehlern für die beiden mittleren HDD-Beträge (60° und 120°). Die Ergebnisse stimmen mit den Befunden vorheriger Untersuchungen überein, in denen mit einer Zunahme des Rotationsbetrags ein Anstieg der zusätzlichen Verarbeitungskosten festgestellt werden konnte, der umso größer ausfiel, je weiter die Ausrichtung der vorgestellten Perspektive von der körperlich definierten Perspektive abwich (Easton & Sholl, 1995; Farrell & Robertson, 1998; Hintzman et al., 1981; Kelly et al., 2007; May, 2004; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989; Wang, 2004a). Unterschiede zwischen den Anzeigezeiten und Anzeigefehlern (lineare Trends für die Anzeigezeiten und quadratische Trends für die Anzeigefehler) sind ebenfalls aus vorangegangenen Experimenten bekannt (Hinton, 1981; Rieser, 1989; Wang, 2004a, 2005) und treten insbesondere dann auf, wenn die Versuchspersonen ein sehr präzises Wissen über die Lokationen der Objekte haben, die sich zumeist in einer klar strukturierten räumlichen Anordnung befinden und durch einen stabilen intrinsischen oder extrinsischen Referenzrahmen organisiert sind (Symmetrie der Versuchsanordnung, rechtwinklige

Relation zur Raumstruktur). Häufig ist der Wissensabruf nicht nur erleichtert, wenn die vorgestellte Perspektive mit der bevorzugten Richtung übereinstimmt, die während des Lernens durch den Referenzrahmen bestimmt wird, sondern auch, wenn sie mit Richtungen aligniert ist, die rechtwinklig zu ihr angeordnet sind. Daher findet sich für Disparitäten von 0° , 90° und 180° oftmals ein „Sägezahn“-Muster der Anzeigezeiten und Anzeigefehler. Nach Mou und McNamara (2002) kann eine Versuchsanordnung durchaus aus allen 4 Richtungen des umweltbezogenen Referenzrahmens repräsentiert werden. In den Experimenten der vorliegenden Versuchsreihe ist anzunehmen, dass die quadratischen Trends bei den Anzeigefehlern darauf zurückgehen, dass die Versuchspersonen lediglich in den HDD 0° - und 180° -Bedingungen von ihrem stabileren Wissen profitieren konnten, während sie bei den schiefwinkligen Disparitäten von HDD 60° und 120° dadurch keinen Vorteil hatten oder nur in einem geringen Ausmaß einen Nutzen daraus ziehen konnten. In Übereinstimmung mit diesen Annahmen zeigte sich im dritten Experiment, in dem infolge des Lernverfahrens ein genaueres räumliches Wissen der Umgebung bei den Versuchspersonen zu erwarten war, ein besonders deutlich ausgeprägter quadratischer Trend.

Auch wenn der Effekt der Ausrichtungsdisparität (HDD) bereits in vielfältigen Studien ausgiebig untersucht wurde und neben dem Effekt der Lernrichtungsdisparität (Mou & McNamara, 2002; Mou, McNamara et al., 2004; Shelton & McNamara, 1997) der wohl am ausgiebigsten untersuchte Faktor zusätzlicher Verarbeitungskosten bei gedächtnisbasierten vorgestellten Perspektivenwechseln ist, so gab es, abgesehen von den Experimenten von May (2004), die allerdings indirekte Tests der getrennten Beiträge der Ausrichtungs- (HDD) und Objekttrichtungsdisparität (ODD) darstellen, bislang keine Versuche, in denen die HDD unabhängig von der ODD untersucht wurde. Die vorliegende Versuchsreihe konnte somit in insgesamt vier Experimenten erstmals systematische nachteilige Effekte der HDD nachweisen, wenn die ODD kontrolliert war und keine Konfundierung der beiden Effekte gegeben war. Darüber hinaus konnte in den Experimenten 2 und 3 ein signifikanter interexperimenteller Unterschied des HDD-Effekts in Abhängigkeit von der Lernbedingung aufgezeigt werden, der an späterer Stelle genauer beleuchtet und diskutiert werden soll.

Hinsichtlich des Haupteffekts der HDD stimmte die Vorhersage der Transformationsmodelle (Easton & Sholl, 1995; Huttenlocher & Presson, 1973; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989; Shelton & McNamara, 1997; Sholl, 2001) mit der Vorhersage der Interferenzmodelle (Avraamides & Kelly, 2008; May, 2004, 2007; Wang,

2005) überein. Beide Erklärungsmodelle erwarteten einen monotonen oder linearen Anstieg der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmendem Disparitätsbetrag der HDD, der in den Ergebnissen der vier Experimente bestätigt werden konnte. Allerdings liegen den jeweiligen Vorhersagen unterschiedliche Annahmen zugrunde. Transformationsmodelle führen die zusätzlichen Verarbeitungskosten der HDD auf einen imaginierten Selbstrotationsprozess zurück, der umso kostenintensiver angenommen wird, je größer der Ausrichtungsunterschied zwischen der vorgestellten und der körperdefinierten Perspektive ist. Interferenzmodelle sehen die spezifischen Verarbeitungskosten der HDD hingegen in einem räumlichen Antwortkonflikt interferierender Raumcodes der körperlichen und vorgestellten Perspektive begründet. Mit zunehmender Abweichung der Ausrichtung zwischen den beiden Perspektiven wird eine Erschwernis der Bestimmung des Anzeigevektors aus der vorgestellten Perspektive vermutet, der sich in einer Zunahme der kognitiven Kosten widerspiegelt. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal beider Annahmen stellt somit der Zeitpunkt dar, an dem die Prozesse ablaufen können und das Auftreten der entsprechenden Kosten zu erwarten wäre. Prozesse einer mentalen Rotation des Selbst und die damit verbundenen Transformationskosten wären bereits auf einer frühen Verarbeitungsstufe nach Darbietung der Perspektivinformation zu erwarten, wohingegen die Überwindung des Antwortkonflikts und die damit einhergehenden Interferenzkosten erst auf einer späten Verarbeitungsstufe nach Bekanntgabe des Zielobjekts anzunehmen wären. Diese gegensätzlichen Modellvorstellungen zu den Ursachen des HDD-Effekts sowie die entsprechenden Ergebnisse der Experimente werden nachfolgend diskutiert.

8.2 Egozentrische Objektrichtungsdisparität (ODD_{ego})

Der experimentelle Faktor der egozentrischen Objektrichtungsdisparität (ODD_{ego}), der den auf die handelnde Person bezogenen Winkelunterschied in der Zielobjektrichtung zwischen der vorgestellten und der körperdefinierten Perspektive in der gegenwärtigen Testsituation definiert, führte, mit Ausnahme bei den Anzeige Fehlern in Experiment 1, in allen vier Experimenten zu einem signifikanten Haupteffekt auf die Anzeigezeiten und Anzeigefehler. Insgesamt zeigte sich über alle Experimente ein konsistentes Ergebnismuster mit linearen Anstiegen der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmenden Beträgen der ODD_{ego} (0-180°). Bei den Anzeigezeiten fand sich hinsichtlich des Anstiegs der Zeiten ein sehr homogenes Gesamtbild (Experiment 1: 310 ms,

Experiment 2: 270 ms, Experiment 3: 330 ms und Experiment 4: 260 ms), während bei den Anzeigefehlern das Gesamtbild bezüglich des Anstiegs etwas heterogener ausfiel (Experiment 1: $1,9^\circ$, Experiment 2: $7,5^\circ$, Experiment 3: $3,6^\circ$ und Experiment 4: $5,8^\circ$). Die Ergebnisse verdeutlichen, dass den Versuchspersonen das Anzeigen der zuvor gelernten Objektlokationen nach vorgestellten Perspektivenwechseln umso schwerer fiel, je größer der egozentrisch definierte Winkelunterschied zwischen dem tatsächlichen und dem vorgestellten Zielvektor war.

Ein Vergleich der vorliegenden Ergebnisse ist lediglich mit der Studie von May (2004) möglich, der in drei Experimenten anhand des Vergleichs von vorgestellten Translationen ohne Veränderungen der Ausrichtung und Rotationen ohne Veränderungen der Position nachteilige Effekte der ODD_{ego} aufzeigen konnte, die in Übereinstimmung mit den Ergebnissen dieser Versuchsreihe lineare Anstiege der Anzeigezeiten und Anzeigefehler über den gesamten Disparitätsbereich ($0-180^\circ$) aufwies. Die vorliegenden Experimente stellen erstmals eine direkte Testung der getrennten Effekte der HDD und ODD_{ego} dar und liefern einen Beleg dafür, dass ODD_{ego} einen getrennten Beitrag an den Verarbeitungskosten in gedächtnisbasierten vorgestellten Perspektivenwechseln ausmacht. Die beiden Disparitätseffekte (ODD_{ego} und HDD) resultieren aus unterschiedlichen geometrischen Konflikten. Während sich der ODD_{ego} -Konflikt auf egozentrische Abweichungen in der Antwortrichtung bezieht, kennzeichnet der HDD-Konflikt eine Ausrichtungsabweichung der perspektivenspezifischen Repräsentationen der Umgebung. Die Ergebnisse der vier Experimente, die ein durchgängiges Muster signifikanter nachteiliger Effekte der ODD_{ego} aufzeigen, unterstreichen, dass neben Transformationen der räumlichen Perspektive weitere Prozesse bei Objektlokalierungen nach vorgestellten Perspektivenwechseln involviert sind und einen wichtigen Anteil der Verarbeitungskosten ausmachen. In den vorliegenden Experimenten zeigten sich bei den Anzeigezeiten Effektstärken (η_p^2) im Bereich von .34 bis .41 für HDD und .13 bis .25 für ODD_{ego} . Bei den Anzeigefehlern lagen die Effektstärken im Bereich von .09 bis .55 für HDD und .06 bis .29 für ODD_{ego} .

Transformationsannahmen berücksichtigen keine egozentrischen Objektrichtungskonflikte, daher konnten auch keine Vorhersagen zu einer ODD_{ego} getroffen werden. Interferenzannahmen erwarteten hingegen einen monotonen oder linearen Anstieg der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmendem Disparitätsbetrag der ODD_{ego} , der in den Ergebnissen aller vier Experimente nachgewiesen werden konnte. Interferenzmodelle führen die spezifischen Verarbeitungskosten der ODD_{ego} auf einen räumlichen

Antwortkonflikt interferierender Objektkodes bei der Bestimmung der Zielrichtung zurück, der durch die Bereitstellung der Zielobjektinformation ausgelöst wird. Da das Auftreten des ODD-Konflikts auf einer späten Verarbeitungsstufe nach Kenntnis über das Zielobjekt angenommen wird, wurden durch die Möglichkeit einer Vorverarbeitung der Perspektive keine erleichternden Effekte auf die zusätzlichen Verarbeitungskosten der ODD_{ego} erwartet. Diese Annahme konnte durch das Fehlen von Wechselwirkungseffekten zwischen ODD_{ego} und einer Vorbereitungszeit (Darbietungsreihenfolge: Vorabinformation der Perspektive und Vorabinformation des Zielobjekts in Experiment 1, SOA in Experiment 2 und 3) bestätigt werden.

8.3 Allozentrische Objektrichtungsdisparität (ODD_{allo})

Durch die unabhängige und systematische Variation der HDD und ODD_{ego} konnten in allen vier Experimenten signifikante Wechselwirkungen zwischen den beiden Faktoren für die Anzeigezeiten und Anzeigefehler beobachtet werden, die auf zusätzliche Verarbeitungskosten einer allozentrischen ODD (ODD_{allo}) hindeuten. In einer nachfolgenden Analyse der 96 Objektgruppen, die sich jeweils aus einem Positions-, Ausrichtungs- und Zielobjekt zusammensetzen, konnte ODD_{allo} als eine weitere mögliche Quelle räumlicher Konflikte herausgestellt werden, die einen getrennten Beitrag an den zusätzlichen Verarbeitungskosten ausmachte. Die allozentrische Objektrichtungsdisparität (ODD_{allo}) bezeichnet den auf das umweltzentrierte Referenzsystem bezogenen Winkelunterschied in der Zielobjektrichtung zwischen der vorgestellten und der körperdefinierten Perspektive in der gegenwärtigen Testsituation. Beide Arten von Objektrichtungsdisparität (ODD_{ego} und ODD_{allo}) stimmen darin überein, dass sie sich auf die Abweichung der Zielobjektrichtung zwischen der vorgestellten und der körperlichen Perspektive beziehen, unterscheiden sich allerdings dadurch, dass der Unterschied des Zielvektors für ODD_{ego} egozentrisch, während der Unterschied des Zielvektors für ODD_{allo} allozentrisch definiert ist. Die unterschiedlichen Ergebnismuster der beiden räumlichen Konflikte deuten darauf hin, dass der durch die allozentrische ODD hervorgerufene Konflikt von einer anderen Beschaffenheit ist als der durch die egozentrische ODD ausgelöste Konflikt. Während für ODD_{ego} durchgängig lineare Trends mit Anstiegen der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmenden Disparitätsbeträgen gefunden wurden, konnten für ODD_{allo} in allen vier Experimenten quadratische Trends mit höheren Anzeigezeiten und Anzeigefehlern für die beiden mittleren Disparitätsbeträge

nachgewiesen werden. Die Versuchspersonen hatten beim Anzeigen der Objektlokationen geringere Schwierigkeiten, wenn die konfligierenden Zielobjektvektoren, die aus den allozentrisch definierten, imaginierten und körperlichen Perspektiven resultierten, annähernd auf einer Linie waren und dabei in die gleiche ($ODD_{\text{allo}} 19,5^\circ$) oder entgegengesetzte Richtung zeigten ($ODD_{\text{allo}} 148,1^\circ$) als wenn die Zielobjektvektoren Winkelbeträge im Bereich von 90° aufwiesen ($ODD_{\text{allo}} 53,6^\circ$ und $104,3^\circ$). Alle vier η^2 -Werte für ODD_{allo} lagen für die Anzeigezeiten im Bereich von .07 bis .10 und für die Anzeigefehler im Bereich von .16 bis .35; folglich wiesen sie eine ähnliche Effektstärke wie die η^2 -Werte für ODD_{ego} auf (.13 bis .25 für die Anzeigezeiten und .06 bis .29 für die Anzeigefehler). Das Gesamtbild der Effektstärken deutet an, dass die beiden ODD-Konflikte zusammengenommen einen ähnlich starken nachteiligen Einfluss auf die Anzeigeleistung hatten wie der HDD-Konflikt.

Die Ergebnisse verdeutlichen damit zum einen die getrennten Effekte der HDD und ODD_{ego} , zum anderen die interaktiven Effekte zwischen den beiden Faktoren, die für verschiedene, sich überlagernde Konflikte sprechen, die störende Einflüsse auf die Objektlokalisierung nach räumlichen Perspektivenwechseln haben. Die Wechselwirkungseffekte und der daraus gefolgerte Konflikt der allozentrischen Objektrichtungsdisparität wurden von keinem der beiden Erklärungsmodelle vorhergesagt. Bei den Transformationsmodellen finden sich keine theoretischen Überlegungen zu zusätzlichen Verarbeitungskosten durch Unterschiede in der Zielobjektrichtung, daher lässt sich der Effekt der ODD_{allo} , wie auch bereits der Effekt der ODD_{ego} , mit Transformationsmodellen nicht erklären. In den Interferenzmodellen findet eine allozentrische Objektrichtungsdisparität auch keine explizite Berücksichtigung, allerdings lässt sich ein weiterer Interferenzkonflikt vor dem Hintergrund der grundlegenden Annahmen der Interferenzmodelle gut integrieren. Ein interferenztheoretisches Modell, das die spezifischen Verarbeitungskosten auf mehrere, sich überlagernde, parallel ablaufende, allozentrische und egozentrische Antwortkonflikte zurückführt, bietet eine gute Erklärung für die in den Experimenten gefundenen Effekte.

Angesichts der Ergebnisse der vier Experimente konnte eine Gewichtung der verschiedenen räumlichen Konflikte (HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo}) vorgenommen werden, die trotz mancher Abweichungen in den Effektstärken in der Gesamtheit der nachteiligen Effekte ein übereinstimmendes und beständiges Ergebnisbild aufzeigten. Bei den Anzeigezeiten betrug die Summe der Effektstärken der drei räumlichen Konflikte .57 (HDD: .34, ODD_{ego} : .13, ODD_{allo} : .10) in Experiment 1, .68 (HDD: .38, ODD_{ego} : .21,

ODD_{allo}: .09) in Experiment 2, .69 (HDD: .37, ODD_{ego}: .25, ODD_{allo}: .07) in Experiment 3 und .72 (HDD: .41, ODD_{ego}: .24, ODD_{allo}: .07) in Experiment 4. Bei den Anzeigefehlern ergab die Summe .54 (HDD: .31, ODD_{ego}: .06, ODD_{allo}: .17) in Experiment 1, .85 (HDD: .21, ODD_{ego}: .29, ODD_{allo}: .35) in Experiment 2, .85 (HDD: .55, ODD_{ego}: .14, ODD_{allo}: .16) in Experiment 3 und .61 (HDD: .09, ODD_{ego}: .26, ODD_{allo}: .26) in Experiment 4.

8.4 Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive

Neben der Entflechtung der getrennten Beiträge der räumlichen Konflikte war die Untersuchung des Einflusses einer Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive ein weiterer Schwerpunkt der vorliegenden Versuchsreihe, der insbesondere eine Kontrastierung und Überprüfung der unterschiedlichen Vorhersagen der Transformations- und Interferenzannahmen ermöglichen und zudem einen genaueren Einblick in das zeitliche Auftreten der Verarbeitungsprozesse verschaffen sollte. Wichtige Fragestellungen waren, ob die Versuchspersonen auf der Grundlage der Information über die Perspektive vor der Bekanntgabe des Zielobjekts die vorzustellende Perspektive einnehmen können, ob die Vorverarbeitung der Perspektive den Versuchspersonen eine Verringerung der absoluten Anzeigeweiten und Anzeigefehler ermöglicht und ob die Versuchspersonen die Vorbereitungszeit nutzen können, um die HDD-spezifischen Verarbeitungskosten zu verringern. Im ersten Experiment wurde die Darbietungsreihenfolge der aufgabenrelevanten Information (Perspektive, Zielobjekt) variiert, so dass die Hälfte der Versuchspersonen die Information über das Zielobjekt vor der Perspektivinformation (Position und Ausrichtung) erhielt, während der anderen Hälfte der Versuchspersonen zuerst die Perspektivinformation bereitgestellt wurde, bevor die Information über das Zielobjekt folgte. Die zweite Bedingung machte theoretisch eine vorzeitige Verarbeitung der vorzustellenden Perspektive möglich. In den weiteren Experimenten erfolgte die Darbietung der einzelnen Informationen grundsätzlich in der Abfolge Position, Ausrichtung und Zielobjekt. Die Experimente 2 und 3 führten vordefinierte, variierende Zeitintervalle zwischen der Perspektiv- und Zielobjektinformation ein (SOA), in Experiment 4 wurde eine selbstbestimmte Vorbereitungszeit realisiert, so dass sichergestellt war, dass die Versuchspersonen ausreichend Zeit zur Einnahme der Perspektive zur Verfügung hatten.

Die Ergebnisse der Experimente belegen, dass die Versuchspersonen die Vorabinformation über die vorzustellende Perspektive nutzen konnten, um die

Schnelligkeit und Genauigkeit der Anzeigebeurteilungen zu verbessern. In Experiment 1 zeigte sich eine Verringerung der Anzeigezeiten um etwa 1000 ms zwischen der Bedingung Vorabinformation der Perspektive und der Bedingung Vorabinformation des Zielobjekts. In Experiment 2 konnten die Versuchspersonen in den beiden längeren SOA-Intervallen die Zielobjekte rund 530 ms schneller und $1,9^\circ$ genauer anzeigen. In Experiment 3 betrug die Zeiteinsparung rund 650 ms und die Verbesserung der Genauigkeit rund $1,6^\circ$ für die SOA-Bedingungen von 3 und 5 s. Die Ergebnisse bestätigen die Untersuchungsbefunde vorheriger Studien (Avraamides et al., 2013; May, 2004, Experimente 2 und 3; Sohn & Carlson, 2003), in denen ebenfalls eine Verringerung der absoluten Anzeigezeiten und/oder Anzeigefehler nachgewiesen werden konnte.

Die Vorhersage beider Erklärungsmodelle deckte sich dahingehend, dass durch die Bereitstellung einer Vorbereitungszeit eine Verringerung der absoluten Anzeigezeiten und Anzeigefehler erwartet wurde. Diese Hypothese konnte anhand der Experimente belegt werden. Allerdings zeigte sich auch, dass lediglich eine Vorbereitungszeit von 3 Sekunden einen Vorteil ausmachte und eine Verlängerung des Vorbereitungsintervalls von 3 auf 5 Sekunden keinen signifikanten zusätzlichen Nutzen bedeutete (Experimente 2 und 3). Vor dem Hintergrund der Annahmen der Transformationsmodelle, die den Schwerpunkt der Schwierigkeiten und damit verbundenen Kosten auf kognitive Transformationsprozesse auf einer frühen Verarbeitungsstufe zurückführen, wäre zu erwarten gewesen, dass ein Vorbereitungsintervall von 5 Sekunden eine weitere Verringerung der absoluten Anzeigezeiten und Anzeigefehler zur Folge haben würde. Die Ergebnisse wiesen jedoch nur einen früh wirksamen Effekt der SOA auf, der darauf hindeutet, dass innerhalb einer Vorbereitungszeit von 3 Sekunden sämtliche Prozesse, die frühzeitig vor der Darbietung des Zielobjekts berechnet werden können, erschöpfend absolviert wurden. Zusätzlich konnte Experiment 4 aufzeigen, dass auch bei einer selbstbestimmten Vorbereitungszeit die Vorbereitungslatenz bei durchschnittlich 3 Sekunden lag und mit zunehmender Übung sogar die Vorbereitungszeit verkürzt und gleichzeitig die Anzeigezeiten und Anzeigefehler verringert werden konnten. Die Resultate stimmen gut mit den Interferenzannahmen überein, die die grundlegenden Schwierigkeiten in Antwortkonflikten auf einer späten Verarbeitungsstufe begründet sehen und daher einen in der Dauer und Wirkung begrenzten Einfluss einer Vorbereitungszeit vermuten lassen.

Wenngleich die Versuchspersonen die Vorabinformation über die vorzustellende Perspektive grundsätzlich nutzen und die absoluten Anzeigezeiten und Anzeigefehler signifikant verringern konnten, so ermöglichte ihnen die Kenntnis über die vorzustellende

Perspektive während der Vorbereitungszeit jedoch keine Verringerung der spezifischen nachteiligen Kosten der HDD. Keine der Wechselwirkungen zwischen der HDD und der Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive (HDD und Darbietungsreihenfolge: Vorabinformation der Perspektive in Experiment 1, HDD und SOA in den Experimenten 2 und 3) ergab einen signifikanten Effekt. Auch wenn die Versuchspersonen die Dauer der Vorbereitungszeit selbst bestimmten und mit dem Drücken einer Joysticktaste signalisierten, dass sie die vorzustellende Perspektive in der Vorstellung eingenommen hatten, was sich im Ergebnismuster der HDD auf die Vorbereitungslatenz widerspiegelt, waren sie nicht dazu in der Lage, den linearen Anstieg der Anzeigezeiten und Anzeigefehler über den gesamten Disparitätsbereich der HDD (0-180°) zu verringern (Experiment 4). Das Gesamtbild der Ergebnisse stimmt mit den Untersuchungsergebnissen anderer Studien überein (Avraamides et al., 2013, Experiment 3; May, 2004, Experimente 2 und 3; Sohn & Carlson, 2003; Wang, 2005, Experimente 1 und 2).

Transformationsmodelle erwarteten durch die Möglichkeit der Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive eine Verringerung der linearen Steigungen der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmendem Disparitätsbetrag der HDD, für die es in den vorliegenden Experimenten keine Anzeichen gab. Die fehlenden Wechselwirkungen stehen damit im Widerspruch zu den Annahmen der Transformationsmodelle, die mentalen Rotationsprozessen bei gedächtnisbasierten vorgestellten Perspektivenwechseln eine zentrale Bedeutung beimessen (Easton & Sholl, 1995; Kessler & Thomson, 2010; Rieser, 1989; Shelton & McNamara, 1997). Wenn der Prozess der imaginierten Selbstrotation den entscheidenden Verarbeitungsmechanismus darstellen würde, dann hätte mit der Kenntnis über die zu imaginierende Perspektive eine frühzeitige Einnahme der vorzustellenden Perspektive und durch einen kontinuierlichen Imaginationsprozess eine Alignierung der körperlichen Perspektive mit der vorgestellten Perspektive erfolgen können, wodurch mit zunehmender Dauer des Zeitintervalls ein Abflachen (Experimente 2 und 3) oder vollständiges Verschwinden (Experiment 4) der linearen Steigungen der Anzeigezeiten und Anzeigefehler hätte auftreten müssen. Im Gegensatz dazu gab es in keinem der vorliegenden Experimente einen Anhaltspunkt dafür, dass trotz eines beträchtlichen Ausmaßes an Verarbeitungsprozessen während der Vorbereitungszeit (bspw. zum Abruf von Gedächtnisinhalten, zur Identifikation und Lokalisierung der Position sowie zur Berechnung der vorzustellenden Perspektive), die sich in Einsparungen der absoluten Anzeigezeiten und Anzeigefehler widerspiegeln, die HDD-spezifischen Kosten verringert werden konnten.

Die nicht vorhandenen Wechselwirkungen zwischen der Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive und der HDD stimmen mit den Vorhersagen der Interferenzmodelle überein, die durch die Möglichkeit der Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive keine Verringerung der linearen Steigungen der Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmendem Disparitätsbetrag der HDD erwarteten. Entsprechend der Annahmen der Interferenzmodelle (Avraamides & Kelly, 2008; May, 2004, 2007; Riecke & McNamara, 2017; Wang, 2005) beruhen die zusätzlichen kognitiven Verarbeitungsprozesse auf räumlichen Antwortkonflikten, die während der Identifizierung des Zielobjekts nach Beendigung der bereitgestellten Vorbereitungszeit ausgelöst werden und dementsprechend unabhängig von der Ausgestaltung der Vorbereitungszeit in den vorliegenden Experimenten (Vorbereitungsintervalle oder selbstbestimmte Vorbereitungszeit) durch eine Vorverarbeitung der Perspektivinformation nicht umgangen werden können. Die Schwierigkeit wird auf Interferenzeffekte während der Auswahl der motorischen Anzeigebewegung aus der vorgestellten Perspektive zurückgeführt, die im Falle von Ausrichtungsabweichungen zwischen der körperlichen und vorgestellten Perspektive aufgrund inkompatibler Ausrichtungssignale der Referenzsysteme die Bestimmung der allozentrischen Anzeigerichtung aus der vorgestellten Perspektive beeinträchtigen. Studien, die unterschiedliche Antwortmethoden verwendeten und größere Schwierigkeiten belegen konnten, wenn die Lokalisierung der Zielobjekte durch Anzeigebewegungen anstelle von verbalen Beschreibungen erfolgte (Avraamides et al., 2007; De Vega & Rodrigo, 2001; Wang, 2004a; Wraga, 2003), stützten die Annahme der Interferenzmodelle, dass die grundlegende Schwierigkeit gedächtnisbasierter vorgestellter Perspektivenwechsel der unmittelbaren Umgebung aus räumlichen Antwortkonflikten resultiert, die während der Handlungsausführung auf einer späten Verarbeitungsstufe auftreten.

Darüber hinaus konnten in Experiment 4 frühe Verarbeitungskosten der HDD auf die Vorbereitungslatenz nachgewiesen werden, die deutlich machen, dass die Versuchspersonen die Zeit vor der Darbietung des Zielobjekts zur Einnahme der vorzustellenden Perspektive und zur Berechnung von Ausrichtungsunterschieden zwischen der körperlichen und vorgestellten Perspektive nutzten, die aber auch aufzeigen, dass die zusätzlichen Verarbeitungskosten der HDD auf der späten Verarbeitungsstufe durch die frühen Verarbeitungsprozesse der HDD nicht vorweggenommen werden konnten und die HDD-Kosten auf der späten Verarbeitungsstufe dennoch voll zum Tragen kamen. Sollten kognitive Transformationsprozesse der räumlichen Perspektive eine wesentliche

Bedeutung bei der Überwindung der HDD haben, dann wäre wenigstens eine gewisse Verringerung der Anzeigezeiten und Anzeigefehler für höhere Disparitätsbeträge der HDD zu erwarten gewesen. Die Tatsache, dass trotz Vorverarbeitung der Ausrichtungsunterschiede zwischen der vorgestellten und der körperlich definierten Perspektive die HDD-spezifischen Kosten nicht verringert werden konnten, deutet eher darauf hin, dass die Versuchspersonen ohne Kenntnis über das Zielobjekt die vorzustellende Perspektive nicht im Gedächtnis behalten konnten und somit nach Darbietung des Zielobjekts und mit dem Wissen über die Perspektive und das Zielobjekt die Positions-, Ausrichtungs- und Zielobjektinformation erneut verarbeiten mussten.

Avraamides, Hatzipanayioti und Galati (2015) führen die hauptsächliche Schwierigkeit gedächtnisbasierter vorgestellter Perspektivenwechsel auf die Aufrechterhaltung der vorgestellten Perspektive im Arbeitsgedächtnis zurück, die insbesondere beim Vorliegen sensomotorischer Information erschwert wird. Sie gehen davon aus, dass die räumlichen Konflikte mit den kognitiven Prozessen, die zur Aufrechterhaltung der vorgestellten Perspektive benötigt werden, interferieren und dadurch die Antwortberechnung beeinflussen. Wenn es zum Auftreten räumlicher Konflikte kommt, können nach Avraamides et al. (2015) die frühzeitigen Berechnungsleistungen der Transformationsprozesse nicht aktiv im Gedächtnis aufrechterhalten werden. Auf der Grundlage der drei Experimente, in denen der Einfluss der Vorverarbeitung der Perspektivinformation auf die Anzeigeleistung untersucht wurde und Testsituationen der unmittelbaren Umgebung mit Testsituationen in einer abgelegenen Umgebung verglichen wurden, konnten Avraamides et al. (2013) zeigen, dass die räumlichen Konflikte, trotz einer langen Vorbereitungszeit, stärker ausgeprägt und schwieriger zu unterdrücken waren, wenn die Versuchspersonen körperlich in die räumliche Testumgebung eingebettet und folglich die Selbst-zu-Objekt-Relationen in einer kurzlebigen räumlichen Repräsentation organisiert waren (Avraamides & Kelly, 2008). Die Verringerung der absoluten Anzeigezeiten in der Bedingung der Vorabinformation der Perspektive bei gleichzeitigem Fortbestehen der Disparitätseffekte bei Testdurchführung in der unmittelbaren Umgebung (Avraamides et al., 2013, Experiment 3) deuten sie dahingehend, dass die Aufrechterhaltung der vorgestellten Perspektive ohne visuelle Unterstützung die grundlegende Problematik darstellt. Auch wenn die Versuchspersonen die vorgestellte Perspektive bis zur Darbietung des Zielobjekts nicht aufrechterhalten konnten, so ermöglichte ihnen die Einnahme der Perspektive in der Vorbereitungszeit eine schnellere Wiedereinnahme der Perspektive nach der Bekanntgabe des Zielobjekts, was nach Avraamides et al. (2015) die Verringerung der absoluten

Anzeigezeiten in der Bedingung der Vorabinformation der Perspektive erklärt. Die Verringerung von Disparitätseffekten für rechtwinklige Perspektiven bei Testdurchführung in einer abgelegenen Umgebung (Avraamides et al., 2013, Experimente 1 und 2) führen sie auf das Vorliegen verminderter sensomotorischer Information über die gegenwärtige körperliche Perspektive zurück, wodurch den Versuchspersonen die Aufrechterhaltung der vorgestellten Perspektive bis zur Darbietung des Zielobjekts leichter gefallen sei.

Auch die Ergebnisse der beiden Experimente von May (2007), in denen Einzeltests mit Blocktests verglichen wurden, die sowohl in der unmittelbaren Umgebung als auch in einer abgelegenen Umgebung durchgeführt wurden, stimmen mit den Annahmen von Avraamides et al. (2015) gut überein. Die Methode der Blocktestung ist hinsichtlich des Wirkungseffekts mit der Verwendung einer Vorbereitungszeit zwischen der Darbietung der Perspektiv- und Zielobjektinformation vergleichbar. Beide Verfahren ermöglichen den Versuchspersonen eine Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive. Im Falle der Blocktestung bleibt die vorgestellte Perspektive für den gesamten Satz der Zielobjekte dieselbe und muss im Unterschied zur Einzeltestung nicht in jedem Durchgang neu verarbeitet werden. Wie in der Studie von Avraamides et al. (2013) fanden sich in der Untersuchung von May (2007) Einsparungen der absoluten Anzeigezeiten und Anzeigefehler sowie nachteilige Effekte auf die Anzeigezeiten und Anzeigefehler mit zunehmenden Beträgen der HDD, wenn die Testdurchführung in dem Raum erfolgte, in dem zuvor die Objektlokationen gelernt wurden. Das Ausbleiben einer signifikanten Verringerung der HDD-spezifischen Kosten in der Blocktest-Bedingung deutet darauf hin, dass die Versuchspersonen auch beim Anzeigen mehrerer aufeinanderfolgender Zielobjekte aus der gleichen vorgestellten Perspektive grundlegend Schwierigkeiten hatten, die imaginierte Perspektive aufrechtzuerhalten, so dass mit der Bekanntgabe jedes neuen Zielobjekts die Perspektive erneut verarbeitet werden musste. Die Verringerung der absoluten Anzeigezeit spricht allerdings auch dafür, dass die Versuchspersonen von dem Wissen über die vorzustellende Perspektive beim Anzeigen der nachfolgenden Zielobjekte profitieren konnten, indem sie entsprechend der Theorie von Avraamides et al. (2013) nach der jeweiligen Darbietung des Zielobjekts die vorzustellende Perspektive schneller wieder einnehmen und dadurch Transformationskosten einsparen konnten.

Die fehlenden Effekte einer Vorbereitungszeit auf die spezifischen zusätzlichen Verarbeitungskosten der HDD lassen sich mit den Annahmen der Transformationsmodelle (Easton & Sholl, 1995; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989; Shelton & McNamara, 1997; Sholl, 2001) nicht hinreichend erklären, vielmehr stehen sie im Widerspruch zu

deren Annahmen und lassen Transformationsprozesse als wesentliche Schwierigkeit gedächtnisbasierter räumlicher Perspektivenwechsel unwahrscheinlich erscheinen. Interferenzmodelle (Avraamides & Kelly, 2008; May, 2004, 2007; Wang, 2005) bieten hingegen eine gute Erklärung für die gefundenen Effekte, die sie auf kontinuierliche sensomotorische Störeinflüsse zurückführen, die aus der automatischen Aktivierung der Selbst-zu-Objekt-Relationen der egozentrischen Repräsentation resultieren, eine Aufrechterhaltung der vorgestellten Perspektive vor der Darbietung des Zielobjekts verhindern und in Form von Interferenzkonflikten nach der Bekanntgabe des Zielobjekts auf der Handlungsebene zum Tragen kommen.

8.5 Single- vs. multi-perspektivisches Lernen

Die Veränderung der Lernbedingung von mehreren zufällig ausgewählten Perspektiven (Experiment 2) zu einer einzelnen festgelegten Perspektive, die mit der während der Testdurchführung eingenommenen Perspektive identisch war (Experiment 3), sollte Aufschluss darüber geben, wie verschiedene Lernverfahren und die Qualität des daraus resultierenden Raumwissens gedächtnisbasierte räumliche Perspektivenwechsel beeinflussen. Der Vergleich der beiden am häufigsten eingesetzten Lernverfahren in Untersuchungen zu mentalen Perspektivenwechseln zielte auf weiterführende Erkenntnisse hinsichtlich möglicher Einflüsse des Lernens auf die verschiedenen Arten der räumlichen Konflikte ab und sollte zudem einen Eindruck darüber verschaffen, ob sich die experimentellen Ergebnisse auf beide Lernbedingungen verallgemeinern lassen.

Der interexperimentelle Vergleich ergab für beide Lernformen (single- vs. multi-perspektivisches Lernen) ein vergleichbares Ergebnismuster der verschiedenen Arten von räumlichen Konflikten (HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo}) mit einer Umkehrung der absoluten Anzeigezeiten und Anzeigefehler zwischen den beiden Experimenten. Wenn die Versuchspersonen aus einer einzelnen Perspektive gelernt hatten (Experiment 3), benötigten sie etwa eine halbe Sekunde mehr Zeit und machten um 8,5° geringere Anzeigefehler im Vergleich zu Versuchspersonen, die aus mehreren Perspektiven gelernt hatten (Experiment 2). Die Umkehrung der Anzeigezeiten und Anzeigefehler zeigte sich durchgängig für alle drei Arten der räumlichen Konflikte (Abbildung 21 für die Anzeigezeiten und Abbildung 22 für die Anzeigefehler). Darüber hinaus führten die Unterschiede zwischen den Lernverfahren zu Unterschieden bei den Anzeigezeiten und Anzeigefehlern für HDD (mit besonders ausgeprägten Anstiegen der Anzeigezeiten für die

beiden mittleren HDD-Bedingungen von 60° und 120° in der Bedingung des singleperspektivischen Lernens).

Experimente aus anderen Studien, in denen die Auswirkungen von single- und multi-perspektivischen Lernbedingungen auf gedächtnisbasierte vorgestellte Perspektivenwechsel direkt miteinander verglichen wurden, sind keine bekannt. In vorherigen Studien erfolgte das Lernen entweder von einem einzelnen Standpunkt aus, der oftmals außerhalb der Versuchsanordnung lag (Mou & McNamara, 2002; Mou, McNamara et al., 2004), oder von einer Position innerhalb der Versuchsanordnung, die es den Versuchspersonen ermöglichte, sich selbst zu drehen (Avraamides et al., 2013; Kelly et al., 2007; Wang, 2004a, 2005), oder das Lernen wurde aus mehreren, festgelegten (Mou et al., 2007; Shelton & McNamara, 1997) oder zufälligen Lernperspektiven innerhalb oder außerhalb des Versuchslayouts durchgeführt (Avraamides & Kelly, 2010; May, 2007). Das Ergebnis der Umkehrung der Anzeigezeiten und Anzeigefehler aufgrund von Unterschieden in den Lernverfahren stellt einen neuen Befund dar, dessen Ursache sich im Rahmen dieser Arbeit nicht eindeutig klären lässt.

Eine vielversprechende Erklärung beruht auf der Annahme, dass die Qualität und Genauigkeit des räumlichen Wissens über die Versuchsanordnung zu einer Veränderung des Antwortverhaltens der Versuchspersonen geführt haben. Die Versuchspersonen, die die Objektlokationen aus einer einzelnen Perspektive gelernt haben (Experiment 3), könnten sich der spezifischen Merkmale der Versuchsanordnung stärker bewusst geworden sein als die Versuchspersonen, bei denen das Lernen aus mehreren zufälligen Perspektiven erfolgte (Experiment 2), so dass beispielsweise die Gleichmäßigkeit der Versuchsanordnung und die Symmetrie des Layouts stärker zum Tragen kamen und das Antwortverhalten implizit beeinflussten. Ein dadurch bedingtes, ausgeprägteres Gefühl der Sicherheit in Bezug auf das räumlich Wissen, das möglicherweise noch durch die Erkenntnis verstärkt wurde, dass die vorherige Lernperspektive mit der körperlich eingenommenen Perspektive während der Testdurchführung übereinstimmte, könnte auf der einen Seite eine höhere Genauigkeit der Anzeigebeurteilungen begünstigt haben, auf der anderen Seite aber aufgrund einer erhöhten subjektiven Erwartungshaltung hinsichtlich der Genauigkeit des Anzeigens eine Verlangsamung der Anzeigeantworten bewirkt haben. Demgegenüber könnte das weniger präzise räumliche Wissen nach multi-perspektivischem Lernen (Experiment 2) zu schnelleren Anzeigeantworten mit größeren Anzeige Fehlern geführt haben, da das Anspruchsdenken hinsichtlich der Genauigkeit des Anzeigens weniger stark ausgeprägt war.

Bezüglich der verschiedenen Arten der räumlichen Konflikte hatten die Unterschiede in den Lernverfahren lediglich einen Einfluss auf den HDD-Effekt, die beiden ODD-Effekte blieben von den Veränderungen in den Lernbedingungen weitestgehend unberührt. Versuchsteilnehmerinnen und Versuchsteilnehmer, die das Versuchslayout aus mehreren Perspektiven gelernt hatten, zeigten mit zunehmenden Disparitätsbeträgen der HDD das typische Muster monoton ansteigender Anzeigezeiten und Anzeigefehler. Nach singleperspektivischem Lernen fanden sich hingegen für die beiden mittleren HDD-Beträge (60° und 120°) besonders große Steigungen der Anzeigezeiten (Abbildung 21a) und Anzeigefehler (Abbildung 22a). Die Veränderung des Ergebnismusters der HDD infolge unterschiedlicher Lernbedingungen wird auch anhand der Unterschiede in der Signifikanz der Trendmodelle deutlich. Während sich für die Anzeigezeiten ein linearer Trend beim multi-perspektivischen Lernen zeigte, ergaben die Polynomrechnungen beim singleperspektivischen Lernen neben einem linearen auch einen quadratischen Trend. Für die Anzeigefehler kam ein deutlich ausgeprägter quadratischer Trend beim singleperspektivischen Lernen zum Vorschein, wohingegen beim multi-perspektivischen Lernen sowohl ein quadratischer als auch ein linearer Trend signifikant waren. Die Veränderung dieses Ergebnismusters geht vermutlich auf die erhöhten zusätzlichen Kosten für schiefe Winkel (HDD 60° und 120°) sowie die verminderten Kosten für rechtwinklige Achsen (HDD 0° und 180°) beim singleperspektivischen Lernen zurück (May, 1996; Wang, 2004a, 2005, Experiment 1). Das Lernen aus einer einzelnen Perspektive könnte zu einer Akzentuierung der spezifischen Merkmale der räumlichen Versuchsanordnung aus der einzelnen Lernperspektive geführt haben (Gleichmäßigkeit der Versuchsanordnung, beidseitige Symmetrie des Layouts, Einbettung der Lernperspektive in die Versuchsanordnung, Übereinstimmung der Lernperspektive mit der körperdefinierten Perspektive während der Testdurchführung), die den Versuchspersonen bei der Aufgabenbewältigung von Nutzen war. Dadurch könnte es den Versuchspersonen gelungen sein, die räumlichen Relationen in Bezug auf einen intrinsischen Referenzrahmen im Gedächtnis zu organisieren, der gleichzeitig durch die egozentrische Erfahrung und die räumliche Struktur des Layouts definiert war, wodurch vorgestellte Ausrichtungen parallel zur egozentrischen Vorne-hinten-Körperachse (Shelton & McNamara, 1997) als auch vorgestellte Ausrichtungen parallel zu einer intrinsischen Achse von 0° und 180° , die auf auffällige Achsen der räumlichen Versuchsanordnung ausgerichtet war (Mou & McNamara, 2002; Mou et al., 2007; Shelton & McNamara, 2001), erleichtert wurden.

Insgesamt ergaben die Untersuchungsergebnisse des interexperimentellen Vergleichs ein überwiegend einheitliches Ergebnisbild. Anhand der beiden Experimente konnte die grundsätzliche Stabilität der verschiedenen räumlichen Konflikte bei den in vorherigen Untersuchungen am häufigsten verwendeten Lernverfahren aufgezeigt werden. Trotz des Auffindens geringerer Unterschiede stützen die Ergebnisse die Annahme unabhängiger Effekte der LDD und HDD, die in anderen Studien berichtet wurden (Mou, McNamara et al., 2004; Riecke & McNamara, 2017). Kritisch anzumerken bleibt, dass in den vorliegenden Experimenten die LDD nicht unabhängig kontrolliert wurde, so dass abschließend keine konkrete Aussage zur LDD als mögliche zusätzliche Quelle räumlicher Interferenzeffekte gemacht werden kann.

8.6 Konfliktmodell

Das Auffinden mehrerer, sich überlagernder räumlicher Konflikte, die auf unterschiedlichen Repräsentationen beruhen (allozentrisch für HDD und ODD_{allo}, egozentrisch für ODD_{ego}), lässt sich gut mit den Erkenntnissen zur Organisationsstruktur des Raumgedächtnisses in Einklang bringen (Avraamides & Kelly, 2008; Mou, McNamara et al., 2004; Sholl, 2001; Waller & Hodgson, 2006). Im Folgenden wird ein Konfliktmodell dargestellt, das zentrale Befunde der Forschung zu räumlichen Perspektivenwechseln einbezieht, Einflussfaktoren auf die Schwierigkeit imaginierter Perspektivenwechsel (Testumgebung, Desorientierung, Antwortmethoden) berücksichtigt und die einzelnen räumlichen Konflikte sowie beteiligte kognitive Prozesse integriert. Das Modell bietet zudem die Möglichkeit, eine genauere Einordnung der zeitlichen Abfolge des Auftretens der verschiedenen räumlichen Konflikte vorzunehmen. Als Grundlage diente zum einen ein funktionales Blockdiagramm, das Loomis et al. (2013) als konzeptionellen Rahmen für Abbildungen des Raumes und deren Umwandlung infolge räumlicher Aktualisierungen erarbeitet haben, zum anderen das Hybridmodell von Avraamides und Kelly (2008), das beide Systeme der Gedächtnisorganisation berücksichtigt und räumliche Prozesse in unmittelbaren und abgelegenen Umgebungen beschreibt.

Im Zentrum des Modells steht eine räumliche Abbildung (Abbildung 29), ein von Loomis et al. (2013) verwendeter Begriff für eine kurzlebige räumliche Repräsentation im Arbeitsgedächtnis, die beim Abhandenkommen oder Fehlen von aufgabenrelevanten Wahrnehmungsinformationen eine zentrale Rolle bei der Steuerung des Handelns im Raum spielt. Diese Abbildung des Raumes entspricht einer dynamischen, sensomotorischen

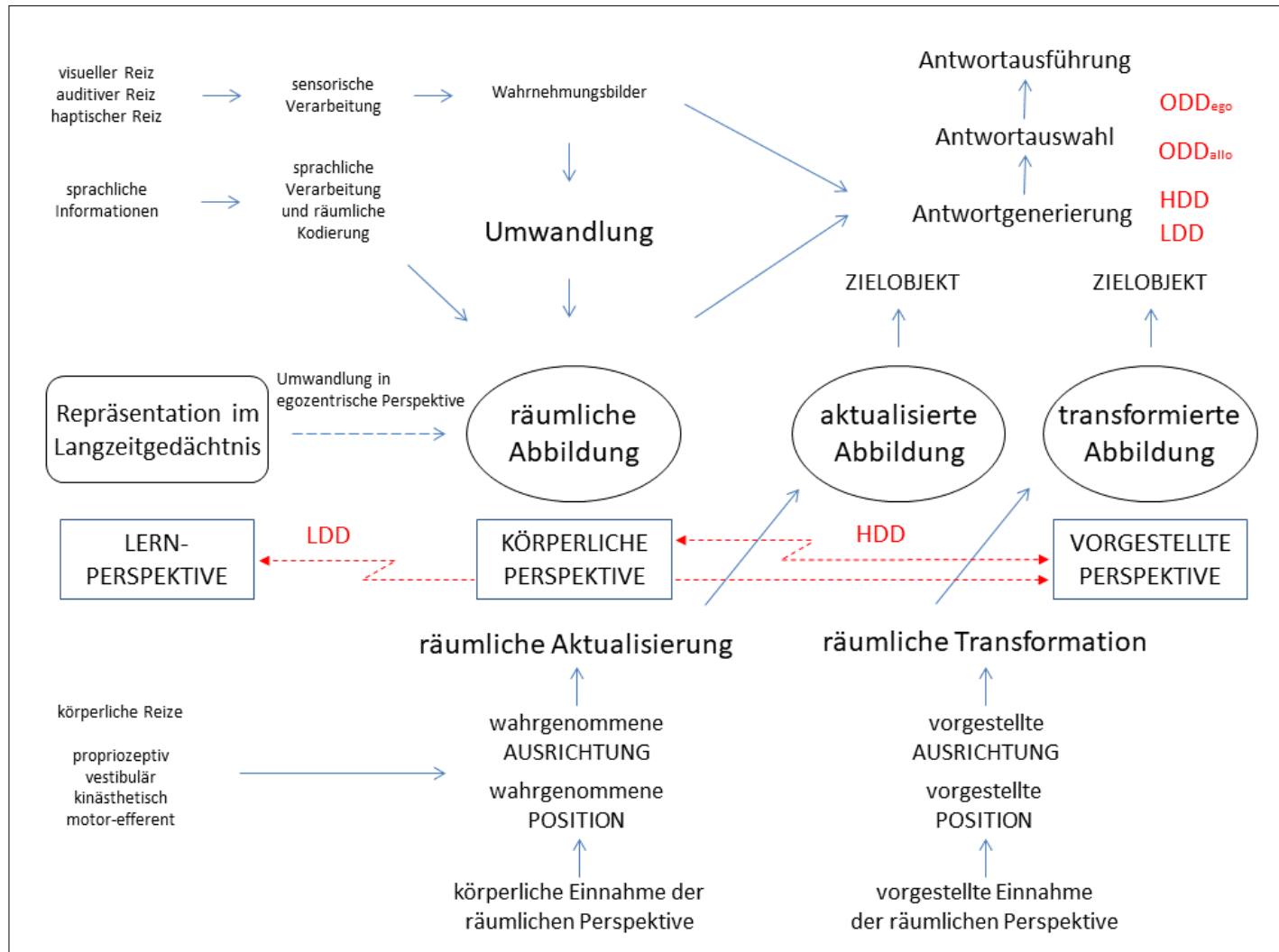


Abbildung 29. Konzeption eines Konfliktmodells. Dargestellt ist die Entstehung räumlicher Abbildungen, die durch die Umwandlung von Wahrnehmungsbildern, durch die Verarbeitung sprachlicher Information sowie durch den Abruf räumlicher Repräsentationen aus dem Langzeitgedächtnis erzeugt werden. Die Einnahme einer neuen Perspektive kann mit Veränderungen der Position und/oder Ausrichtung des Selbst einhergehen. Im Falle einer körperlichen Einnahme der Perspektive entsteht durch den Prozess der räumlichen Aktualisierung eine aktualisierte Abbildung des Raumes im Arbeitsgedächtnis, die entsprechend der körperlichen Perspektive die Relationen des Selbst zu den Objekten abbildet. Im Falle einer vorgestellten Einnahme der Perspektive wird eine transformierte Abbildung des Raumes erzeugt, die eine Inkompatibilität zur räumlichen Abbildung der körperlichen Perspektive aufweisen kann. Beim Anzeigen eines Zielobjekts der unmittelbaren Umgebung führen Abweichungen der beiden räumlichen Abbildungen zu Interferenzeffekten, die aus verschiedenen Antwortkonflikten resultieren und während der Berechnung und Auswahl der Antwortreaktion wirksam werden.

Gedächtnisrepräsentation, die in anderen Modellen als egozentrische Repräsentation (Mou, McNamara et al., 2004), flüchtige Online-Repräsentation (Waller & Hodgson, 2006) oder als sensomotorische Objektlokationscodes (Kelly, Avraamides & Loomis, 2007; May, 2004) bezeichnet und von allozentrischen Repräsentationen abgegrenzt werden, die länger andauernd im Langzeitgedächtnis gespeichert sind (Amorim et al., 1997; Avraamides & Kelly, 2008; Byrne et al., 2007; Creem & Proffitt, 1998; Easton & Sholl, 1995; Hartley & Burgess, 2005; Huttenlocher et al., 1991; McNamara, 2003; Mou, McNamara et al., 2004; Sholl, 2001; Waller & Hodgson, 2006; Wang & Spelke, 2000). Durch die sensorische Verarbeitung visueller, auditiver und haptischer Reize entstehen Wahrnehmungsbilder, die in räumliche Abbildungen umgewandelt werden, die entsprechend der jeweiligen Modalität mit dem Wahrnehmungsbild übereinstimmen, allerdings in der Genauigkeit und Komplexität verringert sind. Wenn keine sensorische Information mehr verfügbar ist, kommt es zum Verfall der Wahrnehmungsbilder, die räumlichen Abbildungen bleiben hingegen für eine kurze Dauer erhalten. Neben sensorischen Reizen können räumliche Abbildungen auch durch Sprache sowie den Abruf einer räumlichen Anordnung aus dem Langzeitgedächtnis erzeugt werden. Untersuchungen geben Anlass zur Vermutung, dass die räumlichen Abbildungen aus den verschiedenen Modalitäten eine funktionale Äquivalenz aufweisen (Avraamides & Kelly, 2010; Avraamides, Loomis, Klatzky & Golledge, 2004; Loomis & Klatzky, 2007), d. h. sobald sensorische Reize oder sprachliche Informationen erstmal als räumliche Abbildung im Arbeitsgedächtnis enkodiert sind, dann beruhen die Abbildung des Raumes sowie nachfolgende Verarbeitungsprozesse und Handlungen auf den Eigenschaften dieser räumlichen Abbildung und nicht auf den modalitätsspezifischen Informationen.

Beim Lernen einer räumlichen Anordnung in typischen Aufgaben zu räumlichen Perspektivenwechseln werden die Positionen von Objekten sowohl in eine kurzlebige, egozentrische räumliche Abbildung im Arbeitsgedächtnis als auch in eine beständige, länger anhaltende allozentrische Repräsentation im Langzeitgedächtnis überführt (Kelly et al., 2007; Mou, McNamara et al., 2004; Waller & Hodgson, 2006). Die räumliche Abbildung enthält Selbst-zu-Objekt-Relationen der unmittelbaren Umgebung, die kontinuierlich nachverfolgt und durch Bewegungen im Raum aktualisiert werden (Wang & Spelke, 2000). Die allozentrische Repräsentation umfasst Objekt-zu-Objekt-Relationen und wird auf der Grundlage einer geringen Anzahl intrinsischer Referenzrichtungen ausgestaltet, die von der spezifischen Anordnung und den Eigenschaften der Objekte abhängen (McNamara, 2003; Mou, McNamara et al., 2004). In der Regel beruht die

Auswahl der Referenzrichtung(en) auf egozentrischer Erfahrung (Greenauer & Waller, 2008), allerdings werden bei hinreichender Auffälligkeit auch Referenzrichtungen bevorzugt, die nicht mit der körperlichen Ausrichtung während des Lernens übereinstimmen (Mou & McNamara, 2002). Zudem haben Merkmale der Umgebung, wie beispielsweise die Raumstruktur oder eine symmetrische Versuchsanordnung, Einfluss auf die Auffälligkeit mancher Referenzrichtungen (Shelton & McNamara, 2001). Auch durch Sprache erworbene Gedächtnisinhalte werden entlang intrinsischer Referenzrichtungen organisiert (Mou, Zhang & McNamara, 2004). Darüber hinaus werden Relationen zwischen Objekten bevorzugt repräsentiert, wenn sie mit einer Referenzrichtung übereinstimmen (Rump & McNamara, 2013). Die Auswahl der Referenzrichtung(en) hat demnach nicht nur Einfluss auf die vorgestellte allozentrische Ausrichtung, sondern auch auf die allozentrische Zielobjektrichtung.

Bei gedächtnisbasierten räumlichen Perspektivenwechseln in der unmittelbaren Umgebung erfolgt eine Umwandlung der allozentrischen Repräsentation, in der die Position der Person wie die Position jedes anderen Objekts in der Versuchsanordnung abgebildet wird (Mou, McNamara et al., 2004), in eine egozentrische Perspektive, wodurch eine automatische Aktivierung der Selbst-zu-Objekt-Relationen des räumlichen Abbildes stattfindet (May, 2004). Nach Avraamides & Kelly (2008) wird eine Verbindung zwischen der allozentrischen Repräsentation und dem egozentrischen räumlichen Abbild hergestellt. Durch die Einbettung der gegenwärtigen Position und Ausrichtung des Selbst in die allozentrische Repräsentation wird es der Person möglich, sich in der unmittelbaren Umgebung zu orientieren.

Im Falle einer körperlichen Einnahme der aufgabenrelevanten Perspektive werden die Position und Ausrichtung des Selbst sowie die Relationen des Selbst zu den Objekten in der räumlichen Abbildung während der körperlichen Bewegung durch propriozeptive Information aktualisiert (Farrell & Thomson, 1999; Rieser et al., 1986). Durch den Prozess der räumlichen Aktualisierung wird ein aktualisiertes räumliches Abbild im Arbeitsgedächtnis erzeugt, das der körperlichen Perspektive im Raum entspricht. Wenn ein Zielobjekt aus der gegenwärtigen Perspektive angezeigt werden soll, erfolgt infolge der Darbietung des Zielobjekts eine Aktivierung des egozentrischen Raumkodes, der eine entsprechende egozentrische Antwortreaktion auslöst (Avraamides & Kelly, 2008; May, 2004). Aufgrund der aktualisierten räumlichen Abbildung, die die Relationen des Selbst zu den Objekten korrekt abbildet, entspricht die automatische Antwortreaktion der Richtung der geforderten Objektlokation.

Erfolgt der Wechsel in die aufgabenrelevante Perspektive in der Vorstellung, bedarf es der Ausformung einer transformierten räumlichen Abbildung, die entsprechend der definierten Position und Blickrichtung der vorzustellenden Perspektive in der allozentrischen Repräsentation verortet und ausgerichtet werden muss. Die kognitiven Prozesse, durch die eine transformierte Abbildung erzeugt wird, werden beständig durch inkompatible Ausrichtungssignale der egozentrischen räumlichen Abbildung gestört, die zum einen aus der Abweichung der allozentrischen Ausrichtung zwischen der vorgestellten und der körperlich definierten Perspektive (HDD), zum anderen aus dem Ausrichtungsunterschied zwischen der vorgestellten Perspektive und der oder den bevorzugten Referenzrichtung(en) der Lernperspektive, die durch egozentrische Erfahrung intrinsisch oder durch auffällige Umgebungsstrukturen extrinsisch repräsentiert werden (LDD), resultieren können. Durch die Störeinflüsse wird auf dieser frühen Verarbeitungsstufe vor der Darbietung des Zielobjekts die Aufrechterhaltung einer stabilen transformierten räumlichen Abbildung beeinträchtigt.

Wenn ein Zielobjekt aus der vorgestellten Perspektive angezeigt werden soll, wird nach der Bekanntgabe des Zielobjekts der körperdefinierte Objektlokationskode der egozentrischen räumlichen Abbildung aktiviert, der in diesem Falle mit dem kognitiven Objektlokationskode der transformierten Abbildung inkongruent ist und eine fehlerhafte automatische Antwortreaktion zur Folge hat, dessen Ausführung unterdrückt werden muss (Avraamides & Kelly, 2008; May, 2004). Die Person wird aufgrund der räumlichen Inkompatibilität der beiden räumlichen Abbildungen mit irreführenden Signalen konfrontiert, die das Anzeigen des Zielobjekts erschweren. Während der Berechnung und Auswahl der entsprechenden Antwortreaktion wirken auf dieser späten Verarbeitungsstufe dauerhaft Interferenzeffekte auf die Person ein, die auf Antwortkonflikte zwischen der körperlichen Perspektive und der vorgestellten Perspektive zurückzuführen sind, und bewusste, willentlich gesteuerte und kostenaufwändige Verarbeitungsprozesse erforderlich machen, die sich in einer Verringerung der Schnelligkeit und Genauigkeit der Lokalisierung der Zielobjekte zeigen.

In der zeitlichen Abfolge erstrecken sich die verschiedenen räumlichen Antwortkonflikte von allozentrischen Repräsentationen des Langzeitgedächtnisses zu egozentrischen räumlichen Abbildungen des Arbeitsgedächtnisses. Die ersten beiden Schwierigkeiten, die eine Person bei einem gedächtnisbasierten vorgestellten Perspektivenwechsel zu bewältigen hat, werden durch allozentrische Ausrichtungskonflikte zwischen der oder den im Langzeitgedächtnis repräsentierten

Referenzrichtung(en) der Lernperspektive und der vorgestellten Perspektive (LDD) sowie zwischen der räumlichen Abbildung, der die gegenwärtige, körperliche Blickrichtung zugrunde liegt, und der transformierten räumlichen Abbildung, die auf der vorgestellten Blickrichtung beruht (HDD), verursacht. Die dritte Problematik resultiert aus einem Konflikt der allozentrischen Zielobjektrichtung (ODD_{allo}), die während der Bestimmung des allozentrischen Zielvektors und dessen Umwandlung in einen egozentrischen Zielvektor wirksam wird. Der vierte Konflikt geht auf den Unterschied der egozentrischen Zielobjektrichtung zwischen der körperlichen und vorgestellten Perspektive zurück (ODD_{ego}) und erschwert aufgrund der inkompatiblen Antwortvektoren die Auswahl und Ausführung der Anzeigeantwort.

Bei gedächtnisbasierten räumlichen Perspektivenwechseln in einer abgelegenen Umgebung ist das Selbst von der Umgebung losgelöst und die egozentrische räumliche Abbildung von der allozentrischen Repräsentation getrennt (Avraamides & Kelly, 2008). Die fehlende Einbettung des Selbst in die allozentrische Repräsentation ermöglicht die Ausformung einer vorgestellten räumlichen Abbildung, die beliebig in der allozentrischen Repräsentation positioniert und ausgerichtet werden kann. Wenn ein Zielobjekt aus der vorgestellten Perspektive angezeigt werden soll, werden die räumlichen Relationen auf der Grundlage der allozentrischen Objekt-zu-Objekt-Repräsentation des Langzeitgedächtnisses abgerufen, ohne dass die Selbst-zu-Objekt-Relationen der egozentrischen räumlichen Abbildung ausgelöst werden und die Person sensomotorische Interferenzeffekte aufgrund konfligierender Objektlokationscodes überwinden muss (May, 2004). Folglich ergeben sich Schwierigkeiten in der Aufgabenbewältigung lediglich infolge von allozentrischen Ausrichtungsunterschieden zwischen der oder den im Langzeitgedächtnis bevorzugt repräsentierten Referenzrichtung(en) der Lernperspektive und der vorgestellten Perspektive (LDD). Interferenzkonflikte resultierend aus der HDD oder ODD (ODD_{allo} und ODD_{ego}) kommen nicht zum Tragen, da die sensomotorische räumliche Abbildung inaktiv ist.

Im Falle einer Instruktion, sich die zuvor gelernten Objekte bildlich um sich herum vorzustellen, werden die Objektrelationen umkodiert und in eine sensomotorische räumliche Abbildung überführt. Durch die Verbindung der allozentrischen Repräsentation mit dem egozentrischen Abbild wird die räumliche Entankerung in der abgelegenen Umgebung aufgehoben und das Selbst in die allozentrische Repräsentation eingebettet (Avraamides & Kelly, 2010, Experiment 3; Kelly et al., 2007, Experiment 3; May, 2007, Experiment 1). Infolge der Aktivierung der egozentrischen Abbildung wirken nicht nur

Störeinflüsse durch Lernrichtungsunterschiede (LDD), sondern auch die verschiedenen sensomotorischen Interferenzkonflikte (HDD, ODD_{allo} und ODD_{ego}) auf die Person ein.

Bei gedächtnisbasierten räumlichen Perspektivenwechseln nach einer Desorientierung ist sich die Person der Position und Ausrichtung des eigenen Körpers in der unmittelbaren Umgebung nicht bewusst, wodurch die Verbindung der egozentrischen räumlichen Abbildung und der allozentrischen Repräsentation gelockert wird. Nach Waller und Hodgson (2006) erfolgt aufgrund der eingeschränkten Verlässlichkeit der egozentrischen Abbildung ein Wechsel von der egozentrischen Abbildung zu einer allozentrischen Langzeitrepräsentation. Die Herauslösung des Selbst aus der allozentrischen Repräsentation führt zu einer Abschwächung der störenden sensomotorischen Interferenzen (HDD , ODD_{allo} und ODD_{ego}), die aus dem konfligierenden Objektlokationskode der egozentrischen Abbildung und dem kognitiven Objektlokationskode der transformierten Abbildung resultieren. Die Desorientierung ermöglicht es der Person, durch das verminderte Bewusstsein über die eigene Körperlichkeit eine subjektive Ausrichtung in der allozentrischen Repräsentation einzunehmen, die in der Regel mit der oder den im Langzeitgedächtnis repräsentierten Referenzrichtung(en) der Lernperspektive aligniert ist (Avraamides & Kelly, 2010; Mou et al., 2006).

Hinsichtlich unterschiedlicher Antwortmethoden werden die größeren Schwierigkeiten bei der Lokalisierung eines Zielobjekts durch motorische Anzeigebewegungen im Vergleich zu sprachlichen Beurteilungen darauf zurückgeführt, dass motorische Handlungen stärker mit der egozentrischen Abbildung verknüpft sind (Avraamides et al., 2007; Wang, 2004a; Wraga, 2003). Im Falle motorischer Anzeigebewegungen muss der Handlungsvektor der transformierten allozentrischen Abbildung in einen egozentrischen Handlungsvektor umgewandelt werden, um das Zielobjekt aus der vorgestellten Perspektive anzeigen zu können. Abweichungen zwischen der egozentrischen Abbildung und der transformierten räumlichen Abbildung führen zu einem Interferenzkonflikt der allozentrischen Zielobjektrichtung (ODD_{allo}), der im Falle motorischer Anzeigebewegungen zusätzliche Verarbeitungskosten zur Folge hat. Dieser Interferenzkonflikt könnte als Bindeglied der sich überlagernden Konflikte der HDD und ODD_{ego} fungieren und zeitlich zwischen den beiden Interferenzeffekten wirksam werden. Sprachliche Beurteilungen der Zielobjektrichtung erfolgen hingegen ohne Beteiligung der egozentrischen Abbildung und bedürfen daher keiner Spezifizierung des Handlungsvektors aus der egozentrischen Perspektive.

9. Fazit

Die Fähigkeit des Menschen, sich in der Vorstellung in eine andere Perspektive als der körpereigenen zu begeben und räumliche Handlungen aus dieser imaginierten Perspektive auszuführen, stellt eine komplexe kognitive Leistung dar, die in vielen Situationen des Alltags von Bedeutung ist. Eine wesentliche Herausforderung der Lokalisierung von Objekten resultiert aus Veränderungen der Position und/oder Ausrichtung des Organismus zur Position des Objekts, die infolge von körperlichen oder vorgestellten Bewegungen an eine andere Position im Raum auftreten können. Automatisch ablaufende körperliche Aktualisierungsprozesse, die sich bei vielen alltäglichen Handlungen oftmals als hilfreich erweisen, können die Objektlokalisierung nach einem imaginären Wechsel der Perspektive erschweren und bedürfen einer zusätzlichen kognitiven Anstrengung.

Die Ergebnisse der Versuchsreihe sprechen für mehrere, sich überlagernde räumliche Interferenzkonflikte zwischen der körperlichen und vorgestellten Perspektive, die die Leistung bei gedächtnisbasierten Lokalisierungen von Objekten nach vorgestellten Perspektivenwechseln in der unmittelbaren Umgebung maßgeblich beeinflussen und die wichtigste Quelle der zusätzlichen Verarbeitungskosten darstellen, die sich in einer Verringerung der Schnelligkeit und Genauigkeit des Anzeigens der Zielobjekte zeigen. In insgesamt vier Experimenten konnte aufgezeigt werden, dass Ausrichtungs- und egozentrische Objekttrichtungsunterschiede zwischen der körperlich eingenommenen und vorgestellten Perspektive zu verschiedenen Disparitätseffekten (HDD und ODD_{ego}) führen, die jeweils getrennte Beiträge an den zusätzlichen Verarbeitungskosten ausmachen. Das Ausbleiben einer Verringerung der spezifischen zusätzlichen Verarbeitungskosten durch die Möglichkeit der Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive veranschaulicht, dass die wesentlichen Schwierigkeiten in Form von Antwortkonflikten auf einer späten Verarbeitungsstufe nach der Darbietung des Zielobjekts auftreten. Das Auffinden eines Disparitätseffekts, der aus allozentrischen Objekttrichtungsunterschieden (ODD_{allo}) resultiert, von anderer Beschaffenheit ist und einen getrennten Beitrag an den zusätzlichen Verarbeitungskosten ausmacht, deutet auf interaktive Prozesse zwischen den sensomotorischen und kognitiven Mechanismen hin, die den verschiedenen Arten der räumlichen Konflikte zugrunde liegen. Das Ergebnismuster der verschiedenen räumlichen Konflikte (HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo}) zeigte auch bei Verwendung unterschiedlicher Lernverfahren ein konsistentes Gesamtbild. Die Art des Lernverfahrens hatte lediglich eine

Umkehrung der absoluten Anzeigezeiten und Anzeigefehler sowie einen modulierenden Effekt auf das Ergebnismuster der HDD zur Folge.

In Anbetracht der Untersuchungsergebnisse erscheint es fraglich, wie Transformationsmodelle (Easton & Sholl, 1995; Presson & Montello, 1994; Rieser, 1989; Shelton & McNamara, 1997; Sholl, 2001), die analoge räumliche Transformationsprozesse als entscheidende Ursache der zusätzlichen Verarbeitungskosten annehmen, die Vielzahl der verschiedenen Effekte und die damit verbundenen Verarbeitungsprobleme erklären können. Der empirische Nachweis verschiedener räumlicher Konflikte, die entscheidend zu den Schwierigkeiten bei Objektlokalisierungen nach gedächtnisbasierten vorgestellten Perspektivenwechseln beitragen, steht im Einklang mit den Annahmen der Interferenzmodelle (Avraamides & Kelly, 2008; May, 2004, 2007), die als grundlegende Schwierigkeit die Überwindung räumlicher Konflikte zwischen konkurrierenden Repräsentationen der körperlichen und vorgestellten Perspektive während verschiedener Stufen der Verarbeitung ansehen. Interferenzmodelle bieten zudem eine vielversprechende Erklärung hinsichtlich des Gesamtbildes der Ergebnisse.

Die vorliegende Arbeit unterstreicht die Bedeutsamkeit der Konzeption der räumlichen Versuchsanordnung, um eine Kontrolle der einzelnen räumlichen Faktoren herzustellen und damit eine getrennte Untersuchung der räumlichen Konflikte zu realisieren. Die sorgfältige Konstruktion des Versuchslayouts ermöglichte in den eigenen Experimenten erstmals eine unabhängige Variation von HDD und ODD_{ego} und die Exploration der spezifischen Beiträge der beiden Disparitäten. Allerdings muss auch selbstkritisch festgehalten werden, dass LDD in den Experimenten, in denen die Versuchspersonen das Versuchslayout aus mehreren zufälligen Perspektiven lernten, nicht hinreichend kontrolliert war und keine gesicherten Rückschlüsse über die bevorzugt repräsentierte(n) Referenzrichtung(en) zuließ. In zukünftigen Untersuchungen sollte darauf geachtet werden, dass LDD als eine mögliche weitere und unabhängige Quelle der Interferenzeffekte kontrolliert wird. Aufbauend auf Studien, die unabhängige Effekte der HDD und LDD nachweisen konnten (Mou, McNamara et al., 2004; Riecke & McNamara, 2017), wäre ein interessanter Forschungsansatz, die LDD in Kombination mit HDD, ODD_{ego} und ODD_{allo} über den gesamten Bereich der räumlichen Disparitäten (0-180°) zu untersuchen. Zusätzlich könnte eine unabhängige Variation der beiden Arten der Objektrichtungsdisparität (ODD_{ego} und ODD_{allo}) mit einer größeren Variabilität der einzelnen Disparitätsstufen (zum Beispiel in Schritten von 30°) zu weiteren Erkenntnissen der zugrundeliegenden Mechanismen beitragen.

Darüber hinaus wären Untersuchungen erstrebenswert, die, gegebenenfalls unter Zuhilfenahme des entwickelten Konfliktmodells, die zeitliche Abfolge des Auftretens der verschiedenen räumlichen Konflikte weiter beleuchten. Lernrichtungs- (LDD) und Ausrichtungsunterschiede (HDD) zwischen der vorzustellenden und körperlichen Perspektive, die sich, wie im Konfliktmodell beschrieben, bereits frühzeitig störend auf den Prozess der Ausformung und Aufrechterhaltung einer transformierten räumlichen Abbildung auswirken, könnten potenziell durch Verarbeitungsprozesse auf einer frühen Verarbeitungsstufe bewältigt werden. Allerdings verdeutlichen die fehlenden Einflüsse einer Vorbereitungszeit zur Vorverarbeitung der vorzustellenden Perspektive, dass die nachteiligen Effekte der HDD nicht frühzeitig gelöst werden können und die Verarbeitungskosten auf einer späten Verarbeitungsstufe vermutlich vor der Bestimmung des Zielvektors (ODD_{allo}) und der Planung und Ausführung der motorischen Antwortreaktion (ODD_{ego}) verursacht werden. Hierzu wären Untersuchungen wünschenswert, die die Ursachen näher ergründen, warum Versuchspersonen nicht dazu in der Lage sind, die frühzeitige Information über die vorzustellende Perspektive bei hinreichender Zeit bis zur Darbietung des Zielobjekts zu nutzen, um die HDD-Effekte zu reduzieren. Die Interpretation der LDD als räumlichen Antwortkonflikt, der ebenfalls auf einer späten Verarbeitungsstufe nach der Darbietung des Zielobjekts wirksam wird, ist sehr hypothetisch. Angesichts der Annahme, dass die Aufrechterhaltung der vorgestellten Perspektive im Arbeitsgedächtnis die grundlegende Schwierigkeit gedächtnisbasierter vorgestellter Perspektivenwechsel darstellt (Avraamides et al., 2015), erscheint die Interpretation plausibel, allerdings bedarf es weiterer Untersuchungen, um das zeitliche Auftreten der Verarbeitungsprozesse der LDD und der damit verbundenen Verarbeitungskosten zu bestimmen. Ergänzend zu experimentellen Untersuchungen dürften neurowissenschaftliche Studien (Byrne et al., 2007) und computergestützte Modellierungen (Brom, Vyhnánek, Lukavský, Waller & Kadlec, 2012; Schultheis, 2007) interessante und vielversprechende Ansätze darstellen, um weitere Erkenntnisfortschritte zu erzielen.

Literaturverzeichnis

- Amorim, M. A., Glasauer, S., Corpinot, K. & Berthoz, A. (1997). Updating an object's orientation and location during nonvisual navigation: A comparison between two processing modes. *Perception & Psychophysics*, *59*, 404-418. <https://doi.org/10.3758/bf03211907>.
- Amorim, M. A., Isableu, B. & Jarraya, M. (2006). Embodied spatial transformations: "Body analogy" for the mental rotation of objects. *Journal of Experimental Psychology: General*, *135*, 327-347. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.135.3.327>.
- Avraamides, M. N., Hatzipanayioti, A. & Galati, A. (2015). What's so difficult with adopting imagined perspectives? *Cognitive Processing*, *16*, 121-124. <https://doi.org/10.1007/s10339-015-0728-3>.
- Avraamides, M. N., Ioannidou, L. M. & Kyranidou, M. N. (2007). Locating targets from imagined perspectives: Comparing labelling with pointing responses. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *60*, 1660-1679. <https://doi.org/10.1080/17470210601121833>.
- Avraamides, M. N. & Kelly, J. W. (2008). Multiple systems of spatial memory and action. *Cognitive Processing*, *9*, 93-106. <https://doi.org/10.1007/s10339-007-0188-5>.
- Avraamides, M. N. & Kelly, J. W. (2010). Multiple systems of spatial memory: Evidence from described scenes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *36*, 635-645. <https://doi.org/10.1037/a0017040>.
- Avraamides, M. N., Klatzky, R. L., Loomis, J. M. & Golledge, R. G. (2004). Use of cognitive versus perceptual heading during imagined locomotion depends on the response mode. *Psychological Science* *15*, 403-408. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00692.x>.
- Avraamides, M. N., Loomis, J. M., Klatzky, R. L. & Golledge, R. G. (2004). Functional equivalence of spatial representations derived from vision and language: Evidence from allocentric judgments. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *30*, 801-814. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.30.4.804>.
- Avraamides, M. N., Theodorou, M., Agathokleous, A. & Nicolaou, A. (2013). Revisiting perspective-taking: Can people maintain imagined perspectives? *Spatial Cognition & Computation*, *13*, 50-78. <https://doi.org/10.1080/13875868.2011.639915>.

- Blanke, O., Mohr, C., Michel, C. M., Pascual-Leone, A., Brugger, P., Seeck, M., Landis, T. & Thut, G. (2005). Linking out-of-body experience and self processing to mental own-body imagery at the temporoparietal junction. *Journal of Neuroscience*, *25*, 550-557. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.2612-04.2005>.
- Bridgeman, B., Kirch, M. & Sperling, A. (1981). Segregation of cognitive and motor aspects of visual function using induced motion. *Perception & Psychophysics*, *29*, 336-342. <https://doi.org/10.3758/bf03207342>.
- Bridgeman, B., Peery, S. & Anand, S. (1997). Interaction of cognitive and sensorimotor maps of visual space. *Perception & Psychophysics*, *59*, 456-469. <https://doi.org/10.3758/bf03211912>.
- Brom, C., Vyhnánek, J., Lukavský, J., Waller, D. & Kadlec, R. (2012). A computational model of the allocentric and egocentric spatial memory by means of virtual agents, or how simple virtual agents can help to build complex computational models. *Cognitive Systems Research*, *17-18*, 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2011.09.001>.
- Bryant, D. J. & Tversky, B. (1999). Mental representations of perspective and spatial relations from diagrams and models. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *25*, 137-156. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.1.137>.
- Byrne, P., Becker, S. & Burgess, N. (2007). Remembering the past and imagining the future: A neural model of spatial memory and imagery. *Psychological Review*, *114*, 340-375. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.114.2.340>.
- Colby, C. L. (1998). Action-oriented spatial reference frames in cortex. *Neuron*, *20*, 15-24. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(00\)80429-8](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(00)80429-8).
- Cooper, L. A. & Shepard, R. N. (1973). The time required to prepare for a rotated stimulus. *Memory & Cognition*, *1*, 246-250. <https://doi.org/10.3758/bf03198104>.
- Cooper, L. A. & Shepard, R. N. (1978). Transformations on representations of objects in space. In E. C. Carterette & M. Friedman (Eds.), *Handbook of perception: Space and object perception (Vol. 8)*. New York: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-161908-4.50009-7>.
- Creem-Regehr, S. H. (2003). Updating space during imagined self- and array translations. *Memory & Cognition*, *31*, 941-952. <https://doi.org/10.3758/bf03196447>.
- Creem, S. H. & Proffitt, D. R. (1998). Two memories for geographical slant: Separation and interdependence of action and awareness. *Psychonomic Bulletin & Review*, *5*, 22-36. <https://doi.org/10.3758/bf03209455>.

- De Vega, M. & Rodrigo, M. J. (2001). Updating spatial layouts mediated by pointing and labelling under physical and imagery rotation. *European Journal of Cognitive Psychology*, *13*, 369-393. <https://doi.org/10.1080/09541440126278>.
- Easton, R. D. & Sholl, M. J. (1995). Object-array structure, frames of reference, and retrieval of spatial knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *21*, 483-500. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.21.2.483>.
- Epstein, R. A. (2008). Parahippocampal and retrosplenial contributions to human spatial navigation. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*, 388-396. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.07.004>.
- Epstein, R. A., Parker, W. E. & Feiler, A. M. (2007). Where am I now? Distinct roles for parahippocampal and retrosplenial cortices in place recognition. *Journal of Neuroscience*, *27*, 6141-6149. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.0799-07.2007>.
- Farrell M. J. & Robertson, I. H. (1998). Mental rotation and the automatic updating of body-centered spatial relationships. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *24*, 227-233. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.24.1.227>.
- Farrell M. J. & Thomson, J. A. (1998). Automatic spatial updating during locomotion without vision. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *51*, 637-654. <https://doi.org/10.1080/713755776>.
- Farrell, M. J. & Thomson, J. A. (1999). On-line updating of spatial information during locomotion without vision. *Journal of Motor Behavior*, *31*, 39-53. <https://doi.org/10.1080/00222899909601890>.
- Franklin, N. & Tversky, B. (1990). Searching imagined environments. *Journal of Experimental Psychology: General*, *119*, 63-76. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.119.1.63>.
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin.
- Goodale, M. A., Jakobsen, L. S. & Keillor, J. M. (1994). Differences in the visual control of pantomimed and natural grasping movements. *Neuropsychologia*, *32*, 1159-1178. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(94\)90100-7](https://doi.org/10.1016/0028-3932(94)90100-7).
- Goodale, M. A. & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, *15*, 20-25. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90344-8](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90344-8).

- Greenauer, N. & Waller, D. (2008). Intrinsic array structure is neither necessary nor sufficient for nonegocentric coding of spatial layouts. *Psychonomic Bulletin & Review*, *15*, 1015-1021. <https://doi.org/10.3758/pbr.15.5.1015>.
- Hartley, T. & Burgess, N. (2005). Complementary memory systems: Competition, cooperation and compensation. *Trends in Neurosciences*, *28*, 169-170. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2005.02.004>.
- Hasher, L. & Zacks, R. T. (1979). Automatic and effortful processes in memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *108*, 356-388. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.108.3.356>.
- Hinton, G. E. (1981). A parallel computation that assigns canonical object-based frames of reference. *Proceedings of the 7th international joint conference on artificial intelligence*, 683-685.
- Hintzman, D. L., O'Dell, C. S. & Arndt, D. R. (1981). Orientation in cognitive maps. *Cognitive Psychology*, *13*, 149-206. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(81\)90007-4](https://doi.org/10.1016/0010-0285(81)90007-4).
- Huttenlocher, J., Hedges, L. V. & Duncan, S. (1991). Categories and particulars: Prototype effects in estimating spatial location. *Psychological Review*, *98*, 352-376. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.98.3.352>.
- Huttenlocher, J. & Presson, C. C. (1973). Mental rotation and the perspective problem. *Cognitive Psychology*, *4*, 277-299. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(73\)90015-7](https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90015-7).
- Jarmasz, J. & Hollands, J. G. (2009). Confidence intervals in repeated-measures designs: The number of observations principle. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *63*, 124-138. <https://doi.org/10.1037/a0014164>.
- Kelly, J. W., Avraamides, M. N. & Loomis, J. M. (2007). Sensorimotor alignment effects in the learning environment and in novel environments. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, *33*, 1092-1107. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.6.1092>.
- Kessler, K. & Thomson, L. A. (2010). The embodied nature of spatial perspective taking: Embodied transformation versus sensorimotor interference. *Cognition*, *114*, 72-88. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.08.015>.
- Klatzky, R. L. (1998). Allocentric and egocentric spatial representations: Definitions, distinctions, and interconnections. In C. Freksa, C. Habel & K. F. Wender (Eds.), *Spatial cognition. An interdisciplinary approach to representation and processing of spatial knowledge* (pp. 1-17). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-69342-4_1.

- Klatzky, R. L., Loomis, J. M., Beall, A. C., Chance, S. S. & Golledge, R. G. (1998). Spatial updating of self-position and orientation during real, imagined, and virtual locomotion. *Psychological Science*, 9, 293-298. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00058>.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and brain: The resolution of the imagery debate*. Cambridge: MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/3653.001.0001>.
- Kozhevnikov, M. & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation spatial ability and spatial orientation ability. *Memory & Cognition*, 29, 745-756. <https://doi.org/10.3758/BF03200477>.
- Loomis, J. M., Da Silva, J. A., Philbeck, J. W. & Fukusima, S. S. (1996). Visual perception of location and distance. *Current directions in Psychological Science*, 5, 72-77. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10772783>.
- Loomis, J. M. & Klatzky, R. L. (2007). Functional equivalence of spatial representations from vision, touch, and hearing: Relevance for sensory substitution. In J. J. Rieser, D. H. Ashmead, F. F. Ebner & A. L. Corn (Eds.), *Blindness and brain plasticity in navigation and object perception* (pp. 155-184). New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- Loomis, J. M., Klatzky, R. L. & Giudice, N. A. (2013). Representing 3D space in working memory: Spatial images from vision, hearing, touch, and language. In S. Lacey & R. Lawson (Eds.), *Multisensory imagery* (pp. 131-155). New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5879-1_8.
- Loomis, J. M., Klatzky, R. L., Golledge, R.G. & Philbeck, J. W. (1999). Human navigation by path integration. In R. G. Golledge (Ed.), *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes* (pp. 125-151). Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Loomis, J. M., Lippa, Y., Klatzky, R. L. & Golledge, R. G. (2002). Spatial updating of locations specified by 3-D sound and spatial language. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 28, 335-345. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.28.2.335>.
- Maguire, E. A., Burgess, N., Donnett, J. G., Frackowiak, R. S. J., Frith, C. D. & O'Keefe, J. (1998). Knowing where and getting there: A human navigation network. *Science*, 280, 921-924. <https://doi.org/10.1126/science.280.5365.921>.
- May, M. (1996). Cognitive and embodied modes of spatial imagery. *Psychologische Beiträge*, 38, 418-434.

- May, M. (2000). *Kognition im Umraum*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-89628-5>.
- May, M. (2004). Imaginal perspective switches in remembered environments: Transformation versus interference accounts. *Cognitive Psychology*, 48, 163-206. [https://doi.org/10.1016/S0010-0285\(03\)00127-0](https://doi.org/10.1016/S0010-0285(03)00127-0).
- May, M. (2007). Imaginal repositing in everyday environments: Effects of testing method and setting. *Psychological Research*, 71, 277-287. <https://doi.org/10.1007/s00426-006-0083-1>.
- May, M. & Klatzky, R. L. (2000). Path integration while ignoring irrelevant movement. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 26, 169-186. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.26.1.169>.
- May, M., Rieser, J. J. & Young, M. F. (2006). *Accessing knowledge of spatial layout: Constraints on access after imaginal repositioning in actual and remote spaces*. (Nicht veröffentlichter Artikel).
- May, M. & Wendt, M. (2013). Visual perspective taking and laterality decisions: Problems and possible solutions. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 549-555. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00549>.
- McNamara, T. P. (2003). How are the locations of objects in the environment represented in memory? In C. Freksa, W. Brauer, C. Habel & K. F. Wender (Eds.), *Spatial cognition III: Routes and navigation, human memory and learning, spatial representation and spatial reasoning* (pp. 174–191). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-45004-1_11.
- McNamara, T. P., Rump, B. & Werner, S. (2003). Egocentric and geocentric frames of reference in memory of large-scale space. *Psychonomic Bulletin Review*, 10, 589-595. <https://doi.org/10.3758/bf03196519>.
- Millar, S. (1994). *Understanding and representing space: Theory and evidence from studies with blind and sighted children*. Oxford: Clarendon Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198521426.001.0001>.
- Milner, A. D. & Goodale, M. A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198524724.001.0001>.
- Montello, D. R. (1991). Spatial orientation and the angularity of urban routes: A field study. *Environment and Behavior*, 23, 47-69. <https://doi.org/10.1177/0013916591231003>.

- Mou, W. & McNamara, T. P. (2002). Intrinsic frames of reference in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 28, 162-170. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.28.1.162>.
- Mou, W., McNamara, T. P., Rump, B. & Xiao, C. (2006). Roles of egocentric and allocentric spatial representations in locomotion and reorientation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 32, 1274-1290. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.32.6.1274>.
- Mou, W., McNamara, T. P., Valiquette, C. M. & Rump, B. (2004). Allocentric and egocentric updating of spatial memories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 30, 142-157. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.30.1.142>.
- Mou, W., Zhang, K. & McNamara, T. P. (2004). Frames of reference in spatial memories acquired from language. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 30, 171-180. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.30.1.171>.
- Mou, W., Zhao, M. & McNamara, T. P. (2007). Layout geometry in the selection of intrinsic frames of reference from multiple viewpoints. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 33, 145- 154. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.1.145>.
- Newcombe, N. S. (2002). Spatial cognition. In D. Medin (Ed.), *Stevens' handbook of experimental psychology. Vol. 2: Memory and cognitive processes* (pp. 113-163). New York: Wiley. <https://doi.org/10.1002/0471214426.pas0204>.
- Newcombe, N. S. & Huttenlocher, J. (2000). *Making space. The development of spatial representation and reasoning*. Cambridge: MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/4395.001.0001>.
- Norman, J. (2002). Two visual systems and two theories of perception: An attempt to reconcile the constructivist and ecological approaches. *Behavioral and Brain Sciences*, 25, 73-144. <https://doi.org/10.1017/s0140525x0200002x>.
- O'Keefe, J. & Nadel, L. (1978). *The hippocampus as a cognitive map*. Oxford: Clarendon Press.
- Paillard, J. (1987). Cognitive versus sensorimotor encoding of spatial information. In P. Ellen & C. Thinus-Blanc (Eds.), *Cognitive processes and spatial orientation in animal and man* (pp. 43-77). Dordrecht: Nijhoff. https://doi.org/10.1007/978-94-009-3533-4_5.

- Paillard, J. (1991). Motor and representational framing of space. In J. Paillard (Ed.), *Brain and space* (pp. 163-182). Oxford: Oxford University Press.
- Péruch, P., May, M. & Wartenberg, F. (1997). Homing in virtual environments: Effects of field of view and path layout. *Perception*, 26, 301-311. <https://doi.org/10.1068/p260301>.
- Philbeck, J. W., Loomis, J. M. & Beall, A. C. (1997). Visually perceived location is an invariant in the control of action. *Perception & Psychophysics*, 59, 601-612. <https://doi.org/10.3758/bf03211868>.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1967). The child's conception of space. New York: Norton. (Originalwerk veröffentlicht 1948).
- Posner, M. I. & Snyder, C. R. R. (1975). Attention and cognitive control. In R. L. Solso (Ed.), *Information processing and cognition*. Hillsdale: Erlbaum.
- Presson, C. C. & Montello, D. R. (1994). Updating after rotational and translational body movements: Coordinate structure of perspective space. *Perception*, 23, 1447-1455. <https://doi.org/10.1068/p231447>.
- Puls, K. (2009). *Aktualisierung der räumlichen Umgebung: Der Einfluss von Desorientierung*. (Nicht veröffentlichte Diplomarbeit). Helmut-Schmidt-Universität Hamburg.
- Riecke, B. E. & McNamara, T. P. (2017). Where you are affects what you can easily imagine: Environmental geometry elicits sensorimotor interference in remote perspective taking. *Cognition*, 169, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.07.014>.
- Rieser, J. J. (1989). Access to knowledge of spatial structure at novel points of observation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1157-1165. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.15.6.1157>.
- Rieser, J. J. (1990). Development of perceptual-motor control while walking without vision: The calibration of perception and action. In H. Bloch & B. I. Bertenthal (Eds.), *Sensory-motor organizations and development in infancy and early childhood* (pp. 379-408). Dordrecht: Kluwer. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2071-2_30.
- Rieser, J. J., Garing, A. E. & Young, M. F. (1994). Imagery, action, and young children's spatial orientation: It's not being there that counts, it's what one has in mind. *Child Development*, 65, 1262-1278. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1994.tb00816.x>.
- Rieser, J. J., Guth, D. A. & Hill, E. W. (1986). Sensitivity to perspective structure while walking without vision. *Perception*, 15, 173-188. <https://doi.org/10.1068/p150173>.

- Rump, B. & McNamara, T. P. (2013). Representations of interobject spatial relations in long-term memory. *Memory & Cognition*, *41*, 201-213. <https://doi.org/10.3758/s13421-012-0257-6>.
- Schneider, W. & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, Search, and attention. *Psychological Review*, *84*, 1-66. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.84.1.1>.
- Schultheis, H. (2007). A control perspective on imaginal perspective taking. In R. L. Lewis, T. A. Polk & J. E. Laird (Eds.), *Proceedings of the 8th international conference on cognitive modeling (ICCM)*, Ann Arbor, (pp. 19–24).
- Schutz, R. W. & Roy, E. A. (1973). Absolute error. The devil in disguise. *Journal of Motor Behavior*, *5*, 141-153. <https://doi.org/10.1080/00222895.1973.10734959>.
- Shelton, A. L. & McNamara, T. P. (1997). Multiple views of spatial memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *4*, 102-106. <https://doi.org/10.3758/BF03210780>.
- Shelton, A. L. & McNamara, T. P. (2001). Systems of spatial reference in human memory. *Cognitive Psychology*, *43*, 274-310. <https://doi.org/10.1006/cogp.2001.0758>.
- Shettleworth, S. J. (1998). *Cognition, evolution, and behavior*. New York: Oxford University Press.
- Sholl, M. J. (2001). The role of a self-reference system in spatial navigation. In D. R. Montello (Ed.), *Spatial information theory: Foundations of geographic information science* (pp. 217-232). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-45424-1_15.
- Sholl, M. J. & Nolin, T. L. (1997). Orientation specificity in representations of place. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *23*, 1494-1507. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.23.6.1494>.
- Simons, D. J. & Wang, R. F. (1998). Perceiving real-world viewpoint changes. *Psychological Science*, *9*, 315-320. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00062>.
- Snyder, L. H., Batista, A. P. & Andersen, R. A. (1997). Coding of intention in the posterior parietal cortex. *Nature*, *386*, 167-170. <https://doi.org/10.1038/386167a0>.
- Sohn, M. & Carlson, R. A. (2003). Viewpoint alignment and response conflict during spatial judgment. *Psychonomic Bulletin & Review*, *10*, 907-916. <https://doi.org/10.3758/bf03196551>.
- Stein, B. E. & Meredith, M. A. (1993). *The merging of the senses*. Cambridge: MIT Press.
- Street, W. N. & Wang, R. F. (2014). Differentiating spatial memory from spatial transformations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *40*, 602-608. <https://doi.org/10.1037/a0035279>.

- Ungerleider, L. G. & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behavior* (pp. 549-586). Cambridge: MIT Press.
- Waller, D. & Hodgson, E. (2006.). Transient and enduring spatial representations under disorientation and self-rotation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *32*, 867-882. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.32.4.867>.
- Waller, D., Montello, D. R., Richardson, A. E. & Hegarty, M. (2002). Orientation specificity and spatial updating of memories for layouts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *28*, 1051-1063. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.28.6.1051>.
- Wang, R. F. (2004a). Action, verbal response and spatial reasoning. *Cognition*, *94*, 185-192. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.05.001>.
- Wang, R. F. (2004b). Between reality and imagination: When is spatial updating automatic? *Perception & Psychophysics*, *66*, 68-76. <https://doi.org/10.3758/bf03194862>.
- Wang, R. F. (2005). Beyond imagination: Perspective change problems revisited. *Psicológica*, *26*, 25-38.
- Wang, R. F. (2007). Spatial processing and view-dependent representations. In F. Mast & L. Jäncke (Eds.), *Spatial processing in navigation, imagery and perception* (pp. 49-65). New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71978-8_4.
- Wang, R. F. & Brockmole, J. R. (2003a). Human navigation in nested environments. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *29*, 398-404. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.29.3.398>.
- Wang, R. F. & Brockmole, J. R. (2003b). Simultaneous spatial updating in nested environments. *Psychonomic Bulletin & Review*, *10*, 981-986. <https://doi.org/10.3758/bf03196562>.
- Wang, R. F. & Simons, D. J. (1999). Active and passive scene recognition across views. *Cognition*, *70*, 191-210. [https://doi.org/10.1016/s0010-0277\(99\)00012-8](https://doi.org/10.1016/s0010-0277(99)00012-8).
- Wang, R. F. & Spelke, E. S. (2000). Updating egocentric representations in human navigation. *Cognition*, *77*, 215-250. [https://doi.org/10.1016/s0010-0277\(00\)00105-0](https://doi.org/10.1016/s0010-0277(00)00105-0).
- Wang, R. F. & Spelke, E. S. (2002). Human spatial representation: Insights from animals. *Trends in Cognitive Sciences*, *6*, 376-382. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(02\)01961-7](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(02)01961-7).

- Werner, S. & Schmidt, K. (1999). Environmental reference systems for large-scale spaces. *Spatial Cognition and Computation*, 1, 447-473.
- Williams, B., Narasimham, G., Westerman, C., Rieser, J. & Bodenheimer, B. (2007). Functional similarities in spatial representations between real and virtual environments. *ACM Transactions on Applied Perception*, 4, 1-22. <https://doi.org/10.1145/1265957.1265961>.
- Wolbers, T. & Büchel, C. (2005). Dissociable retrosplenial and hippocampal contributions to successful formation of survey representations. *The Journal of Neuroscience*, 25, 3333-3340. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.4705-04.2005>.
- Wolbers, T., Hegarty, M., Büchel, C. & Loomis, J. M. (2008). Spatial updating: How the brain keeps track of changing object locations during observer motion. *Nature Neuroscience*, 11, 1223-1230. <https://doi.org/10.1038/nn.2189>.
- Wraga, M. (2003). Thinking outside the body: An advantage for spatial updating during imagined versus physical self-rotation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 29, 993-1005. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.29.5.993>.
- Wraga, M., Creem, S. H. & Proffitt, D. R. (2000). Updating displays after imagined object and viewer rotations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 26, 151-168. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.26.1.151>.
- Zacks, J. M., Mires, J., Tversky, B. & Hazeltine, E. (2000). Mental spatial transformations of objects and perspective. *Spatial Cognition and Computation*, 2, 315-332. <https://doi.org/10.1023/a:1015584100204>.
- Zacks, J. M. & Tversky, B. (2005). Multiple systems for spatial imagery: Transformations of objects and bodies. *Spatial Cognition and Computation*, 5, 271-306. https://doi.org/10.1207/s15427633scc0504_1.

Anhang

Anhang A: Versuchsprotokoll Experiment 1 (Vorabinformation Perspektive)

1. Begrüßung und Eingangsinstruktion

findet im Raum 2319 statt

*Begrüßung, Raumgedächtnisexperiment, ca.1 Std. Dauer
Ausfüllen informierter Einwilligung
Angaben in die Liste eintragen
Abbrechen des Experiments, falls VP sich nicht wohl fühlt*

2. Lernphase

Betreten des Versuchsraumes

*18 Objekte mit Namensschildern
Sie sollen sich die Lage der Objekte einprägen und später die Position anzeigen.
Wechseln Sie bitte beim Lernen ihren Standpunkt und lernen aus verschiedenen
Positionen.*

Sie haben hierfür 5 Minuten Zeit.

Zeit stoppen

3. Kriteriumsüberprüfung

VP Position und Ausrichtung im Raum zuweisen (2mal)
jedes Objekt einmal anzeigen (18 Objekte), korrigieren, falls falsch angezeigt

*Stellen Sie sich bitte an folgende Position und schauen Sie in folgende Richtung.
Zeigen Sie bitte mit ausgestrecktem Arm auf das genannte Zielobjekt.*

VP Position und Ausrichtung im Raum zuweisen (2mal)
jedes Objekt einmal anzeigen (18 Objekte), korrigieren, falls falsch angezeigt

*Stellen Sie sich bitte an folgende Position und schauen Sie in folgende Richtung.
Zeigen Sie mit ausgestrecktem Arm auf das genannte Zielobjekt, **diesmal mit
geschlossenen Augen.***

Ich bitte Sie nun kurz vor die Tür zu gehen.

VP verlässt den Raum

4. Physikalische Verankerung

Stuhl auf dem Objekt Schlüssel positionieren
VP in den Raum holen und auf dem Stuhl Platz nehmen lassen

*Sie befinden sich IN Schlüssel und schauen NACH Teller.
Sie sollen nun die anderen Objekte aus dieser Perspektive anzeigen.*

*Im Versuch hören Sie:
IN [Schlüssel], dies gibt die Position an, an der Sie sich befinden
NACH [Teller], dies definiert die Richtung, in die Sie schauen.
Danach wird das [Zielobjekt] genannt, das Sie anzeigen sollen.*

5. Erklärung des Joysticks

*Dazu verwenden Sie diesen Joystick, der auf eine Platte montiert ist, die Sie auf
den Oberschenkeln abstellen können.*

VP Joystick geben

*Die Knöpfe brauchen Sie nicht, Sie sollen nur mit dem Stick die Richtung der
Objekte anzeigen. Achten Sie darauf, möglichst schnell und gleichzeitig genau zu
reagieren.
Nach dem Ausschlagen führen Sie den Joystick wieder in die Ausgangsposition
zurück.*

6. Übungsphase

*Um die Benutzung des Joysticks zu üben, machen wir jetzt zunächst einen
Übungsdurchgang mit verbundenen Augen. Dazu setzen Sie bitte die Brille auf.*

Brille aufsetzen

Start des Experiments „Practice“

7. Testphase

*Sie kennen nun den Joystick und die Position der Objekte.
Im Test wird es nun ein wenig schwieriger. Sie sollen gleich in jedem Durchgang
aus einer **vorgestellten** Perspektive auf eines der Objekte zeigen.*

*Im Versuch hören Sie zum Beispiel: IN [Eimer], NACH [Stempel], [Tasse].
Sie sollen sich dann vorstellen, Sie befinden sich beim Objekt Eimer und schauen
Richtung Stempel. Entsprechend dieser Perspektive sollen Sie dann die Lage der
Tasse **möglichst schnell und gleichzeitig genau** anzeigen.*

*Danach wird die nächste Perspektive durch IN [Objekt 1] NACH [Objekt 2],
gefolgt vom anzuzeigenden [Zielobjekt] angesagt.*

*Wenn Sie die richtige Richtung angezeigt haben, hören Sie einen kurzen Ton.
Wenn das Anzeigen der Richtung falsch war, hören Sie keinen Ton.*

Das Experiment besteht aus insgesamt 3 Abschnitten (je ca. 15 Minuten) zwischen denen jeweils eine Pause erfolgt, in der Sie die Brille aufbehalten.

Falls Sie keine Fragen mehr haben, beginnt jetzt das Experiment.

Start des Experiments „Test“

VP-Nummer und andere Angaben entsprechend der Liste eintragen

8. Abschluss und Verabschiedung

für die Teilnahme bedanken, auf Verschwiegenheit hinweisen, ggfs. VP-Stunden eintragen, abstempeln und unterschreiben, VP verabschieden

Anhang B: Versuchsprotokoll Experiment 1 (Vorabinformation Zielobjekt)

1. Begrüßung und Eingangsinstruktion

findet im Raum 2319 statt

*Begrüßung, Raumgedächtnisexperiment, ca.1 Std. Dauer
Ausfüllen informierter Einwilligung
Angaben in die Liste eintragen
Abbrechen des Experiments, falls VP sich nicht wohl fühlt*

2. Lernphase

Betreten des Versuchsraumes

*18 Objekte mit Namensschildern
Sie sollen sich die Lage der Objekte einprägen und später die Position anzeigen.
Wechseln Sie bitte beim Lernen ihren Standpunkt und lernen aus verschiedenen
Positionen.*

Sie haben hierfür 5 Minuten Zeit.

Zeit stoppen

3. Kriteriumsüberprüfung

VP Position und Ausrichtung im Raum zuweisen (2mal)
jedes Objekt einmal anzeigen (18 Objekte), korrigieren, falls falsch angezeigt

*Stellen Sie sich bitte an folgende Position und schauen Sie in folgende Richtung.
Zeigen Sie bitte mit ausgestrecktem Arm auf das genannte Zielobjekt.*

VP Position und Ausrichtung im Raum zuweisen (2mal)
jedes Objekt einmal anzeigen (18 Objekte), korrigieren, falls falsch angezeigt

*Stellen Sie sich bitte an folgende Position und schauen Sie in folgende Richtung.
Zeigen Sie mit ausgestrecktem Arm auf das genannte Zielobjekt, **diesmal mit
geschlossenen Augen.***

Ich bitte Sie nun kurz vor die Tür zu gehen.

VP verlässt den Raum

4. Physikalische Verankerung

Stuhl auf dem Objekt Schlüssel positionieren
VP in den Raum holen und auf dem Stuhl Platz nehmen lassen

*Sie befinden sich IN Schlüssel und schauen NACH Teller.
Sie sollen nun die anderen Objekte aus dieser Perspektive anzeigen.*

*Im Versuch hören Sie zuerst das [Zielobjekt], das Sie anzeigen sollen. Dies zeigen Sie kurz mit einem Kopfnicken in die entsprechende Richtung an.
Danach erfolgt die Ansage IN [Schlüssel], dies gibt die Position an, an der Sie sich befinden,
gefolgt von der Ansage NACH [Teller], dies definiert die Richtung, in die Sie schauen.*

5. Erklärung des Joysticks

Dazu verwenden Sie diesen Joystick, der auf eine Platte montiert ist, die Sie auf den Oberschenkeln abstellen können.

VP Joystick geben

*Die Knöpfe brauchen Sie nicht, Sie sollen nur mit dem Stick die Richtung der Objekte anzeigen. Achten Sie darauf, möglichst schnell und gleichzeitig genau zu reagieren.
Nach dem Ausschlagen führen Sie den Joystick wieder in die Ausgangsposition zurück.*

6. Übungsphase

Um die Benutzung des Joysticks zu üben, machen wir jetzt zunächst einen Übungsdurchgang mit verbundenen Augen. Dazu setzen Sie bitte die Brille auf.

Brille aufsetzen

Start des Experiments „Practice“

7. Testphase

*Sie kennen nun den Joystick und die Position der Objekte.
Im Test wird es nun ein wenig schwieriger. Sie sollen gleich in jedem Durchgang aus einer **vorgestellten** Perspektive auf eines der Objekte zeigen.*

*Im Versuch hören Sie zum Beispiel: [Tasse], IN [Eimer], NACH [Stempel].
Sie hören das Zielobjekt Tasse, das sie durch Kopfnicken in die entsprechende Richtung kurz anzeigen. Dann sollen Sie sich vorstellen, Sie befinden sich beim Objekt Eimer und schauen Richtung Stempel. Entsprechend dieser Perspektive sollen Sie dann die Lage der Tasse **möglichst schnell und gleichzeitig genau** anzeigen.*

Danach wird das nächste [Zielobjekt], das sie anzeigen sollen, angesagt, gefolgt von der Perspektive durch IN [Objekt 1] NACH [Objekt 2].

*Wenn Sie die richtige Richtung angezeigt haben, hören Sie einen kurzen Ton.
Wenn das Anzeigen der Richtung falsch war, hören Sie keinen Ton.*

Das Experiment besteht aus insgesamt 3 Abschnitten (je ca. 15 Minuten) zwischen denen jeweils eine Pause erfolgt, in der Sie die Brille aufbehalten.

Falls Sie keine Fragen mehr haben, beginnt jetzt das Experiment.

Start des Experiments „Test“

VP-Nummer und andere Angaben entsprechend der Liste eintragen

8. Abschluss und Verabschiedung

für die Teilnahme bedanken, auf Verschwiegenheit hinweisen, ggfs. VP-Stunden eintragen, abstempeln und unterschreiben, VP verabschieden

Anhang C: Versuchsprotokoll Experiment 2

1. Begrüßung und Eingangsinstruktion

findet im Raum 2319 statt

*Begrüßung, Raumgedächtnisexperiment, ca. 1,5 Std. Dauer
Ausfüllen informierter Einwilligung
Angaben in die Liste eintragen
Abbrechen des Experiments, falls VP sich nicht wohl fühlt*

2. Lernphase

Betreten des Versuchsraumes

*18 Objekte mit Namensschildern
Sie sollen sich die Lage der Objekte einprägen und später die Position anzeigen.
Wechseln Sie bitte beim Lernen ihren Standpunkt und lernen aus verschiedenen
Positionen.*

Sie haben hierfür 5 Minuten Zeit.

Zeit stoppen

3. Kriteriumsüberprüfung

VP Position und Ausrichtung im Raum zuweisen (2mal)
jedes Objekt einmal anzeigen (18 Objekte), korrigieren, falls falsch angezeigt

*Stellen Sie sich bitte an folgende Position und schauen Sie in folgende Richtung.
Zeigen Sie bitte mit ausgestrecktem Arm auf das genannte Zielobjekt.*

VP Position und Ausrichtung im Raum zuweisen (2mal)
jedes Objekt einmal anzeigen (18 Objekte), korrigieren, falls falsch angezeigt

*Stellen Sie sich bitte an folgende Position und schauen Sie in folgende Richtung.
Zeigen Sie mit ausgestrecktem Arm auf das genannte Zielobjekt, **diesmal mit
geschlossenen Augen.***

Ich bitte Sie nun kurz vor die Tür zu gehen.

VP verlässt den Raum

4. Physikalische Verankerung

Stuhl auf dem Objekt Kerze positionieren
VP in den Raum holen und auf dem Stuhl Platz nehmen lassen

*Sie befinden sich IN Kerze und schauen NACH Bleistift.
Sie sollen nun die anderen Objekte aus dieser Perspektive anzeigen.*

*Im Versuch hören Sie:
IN [Kerze], dies gibt die Position an, an der Sie sich befinden
NACH [Bleistift], dies definiert die Richtung, in die Sie schauen.
Danach wird das [Zielobjekt] genannt, das Sie anzeigen sollen.*

5. Erklärung des Joysticks

*Dazu verwenden Sie diesen Joystick, der auf eine Platte montiert ist, die Sie auf
den Oberschenkeln abstellen können.*

VP Joystick geben

*Die Knöpfe brauchen Sie nicht, Sie sollen nur mit dem Stick die Richtung der
Objekte anzeigen. Achten Sie darauf, möglichst schnell und gleichzeitig genau zu
reagieren.
Nach dem Ausschlagen führen Sie den Joystick wieder in die Ausgangsposition
zurück.*

6. Übungsphase

*Um die Benutzung des Joysticks zu üben, machen wir jetzt zunächst einen
Übungsdurchgang mit verbundenen Augen. Dazu setzen Sie bitte die Brille auf.*

Brille aufsetzen

Start des Experiments „Practice“

7. Testphase

*Sie kennen nun den Joystick und die Position der Objekte.
Im Test wird es nun ein wenig schwieriger. Sie sollen gleich in jedem Durchgang
aus einer **vorgestellten** Perspektive auf eines der Objekte zeigen.*

*Im Versuch hören Sie zum Beispiel: IN [Wecker] NACH [Schlüssel] [Stempel].
Sie sollen sich dann vorstellen, Sie befinden sich beim Objekt Wecker und schauen
Richtung Schlüssel. Entsprechend dieser Perspektive sollen Sie dann die Lage des
Stempels **möglichst schnell und gleichzeitig genau** anzeigen.*

*Danach wird die nächste Perspektive durch IN [Objekt 1] NACH [Objekt 2],
gefolgt vom anzuzeigenden [Zielobjekt] angesagt.*

*Wenn Sie die richtige Richtung angezeigt haben, hören Sie einen kurzen Ton.
Wenn das Anzeigen der Richtung falsch war, hören Sie keinen Ton.*

Das Experiment besteht aus insgesamt 5 Abschnitten (je ca. 15 Minuten) zwischen denen jeweils eine Pause erfolgt, in der Sie die Brille aufbehalten.

Falls Sie keine Fragen mehr haben, beginnt jetzt das Experiment.

Start des Experiments „Test“

VP-Nummer und andere Angaben entsprechend der Liste eintragen

8. Abschluss und Verabschiedung

für die Teilnahme bedanken, auf Verschwiegenheit hinweisen, ggfs. VP-Stunden eintragen, abstempeln und unterschreiben, VP verabschieden

Anhang D: Versuchsprotokoll Experiment 3

1. Begrüßung und Eingangsinstruktion

findet im Raum 2319 statt

*Begrüßung, Raumgedächtnisexperiment, ca. 1,5 Std. Dauer
Ausfüllen informierter Einwilligung
Angaben in die Liste eintragen
Abbrechen des Experiments, falls VP sich nicht wohl fühlt*

2. Lernphase

Betreten des Versuchsraumes

*18 Objekte mit Namensschildern
Sie sollen sich die Lage der Objekte einprägen und später die Position anzeigen.
Beim Lernen stellen Sie sich bitte auf das Objekt Kerze (Markierungen).*

Sie haben hierfür 5 Minuten Zeit.

Zeit stoppen

3. Kriteriumsüberprüfung

VP Position und Ausrichtung im Raum zuweisen (2mal)
jedes Objekt einmal anzeigen (18 Objekte), korrigieren, falls falsch angezeigt

*Stellen Sie sich bitte an folgende Position und schauen Sie in folgende Richtung.
Zeigen Sie bitte mit ausgestrecktem Arm auf das genannte Zielobjekt.*

VP Position und Ausrichtung im Raum zuweisen (2mal)
jedes Objekt einmal anzeigen (18 Objekte), korrigieren, falls falsch angezeigt

*Stellen Sie sich bitte an folgende Position und schauen Sie in folgende Richtung.
Zeigen Sie mit ausgestrecktem Arm auf das genannte Zielobjekt, **diesmal mit geschlossenen Augen.***

Ich bitte Sie nun kurz vor die Tür zu gehen.

VP verlässt den Raum

4. Physikalische Verankerung

Stuhl auf dem Objekt Kerze positionieren
VP in den Raum holen und auf dem Stuhl Platz nehmen lassen

*Sie befinden sich IN Kerze und schauen NACH Bleistift.
Sie sollen nun die anderen Objekte aus dieser Perspektive anzeigen.*

*Im Versuch hören Sie:
IN [Kerze], dies gibt die Position an, an der Sie sich befinden
NACH [Bleistift], dies definiert die Richtung, in die Sie schauen.
Danach wird das [Zielobjekt] genannt, das Sie anzeigen sollen.*

5. Erklärung des Joysticks

Dazu verwenden Sie diesen Joystick, der auf eine Platte montiert ist, die Sie auf den Oberschenkeln abstellen können.

VP Joystick geben

*Die Knöpfe brauchen Sie nicht, Sie sollen nur mit dem Stick die Richtung der Objekte anzeigen. Achten Sie darauf, möglichst schnell und gleichzeitig genau zu reagieren.
Nach dem Ausschlagen führen Sie den Joystick wieder in die Ausgangsposition zurück.*

6. Übungsphase

Um die Benutzung des Joysticks zu üben, machen wir jetzt zunächst einen Übungsdurchgang mit verbundenen Augen. Dazu setzen Sie bitte die Brille auf.

Brille aufsetzen

Start des Experiments „Practice“

7. Testphase

*Sie kennen nun den Joystick und die Position der Objekte.
Im Test wird es nun ein wenig schwieriger. Sie sollen gleich in jedem Durchgang aus einer **vorgestellten** Perspektive auf eines der Objekte zeigen.*

*Im Versuch hören Sie zum Beispiel: IN [Wecker] NACH [Schlüssel] [Stempel].
Sie sollen sich dann vorstellen, Sie befinden sich beim Objekt Wecker und schauen Richtung Schlüssel. Entsprechend dieser Perspektive sollen Sie dann die Lage des Stempels **möglichst schnell und gleichzeitig genau** anzeigen.*

Danach wird die nächste Perspektive durch IN [Objekt 1] NACH [Objekt 2], gefolgt vom anzuzeigenden [Zielobjekt] angesagt.

*Wenn Sie die richtige Richtung angezeigt haben, hören Sie einen kurzen Ton.
Wenn das Anzeigen der Richtung falsch war, hören Sie keinen Ton.*

Das Experiment besteht aus insgesamt 5 Abschnitten (je ca. 15 Minuten) zwischen denen jeweils eine Pause erfolgt, in der Sie die Brille aufbehalten.

Falls Sie keine Fragen mehr haben, beginnt jetzt das Experiment.

Start des Experiments „Test“

VP-Nummer und andere Angaben entsprechend der Liste eintragen

8. Abschluss und Verabschiedung

für die Teilnahme bedanken, auf Verschwiegenheit hinweisen, ggfs. VP-Stunden eintragen, abstempeln und unterschreiben, VP verabschieden

Anhang E: Versuchsprotokoll Experiment 4

1. Begrüßung und Eingangsinstruktion

findet im Raum 2319 statt

*Begrüßung, Raumgedächtnisexperiment, ca.1 Std. Dauer
Ausfüllen informierter Einwilligung
Angaben in die Liste eintragen
Abbrechen des Experiments, falls VP sich nicht wohl fühlt*

2. Lernphase

Betreten des Versuchsraumes

*18 Objekte mit Namensschildern
Sie sollen sich die Lage der Objekte einprägen und später die Position anzeigen.
Wechseln Sie bitte beim Lernen mehrfach ihren Standpunkt und lernen aus
verschiedenen Positionen.*

Sie haben hierfür 5 Minuten Zeit.

Zeit stoppen

3. Kriteriumsüberprüfung

VP Position und Ausrichtung im Raum zuweisen (2mal)
jedes Objekt einmal anzeigen (18 Objekte), korrigieren, falls falsch angezeigt

*Stellen Sie sich bitte an folgende Position und schauen Sie in folgende Richtung.
Zeigen Sie bitte mit ausgestrecktem Arm auf das genannte Zielobjekt.*

VP Position und Ausrichtung im Raum zuweisen (2mal)
jedes Objekt einmal anzeigen (18 Objekte), korrigieren, falls falsch angezeigt

*Stellen Sie sich bitte an folgende Position und schauen Sie in folgende Richtung.
Zeigen Sie mit ausgestrecktem Arm auf das genannte Zielobjekt, **diesmal mit
geschlossenen Augen.***

Ich bitte Sie nun kurz vor die Tür zu gehen.

VP verlässt den Raum

4. Physikalische Verankerung

Stuhl auf dem Objekt Kerze positionieren
VP in den Raum holen und auf dem Stuhl Platz nehmen lassen

*Sie befinden sich IN Kerze und schauen NACH Bleistift.
Sie sollen nun die anderen Objekte aus dieser Perspektive anzeigen.*

*Im Versuch hören Sie:
IN [Kerze], dies gibt die Position an, an der Sie sich befinden.
NACH [Bleistift], dies definiert die Richtung, in die Sie schauen.
Danach wird das [Zielobjekt] genannt, das Sie anzeigen sollen.*

5. Erklärung des Joysticks

Dazu verwenden Sie diesen Joystick, der auf eine Platte montiert ist, die Sie auf den Oberschenkeln abstellen können.

VP Joystick geben

*Wenn Sie sich die Position (IN [Kerze]) vergegenwärtigt haben, drücken Sie die Joysticktaste mit dem Zeigefinger.
Wenn Sie sich die Ausrichtung (NACH [Bleistift]) vorgestellt haben, drücken Sie erneut die Joysticktaste mit dem Zeigefinger.
Das [Zielobjekt] sollen sie durch Ausschlagen des Sticks in die entsprechende Richtung anzeigen. Achten Sie darauf, möglichst schnell und gleichzeitig genau zu reagieren.
Nach dem Ausschlagen führen Sie den Joystick wieder in die Ausgangsposition zurück.*

6. Übungsphase

Um die Benutzung des Joysticks zu üben, machen wir jetzt zunächst einen Übungsdurchgang mit verbundenen Augen. Dazu setzen Sie bitte die Brille auf.

Brille aufsetzen

Start des Experiments „Practice“

7. Testphase

*Sie kennen nun den Joystick und die Position der Objekte.
Im Test wird es nun ein wenig schwieriger. Sie sollen gleich in jedem Durchgang aus einer **vorgestellten** Perspektive auf eines der Objekte zeigen.*

*Im Versuch hören Sie zum Beispiel: IN [Wecker] NACH [Schlüssel] [Stempel].
Sie sollen sich dann vorstellen, Sie befinden sich beim Objekt Wecker und schauen Richtung Schlüssel. **Betätigen Sie erst jeweils dann die Taste, wenn sie sich mental in die Position (IN [Wecker]) und die Ausrichtung (NACH [Stempel]) hineinversetzt haben. Nutzen Sie die Vorbereitungszeit, um sich die Perspektive vorzustellen und die Zeit zum Anzeigen des Zielobjekts so kurz wie möglich zu halten.***

*Entsprechend dieser Perspektive sollen Sie dann die Lage des Stempels **möglichst schnell und gleichzeitig genau** anzeigen.*

Danach wird die nächste Perspektive durch IN [Objekt 1] NACH [Objekt 2], gefolgt vom anzuzeigenden [Zielobjekt] angesagt.

Wenn Sie die richtige Richtung angezeigt haben, hören Sie einen kurzen Ton. Wenn das Anzeigen der Richtung falsch war, hören Sie keinen Ton.

Das Experiment besteht aus insgesamt 3 Abschnitten (je ca. 15 Minuten) zwischen denen jeweils eine Pause erfolgt, in der Sie die Brille aufbehalten.

Falls Sie keine Fragen mehr haben, beginnt jetzt das Experiment.

Start des Experiments „Test“

VP-Nummer und andere Angaben entsprechend der Liste eintragen

8. Abschluss und Verabschiedung

für die Teilnahme bedanken, auf Verschwiegenheit hinweisen, ggfs. VP-Stunden eintragen, abstempeln und unterschreiben, VP verabschieden

Anhang F: Informierte Einwilligung

Space.Cognition



Informierte Einwilligung zur Teilnahme am Experiment

Sehr geehrte/r Forschungsteilnehmer/in,

hiermit informieren wir Sie darüber, dass die Teilnahme an diesem Experiment freiwillig ist und jederzeit ohne negative Konsequenzen abgebrochen werden kann.

Es besteht die Möglichkeit, nach Ablauf des Experiments, per E-Mail über den Sinn und die Ergebnisse dieser Untersuchung aufgeklärt zu werden. Bitte tragen Sie unten Ihre E-Mail-Adresse ein, wenn Sie an diesen Informationen interessiert sind.

Wir bitten Sie für die nächsten Wochen Stillschweigen über den Versuch zu bewahren, damit die Ergebnisse von folgenden Versuchsteilnehmenden nicht beeinflusst werden. Vielen Dank!

Ich habe den Text zur Kenntnis genommen und erkläre mich mit den oben genannten Bedingungen der Teilnahme am Experiment einverstanden.

Ort, Datum

Unterschrift

E-Mail-Adresse

Verantwortlich für den Arbeitsbereich Raum- und Umweltkognition:

Privatdozent Dr. Mark May
Helmut-Schmidt-Universität Hamburg
Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften
Holstenhofweg 85
D-22043 Hamburg – Deutschland
Tel. +49 40 6541 2568
E-Mail: mm@hsu-hh.de

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig und ohne unzulässige Hilfe verfasst habe. Zudem erkläre ich, dass ich nicht die Hilfe von Vermittlungs- oder Beratungsdiensten in Anspruch genommen, keine Entgelte im Zusammenhang mit dem Promotionsverfahren und seiner Vorbereitung gezahlt oder Dienste unentgeltlich in Anspruch genommen habe, die dem Sinn und Zweck eines Promotionsverfahrens widersprechen. Des Weiteren versichere ich, dass ich keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und wörtliche oder sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Ich erkläre, dass ich mich bisher keiner Doktorprüfung unterzogen oder um Zulassung zu einer solchen beworben habe. Zudem erkläre ich, dass die Dissertation in dieser oder ähnlicher Form bei keiner anderen Hochschule eingereicht worden ist.

Ort, Datum

Unterschrift