

„Verkörperte mentale Rotation: objektbasierte und egozentrische Transformationen vor dem Embodiment-Ansatz“

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Fakultät für Psychologie, Pädagogik und Sportwissenschaft
der Universität Regensburg



vorgelegt von

Sandra Kaltner

aus Rosenheim

2015

Regensburg 2015

Erstgutachter: Professor Doktor Petra Jansen

Zweitgutachter: Professor Doktor Hans Gruber

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
I. Theoretischer Hintergrund und Forschungsstand	6
1. Mentale Rotation.....	6
1.1 Das Paradigma der mentalen Rotation	6
1.2 Entwicklungspsychologische Aspekte in der mentalen Rotation	7
2. Objektbasierte und egozentrische Transformationen in der mentalen Rotation.....	10
2.1 Evidenz für die Dissoziation zweier verschiedener Transformationsarten	10
2.2 Objektbasierte und egozentrische Transformationen im Entwicklungsverlauf	12
2.2.1 Kindesalter	12
2.2.2 Erwachsenenalter	14
2.2.3 Seniorenalter	17
3. Die Verkörperung objektbasierter und egozentrischer Transformationen	19
3.1 Die Beteiligung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation	19
3.2 Die Bedeutung motorischer Fähigkeiten in der mentalen Rotation	23
3.3 Embodiment-Ansatz.....	26
3.4 Embodiment-Ansatz in der mentalen Rotation	28
3.5 Embodiment-Ansatz in Bezug auf objektbasierte und egozentrische Transformationen.....	30
3.6 Der Einfluss des eigenen Körperbilds auf objektbasierte und egozentrische Transformationen	32
4. Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstandes	37
II. Empirische Untersuchung.....	41
5. Studie 1	41
5.1 Methode.....	42
5.1.1 Stichprobe.....	42
5.1.2 Instrumente	43
5.1.3 Versuchsdurchführung.....	45
5.1.4 Statistische Analyse	46
5.2 Ergebnisse	47
5.3 Diskussion.....	51
6. Studie 2	61
6.1 Methode.....	64
6.1.1 Stichprobe.....	64
6.1.2 Instrumente	64
6.1.3 Versuchsdurchführung.....	68
6.1.4 Statistische Analyse	68
6.2 Ergebnisse	70
6.3 Diskussion.....	79
7. Studie 3	91
7.1 Methode.....	95
7.1.1 Stichprobe.....	95
7.1.2 Instrumente	95
7.1.3 Versuchsdurchführung.....	97
7.1.4 Statistische Analyse	97
7.2 Ergebnisse	99
7.3 Diskussion.....	119

8. Gesamtdiskussion	142
8.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse der Untersuchungsreihe	142
8.2 Die kognitiven Determinanten der mentalen Rotation und ihre Verbindung zur Motorik...	144
8.3 Die Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses bei der mentalen Rotation.....	145
8.4 Der Zusammenhang zwischen Motorik und Arbeitsgedächtnis.....	146
8.5 Die Beteiligung der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit bei der mentalen Rotation	153
8.6 Der Zusammenhang zwischen Motorik und Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit....	159
8.7 Ausblick	165
9. Literatur	170

Zusammenfassung

Der Schwerpunkt der im Rahmen dieser Dissertation durchgeführten Studien liegt darauf, die mentale Rotation bezüglich ihrer beiden Transformationen, objektbasiert und egozentrisch, in Hinblick auf zwei Aspekte zu untersuchen: 1) Den Entwicklungsverlauf und 2) Die Beteiligung motorischer Prozesse. Die mentale Rotationsfähigkeit wird als eine spezielle visuell-räumliche Fähigkeit verstanden, zwei- oder dreidimensionale Objekte im Geiste zu drehen (Linn & Petersen, 1985). Bei mentalen Rotationsaufgaben werden zwei Arten von Strategien voneinander abgegrenzt: objektbasierte und egozentrische Transformationen. Im Rahmen von objektbasierten Rotationen bleibt die Position des Beobachters unverändert, während egozentrische Transformationsaufgaben erfordern, dass der Proband seine eigene Perspektive verändert und sich in die Position des Stimulus hineinversetzt. Dies führt dazu, dass ein simulativer Rotationsprozess des eigenen Körpers in Gang gesetzt wird (Devlin & Wilson, 2010; Kessler & Rutherford, 2010). Objektbasierte Rotationen entstehen durch eine gleich/gespiegelt-Antwort, während bei egozentrischen Transformationen meist das Bild eines menschlichen Körpers dargeboten wird, der entweder den linken oder rechten Arm ausstreckt. Hierbei soll eine Entscheidung über die Lateralität getroffen werden, sei es, ob es sich um den linken oder den rechten Arm handelt.

Die erste Studie dieser Untersuchungsreihe unterzog sich der Fragestellung, ob sich objektbasierte und egozentrische Transformationen bezüglich ihres Entwicklungsverlaufes unterscheiden. Mittels eines einheitlichen Designs wurden drei Altersgruppen miteinander verglichen: Kinder (8-11 Jahre), Erwachsene (18-25 Jahre) und Senioren (60-71 Jahre). Die Ergebnisse legten nahe, dass sich eine reduzierte Leistungsfähigkeit sowohl bezüglich der Reaktionszeit als auch hinsichtlich der Rotationsgeschwindigkeit bei Senioren und Kindern im Vergleich zu jungen Erwachsenen einstellte, wobei neben der mentalen Rotationsfähigkeit folgende drei Faktoren als ursächlich in Erwägung gezogen werden müssen: 1) Arbeitsgedächtnis, 2) Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und 3) sensomotorische Prozesse. Der Vergleich egozentrischer und objektbasierter Performanz ergab, dass ausschließlich Kinder Defizite in der egozentrischen Bedingung aufwiesen. Da diese Transformationsart eine perspektivische Transformation im Sinne einer motorischen Simulation erfordert, wurde geschlussfolgert, dass die Motorik einen ausschlaggebenden Faktor darstellen könnte. Diese Interpretation stell-

te die Grundlage für die zweite Untersuchung dieser Arbeit dar, die das Ausmaß der Beteiligung motorischer Prozesse bei den beiden Transformationsarten zum Schwerpunkt des Interesses machte.

Im Rahmen der zweiten Studie galt es, die beiden Transformationsarten hinsichtlich der Beteiligung motorischer Prozesse vor dem Hintergrund des Embodiment-Ansatzes zu beleuchten. Unter *Embodiment* (dt. = Verkörperung) versteht man, dass der Geist (d.h. Verstand, Denken, das kognitive System, die Psyche) immer in Bezug zum gesamten Körper steht (Storch, Cantieni, Hüther, & Tschacher, 2010). Ziel der zweiten Untersuchung war es, herauszufinden, ob die beiden Transformationsarten unterschiedlich stark verkörpert sind. Diese Forschungsfrage wurde anhand des Einflusses von zwei Variablen untersucht: 1) Motorische Fähigkeiten und 2) Das eigene Körperbild. Demzufolge wurden Sportler und Nicht-Sportler miteinander verglichen, um den Grad der motorischen Expertise zu variieren und damit die unterschiedlich starke Verwendung motorischer Ressourcen bei der Aufgabenbearbeitung zu überprüfen, die nach Moreau (2012) von Sportlern verstärkt herangezogen werden. Zur Bestimmung des Ausmaßes der Verkörperung durch die Präsentation eigener und fremder Körperbilder legen sowohl behaviorale Befunde (Ferri, Frassinetti, Costantini, & Gallese, 2011) als auch neuroanatomische Evidenzen (Tsakiris, 2010) nahe, dass die Verarbeitung eigener Körperbilder an motorische Prozesse gekoppelt ist. Die Ergebnisse der Studie 2 wiesen nach, dass Sportler besser abschnitten als Nicht-Sportler und sich dieser Leistungsvorteil ausschließlich in der egozentrischen Transformation einstellte. Bezüglich des Stimulusmaterials zeigte sich ein „Selbst-Nachteil“ in objektbasierten Rotationen, der auf ressourcen-einnehmende Selbstaufmerksamkeitsprozesse zurückgeführt wurde. Um Aufschluss über diesen potenziellen Erklärungsansatz zu erhalten, wurde dasselbe Experiment mit diversen Manipulationen durchgeführt und stellte die Grundlage für die dritte Studie dieser Untersuchungsreihe dar.

Änderungen, die an der zweiten Studie vorgenommen wurden, dienten dazu, zwei Fragestellungen zu adressieren: 1) Erhöht die Verwendung lebensgroßer Stimuli die in Studie 2 gefundenen Embodiment-Effekte? und 2) Sind Selbstaufmerksamkeitsprozesse verantwortlich für den in der zweiten Studie nachgewiesenen „Selbst-Nachteil“? Letztere wurde mittels der Durchführung einer zusätzlichen Wiedererkennungsaufgabe untersucht, in der eigene Körperfiguren von denen fremder Personen abgegrenzt

werden mussten. Die Ergebnisse der dritten Studie wiesen Verkörperungseffekte infolge der Manipulation des Stimulusmaterials nach, dabei schienen vorwiegend objektbasierte Rotationen zu profitieren. In dieser Bedingung wirkte sich die Verkörperung bezüglich der Beteiligung motorischer Fähigkeiten positiv im Sinne eines Rotationsvorteils aus. Der negative Einfluss des eigenen Körperbilds aus Studie 2 schien in der objektbasierten Bedingung durch Verkörperungseffekte kompensiert zu werden, während in der egozentrischen Transformation erstmals ein direkter „Selbst-Vorteil“ zu verzeichnen war. Dennoch befürworteten die Ergebnisse der Wiedererkennungsaufgabe die Annahme, dass die gefundenen nachteiligen Effekte der Verarbeitung eigener Körperbilder aus Studie 2 auf ressourcen-einnehmende Selbstaufmerksamkeitsprozesse zurückzuführen sind.

Zusammenfassend unterstreichen die Ergebnisse dieser Untersuchungsreihe die Bedeutung der Stimulusgröße als „Verkörperungs-Medium“ und betonen, dass die mentale Rotation ein Konstrukt ist, das weitere kognitive Determinanten wie das Arbeitsgedächtnis sowie die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit umfasst, die in Zukunft verstärkt als „verkörperte Kognitionen“ wahrgenommen und dementsprechend in der Forschung aufgegriffen werden sollten.

I. Theoretischer Hintergrund und Forschungsstand

1. Mentale Rotation

1.1 Das Paradigma der mentalen Rotation

Bei der mentalen Rotation (MR) handelt es sich nach Shepard und Metzler (1971) um eine spezielle kognitive Fähigkeit, räumliche Informationen mental zu repräsentieren und diese Repräsentation durch Drehung um die drei Raumachsen zu transformieren. In einem klassischen chronometrischen mentalen Rotationstest (cMRT) werden zwei Stimuli nebeneinander simultan präsentiert, wobei der linke Stimulus meist in aufrechter Position als Standard-Stimulus dient (Shepard & Metzler, 1971). Der rechte Stimulus ist in verschiedenen Winkelstellungen dargeboten. Die Probanden sollen so schnell und akkurat wie möglich entscheiden, ob der rechte Stimulus, der sogenannte Vergleichs-Stimulus, nachdem er in die aufrechte Position mental gedreht wurde, identisch zur Standardfigur ist oder ein Spiegelbild des linken Abbilds darstellt. Die Winkeldisparitäten werden pro Versuchsdurchgang variiert und die Reaktionszeit, die Fehlerrate sowie die mentale Rotationsgeschwindigkeit können als abhängige Variable erfasst werden. Bei der mentalen Rotationsgeschwindigkeit handelt es sich um einen invertierten Wert der Steigung, angegeben als Grad der Drehung pro Sekunde.

Die Reaktionszeiten zeigen ein von den Winkeldisparitäten abhängiges Muster: Mit ansteigender Winkeldifferenz nehmen die Reaktionszeiten zu (Shepard & Metzler, 1971). Aufgrund dieser linearen Beziehung zwischen Reaktionszeit und Winkeldisparität kann eine Regressionsgerade mit einer speziellen Steigung errechnet, sowie ein Achsenabschnitt dieser sogenannten mentalen Rotationsfunktion angegeben werden. Gemäß Cooper und Shepard (1973) bilden die Steigung und der Achsenabschnitt der Funktionsgeraden verschiedene kognitive Prozesse der mentalen Rotation ab. Die Autoren nehmen vier aufeinander folgende Prozesse an: Stimulusenkodierung, mentale Rotation, Vergleich der Objekte und motorische Reaktion. Heil und Rolke (2002) wiesen in ihrer elektrophysiologischen Studie nach, dass die Stufen der mentalen Rotation sequentiell und unabhängig voneinander ablaufen. Daraufhin postulierten Cooper und Shepard (1973), dass die Steigung der Regressionsgeraden die mentale Rotation an sich abbildet, während der Achsenabschnitt die Prozesse der Enkodierung, des Stimulusvergleichs und der motorischen Antwort umfasst. Zudem interpretierten Shepard

und Metzler (1971) dieses Reaktionszeitmuster als Hinweis dafür, dass der Prozess der mentalen Rotation der einer manuellen Bewegung gleicht. Wohlschläger und Wohlschläger (1998) bestätigen diese Annahme, indem sie nachwiesen, dass beiden Rotationen ein gemeinsamer Prozess zugrunde liegt und formulierten daraus die *Common-Processing-Hypothese*. Dieser Zusammenhang zwischen Motorik und mentaler Rotation ist ebenfalls auf neuroanatomischer Ebene ersichtlich.

Während des Lösen mentaler Rotationsaufgaben konnten bildgebende Verfahren die Beteiligung verschiedener Gehirnnareale nachweisen (Alivisatos & Petrides, 1997; Cohen et al., 1996, Tagaris et al., 1998), wobei die folgenden Areale für den mentalen Rotationsprozess von besonderer Bedeutung sind: Der parietale Kortex (Cohen et al., 1996), der Frontallappen (Anguera, Reuter-Lorenz, Willingham, & Seidler, 2010) sowie der primäre motorische Kortex (Kosslyn, Digirolamo, Thompson, & Alpert, 1998). Der mentale Rotationsprozess per se wird mit der Aktivierung der Parietallappen in Verbindung gebracht (Culham & Kanwisher, 2001), wobei konkret der superiore parietale Kortex involviert ist (Carpenter, Just, Keller, Eddy, & Thulborn, 1999). Gemäß Gogos et al. (2010) ist die Aktivität in den Parietallappen umso höher, je größer die Winkeldisparität zwischen dem Vergleichs- und dem Standardstimulus ist. Darüber hinaus konnte eine Aktivierung des intraparietalen Sulcus sowohl in fMRI- (Cohen et al., 1996; Jordan, Heinze, Lutz, Kanowski, & Jäncke, 2001) als auch in PET-Studien (Harris et al., 2000) nachgewiesen werden. Zudem fand Zacks (2008) in seiner Metaanalyse eine Aktivierung supplementär motorischer Areale und des primären motorischen Kortex, die seiner Ansicht nach die Beteiligung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation widerspiegelt.

1.2 Entwicklungspsychologische Aspekte in der mentalen Rotation

Generell lässt sich festhalten, dass die mentale Rotationsleistung durch viele verschiedene Faktoren sowie deren Interaktion beeinflusst wird. Beispielhaft sind hier der Einfluss des Stimulusmaterials (Cooper, 1975; Jansen-Osmann & Heil, 2007), des Alters (Berg, Hertzog, & Hunt, 1982; Cerella, Poon, & Fozard, 1981; Gaylord & Marsh, 1975), des Geschlechts (Jansen-Osmann & Heil, 2007; Voyer, 2011; Voyer & Hou, 2006), sowie die Verwendung verschiedener Rotationsstrategien (Kosslyn, 1981; Yuille & Steiger, 1982) anzuführen. Im Folgenden wird lediglich der Einfluss des Alters herausgearbeitet, da dieser entwicklungspsychologische Aspekt im Rahmen des ersten Experiments

dieser Arbeit im Zentrum des Interesses steht und die anderen Faktoren in dieser Untersuchungsreihe experimentell nicht berücksichtigt wurden.

Gemäß der *Birren-Hypothese* (Birren, 1974) kommt es mit zunehmendem Alter zu einer Reduktion der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit des zentralen Nervensystems, die zu erhöhten Latenzzeiten in Aufgaben zur Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit führt (Cerella, 1985). Die mentale Rotationsaufgabe gilt als wichtiges Instrument, um Altersunterschiede in der Geschwindigkeit und Genauigkeit von visuell-räumlicher Informationsverarbeitung zu erheben (Salthouse, 1985), da die Rotationsgeschwindigkeit, ausgedrückt in dem Anstieg der Regressionsgeraden, unabhängig von einer Verlangsamung auf der Wahrnehmungsebene (Walsh, 1976) oder der in motorischen Antwortprozessen (Welford, 1958) ist. Diese beiden Quellen kognitiver Verlangsamung sollten sich unabhängig vom Rotationswinkel auswirken und sich dementsprechend im Achsenabschnitt ausdrücken und nicht im Anstieg der Regressionsgeraden (Hertzog, Vernon, & Rypma, 1993). Evidenzen zu Altersunterschieden im MR-Achsenabschnitt sind zahlreich fundiert (Berg et al., 1982; Cerella et al., 1981). Altersbedingte Differenzen im Anstieg der Regressionsgeraden wurden beispielsweise durch Gaylord und Marsh (1975) belegt. Die Autoren verglichen Senioren (65-72 Jahre) mit jungen Erwachsenen (18-24 Jahre) und zeigten, dass die Rotationsgeschwindigkeit im Alter um den Faktor 1.8 verlangsamt war (Erwachsene: 17.7°/sec vs. Senioren: 9.6°/sec).

Allerdings betonen Kail, Pellegrino und Carter (1980), dass dieser Entwicklungswandel ebenso auf andere potenzielle Faktoren und deren Interaktion zurückgeführt werden kann: 1) Unterschiede im Stimulusmaterial und 2) Unterschiede in der Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses (AG). Bezüglich der Vertrautheit mit dem Stimulusmaterial vermittelt die *Komplexitätshypothese* nach Cerella, Poon und Williams (1980), dass zunehmende Aufgabenschwierigkeit in erhöhten Reaktionszeiten für ältere Individuen resultiert. Evidenz dazu lieferten Kail et al. (1980), die nachwiesen, dass der Altersunterschied besonders deutlich wird, wenn die Stimuli nicht bekannt waren. Sie verglichen dabei 22 Viertklässler und 22 College-Studenten und zeigten, dass bekanntes Stimulusmaterial (Buchstaben) im Vergleich zu unvertrauten PMA-Symbolen zu einem geringeren Anstieg der MR-Geraden bei den Kindern und somit einem geringeren Altersunterschied führte. Analog fanden Berg et al. (1982) robuste Altersunterschiede

bei der Verwendung komplexer zweidimensionaler geometrischer Figuren. Sie verglichen vier Altersgruppen, wobei die beiden älteren Stichproben signifikant niedrigere Rotationsgeschwindigkeiten und höhere mittlere Reaktionszeiten aufwiesen. Darüber hinaus überprüften sie Trainingseffekte und zeigten, dass ein viertägiges Training der MR-Fähigkeit zwar in allen Gruppen die Performanz verbesserte, die Altersunterschiede jedoch weiterhin bestehen blieben. Herman und Bruce (1983) erweiterten die *Komplexitätshypothese* und forderten, dass neben der Rotationsgeschwindigkeit auch die Genauigkeit in Abhängigkeit zur Stimuluskomplexität variiert. Evidenz dafür lieferten Gaylord und Marsh (1975), die im Vergleich junger Erwachsener mit älteren Menschen robuste Alterseffekte bezüglich der Fehlerrate unter Verwendung der Würfelfiguren nach Shepard und Metzler (1971) fanden, während Altersunterschiede in Studien, die Buchstaben verwendeten, eher gering und nicht signifikant ausfielen (Cerella et al., 1981; Jacewicz & Hartley, 1979). Herman und Bruce (1983) folgerten, dass die größere Komplexität bei Würfelfiguren darin besteht, dass sie die Visualisierung einer dreidimensionalen Rotation einer zweidimensionalen Figur erfordern. Die Aufgabenkomplexität wird folglich durch Faktoren wie Vertrautheit des Stimulusmaterials und Dimensionalität der Rotation (Tiefenrotation vs. Rotation in der Ebene) bestimmt. Weitere Einflussfaktoren auf die Komplexität wie beispielsweise die Stimulusähnlichkeit (Folk & Luce, 1987) sollen hier nicht weiter erörtert werden.

Neben einer Verlangsamung in der Verarbeitungsgeschwindigkeit und der Bedeutung des Stimulusmaterials könnte ein Verlust der Kapazität des räumlichen Arbeitsgedächtnisses ursächlich sein, die notwendig ist, um komplexe geometrische Figuren über hohe Winkeldisparitäten hinweg zu visualisieren. In Anbetracht der Tatsache, dass die mentale Rotation mehrere Subprozesse umfasst (vgl. Heil & Rolke, 2002), muss der Stimulus vor der eigentlichen Rotation im Gedächtnis enkodiert und im Anschluss an diese mit dem Standard-Stimulus abgeglichen werden. Demzufolge müssen die Informationen des einzelnen Subprozesses im Gedächtnis aufrechterhalten werden, um auf diese Informationen während der nächsten Stufe zugreifen zu können. Dies entspricht der Funktion des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley und Hitch (1974), welche als die Fähigkeit definiert wird, aufgabenrelevante Information in einem System bei gleichzeitiger Ausführung einer kognitiven Aufgabe aufrecht zu erhalten.

Inwiefern Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, Stimuluskomplexität und Arbeitsgedächtniskapazität interagieren, ist bislang ungeklärt, allerdings könnte mittels einer *Ressourcen-Defizits-Hypothese* erklärt werden, dass sich die Komplexität einer Aufgabe nur negativ auswirkt, wenn es zu einem Ressourcen-Konflikt kommt. Die Idee ist, dass sich die Ressourcen im Alter reduzieren und ältere Menschen Probleme in komplexen Aufgaben aufweisen, da schwere Aufgaben mehr Ressourcen in Anspruch nehmen. Unter Ressourcen kann wiederum die Arbeitsgedächtniskapazität aufgefasst werden (Baddeley & Hitch, 1974; Craik, 1977). Eine geringere Kapazität des Arbeitsgedächtnisses könnte folglich der entscheidende Faktor für eine reduzierte MR-Performanz sein. Ergebnisse aus Dual-Task-Paradigmen zeigten, dass ältere Menschen schwerere Einbußen verzeichneten als eine jüngere Vergleichsgruppe (Salthouse, Mitchell, Skovronek, & Babcock, 1989). Die Autoren variierten dabei den Schwierigkeitsgrad, während die Probanden im Alter von 20 bis 79 Jahren simultan eine Aufgabe zur Arbeitsgedächtnisleistung (Rechen-Spanne) und eine Aufgabe zur räumlichen Fähigkeit (Papierfalt-Aufgabe) durchführen mussten. Da gemäß Hertzog und Rypma (1991) Arbeitsgedächtnisprozesse sowohl bei dem mentalen Rotationsprozess per se und in der Entscheidungsphase wichtig sind, sollte die Annahme, dass der Entwicklungswandel in der mentalen Rotation eventuell ein entwicklungsbedingtes Defizit im Arbeitsgedächtnis widerspiegelt, in Erwägung gezogen werden.

2. Objektbasierte und egozentrische Transformationen in der mentalen Rotation

2.1 Evidenz für die Dissoziation zweier verschiedener Transformationsarten

Bei mentalen Rotationsaufgaben werden zwei Arten von Strategien voneinander abgegrenzt: objektbasierte und egozentrische Transformationen (Zacks, Mires, Tversky, & Hazeltine, 2002a). Wohingegen bei objektbasierten Rotationen die Position des Beobachters unverändert bleibt und der Stimulus in Relation zur Umgebung mental gedreht wird, erfordern egozentrische Transformationsaufgaben, dass der Proband seine eigene Perspektive verändert und sich in die Position des Stimulus hineinversetzt. Dies führt dazu, dass ein simulativer Rotationsprozess des eigenen Körpers in Gang gesetzt wird (Devlin & Wilson, 2010; Kessler & Rutherford, 2010). Die Transformationen können unterschiedlich induziert werden: Nach Steggemann, Engbert und Weigelt (2011) spielt die Art der Entscheidung eine wichtige Rolle. Objektbasierte Rotationen entstehen durch eine gleich/gespiegelt-Antwort, während bei egozentrischen Transformatio-

nen meist ein menschlicher Körper dargeboten wird, der entweder den linken oder rechten Arm ausstreckt. Hierbei soll eine Entscheidung über die Lateralität getroffen werden, sei es, ob es sich um den linken oder den rechten Arm handelt. Einen anderen Ansatz verfolgen Amorim, Isableu und Jarraya (2006), die postulieren, dass die Art des Stimulusmaterials entscheidend ist. Die Autoren wiesen nach, dass die Verkörperung des Stimulusmaterials zu einer verbesserten Performanz in einer objektbasierten Rotationsaufgabe führt, was durch die Stimulation von motorischen Prozessen bedingt ist.

Einen Nachweis für die Dissoziation zweier verschiedener Transformationssysteme liefern verhaltensorientierte Befunde wie der mentale Rotationseffekt. Demnach nimmt die Antwortqualität, sei es in Form von zunehmenden Reaktionszeiten oder Fehlerraten, bei ansteigender Winkeldisparität linear ab (Shepard & Metzler, 1971). Allerdings zeichnet sich dieses Muster deutlicher bei objektbasierten als bei egozentrischen Transformationen ab (Jola & Mast, 2005; Michelon & Zacks, 2006). Zacks, Ollinger, Sheridan und Tversky (2002b) beobachteten keinen Zusammenhang zwischen Reaktionszeit und Winkeldisparität in einer egozentrischen Transformationsaufgabe. Gemäß Creem-Regehr, Neil und Yeh (2007) resultiert der abgeschwächte mentale Rotationseffekt bei egozentrischen Rotationen aus der Tatsache, dass die Repräsentation nicht unter physikalisch normalen Umständen zu erzielen ist. Jedoch zeigt sich in egozentrischen Transformationen ein Anstieg in den Reaktionszeiten ab einer Winkeldisparität von 60° , was zu einem U-förmigen Verlauf führt (Keehner et al., 2006; Michelon & Zacks, 2006). Kessler und Thomson (2010) schreiben dieses Muster unterschiedlichen Rotationsstrategien für kleine und große Winkeldisparitäten zu. Während kleine Winkeldisparitäten durch eine visuelle Abstimmung (Matching) gelöst werden, erfordern höhere Winkeldisparitäten perspektivische Transformationen, die eine höhere mentale Beanspruchung implizieren, welche sich wiederum in höheren Reaktionszeiten und Fehlerraten manifestiert. Die Autoren nehmen an, dass die höhere mentale Beanspruchung durch den sogenannten *Referenzrahmenkonflikt* entsteht. Dieser basiert auf der Tatsache, dass beide Transformationsarten zwei unterschiedliche Referenzrahmen aufweisen (Wraga, 2003; Wraga, Creem, & Proffitt, 2000). Während objektbasierte Rotationen auf einen „äußeren“ Raum fixiert sind (externes Bezugssystem, allozentrisch), beziehen sich egozentrische Transformationen auf den eigenen Körperstandpunkt (internes Bezugssystem, intrinsisch; Kozhevnikov & Hegarty, 2001; Wraga

et al., 2000). Während erstere Transformationsart Objektlokationen in Relation zur Umwelt enkodiert, nimmt die egozentrische Transformation Bezug auf die eigene Orientierung. Demnach resultiert bei perspektivischen Transformationen ein Konflikt, wenn die eigene Orientierung nicht mit der des zu rotierenden Stimulus übereinstimmt (Kozhevnikov, Motes, Rasch, & Blajenkova, 2006; Wraga et al., 2000). Der Befund zweier verschiedener Referenzrahmen kann als weiterer Nachweis für die Dissoziation dieser beiden Transformationsarten angesehen werden.

Die Idee zweier unterschiedlicher Transformationssysteme wird durch die neurowissenschaftliche Literatur gestützt. Während objektbasierte Rotationen mit einer Rechts-Lateralisierung des Gehirns assoziiert werden, sowie mit einer verstärkten Aktivierung des inferioren Parietallappens und des superioren Temporalkortex, aktivieren egozentrische Transformationen den posterioren parietalen Kortex, den Frontallappen und die temporo-parietale Junktion (TPJ), vornehmlich in der linken Hemisphäre (Thakkar, Brugger, & Park, 2009; Zacks, Rypma, Gabrieli, Tversky, & Glover, 1999). Funktional spielt die TPJ eine wichtige Rolle bei der Perspektivenübernahme und wird als neuronales Korrelat der Empathie angesehen (Ruby & Decety, 2004). Dieser Befund geht konform mit folgenden Ergebnissen der Studie von Samson, Apperly, Kathirgamanathan und Humphreys (2005), die nachwiesen, dass Beeinträchtigungen der TPJ mit Leistungseinbußen in perspektivischen Transformationsaufgaben in Verbindung gebracht werden.

2.2 Objektbasierte und egozentrische Transformationen im Entwicklungsverlauf

2.2.1 Kindesalter

Bezüglich objektbasierter Transformationen postulierten Piaget und Inhelder (1991), dass die Entwicklung des visuell-räumlichen Vorstellungsvermögens im Alter von 8 Jahren einsetzt. Allerdings sind die Ergebnisse kritisch zu betrachten, da in diesem Experiment als Antwortmaße Zeichnungen und Gesten der Kinder verwendet wurden, die sehr fehleranfällig sind, da sie an die Ausdrucksmöglichkeiten der Kinder gekoppelt sind und zum anderen stark von der Interpretation des Versuchsleiters abhängen. Für einen früheren Beginn sprechen die Ergebnisse von Estes (1998), dass bereits Kinder im Alter von 4 Jahren fähig waren, objektbasierte Transformationen mental zu rotieren und sich zudem der Strategie bewusst waren. In seinem Experiment ließ er 4-Jährige,

6-Jährige und Erwachsene mentale Rotationsaufgaben durchführen und ließ sich im Anschluss die jeweils verwendete Strategie erklären. Es zeigte sich, dass 4-Jährige, die in der Lage waren, anstelle nach dem Zufallsprinzip zu antworten, eine mentale Rotationsstrategie verwendeten, sich in Reaktionszeit und Fehlerrate nicht von den 6-Jährigen und den Erwachsenen unterschieden. Ähnliche Befunde lieferte Marmor (1975), die 5- und 8-Jährige in objektbasierten Rotationen miteinander verglich und ähnliche Reaktionszeitenmuster nachweisen konnte, was dafür spricht, dass beide Altersgruppen in ihrer bildlichen Vorstellung mental rotierten. Sie verwendete in ihrer Studie als Stimulusmaterial Bären, die einen Arm nach oben, den anderen nach unten hielten. Dabei konnten die simultan präsentierten Bärenfiguren entweder denselben Arm („gleich“) oder verschiedene Arme („gespiegelt“) nach oben halten. Die Ergebnisse legten nahe, dass jüngere Kinder höhere Reaktionszeiten, selbst in der 0°-Bedingung, die keine Rotation erfordert, aufwiesen. Allerdings zeigten beide Altersgruppen einen linearen Anstieg der Reaktionszeiten bei zunehmender Winkeldifferenz, was dafür spricht, dass Kinder bereits mit 5 Jahren fähig sind, mental zu rotieren. Für einen weitaus früheren Beginn sprechen die Befunde von Moore und Johnson (2008), die zeigten, dass bereits 5 Monate alte männliche Babys, nachdem sie an einen Stimulus (gedreht um 240°) habituiert wurden, in der Lage waren, diese Figur in einer unterschiedlichen unbekannten Winkelstellung (120°) von ihrem Spiegelbild zu unterscheiden, wofür mentale Rotationsprozesse vorausgesetzt werden. Trotz dieser früh einsetzenden Fähigkeit wiesen Kail et al. (1980) darauf hin, dass die mentale Rotationsleistung einem Entwicklungswandel bezüglich der Schnelligkeit unterliegt. Die mentale Rotationsgeschwindigkeit verdoppelt sich nahezu zwischen Drittklässlern (ca. 143°/s) und Erwachsenen (ca. 250°/s). Ähnliche Zuwächse wies Marmor (1975) bereits zwischen 5- und 8-Jährigen nach: Die 5-Jährigen unterschieden sich signifikant von den 8-Jährigen in der mentalen Rotationsgeschwindigkeit (5-Jährige: 67 °/s vs. 8-Jährige: 167°/s). Diese Befunde weisen darauf hin, dass die Fähigkeit zur mentalen Rotation einem Entwicklungswandel unterliegt.

Bisherige Befunde zum Vergleich von objektbasierten und egozentrischen Transformationen sind bisher widersprüchlich. Während Piaget und Inhelder (1971) in einer Folgestudie, in der objektbasierte und egozentrische Transformationen gegenüber gestellt wurden, nachwiesen, dass Kinder erst ab dem 9. bis 10. Lebensjahr fähig waren, ego-

zentrische Transformationsaufgaben zu bearbeiten, und bereits im Alter von 7 bis 8 Jahren objektbasierte Aufgaben lösten, wiesen Huttenlocher und Presson (1973) darauf hin, dass der entscheidende Faktor die Kongruenz zwischen dem Beobachter und dem Selbst ist. In dem ersten Experiment war es Aufgabe der Kinder, entweder die Anordnung von Objekten zu beschreiben, nachdem diese rotiert wurden (Objekt-Rotation) oder sich in die Perspektive eines Beobachters (Holzpferrd) zu versetzen, der um die Objektanordnung herum in gewissen Orientierungen platziert wurde (perspektivische Transformation). Hier zeigte sich, dass perspektivische Aufgaben schwerer zu lösen waren, resultierend in einer höheren Fehlerrate. Das zweite Experiment konzentrierte sich auf die Differenzierung zwischen zwei perspektivischen Transformationsaufgaben: Zusätzlich zu der perspektivischen Aufgabe von Experiment 1 mussten die Kinder die Objektanordnung aus einer eigenen neuen Perspektive beschreiben, zu der sie gelangt sind, nachdem sie sich um die Objektanordnung herum bewegt haben. Letztere war für die Kinder deutlich einfacher zu lösen und glich der Performanz des ersten Experiments für Objekt-Rotationen. Die Autoren zogen den Schluss, dass eine Kongruenz zwischen dem Beobachter (Holzpferrd) und dem Selbst (der eigenen Person) der entscheidende Faktor ist, resultierend aus der Unfähigkeit von Kindern, die Perspektive des Beobachters mit der eigenen (davon abweichenden) Position zu integrieren. Sobald dies berücksichtigt wird, unterscheiden sich die Fehlerraten und damit das Einsetzen der Lösungsfähigkeit beider Transformationen nicht voneinander.

2.2.2 Erwachsenenalter

Zahlreiche Untersuchungen haben sich mit der Frage beschäftigt, ob es generelle Performanzunterschiede im Erwachsenenalter bezüglich objektbasierter und egozentrischer Strategien gibt. Ein einheitliches Muster hat sich dabei ergeben: Egozentrische Transformationen werden schneller und akkurater gelöst als Objekt-Rotationen (Amorim & Stucchi, 1997; Creem, Wraga, & Proffitt, 2001; Wraga, Shephard, Church, Inati, & Kosslyn, 2005; Wraga et al., 2000). Amorim und Stucchi (1997) erhoben beide Transformationsarten, indem sie die Probanden aufforderten, sich vorzustellen außerhalb einer großen Uhr zu stehen, die horizontal zur Bodenebene auf einem Monitor präsentiert wurde. In der Mitte der Uhr befand sich ein aufrechter dreidimensionaler Buchstabe („F“), dessen horizontale Balken die Orientierung angaben. In der perspektivischen Transformationsaufgabe war es Aufgabe der Probanden, sich mental an ei-

nen vorgegeben Ort außerhalb der Uhr zu bewegen und aus dieser Perspektive die Orientierung des Buchstabens zu beschreiben. Die Objektrotationsaufgabe erforderte von den Probanden, sich vorzustellen, dass die horizontalen Balken des Buchstabens in eine neue vorgegebene Richtung zeigten. Im Anschluss wurden sie gebeten, dabei ihre eigene, sich nicht verändernde Position in Bezug auf die neue Buchstabenposition zu beschreiben. Die Leistung in der egozentrischen Transformation bestach durch niedrige Reaktionszeiten und Fehlerraten.

Es gibt mehrere Ansätze, die zur Erklärung dieser Diskrepanz herangezogen werden können. Beispielsweise wurde der Performanzvorteil in egozentrischen Transformationen von Wraga et al. (2000) dadurch erklärt, dass der menschliche Organismus gewohnt ist, sich relativ zu seiner Umwelt zu bewegen und dass damit eine stete Perspektivenübernahme erfolgt. Angelehnt an das Paradigma von Presson (1982) wurden die Probanden gebeten, sich die Position von vier Objekten in einer bestimmten Anordnung zu merken und dann mit geschlossenen Augen eine objektbasierte und egozentrische Transformation durchzuführen. Den Teilnehmern wurden ein Rotationswinkel und eine Position vorgegeben (z.B. 90° und „was befindet sich auf der linken Seite?“). In der egozentrischen Bedingung sollten sich die Probanden die Rotation ihrer eigenen Perspektive vorstellen und die Objekte benennen, die in das Blickfeld der Position nach der vorgenommenen Transformation fielen. In der objektbasierten Aufgabe mussten sich die Versuchspersonen die Rotation der Objektanordnung per se vorstellen.

Einen weiteren Nachweis für diesen egozentrischen Performanzvorteil liefern Creem et al. (2001). Die zentrale Fragestellung war, ob der entscheidende Faktor ist, dass die Rotation physikalisch durchführbar sein muss oder ob das geometrische Verhältnis zwischen Beobachter und Objektanordnung entscheidend für diesen „egozentrischen Vorteil“ ist. Während Parsons (1994) nachwies, dass die vorzustellende Handbewegung biomechanisch durchführbar sein sollte, zogen dagegen Creem et al. (2001) anhand ihrer Ergebnisse den Schluss, dass der kritische Faktor für den Vorteil egozentrischer Transformationen eher das orthogonale Verhältnis zwischen Beobachter und Objektanordnung ist und weniger die Tatsache, dass eine körperlich nicht durchführbare Rotation abverlangt wird. Angelehnt an das Paradigma von Wraga et al. (2000) standen die Probanden je nach Experiment in unterschiedlichen Ausgangspositionen (orthogo-

nal: Beobachter liegt mit dem Rücken auf dem Boden vor der Wand, sodass zwischen Person und Wand ein rechter Winkel entsteht; parallel: Beobachter steht parallel mit dem Gesicht zur Wand) zu einer Wand mit einer aufgezeichneten Anordnung von Objekten (eine Kreislinie mit vier unterschiedlichen Symbolen auf jeder Seite des Kreises). In der egozentrischen Bedingung sollten sich die Teilnehmer vorstellen, um die Objekte herum zu gehen (als würden sie auf der Wand um die Anordnung herum gehen), während sie in der objektbasierten Aufgabe gebeten wurden, sich die Rotation der Objektanordnung selbst vorzustellen. Trotz des Umstands, dass die perspektivische Transformation entgegen des Gesetzes der Schwerkraft erfolgte und damit physikalisch nicht durchführbar war, blieb der egozentrische Vorteil bestehen. Dieser verschwand erst, als das orthogonale Verhältnis zwischen Beobachter und Objektanordnung verändert wurde. Laut Autoren bedingt dieses Verhältnis eine Drehung um die Körperlängsachse, was als der entscheidende Faktor angesehen wurde. Bei Drehungen um die coronale- und sagitale Achse infolge einer Veränderung des Beobachter-Objekt-Verhältnisses verschwand der egozentrische Vorteil. Diese Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung der ökologischen Validität von Selbstrotationen im Sinne einer verbesserten Performanz durch alltagsbedingte Erfahrungen in der Rotation um die Körperlängsachse.

Ein weiterer Erklärungsansatz ist in der Art der Rotationsstrategie begründet. Diesbezüglich nehmen Wraga et al. (2000) an, dass der egozentrische Vorteil der Tatsache Rechnung trägt, dass der eigene Körper eher holistisch rotiert wird als die Anordnung von Objekten. Eine weitere Annahme vertreten Zacks et al. (2002a), welche die verbesserte Performanz zugunsten egozentrischer Transformationen auf eine geringere Inanspruchnahme des visuell-räumlichen Notizblockes des Arbeitsgedächtnisses zurückführen, was wiederum dem Umstand Rechnung trägt, dass in der egozentrischen Transformation nur ein Stimulus präsentiert wird und damit keine Interferenz entsteht. Einen weiteren möglichen Erklärungsversuch liefern Lorey et al. (2009), die argumentieren, dass die bessere Performanz in egozentrischen Transformationen auf eine verstärkte Aktivität in motorischen Arealen aufgrund motorischer Simulationen des eigenen Körpers zurückzuführen ist, die in Objekt-Rotationen nicht erfordert wird (Gallese, 2005). Diese Sichtweise würde mit dem Embodiment-Ansatz konform gehen, der in Punkt 3.3 genauer erläutert wird.

2.2.3 Seniorenalter

In Anbetracht objektbasierter Transformationen zeigt sich, dass Senioren im Vergleich zu jüngeren Erwachsenen langsamere Reaktionen und eine geringere Genauigkeit aufweisen (Hertzog et al., 1993; Kemps & Newson, 2005). Gaylord und Marsh (1975) konkretisierten diesen Befund und beobachteten, dass die mentale Rotationsgeschwindigkeit um 84% langsamer war als die junger Erwachsener. Die Reaktionen der Senioren waren um den Faktor 1.8 verlangsamt im Vergleich zu denen junger Erwachsener ($9.6^\circ/\text{s}$ vs. $17.7^\circ/\text{s}$), ausgedrückt durch einen stärkeren Anstieg der Regressionsgeraden. Dieser Befund geht konform mit dem altersbedingten Abfall von 96% nach Cerella et al. (1981). Dror und Kosslyn (1994) wiesen ebenfalls einen stärkeren Anstieg der Reaktionszeiten bei zunehmender Winkeldisparität nach und zeigten zudem erhöhte Fehlerraten von Senioren im Vergleich zu jungen Erwachsenen.

Jansen und Kaltner (2014) untersuchten beide Transformationsarten, indem sie zwei objektbasierte Bedingungen (Buchstaben, menschliche Körperfiguren) einer egozentrischen Transformation mit einer menschlichen Figur, die eine Lateralitäts-Entscheidung (linker vs. rechter Arm) erforderte, gegenüberstellten. Die Senioren (60-71 Jahre) verarbeiteten egozentrische Stimuli schneller als objektbasierte. Im Gegensatz dazu stehen die Befunde von Inagaki et al. (2002), die die Leistung in objektbasierten und egozentrischen Transformationen bei Erwachsenen jungen Alters (18-29 Jahre), mittleren Alters (30-59 Jahre) und Älteren (ab 60 Jahren) untersuchten. Diese Befunde legten nahe, dass sich der altersbedingte Abfall auf die egozentrische Strategie beschränkte. Herman und Coyne (1980) bestätigten dieses Ergebnismuster: Während die Objektrotation unabhängig vom Alter bezüglich der Genauigkeit gelöst wurde, zeigte sich bei der perspektivischen Transformation, dass die Leistung mit dem Alter abnahm. Allerdings untersuchten Inagaki et al. (2002) sowie Herman und Coyne (1980) ausschließlich die Fehlerrate als abhängige Variable. Die Reaktionszeit ist jedoch ein wichtiger Faktor, um die Geschwindigkeit, mit welcher internale Repräsentationen vollzogen werden, abzuschätzen. Sowohl die Entwicklung (Rigal, 1996) als auch der Abfall der Kognition spiegeln sich in dieser Variable wider (Briggs, Raz & Marks, 1999). Demzufolge erhoben Devlin und Wilson (2010) beide Maße und verwendeten als Stimulusmaterial Buchstaben, Hände und ganze Körper, wobei die Buchstaben eine objektbasierte Transformation induzierten und die beiden Körperstimuli eine egozentrische. Sie nahmen unter

anderem an, dass die Senioren bei den Körperstimuli eine schlechtere Performanz aufweisen als bei den Handstimuli. Diese Annahme basierte auf zwei theoretischen Überlegungen: 1) Für die Bearbeitung einer egozentrischen Transformation mit Körperstimuli ist das Körperschema von Bedeutung, da die Probanden sich auf die Repräsentation der räumlichen Verhältnisse zwischen den Körperteilen (bekannt als Körperschema) beziehen, um egozentrische Transformationen mit Körperstimuli durchzuführen. Aufgaben, die implizites Wissen über das Körperschema beanspruchen, sind für Ältere aufgrund einer erhöhten kognitiven Beanspruchung schwieriger zu lösen. 2) Die Transformation eines Körpers in der Frontansicht erfordert eine 3D-Rotation (Rotation um die z-Achse), während die Rotation einer Hand nur eine 2D-Rotation induziert (Rotation um die x-Achse). In Anlehnung an die *Komplexitätshypothese* des Alterns (Cerella et al., 1980) sind Senioren proportional langsamer als junge Erwachsene, wenn die Aufgabenkomplexität zunimmt (Inui, 1997; Sit & Fisk, 1999), was eine schlechtere Leistung in der Körper-Transformation vermuten lässt. Die Ergebnisse zeigten erwartungskonform, dass altersbedingte Einbußen sich vornehmlich auf ganze Körper erstreckten und nicht bei Händen und Buchstaben auftraten. Die Autoren zogen den Schluss, dass der Abfall in egozentrischen Transformationen vornehmlich auf Probleme in der Integration von Informationen, die mit dem Körperschema zusammen hängen, zurückzuführen ist. Das Körperschema integriert multisensorische Information, die wiederum von der eigenen Bewegung stark modelliert wird (Buxbaum, Johnson-Frey, & Bartlett-Williams, 2005; Williams, Thomas, Maruff, Butson, & Wilson, 2006). Es zeigt sich, dass im Alter das Rauschen neuronaler Signale aus sensorisch-motorischen Arealen des Kortex (z.B. der posteriore parietale Kortex und reziproke Verbindungen zum prämotorischen Kortex) zunimmt. Demzufolge erschwert sich mit zunehmendem Alter die Fähigkeit, die Information aus verschiedenen sensomotorischen Quellen zu integrieren, um eine stabile Repräsentation des eigenen Körpers zu formieren (Ghafoori & Lestienne, 2000). Dieser Zusammenhang von Körperbild und mentaler Rotation weist auf eine spezielle Verbindung von Motorik und mentaler Rotationsfähigkeit hin, die neben dem Entwicklungsaspekt eine zentrale Fragestellung dieser Arbeit darstellt und im Folgenden genauer beleuchtet wird.

3. Die Verkörperung objektbasierter und egozentrischer Transformationen

Die Verkörperung der mentalen Rotationsfähigkeit impliziert, dass es eine Verbindung zwischen Motorik und dieser speziellen visuell-räumlichen Fähigkeit gibt. Allerdings ist der Begriff „Motorik“ ein weitläufiger Begriff, der im Rahmen dieser Arbeit differenzierter betrachtet werden soll. Abzugrenzen ist dabei die Beteiligung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotationsfähigkeit von der Bedeutung der motorischen Fähigkeiten in der mentalen Rotation. Während ersterer Aspekt der mentalen Rotation als kognitiven Prozess eine motorische Komponente zuschreibt, geht es im Zusammenhang zwischen motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotation darum, ob sich eine gesteigerte motorische Fähigkeit positiv auf die mentale Rotationsperformanz auswirkt. Beide Aspekte werden im Folgenden genauer erläutert und bilden die theoretische Grundlage der zweiten Studie dieser Untersuchungsreihe, die sich der Frage unterzieht, ob verstärkte motorische Fähigkeiten eine stärkere Verwendung motorischer Prozesse bei der Bearbeitung einer „verkörperten“ kognitiven Aufgabe wie der mentalen Rotation nach sich zieht.

3.1 Die Beteiligung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation

Gemäß der *Common-Processing-Hypothese* nach Wohlschläger und Wohlschläger (1998) gibt es einen gemeinsamen Prozess, welcher der mentalen und motorischen Rotation zugrunde liegt. Hierbei handelt es sich um einen Kontrollprozess, der bei der mentalen Rotation die Änderung der visuell-räumlichen Repräsentation bewirkt und bei der manuellen Rotation für motorische Befehle zuständig ist. Diese Annahme wurde durch zwei Befunde gestützt: 1) Mit ansteigender Winkeldifferenz nahmen die Reaktionszeiten bei mentaler und manueller Rotation gleichermaßen zu und 2) In einem Interferenzparadigma zeigten sich langsamere Reaktionszeiten in einer inkompatiblen Bedingung (Richtung der manuellen Rotation ist entgegengesetzt zur der mentalen Rotationsbewegung), während sich die Reaktionszeiten in der kompatiblen Bedingung verkürzten. Die Autoren zogen den Schluss, dass die Handlungsplanung einen entscheidenden Faktor für die Erklärung dieses Ergebnisses darstellt. Diese Annahme wurde durch ein nachfolgendes Experiment von Wohlschläger (2001) bekräftigt, indem gezeigt wurde, dass allein die Planung einer Handbewegung die mentale Rotation beeinflusst und zu denselben Interferenzen wie die reale motorische Rotation führt. Der sogenannte mentale Rotationseffekt als Bestätigung der *Common-Processing-*

Hypothese liefert Hinweise darauf, dass die mentale und motorische Rotation den gleichen neuronalen Arealen zugrunde liegen. Die Aktivierung motorischer, somatosensorischer und sensomotorischer Areale zum Zeitpunkt einer Objektrotation, wie beispielsweise der intraparietale Sulcus (Cohen et al., 1996), der Präfrontallappen (Anguera et al., 2010) und der primäre motorische Kortex (Kosslyn et al., 1998), bestätigt diese Annahme. Weitere Evidenz liefern Podzebenko, Egan und Watson (2002) in ihrer bildgebenden Untersuchung (fMRT) durch die Aktivierung der gleichen Areale während einer mentalen und einer manuellen Rotation.

Bereits im Kindesalter lässt sich die Beteiligung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation nachweisen, unterscheidet sich jedoch darin, dass die Verbindung bei Kindern noch stärker ausgeprägt ist als bei Erwachsenen. Frick, Daum, Walser und Mast (2009) verglichen dazu vier unterschiedliche Altersgruppen (5-, 8-, 11-Jährige und Erwachsene) in einem Interferenzparadigma, wobei die Interferenz zwischen beiden Drehrichtungen (manuelle und mentale Rotation) nur bei Kindern unter 9 Jahren nachzuweisen war. Die Autoren zogen den Schluss, dass mit steigendem Alter die Fähigkeit zunimmt, mentale und motorische Prozesse voneinander zu trennen. Funk, Brugger und Wilkening (2005) bestätigten diese Annahme mit ihrem Befund, dass 5-jährige Kinder stärker von einer kongruenten Handstellung bei der Rotation von Handfotografien profitierten als Erwachsene. Dabei wurde eine Hand als Stimulus in vier Winkelorientierungen dargestellt, wobei einmal der Handrücken und einmal die Handfläche in Richtung des Betrachters zeigten. Zeitgleich mussten die Probanden die eigene Hand entweder mit dem Handrücken oder der Handfläche nach oben legen und entscheiden, ob es sich bei der dargestellten Hand um die linke oder die rechte handelte.

Die funktionelle Rolle motorischer Areale während der Bearbeitung einer mentalen Rotationsaufgabe ist bis zu dem heutigen Zeitpunkt nicht eindeutig definiert. Kosslyn, Thompson, Wraga und Alpert (2001) betonen die Bedeutung der Lösungsstrategie. In ihrer Untersuchung sahen die Versuchspersonen, wie ein Elektromotor eine abstrakte Würfelfigur rotierte oder sie führten dieselbe Aufgabe selbst manuell aus. Als sie anschließend die mentale Rotationsaufgabe in einem fMRT-Scanner bearbeiten mussten, sollten sie sich vorstellen, dass die Würfelfigur entweder mit Hilfe des Elektromotors gedreht („external“, „visuell“) oder mit Hilfe der eigenen Hand („internal“, „motorisch“) rotiert wurde. Ausschließlich in der Bedingung, in der die Gruppe angewiesen

wurde, sich die internale manuelle Rotation vorzustellen, konnte eine Aktivierung des Motorkortex nachgewiesen werden. Dagegen wurde bei der „externalen“ Rotation der Würfelfiguren, bei der man das Ergebnis einer „von außen“ durchgeführten Bewegung visuell repräsentiert, nur der Parietallappen und die tertiäre Sehrinde aktiviert. Die Autoren zogen den Schluss, dass der Motorkortex ausschließlich im Falle einer „internalen“ Rotationsstrategie aktiviert wird. Dagegen stehen die Befunde von Bode, Koenekke und Jäncke (2007), die mittels transkranieller Magnetstimulation nachwiesen, dass die Aktivierung des primären motorischen Kortex weniger mit der Rotationsstrategie verknüpft ist sondern vielmehr den mentalen Rotationsprozess per se kortikal abbildet, da sie sowohl bei einer internalen als auch bei einer externalen Rotationsstrategie motorische kortikale Aktivität nachweisen konnten. Ähnliches wiesen Lamm, Windischberger, Moser und Bauer (2007) nach, die sich auf die Differenzierung der einzelnen Prozessschritte der mentalen Rotation und der entsprechenden neuronalen Aktivierung konzentrierten. Dabei demonstrierten sie, dass der dorsolaterale prämotorische Kortex direkt mit dem Prozess der mentalen Rotation verbunden ist und eine wichtige Rolle in der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit und der Bewegungsantizipation spielt.

Sack, Lindner und Linden (2007) erweitern diesen Befund um die Annahme, dass das Stimulusmaterial bei der Beteiligung motorischer Prozesse eine Rolle spielt. In ihrem Interferenzparadigma wiesen sie nach, dass die Drehrichtung von manueller Rotation sich nur bei Bildern von Händen als Stimulusmaterial auf die Reaktionszeiten in der mentalen Rotation auswirkte, während sich dieser Effekt bei Würfelfiguren nicht abzeichnete in Form einer Reduktion der Reaktionszeiten bei Kompatibilität von manueller und mentaler Rotationsrichtung vs. einer Erhöhung bei Inkompatibilität. Demnach folgerten die Autoren, dass Hände als Stimulusmaterial wahrscheinlicher die Beteiligung motorischer Prozesse induzieren als abstrakte Würfelfiguren. Diese Interpretation geht konform mit den Befunden von Amorim et al. (2006), die nachwiesen, dass die Verkörperung von dreidimensionalen Shepard-Metzler-Würfeln durch das Hinzufügen von Körpermerkmalen zu einer verbesserten Performanz (geringere Reaktionszeiten und Fehlerraten) in einer gleich/gespiegelt-Aufgabe führt, die auf die Stimulation von motorischen Prozessen zurückzuführen ist. Interessanterweise stellten Wraga, Thompson, Alpert und Kosslyn (2003) fest, dass eine motorische Strategie auch auf abstrakte

Würfelfiguren übertragen werden kann. Während die Experimentalgruppe erst eine mentale Rotationsaufgabe mit Händen und anschließend mit Würfelfiguren bearbeitete, wurden der Kontrollgruppe lediglich die Würfel als Stimulusmaterial präsentiert. Dabei zeigte sich ausschließlich in der Experimentalgruppe eine Aktivierung motorischer Areale in der Würfelfigur-Bedingung, die sich in der Kontrollgruppe nicht nachweisen ließ. Andererseits gibt es auch Studien, die keine motorische Aktivität während der Bearbeitung einer mentalen Rotationsaufgabe feststellen konnten (Kosslyn et al., 1998; Jordan et al., 2001). Dies geht konform mit den Befunden von Kosslyn et al. (2001), die zwei Strategien zur Lösung einer mentalen Rotationsaufgabe proklamieren: eine motorische und eine visuelle.

Zusammenfassend lassen diese Studien den Schluss zu, dass die Beteiligung motorischer Prozesse vom Stimulusmaterial beeinflusst wird, wobei laut Wraga et al. (2003) diese nicht an körperähnliche Stimuli gekoppelt sein muss. Dennoch ist von einer spezifischen Wechselwirkung zwischen verkörpertem Stimulusmaterial und der Stimulation motorischer Prozesse auszugehen. Die konkrete funktionale Bedeutung der motorischen Prozesse liegt weniger in der Wahl einer motorisch-internen (vs. einer visuell-externen) Strategie, wie es Kosslyn et al. (2001) postuliert haben, als vielmehr in der Antizipation, der Bewegungsplanung. Demnach wird laut Wexler, Kosslyn, und Berthoz (1998) anstelle einer ausgeführten manuellen Rotation die Drehung geplant und anschließend das Ergebnis mental repräsentiert im Sinne einer verdeckten Simulation einer motorischen Rotation. Motorische Areale wie der dorsale prämotorische Kortex haben demnach eine „kognitive“ Funktion: die visuell-motorische Antizipation, die folglich den Schlüsselfaktor darstellt, der das „common processing“ nach Wohlschläger und Wohlschläger (1998) ausmacht. Diese Annahme findet seine Untermauerung sowohl auf behavioraler Ebene (Wexler et al., 1998; Wohlschläger, 2001) als auch in bildgebenden Verfahren (Bode et al., 2007; Lamm et al., 2007), die feststellten, dass die Aktivierung des Motorkortex mit dem Rotationsprozess per se verknüpft ist.

Ein weiterer Faktor, der die Inanspruchnahme motorischer Prozesse zur Bearbeitung einer mentalen Rotationsaufgabe begünstigt, ist die motorische Expertise. Gemäß Moreau (2012) neigen Sportler, gerade mit Vorerfahrungen in Rotationsbewegungen, dazu, motorische Ressourcen bei der Bearbeitung einer mentalen Rotationsaufgabe heranzuziehen. Dazu wurden Wrestler und Nicht-Sportler in drei Bedingungen getestet: 1)

mentale Rotation; 2) mentale Rotation mit visueller Interferenz; 3) mentale Rotation mit motorischer Interferenz. Während beide Gruppen vergleichbare Einbußen in der zweiten Bedingung zeigten, beeinträchtigte die motorische Interferenz signifikant mehr Wrestler als Nicht-Sportler. Dieser Zusammenhang zwischen motorischen Fähigkeiten und mentaler Rotationsleistung wird im Folgenden detaillierter erörtert.

3.2 Die Bedeutung motorischer Fähigkeiten in der mentalen Rotation

Dieser Zusammenhang zwischen Motorik und mentaler Rotation wird durch das quasi-experimentelle Design von Pietsch und Jansen (2012) unterstützt, indem die Autoren in einer mentalen Rotationsaufgabe eine verbesserte Performanz von Sport- und Musikstudenten gegenüber Lehramtsstudenten nachwiesen. Ähnliche Befunde liefert die Trainingsstudie von Moreau, Clerc, Mansy-Dannay und Guerrin (2012), die signifikant stärkere Effekte eines 10-monatigen Wrestling-Trainings auf die mentale Reaktionsfähigkeit nachwiesen, verglichen mit einem Lauftraining. Die Ergebnisse wurden zurückgeführt auf die stärkere kognitive Plastizität, bedingt durch die räumliche Manipulation von Körpern. Neuronale Veränderungen wurden ebenfalls durch Draganski et al. (2004) infolge eines 3-monatigen Jonglage-Trainings festgestellt, spezifisch im intraparietalen Sulcus, der bei der mentalen Rotation beteiligt ist (Cohen et al., 1996). Basierend darauf führten Jansen, Titze und Heil (2009) eine Interventionsstudie durch, um mögliche Effekte eines motorischen Trainings auf die mentale Rotationsfähigkeit zu überprüfen. Dabei erhielt die Experimentalgruppe ein 3-monatiges Jonglage-Training und wies signifikant schnellere Reaktionszeiten als die Kontrollgruppe auf, die kein derartiges Training erhielt.

Der Zusammenhang zwischen motorischen Fähigkeiten und mentaler Rotation ist bereits im Kindesalter ersichtlich. Beispielsweise wiesen Jansen und Heil (2010) bei 5- bis 6-Jährigen eine positive Korrelation zwischen der motorischen Leistung und der Performanz (Genauigkeit) in einem psychometrischen mentalen Rotationstest nach, der sich speziell in den Teilbereichen Gewandtheit, Balance, motorische Kontrolle und feinmotorischen Fähigkeiten äußerte. Mittels dieses speziellen Paper- und Pencil-Verfahrens, das ursprünglich von Vandenberg und Kuse (1978) entwickelt wurde, wird ausschließlich die Fehlerrate erhoben. Analog konnten Jansen, Schmelter, Kasten und Heil (2011) zeigen, dass Kinder, die motorisch eingeschränkt sind, ebenfalls in ihrer visuell-räumlichen Leistung beeinträchtigt sind. Dazu untersuchten sie übergewichtige

Kinder im durchschnittlichen Alter von 10 Jahren, die im Vergleich zu normalgewichtigen Kontrollkindern mehr Fehler im Paper- und Pencil-Test zur Überprüfung der mentalen Rotationsfähigkeit machten, sowie eine defizitäre Leistung im Motoriktest aufwiesen.

Dieser Zusammenhang setzt sich bis ins hohe Alter fort. Jansen und Kaltner (2014) untersuchten 60 Teilnehmer im Alter von 60 bis 71 Jahren und konnten einen Zusammenhang zwischen mentaler und motorischer Performanz ausfindig machen. Es zeigte sich eine positive Korrelation zwischen der Genauigkeit und der Leistung in motorischen Tests bezüglich der Balance, Beweglichkeit und Muskelstärke. Dieser Befund geht konform mit zahlreichen Studien, welche die Bedeutung der Balancefähigkeit im Rahmen dieses Zusammenhangs unterstreichen. Beispielsweise fanden Jansen und Heil (2010) heraus, dass in Anbetracht des Zusammenhangs zwischen Motorik und mentaler Rotation bei Kindern die Balance-Fähigkeit als Prädiktor für die mentale Rotationsperformanz angesehen werden kann. Dies geht konform mit den Befunden von Jansen et al. (2011), welche die schlechtere Performanz von übergewichtigen Kindern im Vergleich zu Normalgewichtigen auf die Leistung in der Balance-Aufgabe zurückführten. Jansen und Kaltner (2014) konnten ebenfalls 22.2% der Varianz in der Fehlerate durch die Balance-Fähigkeit und das Geschlecht erklären. Ähnliches zeigten Schäfer und Schumacher (2011) in ihrer Untersuchung mit älteren Erwachsenen, die in einer Dual-Task-Aufgabe (Arbeitsgedächtnis und Balance) kognitive Defizite im Vergleich zu jungen Erwachsenen aufwiesen. Die Autoren zogen den Schluss, dass dieses Ergebnis dem Umstand Rechnung trägt, dass Ältere verstärkt kognitive Ressourcen für die Balance aufwenden müssen im Vergleich zur jüngeren Vergleichsgruppe aufgrund einer altersbedingten schlechteren Sehkraft, Muskelstärke und Beweglichkeit. Analoge Befunde zeigen sich auch im Kindesalter, die diese Annahme untermauern (Schäfer, Krampe, Lindenberger, & Baltes, 2008). Die Bedeutung der Balance-Fähigkeit wird durch neuroanatomische Befunde unterstützt, die im Cerebellum als neuronalem Korrelat für diese motorische Fähigkeit ebenfalls eine Aktivierung während der mentalen Rotation nachweisen konnten (Podzebenko et al., 2002). Diese Befunde lassen den Schluss zu, dass der Zusammenhang zwischen Motorik und mentaler Rotation in motorischen Fähigkeiten begründet ist, die eine kognitive Komponente beinhalten, wie es beispielsweise bei der Balance-Fähigkeit gegeben ist.

Die bisherige Literatur konzentriert sich allerdings vornehmlich auf objektbasierte Transformationen, hinsichtlich egozentrischer Transformationen spielen motorische Repräsentationen jedoch ebenfalls eine wichtige Rolle. In diesem Zusammenhang untersuchten Steggemann et al. (2011) Sportler mit Erfahrungen in Rotationsbewegungen (Gymnasten, Trampolinisten und Judoka) und Nicht-Sportler bezüglich ihrer mentalen Rotationsleistung. Es zeigte sich, dass sich die motorische Expertise ausschließlich auf egozentrische Transformationen positiv auswirkte. Die Autoren zogen daraus den Schluss, dass der Transfereffekt auf eine bestimmte Bewegungserfahrung, die der mentalen Rotation gleicht, begrenzt ist. Moreau (2012) erweiterte diesen Befund um die Fragestellung, ob nicht nur spezifische, sondern motorische Expertise im Allgemeinen einen signifikanten Einfluss auf die mentale Rotationsfähigkeit hat und konnte mittels seiner zwei Interferenzparadigmen nachweisen, dass die allgemeine sensomotorische Erfahrung einen entscheidenden Faktor darstellt. Da die Ergebnisse von Wraga et al. (2003) sowie von Kosslyn et al. (1998) nahe legten, dass motorische Prozesse nicht automatisch in der mentalen Rotation involviert sind, nahm Moreau (2012) an, dass Sportler aufgrund der trainingsbedingten Erfahrung in der Manipulation von motorischen Repräsentationen tendenziell verstärkt motorische Ressourcen im Vergleich zu Novizen nutzen. Er untersuchte zwei unterschiedliche Interferenzparadigmen, beide in Form einer Arbeitsgedächtnisaufgabe kombiniert mit einer MR-Aufgabe, wobei erstere einmal die Aufrechterhaltung von visuellem Material erforderte und die zweite Bedingung aus bewegungsbasierten Material (Bilder von Bewegungspositionen) bestand. Die Ergebnisse legten nahe, dass bei beiden Gruppen Einbußen in dem objektbasierten (visuellen) Interferenzparadigma zu verzeichnen waren, was die Autoren schlussfolgern ließ, dass das visuelle Arbeitsgedächtnis bei der Lösung einer mentalen Rotationsaufgabe beteiligt ist. Der zweite Befund, der aufzeigte, dass die Wrestler stärkere Beeinträchtigungen in der Performanz bei dem bewegungsbasierten Interferenzparadigma als die Nicht-Sportler aufwiesen, implizierte, dass sich die Sportler bei der Bearbeitung einer MR-Aufgabe zu einem stärkeren Ausmaß auf motorische Prozesse stützten.

Zusammenfassend liefern diese Befunde über die Beteiligung motorischer Prozesse sowie über die Bedeutung motorischer Fähigkeiten bei der mentalen Rotationsfähigkeit Evidenzen über den Einfluss körperlicher Prozesse auf die kognitive Funktionswei-

se. Sie betonen damit die Interdependenz zwischen perzeptiven (sensorischen), motorischen und kognitiven Prozessen – die grundlegende Idee des Embodiment-Ansatzes.

3.3 Embodiment-Ansatz

Auch wenn der Nachweis motorischer Beteiligung bei objektbasierten (Pietsch & Jansen, 2012; Jansen & Lehmann, 2013; Moreau et al., 2012) und egozentrischen Transformationen (Steggemann et al., 2011) unumstritten ist, unterscheiden sich beide Strategien in einem wesentlichen Punkt: in dem Ausmaß der Verkörperung. Die Grundidee dieses sogenannten Embodiment-Ansatzes (dt. = Verkörperung) ist es, dass ursprünglich angedachte „reine“ kognitive Prozesse in körperliche Erfahrungen mit der Umwelt eingebettet sind. Demnach steht der Geist (Verstand, Denken, das kognitive System, die Psyche) in Bezug zum gesamten Körper (Storch et al., 2010; Tschacher & Storch, 2012; Wilson, 2002). Bisher ist man davon ausgegangen, dass psychische Zustände ihren Ausdruck im Körper finden. Die Embodiment-Theorie erweitert diese Sichtweise, indem sie postuliert, dass auch Körperzustände (Mimik, Körperhaltung) Ausdruck in der Psyche finden können und fordert demnach eine reziproke Beziehung zwischen Körper und Psyche: Nicht nur die Psyche wirkt sich auf den Körper aus, sondern der Körper kann ebenfalls Rückwirkungen und Einflüsse auf das kognitive System erzeugen (Storch et al. 2010; Tschacher & Storch, 2012). Demnach spielen sensorische und motorische Funktionen sowie ihre Interaktion mit der Umwelt, eine wichtige Bedeutung in der Entwicklung kognitiver Prozesse. Dabei können sensorische und motorische Ressourcen bei einer reinen kognitiven Aktivität unabhängig von einer Bewegungssteuerung genutzt werden. Die Grundidee des *embodied cognition approach* wird in folgender Aussage besonders deutlich (Wilson, 2002, S. 625):

“There is a growing commitment to the idea that the mind must be understood in the context of its relationship to a physical body that interacts with the world. It is argued that we have evolved from creatures whose neural resources were devoted primarily to perceptual and motoric processing, and whose cognitive activity consisted largely of immediate, on-line interaction with the environment. Hence human cognition, rather than being centralized, abstract, and sharply distinct from peripheral input and output modules, may instead have deep roots in sensorimotor processing.”

Evidenzen für diesen Ansatz liefert die *Facial-Feedback-Hypothese* (Ekman, 1992), die annimmt, dass ein bestimmter Gesichtsausdruck (z.B. lächelnd) die der Emotion ent-

sprechenden neuronalen Muster im Gehirn aktiviert, sodass es tatsächlich zum Erleben dieser Emotion kommt (z.B. Freude). Begründet wird die Hypothese über die Funktionsweise sensorischer Rückmeldungen aus der aktivierten Muskulatur, die über afferente Nervenbahnen zum zentralen Nervensystem geleitet werden und dadurch Veränderungen auf neuronaler Ebene erzeugen. Diese Veränderungen lösen die der Mimik entsprechenden Emotionen aus. Zajonc, Murphy und Inglehart (1989) bestätigten diese Hypothese mit ihrem Befund, dass Versuchspersonen, die man aufgefordert hatte, zu lächeln, über positivere Gefühle berichteten als Personen, welche die Stirn runzeln sollten. Um die Ergebnisse auf tatsächliche Rückmeldung der Gesichtsmuskulatur und keine Bewusstseinsprozesse zurückführen zu können, führten Strack, Martin und Pepper (1988) ein Experiment durch, das mittels einer Cover Story den wahren Untersuchungsgegenstand nicht offen legte. Die Ergebnisse bestätigten den beschriebenen Zusammenhang zwischen der Aktivität der Gesichtsmuskulatur und dem Erleben von Emotionen.

Risikind und Gotay (1982) postulierten, dass es neben der Mimik auch Körperhaltungen sein können, welche entsprechende Emotionen hervorrufen und bestätigten derartige Feedbackprozesse in ihrer Untersuchung, in der sie mittels einer Cover Story herausfanden, dass eine aufrechte oder gebeugte Körperhaltung einen nachweislichen Effekt auf das Durchhaltevermögen in einer unlösbaren Aufgabe hat: Versuchspersonen, die für eine bestimmte Zeit eine gebeugte Körperhaltung einnahmen, gaben bei einem unlösbaren Puzzle schneller auf als Personen mit einer aufrechten Körperhaltung. Die Autoren zogen den Schluss, dass eine gebeugte Haltung mit dem Prinzip der gelernten Hilflosigkeit assoziiert wird und demnach schneller aufgegeben wird. Analog dazu wiesen Peper und Lin (2012) nach, dass die Haltung Einfluss auf das subjektiv empfundene Energielevel hat. Im Anschluss an die Einnahme einer gebeugten Haltung wurde das Energielevel deutlich niedriger eingestuft als vor der Haltungsinduktion. Gleichzeitig gaben die Probanden an, dass sie sich in der gebeugten Haltung traurig, allein und müde fühlten.

Auch in der klinischen Psychologie gibt es empirische Belege für den direkten Einfluss von Körperhaltungen auf Emotionen. Michalak et al. (2009) verglichen das Gehmuster von gesunden Probanden mit dem von Patienten mit einer schweren Depression. Die

depressiven Patienten unterschieden sich von den gesunden Probanden durch eine deutlich reduzierte Gehgeschwindigkeit und eine stärker gebeugte Körperhaltung.

3.4 Embodiment-Ansatz in der mentalen Rotation

Der Grundgedanke des Embodiment-Ansatzes besteht darin, dass Mechanismen, die sich ursprünglich im Sinne externaler Handlungen entwickelt haben, dazu dienen, abstrakte kognitive Prozesse, wie beispielsweise Entscheidungsfindung oder räumliches Problemlösen, zu erleichtern (Jeannerod, 2003). Somit können motorische Ressourcen herangezogen werden, die Handlungen simulieren und damit helfen, abstrakte kognitive Probleme zu lösen. Bezogen auf die mentale Rotationsfähigkeit erleichtert die sensorische Simulation einer Rotation die Fähigkeit zwei- oder dreidimensionale Objekte im Geiste zu rotieren (Creem-Regehr, 2010).

Evidenz dafür lieferte Parsons in einer Reihe von Studien (1987, 1994). Dabei verwendete Parsons (1987) Bilder der eigenen Hände und Füße (links und rechts), rotiert in der Bildebene, und forderte die Probanden dazu auf, zu entscheiden, ob es sich um eine linke oder rechte Gliedmaße handelte. Die Ergebnisse zeigten, dass die Zeit für eine derartige links/rechts-Entscheidung mit der Zeit korrelierte, die die Versuchspersonen benötigten, um sich die Bewegung einer der Körperteile in eine vorgegebene Orientierung (ohne links/rechts-Entscheidung) vorzustellen. Die Ergebnisse aus einer späteren Arbeit von Parsons (1994) untermauerten die Annahme, dass die biomechanische Repräsentation einer Handbewegung in einer Aufgabe mit einer links/rechts-Entscheidung eine bedeutende Rolle spielt. Parsons zeigte in Rahmen dieser Untersuchung, dass die Zeit, welche die Versuchspersonen benötigen, um ihre Hand in eine vorgegebene Handposition tatsächlich (physisch) zu bewegen, mit der Zeit korrelierte, sich diese Bewegung vorzustellen und mit der Zeit, die die Probanden benötigten um zu entscheiden, ob es sich um ein linkes oder rechtes Körperteil handelte. Zudem fand Parsons in beiden Experimenten (1987, 1994) heraus, dass es den Probanden leichter fiel, sich eine Hand-Rotation vorzustellen, die einer physikalisch angenehmen Bewegung entsprach, als einer unnatürlichen. Dies ließ den Autor schlussfolgern, dass die Probanden ihre Hand mental in die Orientierung des Vergleichsstimulus rotierten und demnach motorische Prozesse bei der mentalen Rotation eine Rolle spielen. Er konkretisierte diese Interpretation dahingehend, dass das Körperbild in Entscheidungen über körperrelevantes Stimulusmaterial und deren Orientierung involviert ist und folglich

die motorische Repräsentation des eigenen Körpers beim mentalen Rotationsprozess eine Rolle spielt.

Neuroanatomisch gesehen wird die Beteiligung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation speziell mit einer Aktivierung der Parietallappen in Verbindung gebracht (Alivisatos & Petrides, 1997; Decety et al., 1994; Parsons et al., 1995). Andersen (1989) zieht den Schluss, dass Neurone im Parietallappen sowohl auf sensorische (z.B. visuelle Stimuli) als auch motorische Reize (z.B. Fixationen) reagieren. Funktionell spielt dieses Areal eine wichtige Rolle in der motorischen Kontrolle und sendet Efferenzen an die Basalganglien und frontale Areale, die in der Handlungsplanung und Ausführung beteiligt sind (vgl. Graybiel, Aosaki, Flaherty, & Kimura, 1994). In der elektrophysiologischen Untersuchung von Peronnet und Farah (1989) wurde eine starke elektrische Negativität über dem posterioren Schädel nachgewiesen, der systematisch mit dem Grad der Rotation variierte. Die Autoren zogen den Schluss, dass zumindest ein Anteil dieser Aktivierung motorische Prozesse repräsentiert. Allerdings fanden Parsons et al. (1995) unter der Verwendung von Händen als Stimulusmaterial heraus, dass die Probanden eine implizite Bewegung ihrer eigenen Hände als Strategie verwendeten, um zu entscheiden, ob eine linke oder rechte Hand dargestellt wurde. Kosslyn et al. (1998) nahmen an, dass es folglich mehrere Methoden gibt, einen Stimulus mental zu rotieren, abhängig vom verwendeten Stimulusmaterial. In ihrer PET-Studie verglichen sie eine mentale Rotationsaufgabe mit Würfelfiguren mit einer unter Verwendung von Händen als Stimuli. In der ersten Bedingung fanden sie eine Aktivierung im Parietallappen und im lateralen okzipitalen Gyrus, während die Rotation von Händen eine Aktivierung in folgenden Arealen nach sich zog: primärer motorischer Kortex, superiorer und inferiorer Parietallappen, primärer visueller Kortex, Insula und frontale Areale. Die Autoren interpretierten diesen Befund dahingehend, dass die Beteiligung motorischer Prozesse bei den beiden Rotationen eine Rolle spielt, sich jedoch qualitativ unterscheidet, indem die Transformation von Händen ein motorisches Programm induziert, um eine tatsächliche Bewegung in Gang zu setzen, im Sinne von „processes that prepare motor movements“ (Kosslyn et al., 1998, S. 151).

Dies erweitert die funktionale Rolle motorischer Prozesse um eine motorische Transformation des Beobachters (des Selbst). Bisher wurde angenommen, dass ein Individuum sich das Objekt so stark vorstellt, dass seine visuelle Repräsentation aus dem Ge-

dächtnis aktiviert wird und dessen räumliches Muster im visuellen Kortex rekonstruiert und topographisch abgebildet wird. Gemäß dieser Theorie rotiert ein Individuum in seiner Vorstellung das Objekt entlang einer Bewegungsbahn, da die Person antizipiert, was sie tatsächlich sehen würde, wenn das Objekt physikalisch manipuliert werden würde (Cooper & Shepard, 1973; Kosslyn, 1994). Diese Befunde liefern die Basis für die Annahme unterschiedlich starker Beteiligung motorischer Prozesse (Verkörperung) bei den beiden Transformationsarten (objektbasiert und egozentrisch), die im Folgenden detaillierter erörtert werden soll.

3.5 Embodiment-Ansatz in Bezug auf objektbasierte und egozentrische Transformationen

Bezogen auf die mentale Transformation wird angenommen, dass egozentrische Rotationen in einem stärkeren Ausmaß verkörpert sind als objektbasierte Rotationen, da es die motorische Simulation eigener Körperprozesse erfordert im Gegensatz zur Objekt-Transformation, bei der die Position des Probanden unverändert bleibt. Hier wird anstelle einer ausgeführten manuellen Rotation die Drehung geplant und das Ergebnis mental repräsentiert im Sinne einer verdeckten Simulation einer motorischen Rotation. Diese Annahme wird durch das Interferenzparadigma von Kessler und Thomson (2010) gestützt, welche in einem Vergleich dieser beiden Strategien nachwiesen, dass die Einnahme einer Haltung, die mit der Richtung der mentalen Rotation übereinstimmte, zu schnelleren Reaktionszeiten führte. Allerdings war dieser Kongruenz-Effekt auf egozentrische Transformationen beschränkt. Die Autoren zogen den Schluss, dass objektbasierte Transformationen demnach weniger oder zumindest anders verkörpert sind als egozentrische.

Die Annahme, dass propriozeptive Information für egozentrische Transformationen relevanter ist als für objektbasierte, findet seine Bestätigung durch die Studie von Lorey et al. (2009). In einer Bedingung mussten die Probanden sich eine Handlung so vorstellen, als wenn sie diese selbst motorisch ausführen würden (first person perspective). Die zweite Bedingung erforderte, dass die Teilnehmer sich eine Handlung visuell vorstellen sollten (third person perspective). Die Ergebnisse legten nahe, dass die Induktion propriozeptiver Information durch verschiedene Handpositionen die erste Bedingung stärker beeinflusste als die zweite, welche lediglich eine visuelle Repräsentation der Handlung implizierte. Darüber hinaus konkretisierten Surtees, Apperly und

Samson (2013) diesen Befund, indem sie den Einfluss einer kongruenten und inkongruenten Haltung auf zwei verschiedene perspektivische Transformationsarten, eine visuelle und eine räumliche, untersuchten. Die Autoren gingen davon aus, dass die visuelle weniger verkörpert ist (Level-1) als die räumliche (Level-2) Transformation. Die visuell-perspektivische Transformationsaufgabe erforderte von den Probanden, ein Urteil darüber zu fällen, wie eine Nummer, die dem Avatar in verschiedenen Orientierungen präsentiert wurde, erschien. In der räumlich-perspektivischen Bedingung mussten die Probanden entscheiden, ob ein Objekt links oder rechts vom Avatar platziert wurde. Auch wenn beide eine motorische Simulation des Selbst erforderten, war die räumlich-perspektivische Transformation von der Haltung stärker beeinflusst. Surtees et al. (2013) kamen zu dem Schluss, dass eine derartige Perspektivenübernahme es nicht nur ermöglicht zu beurteilen, in welchen räumlichen Verhältnissen Objekte zu einer anderen Person stehen, sondern auch wie diese Objekte dieser Person erscheinen.

Dieser Ansatz wird darüber hinaus durch bildgebende Verfahren von Wraga et al. (2005) gestützt, die unterschiedliche neuronale Korrelate für beide Transformationsarten nachwiesen: Während der Objektrotationen wurden motorische Areale aktiviert, die für motorische Repräsentationen zuständig sind, welche Objektmanipulationen reflektieren, wohingegen egozentrischen Transformationen motorische Areale zugrunde liegen, die sowohl bei tatsächlichen Bewegungen des Körpers beteiligt sind (Zacks & Michelon, 2005) als auch an propriozeptive und perzeptive Informationen gebunden sind (Gallese, 2003, 2005; Kessler & Rutherford, 2010; Kessler & Thomson, 2010; Tversky & Hard, 2009). Darüber hinaus wies die Arbeitsgruppe um Ionta (Ionta, Gassert, & Blanke, 2011; Ionta et al., 2011) nach, dass die temporo-parietale Junktion eine bedeutende Rolle bei der multisensorischen Integration körperrelevanter Informationen spielt. Beeinträchtigungen im TPJ sind mit reduzierter Leistungsfähigkeit in Navigationsaufgaben verbunden (Samson et al., 2005). Interessanterweise aktivieren egozentrische Transformationen den posterioren parietalen Kortex, frontale Areale und die temporo-parietale Junktion (Thakkar et al., 2009; Zacks et al., 1999). Diese Befunde liefern die Basis unserer zweiten Fragestellung, die sich darauf bezieht, ob die beiden Transformationsarten unterschiedlich stark verkörpert sind. Zur weiteren Spezifizierung dieses Embodiment-Ansatzes stellten wir uns zudem die Frage, ob die Verwen-

dung eigener Körperbilder zu stärkeren Verkörperungseffekten führt als die Bearbeitung von Körperfiguren einer fremden Person.

3.6 Der Einfluss des eigenen Körperbilds auf objektbasierte und egozentrische Transformationen

Slade (1994, S. 497) definiert das Körperbild als „the picture we have in our minds of the size, shape and form of our bodies; and to our feelings concerning these characteristics and our constituent body parts“. Diese Definition enthält sowohl eine perzeptive als auch eine affektive Komponente des Körperbildes. Die perzeptive Komponente umfasst die Wahrnehmung des eigenen Körpers, eine Repräsentation der eigenen Körperteile im Verhältnis zueinander abhängig von multiplem sensomotorischen Input (Urgesi et al., 2011). Die affektive Komponente des Körperbildes hingegen beinhaltet die Gefühle gegenüber dem eigenen Körper und die Bewertung des äußeren Erscheinungsbildes. Joraschky, Löw und Röhrich (2009) dagegen schreiben den jeweiligen Komponenten (affektiv, perzeptiv und kognitiv) eigene Begrifflichkeiten zu. Darüber hinaus liefern die Autoren eine ganzheitliche Beschreibung dieser Konzepte, die sowohl die Definition, Erfassungsmethodik und entsprechende beispielhafte Störungen umfassen und damit zu einem differenzierteren Verständnis des „Selbst“ beitragen, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1

Modifizierte Übersicht über Terminologie, Erfassungsmethodik und Symptomatik nach Joraschky et al. (2009).

	Teilaspekte des Körpererlebens	Definition	Methodik	Instrumente	Störungen
Körperbezogene Perzeptionen	Körperschema	Wahrnehmung von Ausdehnung/ Orientierung am Körper	Perzeptive Verfahren	Body Image Screening Scale	Über-/Unterschätzung
	Körperempfinden	Intero- und exterozeptive Wahrnehmung	Verbale und wahrnehmungspsychologische Verfahren	Bonn Scale for the Assessment of Basic Symptoms	Körperhalluzinationen

	Teilaspekte des Körper- erlebens	Definition	Methodik	Instrumente	Störungen
Körperbezogene Kognitionen	Körperbild	Gedanken, Einstellungen den Körper betreffend	Projektive und verbale Verfahren	Körperkonzept- skalen	Dysmorpho- phobie
	Körper-Selbst	Unterschei- dung von Ich/Du	Projektive und verbale Verfahren	Body Distortion Questionnaire	Out-of-body experience
Körperbezogene Emotionen	Körper- Bewusstsein	Zufrieden- heit, Auf- merksamkeit den Körper betreffend	Verbale und perzeptive Verfahren	Body Focus Questionnaire	Unzufrieden- heit
Körper- verhalten	Körper- ausdruck	Mimik, Ges- tik, Haltung, Bewegungs- muster	Bewegungs- analyse		Dissoziative Störungen

Neuroanatomisch gesehen hängt das Körperbild als Repräsentation des eigenen Körpers von folgenden Informationsquellen ab: Die Propriozeption gibt Auskunft über die Körperposition und -bewegung, das vestibuläre System stellt Informationen über das Gleichgewicht des Körpers bereit, Mechano- und Nozirezeptoren reagieren auf externe Berührungen, einschließlich gefährlicher mechanischer Stimuli und die Interozeption informiert über das physiologische Befinden des Körpers (Jeannerod, 2003). All diese Signale werden kortikal vom primären und sekundären somatosensorischen Kortex verarbeitet (Berlucchi & Aglioti, 1997). Als neuronale Korrelate für die Repräsentation des eigenen Körpers spielen folgende Areale eine bedeutende Rolle: die Fusiform Face und Body Area des Gyrus Fusiformis (für visuelle Information über den Körper) und der rechte parietale Kortex für die mentale Repräsentation des Körpers (Berlucchi & Aglioti, 1997; Blanke, Ionta, Fornari, Mohr, & Maeder, 2010; Craig, 2003). Bonda, Petrides, Frey und Evans (1995) konkretisierten die Beteiligung parietaler Regionen und wiesen nach, dass der parietale Kortex (superior und inferior) als neuronales Korrelat für die Repräsentation des Körpers angesehen werden kann. Interessanterweise

wird analog der mentale Rotationsprozess per se mit der Aktivierung der Parietallappen in Verbindung gebracht (Culham & Kanwisher, 2001), wobei konkret der superiore parietale Kortex involviert ist (Carpenter et al., 1999).

Doch inwiefern beeinflusst das eigene Körperbild die mentale Rotationsfähigkeit? Wie bereits erwähnt, wird zwischen zwei Transformationsarten differenziert, bei welchen die Beteiligung motorischer Prozesse unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Die egozentrische Transformation gilt als stärker verkörpert, da hier eine motorische Simulation des eigenen Körpers bzw. eigener Körperteile erfordert wird. Diesbezüglich zeigte Parsons in einer Reihe von Studien (1987, 1994), dass eine implizite Rotation der Repräsentation der eigenen Hand zur Bearbeitung der mentalen Rotationsaufgabe von Nöten ist. Weitere Evidenz liefern Ionta, Fourkas, Fiorio und Aglioti (2007), die nachwiesen, dass biomechanisch ungewöhnliche Handbewegungen (überkreuzte Finger hinter dem Rücken) im Gegensatz zu einer gewöhnlichen Handstellung (Hände auf dem Knie) zur einer verminderten Performanz in der egozentrischen Transformationsaufgabe führten. Die Autoren führten zusätzlich eine mentale Rotationsaufgabe mit Füßen durch. Interessanterweise zeigte sich in dieser Bedingung kein Haltungseffekt, was für die spezifische Repräsentation einzelner Körperteile und deren selektiven Einfluss auf die mentale Rotationsfähigkeit spricht. Folglich aktivieren speziell Aufgaben, die zu einer perspektivischen Transformation anregen, die motorische Simulation des eigenen Körpers bzw. eigener Körperteile, wofür die Repräsentation des eigenen Körpers im Sinne des Körperbilds unerlässlich ist.

Evidenz für diesen Zusammenhang zwischen Körperbild und mentaler Rotationsfähigkeit liefern neuropsychologische Studien. Basierend auf dem Design von Parsons (1994), der eine links/rechts-Entscheidung über Handstimuli von den Probanden erforderte, untersuchte Coslett (1998) Patienten mit einer Läsion in der rechten Hemisphäre (drei mit räumlichem Neglect und drei ohne) und Patienten, bei denen die linke Hemisphäre lädiert war (ohne Neglect). Der Autor nahm an, wenn Patienten mit Neglect ein gestörtes Körperschema aufweisen, dann sollten Patienten mit Läsionen in der rechten Hemisphäre Probleme in der Entscheidung bei linken, aber nicht bei rechten Händen haben. Diese Hypothese wurde durch die Ergebnisse gestützt, indem die drei Neglect-Patienten (jedoch nicht die anderen drei Patienten mit der rechten Hemisphären-Läsion und die Patienten ohne Neglect mit Läsion in der linken Hemisphäre)

eine beeinträchtigte Performanz bezüglich Händen kontralateral zu ihrer Läsion zeigten. Ähnliche Befunde wiesen Funk und Brugger (2002) nach, die Patienten mit einer amputierten Hand (ohne Phantomschmerz) untersuchten und zeigten, dass diese langsamere Reaktionen bezüglich Stimuli entsprechend der fehlenden Hand aufwiesen. Einen ähnlichen Befund lieferten Arzy, Overney, Landis und Blanke (2006), die Asomatognosie-Patienten untersuchten, die infolge einer Läsion im rechten prämotorischen Kortex Defizite im körperlichen Bewusstsein aufwiesen. Diese Patienten zeigten Leistungseinbußen im mentalen Rotationstest, wenn sie Hände als Stimulusmaterial bearbeiten mussten, während die Performanz bei Buchstaben nicht beeinträchtigt war. Diese Befunde lassen den Schluss zu, dass gerade Aufgaben, welche die motorische Simulation eigener Körperteile erfordern, eng mit der Repräsentation des eigenen Körpers verbunden sind.

Zur Differenzierung zwischen eigenen und fremden Körperbildern liefert die bisherige Literatur sowohl behaviorale als auch neuroanatomische Evidenzen dafür, dass die Verarbeitung eigener und fremder Körperbilder getrennt und unabhängig voneinander stattfindet (Devue et al., 2007; Frassinetti, Maini, Romualdi, Galante, & Avanzi, 2008). Frassinetti et al. (2008) konkretisierten diesen Befund und wiesen einen Vorteil zugunsten eigener Körperbilder nach: Den Probanden fiel es bei einer Übereinstimmungsaufgabe leichter, wenn eigene Körperstimuli verwendet wurden im Vergleich zu Stimuli fremder Körperbilder, ausgedrückt in schnelleren Reaktionszeiten und geringeren Fehlerraten. Allerdings fanden Ferri et al. (2011) heraus, dass dieser Vorteil zugunsten des Selbst auf implizite Wiedererkennungsaufgaben beschränkt ist und nicht eintritt, wenn eine explizite Verarbeitung des Selbst erfordert wird. Beide Bedingungen wurden wie folgt experimentell umgesetzt: In der impliziten Wiedererkennung mussten die Probanden eine links/rechts-Entscheidung über einen Stimulus (Hand/Fuß) treffen, welcher in verschiedenen Rotationswinkeln und in Form von Bildern des eigenen/fremden Körpers präsentiert wurde. Diese Entscheidung zur Lateralität erfordert eine perspektivische Transformation und ist folglich mit einer egozentrischen Bedingung gleichzusetzen. Dagegen war es in der expliziten Wiedererkennung Aufgabe der Probanden, die eigene Hand unter fremden Händen in verschiedenen Rotationswinkeln wiederzuerkennen, was keiner motorischen Simulation bedarf und daher mit der objektbasierten Transformation zu vergleichen ist. Die Autoren zogen den Schluss, dass

das Selbst neuronal gesehen vorwiegend motorisch abgebildet ist. Weitere Evidenz lieferte Tsakiris (2010), der in seiner Untersuchung die Probanden aufforderte, ihre rechte Hand zwischen Stimuli der eigenen und einer fremden, mit Handschuhen bedeckten Hand, wiederzuerkennen. Zeitgleich wurde ihr eigener rechter Zeigefinger anders positioniert, entweder vom Versuchsleiter oder durch die eigene linke Hand. Die Wiedererkennungslleistung verbesserte sich, wenn die Bewegung des rechten Zeigefingers selbst initiiert wurde. Dieser Zusammenhang findet ebenfalls in bildgebenden Verfahren seine Bestätigung, indem Keenan, Nelson, O'Connor und Pascual-Leone (2001) in ihrer elektrophysiologischen Untersuchung nachwiesen, dass selbst-bezogene Stimuli stärkere Amplituden in motorisch evozierten Potentialen auslösten als die Gesichter fremder Personen.

Es ist bisher ungeklärt, welcher Mechanismus diesem „Selbst-Vorteil“ zugrunde liegt. Tsakiris (2010) hypothetisiert, dass dieser spezifische „Vorteil des Selbst“ auf einer sensorisch-motorischen Repräsentation basiert. Er prüfte diese Annahme mittels der Rubber Hand Illusion (RHI). In diesem Paradigma wird die eigene Hand verdeckt und an deren Stelle eine Gummihand positioniert. Sobald die Gummihand synchron zu der eigenen Hand berührt wird, entsteht der Eindruck, dass es sich bei der Gummihand um die eigene Hand handelt. Voraussetzung ist die Synchronität der Berührungen beider Hände (Botvinick & Cohen, 1998). Gemäß Tsakiris (2010) repräsentiert die Erfahrung der Körperzugehörigkeit eine kritische Komponente der Selbst-Spezifität durch den Beweis, dass die Interaktion von multisensorischer Integration und internalen Repräsentationen des Körpers die Manipulation von physischen und psychischen Aspekten des Selbst bewirken kann, indem die Hand als eigene wahrgenommen wird, als wäre sie „verkörpert“. Als neuronale Korrelate dieser RHI führte der Autor die temporoparietale Junktion, den somatosensorischen Kortex, sowie posteriore parietale und prämotorische Areale an. Die Tatsache, dass das Selbst mit einer sensorisch-motorischen Repräsentation verknüpft ist, sowie die Beteiligung der entsprechenden neuronalen Korrelate liefern weitere Evidenzen für die Befunde von Ferri et al. (2011), dass der „Vorteil des Selbst“ insbesondere in egozentrischen Transformationen deutlich wird.

Zusammenfassend stellt der Embodiment-Ansatz eine Sichtweise dar, der bisherige Befunde über die Bedeutung motorischer Fähigkeiten und die Beteiligung motorischer

Prozesse bei der mentalen Rotation miteinander vereint, indem die Interdependenz zwischen einem angenommenen rein mentalen Prozess und einer motorischen Komponente deutlich wird: Die mentale Rotationsfähigkeit wird demnach von sensorisch-motorischen Prozessen unterstützt und die Einbeziehung motorischer Prozesse hängt wiederum von den motorischen Fähigkeiten einer Person ab. Durch die Verkörperung der mentalen Rotationsfähigkeit gewinnt in diesem Zusammenhang auch das eigene Körperbild an Bedeutung. Diese spezielle Verflechtung zwischen den drei Komponenten „Kognition“, „Körper“ und „Motorik“ kann wiederum genutzt werden, um beispielsweise im pädagogischen Setting Lernstrategien zu entwickeln oder im therapeutischen Setting Interventionen abzuleiten. Dies ist insbesondere relevant bei Störungen, die mit dem eigenen Körperbild in Verbindung stehen, wie es beispielsweise bei der Magersucht (lat. = Anorexia nervosa) gegeben ist, einer Essstörung, der eine Körperbildstörung zugrunde liegt (Bell & Rushforth, 2008). Diese Arbeit soll folglich verdeutlichen, dass die mentale Rotation nicht nur als eine rein visuell-räumliche Fähigkeit zu verstehen ist, sondern vielmehr als Komponente der Intelligenz, welche intelligentes Denken nur durch ihre Zweifacheinbettung in Körper und Umwelt ermöglicht und dadurch zahlreiche Implikationen für Interventionen nach sich zieht, sowohl bei einer gesunden als auch einer klinischen Stichprobe.

4. Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstandes

Im Zentrum dieser Arbeit steht die Differenzierung objektbasierter und egozentrischer Transformationen in der mentalen Rotation, die einmal auf entwicklungspsychologische Aspekte und im Anschluss auf die Bedeutung motorischer Fähigkeiten in der mentalen Rotation vor dem Hintergrund des Embodiment-Ansatzes beleuchtet werden.

Bei der mentalen Rotation handelt es sich um eine spezielle visuell-räumliche Fähigkeit, die erstmals von Shepard und Metzler (1971) untersucht wurde. Das Paradigma besteht aus dem Vergleich zweier simultan dargebotener Stimuli, wobei der rechte Stimulus eine um verschiedene Winkeldisparitäten gedrehte und/oder gespiegelte Version des linken aufrechten Stimulus darstellt. Fokus dieser Arbeit ist die Differenzierung zwischen den beiden Transformationsarten: objektbasiert und egozentrisch. Während objektbasierte Rotationen mit einer manuellen Rotation gleichgesetzt werden, bei denen die Position des Beobachters unverändert bleibt, erfordern egozentrische Transformationen eine Perspektivenübernahme im Sinne einer motorischen Si-

mulation. Die Transformationen können durch unterschiedliche Entscheidungsarten induziert werden: Objektbasierte Rotationen entstehen durch eine gleich/gespiegelt-Antwort, während bei egozentrischen Transformationen meist ein menschlicher Körper dargeboten wird, der entweder den linken oder rechten Arm ausstreckt. Hierbei soll eine Entscheidung darüber getroffen werden, ob es sich um den linken oder den rechten Arm handelt.

Diese beiden Transformationssysteme wurden im Rahmen der ersten Studie dieser Untersuchungsreihe aus entwicklungspsychologischer Perspektive untersucht, da ein einheitliches Design über drei verschiedene Altersgruppen hinweg mit Fokus auf diese Differenzierung bisher ausblieb. Viele Autoren beschäftigten sich mit entwicklungspsychologischen Aspekten der mentalen Rotation und fanden bezüglich des Kindesalters heraus, dass bereits Kinder im Säuglingsalter in der Lage waren, mental zu rotieren, allerdings die Rotationsgeschwindigkeit im Laufe der Entwicklung deutlichen Zuwächsen unterlegen ist, während im Alter wieder enorme Rückgänge zu verzeichnen sind (Gaylord & Marsh, 1975; Hertzog et al., 1993; Moore & Johnson, 2008). Hinsichtlich der Differenzierung der entwicklungsbedingten Performanz in objektbasierten und egozentrischen Transformationen zeigt sich im Kindesalter eine uneinheitliche Befundlage, die einerseits einen früheren Beginn in der Fähigkeit, Objektrotationen zu lösen, im Vergleich zu perspektivischen Transformationen postuliert (Piaget & Inhelder, 1971) und die andererseits eine gleichwertige Leistungsfähigkeit deklariert (Huttenlocher & Presson, 1973), was auf methodische Differenzen zurückzuführen ist. Analog dazu gibt es im Alter gegensätzliche Evidenzen, wobei die egozentrische Transformation tendenziell schwerer verarbeitet wird als im Erwachsenenalter (Inagaki et al., 2002). Als ursächlich werden altersbedingte Einbußen im Körperbild erachtet (Devlin & Wilson, 2010). Interessanterweise ist das Körperbild, definiert als Repräsentation der Verhältnisse der Körperteile zueinander (Urgesi et al., 2011), wiederum vom sensorisch-motorischen Input abhängig. Es besteht folglich ein Zusammenhang zwischen den folgenden drei Variablen: das eigene Körperbild, motorische Prozesse und die mentale Rotation. Diese Erkenntnisse lieferten die Basis für die zentrale Fragestellungen der zweiten und dritten Studie dieser Untersuchungsreihe, die darin bestanden, ob ein Zusammenhang zwischen motorischen Fertigkeiten und mentaler Rotation vorliegt, in welchem Ausmaß die motorischen Fertigkeiten mit den beiden Transformationsarten

assoziiert sind und inwiefern das eigene Körperbild diese beiden Transformationsarten beeinflusst.

Der Zusammenhang zwischen Motorik und mentaler Rotation ist unumstritten und zahlreich empirisch belegt. Bisherige Analysen konzentrierten sich auf Trainingsstudien (Moreau et al., 2012), quasi-experimentelle Designs (Pietsch & Jansen, 2012) oder Interferenzparadigmen (Sack et al., 2007; Wohlschläger, 2001). Diese Arbeit beleuchtet diesen Zusammenhang vor dem Hintergrund des Embodiment-Ansatzes, der postuliert, dass kognitive Prozesse motorisch eingebettet sind (Wilson, 2002). Bezogen auf die mentale Rotation wird angenommen, dass motorische Ressourcen bei der Aufgabenbearbeitung herangezogen werden, die sich wie folgt unterscheiden: 1) Im Sinne einer verdeckten motorischen Rotation und 2) Im Sinne einer impliziten Transformation des Beobachters (des Selbst), was Grundlage für die unterschiedliche Verkörperung objektbasierter und egozentrischer Transformationen liefert. Gemäß der bisherigen Literatur (Devlin & Wilson, 2010; Kessler & Rutherford, 2010) wird angenommen, dass die egozentrische Transformation in einem stärkeren Ausmaß verkörpert ist als die objektbasierte, da diese eine perspektivische Transformation in Form einer motorischen Simulation erfordert, während die Objektrotation mehr einer manuellen Drehung gleicht. Eine weitere Variable, die gemäß des Embodiment-Ansatzes in der mentalen Rotation eine bedeutende Rolle spielt, ist das Körperbild. Basierend auf den Befunden von Frassinetti et al. (2008) werden eigene Körperbilder schneller verarbeitet als die fremder Personen, was auf eine sensomotorische Repräsentation des Selbst zurückzuführen ist.

Basierend auf diesem Forschungsstand wurden im Rahmen der ersten Studie dieser Untersuchungsreihe drei Altersgruppen (Kinder, Erwachsene, Senioren) bezüglich ihrer Performanz in objektbasierten und egozentrischen Transformationen miteinander verglichen. In der zweiten Studie dieser Arbeit stand im Zentrum des Interesses, welche Transformation stärker verkörpert ist und inwiefern das eigene Körperbild die beiden Transformationsarten beeinflusst. Dazu wurden Sportler und Nicht-Sportler miteinander verglichen, da gemäß Moreau (2012) angenommen wird, dass diese verstärkt auf motorische Ressourcen zurückgreifen. Darüber hinaus wurden Bilder des eigenen und eines fremden Körpers als Stimulusmaterial verwendet. Der Vergleich von Sportlern und Nicht-Sportlern dient dazu, den Grad an motorischer Expertise zu variie-

ren: Hohe motorische Fertigkeiten wirken sich zum einen nach Moreau (2012) positiv auf die Verwendung motorischer Ressourcen bei der Bearbeitung einer MR-Aufgabe aus und sind zum anderen nach Hausenblas und Downs (2001) mit einem verbesserten Körperbild assoziiert. Basierend auf den Befunden von Frassinetti et al. (2008) werden eigene Körperbilder schneller verarbeitet als die fremder Personen, was auf eine sensorische Repräsentation des Selbst zurückzuführen ist. Demnach wurde mittels zweier Variablen (motorische Expertise, Selbst), die beide mit der Motorik assoziiert sind, untersucht, welche der beiden Transformationen zu einem stärkeren Ausmaß verkörpert ist. Anhand eines dritten Experiments wurden die in Experiment 2 eruierten Ergebnisse vertieft und das Ausmaß der Verkörperung durch Stimuli in Lebensgröße moduliert. Die Hinzunahme einer Wiedererkennungsaufgabe diente zur Kontrolle möglicher Selbstaufmerksamkeitsprozesse bei der Verwendung eigener Körperbilder.

II. Empirische Untersuchung

5. Studie 1¹

Nachfolgend werden die drei im Rahmen der Dissertation durchgeführten Studien beschrieben. In der ersten Studie wurde ein allgemeiner Überblick über objektbasierte und egozentrische Transformationen vermittelt, indem der Entwicklungsverlauf dieser beiden Transformationsarten untersucht wurde.

Der derzeitige Stand der Forschung zeigt Performanzunterschiede in objektbasierten und egozentrischen Transformationsaufgaben bei Kindern (Huttenlocher & Presson, 1973; Piaget & Inhelder, 1971), Erwachsenen (Amorim & Stucchi, 1997; Creem et al., 2001) und Senioren (Inagaki et al., 2002). Da die bisherigen Studien aufgrund Differenzen im Versuchsdesign bedingt vergleichbar sind, war es Ziel der ersten Untersuchung dieser Dissertation, die folgenden drei Altersgruppen bezüglich ihrer Performanz in beiden Transformationsarten in einem einheitlichen Design zu untersuchen: Kinder (8-11 Jahre), Erwachsene (18-25 Jahre) und Senioren (60-71 Jahre).

Basierend auf der Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses bei der mentalen Rotation (Bruyer & Scailquin, 1998; Hyun & Luck, 2007), gerade in den Stufen der mentalen Rotation und des Vergleichs (vgl. Heil & Rolke, 2002), und einer beeinträchtigten Arbeitsgedächtnisleistung bei Kindern (Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004) und Senioren (Dror, Schmitz-Williams, & Smith, 2005) wurde erwartet, dass beide Gruppen generell langsamere Reaktionen aufweisen als junge Erwachsene (**Hypothese 1**).

Bezüglich der Regressionsgeraden, die gemäß Heil und Rolke (2002) den mentalen Rotationsprozess per se widerspiegelt, wurde erwartet, dass Senioren aufgrund einer nachgewiesenen reduzierten Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit (Cerella, 1985) infolge einer altersbedingten Degeneration des zentralen Nervensystems eine

¹ Ein Teil der Ergebnisse dieser Studie wurden bereits veröffentlicht in: Jansen, P., & Kaltner, S. (2014). Object-based and egocentric mental rotation performance in older adults: the importance of gender differences and motor ability. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 21, 296-316.

langsamere Rotationsgeschwindigkeit aufweisen. Diese Annahme einer reduzierten kognitiven Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit wurde ebenfalls bei Kindern angenommen, basierend auf den Ergebnissen von Kail (1991), der im Vergleich von 8- bis 10-Jährigen eine Geschwindigkeit feststellte, die um 5 bis 6 Standardabweichungen unter der von jungen Erwachsenen lag. Die reduzierte Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit bei Kindern und Senioren ist neuroanatomisch gesehen auf eine geringere Myelinisierung der Neurone im zentralen Nervensystem zurückzuführen, die in der Entwicklung graduell reift (Paus et al., 1999) und im Alter kontinuierlich abnimmt und demzufolge verantwortlich für einen Rückgang der weißen Substanz ist (Paus, 2005). Aus diesen behavioralen und neuroanatomischen Befunden wurde abgeleitet, dass Kinder und Senioren eine geringere mentale Rotationsgeschwindigkeit aufweisen als junge Erwachsene (**Hypothese 2**). Die angenommene bessere Performanz von Erwachsenen stützt sich auf die Befunde von Neimark (1975), der das intellektuelle Wachstum im Erwachsenenalter der Zunahme in der Informationsverarbeitung zuschrieb.

Performanzunterschiede bezüglich objektbasierter und egozentrischer Transformationen in Abhängigkeit vom Alter sind zahlreich empirisch belegt (Amorim & Stucchi, 1997; Creem et al., 2001; Wraga et al., 2005; Jansen & Kaltner, 2014). Dementsprechend erwarteten wir bei jungen Erwachsenen und Senioren eine bessere Performanz in egozentrischen Transformationen als in objektbasierten. Hinsichtlich des Kindesalters wurde gemäß den Ergebnissen von Huttenlocher und Presson (1973) kein Unterschied zwischen beiden Transformationsarten angenommen (**Hypothese 3**).

5.1 Methode

5.1.1 Stichprobe

Es nahmen 38 Kinder, 17 Jungen und 21 Mädchen (Mittleres Alter: 8.97, $SD = .68$), 38 Erwachsene, 14 Männer und 24 Frauen (Mittleres Alter: 23.34, $SD = 1.92$) und 38 Senioren, 18 Männer und 20 Frauen (Mittleres Alter: 65.58, $SD = 4.16$) an der Untersuchung des Instituts für Sportwissenschaft der Universität Regensburg teil. Alle Probanden unterschrieben eine Einverständniserklärung zur Versuchsteilnahme und zur Datenverwertung, was im Falle der Kinder von den Eltern übernommen wurde, welche zuvor über das Ziel der Untersuchung aufgeklärt wurden.

5.1.2 Instrumente

Fragebogen zur Erhebung demographischer Daten:

Auf einem Fragebogen wurden Geschlecht, Alter, Händigkeit, Studienfach beziehungsweise Beruf und Sportverhalten erfasst. Zudem wurden neurologische und psychiatrische Symptome abgeklärt sowie eine potenzielle Sehschwäche, um all diese konfundierenden Faktoren ausschließen zu können.

Ausschließlich in der Altersgruppe der Senioren wurden weitere demenzbedingte kognitive Defizite durch die Erhebung des *Mini-Mental-Status-Tests* (Kessler, Markowitsch, & Denzler, 1990) und des *Uhrentests* (Tuokko, Hadjistavropoulos, Miller, & Beattie, 1992) kontrolliert.

Mini-Mental-Status-Test (MMST)

Der MMST (Kessler et al., 1990) als deutschsprachige Fassung der Mini-Mental-Status-Examination, die von Folstein und Kollegen 1975 entwickelt wurde, ist ein standardisiertes Screening-Instrument zur Erfassung kognitiver Störungen bei älteren Personen. Es handelt sich um ein Interview mit praxisnahen Fragen, die von kognitiv nicht beeinträchtigten Personen im Regelfall problemlos, von Personen mit Demenzverdacht dagegen nur zum Teil bewältigt werden können. Der Test erhebt folgende Fähigkeiten: räumliche und zeitliche Orientierung, Merkfähigkeit, Aufmerksamkeit, Sprache und Sprachverständnis, Lesen, Schreiben, Zeichnen und Rechnen. Die maximal erreichbare Punktzahl beträgt 30. Für jede erfolgreich bewältigte Aufgabe bekommt der Patient einen Punkt, die nach Beendigung des Tests aufsummiert werden. Die Skala reicht von 0 bis 30 Punkten, wobei 30 für uneingeschränkte, 0 für schwerstmöglich geschädigte kognitive Funktionen steht. Ab einem Gesamtwert unterhalb von 25 Punkten liegt eine krankheitswertige kognitive Beeinträchtigung vor. Eine Punktzahl < 20 deutet auf eine leichte bis mittlere Demenz hin, eine schwere Form liegt bei einer Punktzahl von unter 10 vor. Allerdings ist anzumerken, dass der MMST lediglich eine grobe Einschätzung kognitiver Defizite liefert, die bei Vorliegen eines kritischen Testwertes durch weitere Verfahren gestützt und überprüft werden muss. Darüber hinaus handelt es sich um kein Instrument zur Früherkennung von Demenz und dient nicht der Unterscheidung der verschiedenen Demenzformen (Alzheimer-, vaskuläre, frontale Demenz). Durch

eine geringe Testdauer von 7-9 Minuten ist dieser Test ein hoch ökonomisches Verfahren (Berger, 2004).

Uhrentest

Der Uhrentest (Tuokko et al., 1992) gilt als Screening-Instrument zur Erfassung von Demenz, spezifisch der Alzheimer-Demenz. Der Uhrentest besteht aus drei Untertests (Uhrenlesen, Uhrenzeichnen und Uhrenstellen). Der Untertest des Uhrenzeichnens dient zur Erfassung visuell-räumlicher Verarbeitung und damit der Untersuchung parietaler Funktionen (Agrell & Dehlin, 1998). Um ausschließen zu können, dass die Ergebnisse des mentalen Rotationstests nicht auf dementiell bedingte, visuell-räumliche Defizite zurückzuführen sind, wurde in unserer Studie der Fokus auf diesen Untertest gelegt. Der Proband bekommt ein Blatt Papier mit einem aufgedruckten Kreis. Er wird aufgefordert, in den Kreis die Ziffern einer Uhr zu schreiben und anschließend die Zeiger so einzuzichnen, dass diese eine vorgegebene Uhrzeit (z.B. „zehn nach elf“) anzeigen. Im Anschluss ist es Aufgabe der Probanden, diese Uhrzeit zusätzlich analog in ein vorgegebenes Kästchen aufzuschreiben. Die gezeichnete Uhr wird nach vorgegebenen Kriterien (Vollständigkeit und Platzierung der Ziffern, korrektes Einzeichnen der Uhrzeit) in eine von sechs Kategorien eingeteilt. Während Kategorie 1 und 2 als normale Leistungsfähigkeit klassifiziert werden, gelten 3-6 als pathologisches Ergebnis (Tuokko et al., 1992).

Chronometrischer mentaler Rotationstest:

Der chronometrische mentale Rotationstest (cMRT) bestand aus drei Stimulusblöcken: 1) Zwei menschliche Körperfiguren (objektbasiert), die den rechten oder linken Arm ausstrecken in der Vorderansicht (kurz BFO: body figure object-based); 2) Zwei Buchstaben (objektbasiert); 3) Eine menschliche Körperfigur, die entweder den linken oder den rechten Arm ausstreckt, in Vorder- und Rückansicht (egozentrische Bedingung, kurz BFE: body figure egocentric). In den beiden objektbasierten Bedingungen wurde eine Standardfigur (menschlicher Frauenkörper, Buchstabe) auf der linken Bildschirmseite präsentiert und eine Vergleichsfigur auf der rechten Seite, die in 50% der Durchgänge identisch und in 50% gespiegelt war. Dabei stand der linke Stimulus immer aufrecht (0°), während die Vergleichsfigur in unterschiedlichen Winkelstellungen dargeboten wurde. Die Winkeldisparität zwischen den beiden Figuren variierte zwischen 0°,

45°, 90°, 135° oder 180° in der Bildebene. Die Aufgabe der Probanden war es, so schnell und fehlerfrei wie möglich zu entscheiden, ob zwei auf dem Bildschirm präsentierte Würfelfiguren identisch oder gespiegelt sind. In der egozentrischen Bedingung wurde dagegen ein einziger Stimulus in den oben genannten Winkelstellungen präsentiert. Es handelte sich um dieselbe menschliche Körperform wie in der BFO-Bedingung, die entweder den rechten oder den linken Arm ausstreckt, siehe Abbildung 1. Aufgabe der Probanden war es zu entscheiden, ob der rechte oder linke Arm der Figur ausgestreckt ist. Jeder Stimulus hatte dabei eine maximale Größe von 7x7cm auf dem Bildschirm, der Abstand zwischen den Figuren betrug 10 cm. Die Teilnehmer wählten selbst den für sie angenehmsten Abstand zum Bildschirm, sie mussten jedoch mindestens 50 cm entfernt sein. Das Experiment wurde an einem Computer mit 17"-Monitor durchgeführt.

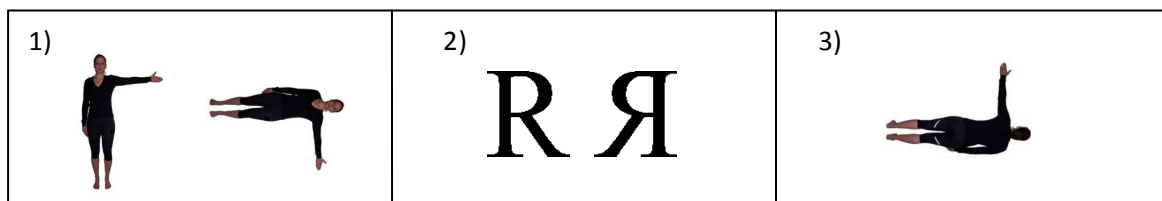


Abbildung 1: Beispiele für die drei Stimulusblöcke: 1) BFO; 2) Buchstaben; 3) BFE.

5.1.3 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdauer umfasste 60 Minuten und wurde in einem Labor des Instituts für Sportwissenschaft der Universität Regensburg durchgeführt. Die Kinder wurden in einem ruhigen Raum einer Grundschule (2.-4. Klasse) getestet. Die individuelle Testung begann bei den Senioren mit dem MMST und dem Uhrentest, gefolgt von dem Fragebogen zur Erhebung demographischer Daten, welchen alle drei Altersgruppen bearbeiteten. Im Anschluss folgte der Zahlenverbindungstest. Zuletzt wurde der cMRT durchgeführt. Eine Einverständniserklärung wurde von jedem Teilnehmer vor Beginn des Experiments unterzeichnet. Bei den Kindern wurde das Einverständnis der Eltern eingeholt.

Der cMRT begann mit einer standardisierten Testanweisung. In beiden objektbasierten Bedingungen (BFO und Buchstaben) waren die Probanden gefordert, zu entscheiden, ob es sich bei dem rechten Vergleichsstimulus um eine identische („same“), im Sinne einer nicht-gespiegelten Version, oder um eine gespiegelte Version („different“) der linken Standardfigur handelt. Im Falle einer „same“-Entscheidung mussten die Pro-

banden den linken Mausknopf drücken, bei einer „different“-Entscheidung dagegen einen Rechtsklick tätigen. Bei der egozentrischen Transformation wurde eine Lateralitätsentscheidung vom Teilnehmer abverlangt. Hatte die menschliche Körperform auf dem Monitor den linken Arm ausgestreckt, wurden die Probanden aufgefordert, den linken Mausknopf zu betätigen, im Falle des rechten Arms den rechten Mausknopf.

Zu Beginn eines jeden Versuchsdurchgangs erschien ein Fixationskreuz für eine Sekunde. Im Anschluss folgte die Präsentation des Stimulusmaterials, bis der Proband eine Antwort tätigte. Auf jede Reaktion des Probanden folgte eine Rückmeldung in Form eines „+“ für eine korrekte oder eines „-“ für eine inkorrekte Antwort, die je für 500 ms in der Mitte des Bildschirms erschienen. Der nächste Versuchsdurchgang begann nach 1500 ms. Jeder Stimulusblock enthielt einen Übungsdurchgang, bestehend aus 8 Versuchsdurchgängen, die dem Hauptversuch vorausgingen. Dieser bestand wiederum pro Stimulus aus 80 Durchgängen. In jedem Hauptversuch wurde nach 10 Durchgängen eine Pause von 15 Sekunden ermöglicht. Zwischen den einzelnen Stimulusblöcken erhielten die Teilnehmer eine Pause von ungefähr einer Minute. Die Präsentation der drei Blöcke war randomisiert.

Das Experiment bestand folglich aus 3 Stimulusblöcken zu je 80 Versuchsdurchgängen, resultierend in einer Gesamtzahl von 240, die sich wie folgt zusammensetzt: 3 Stimulusbedingungen (BFO vs. Buchstaben vs. BFE) * 2 Entscheidungsarten (gleich/gespiegelt vs. links/rechts) * 5 Winkeldisparitäten (0°, 45°, 90°, 135° oder 180°) * 4 Wiederholungen einer jeden Kombination * 2 Stimuli pro Block (BFO: links vs. rechts; Buchstaben: R vs. F; BFE: Vorderansicht vs. Rückansicht). Die Reihenfolge der Präsentation der Stimuli war randomisiert. Bezüglich der BFE-Bedingung wurden die Antworten für die Vorder- und Rückansicht gemittelt.

5.1.4 Statistische Analyse

Chronometrischer mentaler Rotationstest:

Es wurden zwei Messwiederholungen mit den Innersubjektfaktoren „Stimulus“ und „Winkeldisparität“ sowie dem Zwischensubjektfaktor „Gruppe“ durchgeführt. Die „Reaktionszeit“ und die „Fehlerrate“ waren die abhängige Variablen. Zudem wurde eine multivariate Varianzanalyse mit der mentalen Rotationsgeschwindigkeit als abhängige Variable und „Stimulus“ sowie „Gruppe“ als unabhängige Variablen berechnet. Die

mentale Rotationsgeschwindigkeit wurde für jeden Teilnehmer als Inverse des Anstiegs der Regressionsgeraden bestimmt, indem die Reaktionszeiten in Abhängigkeit von der Winkeldisparität berechnet und durch die Maßeinheit „Grad pro Sekunde“ angegeben wurden.

5.2 Ergebnisse

Mini-Mental-Status-Test und Uhrentest:

Kognitive Defizite konnten bei den Senioren ausgeschlossen werden, die mit Hilfe des Mini-Mental-Status-Tests (Kessler et al., 1990) und des Uhrentests (Tuokko, et al., 1992) erhoben wurden. Der Cut-off-Wert des MMST von ≤ 24 Punkten und von ≤ 3 Punkten im Uhrentest wurde von keinem der Probanden unterschritten.

Mentale Rotation: Reaktionszeit (RT)

Bezüglich der Reaktionszeit zeigte die Varianzanalyse drei signifikante Haupteffekte für den Faktor „Stimulus“, $F(2,218) = 40.11, p < .001, \eta_p^2 = .27$, „Winkeldisparität“, $F(4,436) = 373.75, p < .001, \eta_p^2 = .77$, und „Gruppe“, $F(2, 109) = 112.65, p < .001, \eta_p^2 = .67$. Dabei wiesen Kinder ($M = 1985.1\text{ms}, SD = 467.7$) höhere Reaktionszeiten auf als die Senioren ($M = 1517.01\text{ms}, SD = 335.6$), $t(74) = 4.66, p < .001$, die wiederum langsamer reagierten als die jungen Erwachsenen ($M = 850.4\text{ms}, SD = 108.6$), $t(74) = -12.22, p < .001$. Buchstaben ($M = 1223.5\text{ms}, SD = 531.4$) wurden schneller bearbeitet als objektbasierte Körperfiguren ($M = 1533.6\text{ms}, SD = 589.7$), $t(113) = 8.70, p < .001$, und als egozentrische Körperstimuli ($M = 1628.8\text{ms}, SD = 794.3$), $t(113) = -8.45, p < .001$. Die BFO- und die BFE-Bedingung unterschieden sich nicht signifikant voneinander, $t(113) = -1.63, p = .105$. Hinsichtlich des Haupteffekts „Winkeldisparität“ zeigte sich, dass sich jeder nachfolgende Winkel von dem vorherigen signifikant unterschied ($p < .001$). Zudem ergaben sich drei signifikante Interaktionen zwischen den Faktoren 1) „Stimulus“ und „Gruppe“, $F(4,218) = 4.74, p = .001, \eta_p^2 = .08$; 2) „Winkeldisparität“ und „Gruppe“, $F(8, 436) = 18.83, p < .001, \eta_p^2 = .26$ und zwischen 3) „Stimulus“ und „Winkeldisparität“, $F(8,872) = 4.74, p < .001, \eta_p^2 = .04$.

1) Die erste Interaktion zwischen den Faktoren „Stimulus“ und „Gruppe“ äußerte sich darin, dass sich die beiden objektbasierten Bedingungen (BFO und Buchstaben) in allen drei Altersgruppen unterschieden, während die BFO nur in der Altersgruppe der Kinder von der BFE-Bedingung abwich, $t(37) = -2.51, p = .016$, siehe Abbildung 2.

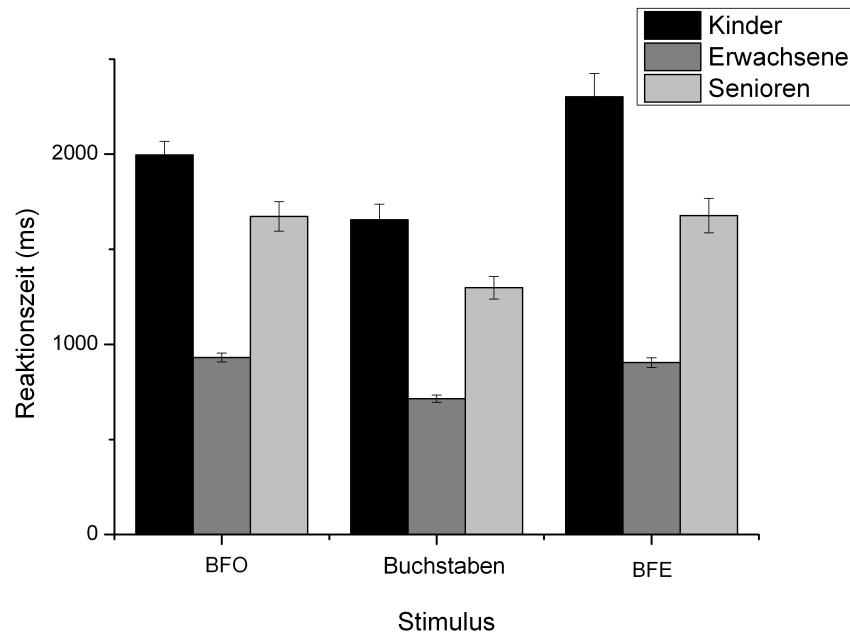


Abbildung 2: Mittlere Reaktionszeiten in Abhängigkeit von „Stimulus“ und „Gruppe“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

2) Die „Winkeldisparität*Gruppe“-Interaktion ergab sich dadurch, dass die Regressionsgerade zwischen 0° und 180° signifikant stärker bei den Kindern, $t(74) = 6.66$, $p < .001$, und Senioren, $t(74) = -6.43$, $p < .001$, ansteigt als bei den Studenten, während sich der Winkelanstieg zwischen 0° und 180° bei den Kindern nicht von dem der Senioren unterscheidet, $t(74) = 1.47$, $p = .147$, siehe Abbildung 3.

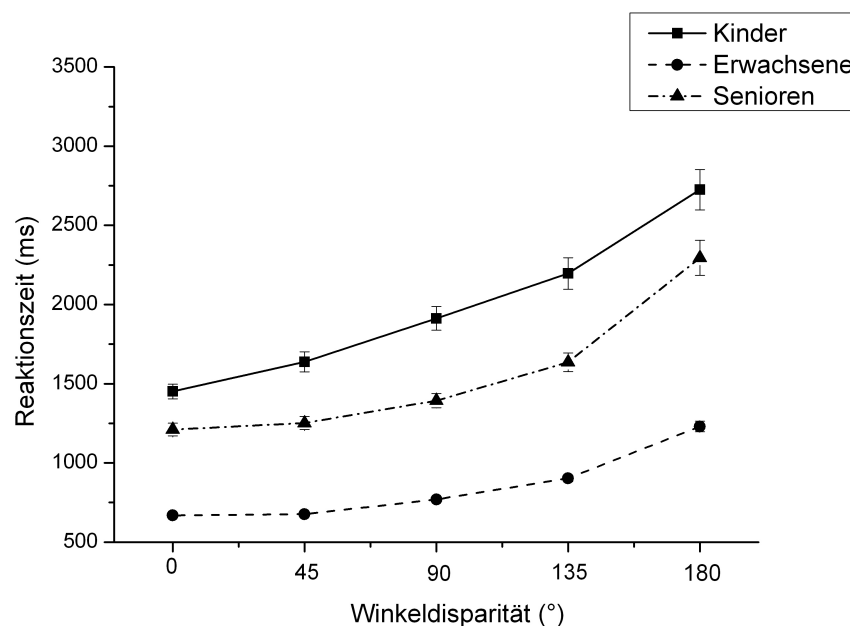


Abbildung 3: Mittlere Reaktionszeiten in Abhängigkeit von „Winkeldisparität“ und „Gruppe“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

3) Die dritte Interaktion zwischen den Faktoren „Stimulus“ und „Winkeldisparität“ wies einen signifikanten Reaktionszeitanstieg bei wachsender Winkeldisparität in der BFO- und der Buchstaben-Bedingung auf, nicht jedoch in der egozentrischen BFE-Bedingung. Hier war der Unterschied zwischen 0° und 45° nicht signifikant, $t(113) = -1.04$, $p = .299$. Die Alpha-Fehlerkumulierung liegt unter 5% der jeweiligen getesteten Hypothese.

Mentale Rotation: Fehlerrate

Hinsichtlich der Fehlerrate ergab die Varianzanalyse zwei signifikante Haupteffekte für den Faktor „Gruppe“, $F(2, 111) = 8.17$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .13$, und „Winkeldisparität“, $F(4,444) = 55.79$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .33$, sowie eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren „Winkeldisparität“ und „Stimulus“, $F(8,888) = 6.76$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .06$. Bonferroni korrigierte t-Tests zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen den Kindern ($M = 85.06\%$, $SD = 10.53$) und den jungen Erwachsenen ($M = 92.2\%$, $SD = 4.7$), mit einer geringeren Genauigkeit bei den Kindern, $t(74) = -3.82$, $p < .001$. Diese beiden Gruppen unterschieden sich in der Fehlerrate nicht von den Senioren ($M = 90.1\%$, $SD = 7.4$). Die Interaktion zwischen den Faktoren „Winkeldisparität“ und „Stimulus“ äußerte sich darin, dass sich bei den BFO- sowie BFE-Stimuli keine signifikanten Unterschiede zwischen den Winkeldisparitäten zwischen 0° und 135° zu verzeichnen waren, während bei den Buchstaben sich die Differenzen zwischen 45° und 90° , $t(113) = 2.05$, $p = .043$, sowie zwischen 90° und 135° , $t(113) = 2.17$, $p = .032$, als signifikant erwiesen, siehe Abbildung 4.

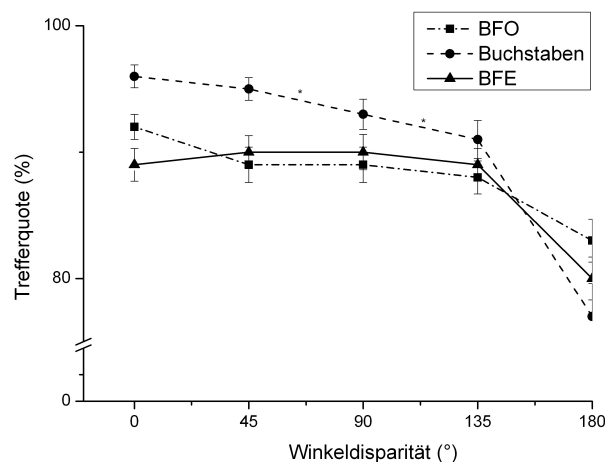


Abbildung 4: Mittlere Trefferquote in Abhängigkeit von „Gruppe“ und „Winkeldisparität“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Eine weitere Analyse zeigte, dass die mittlere Reaktionszeit negativ mit der Fehlerrate korrelierte ($r = -.533$, $p < .001$). Dieser Befund erstreckte sich auf Kinder ($r = -.469$, $p = .023$), junge Erwachsene ($r = -.652$, $p < .001$) und die Senioren ($r = -.683$, $p < .001$).

Mentale Rotation: Mentale Rotationsgeschwindigkeit

Die Messwiederholung zur mentalen Rotationsgeschwindigkeit ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor „Stimulus“, $F(2,218) = 16.36$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .13$, sowie einen weiteren Haupteffekt für den Faktor „Gruppe“, $F(2, 109) = 11.54$, $\eta_p^2 = .17$, und eine Interaktion zwischen diesen beiden Faktoren, $F(4, 218) = 2.45$, $p = .047$; $\eta_p^2 = .04$. Der Haupteffekt „Stimulus“ basiert auf der Tatsache, dass die Teilnehmer BFO-Stimuli ($M = 264.3^\circ/\text{s}$, $SD = 21.0$), $t(113) = -5.18$, $p < .001$, und Buchstaben ($M = 318.4^\circ/\text{s}$, $SD = 18.8$), $t(113) = -3.31$, $p = .001$, langsamer rotierten als BFE-Stimuli ($M = 453.2^\circ/\text{s}$, $SD = 34.7$). Post hoc Tests zum Haupteffekt „Gruppe“ zeigten, dass sowohl Kinder ($M = 244.0^\circ/\text{s}$, $SD = 34.7$), $t(74) = -3.32$, $p = .002$, als auch Senioren ($M = 318.7^\circ/\text{s}$, $SD = 34.7$), $t(74) = 3.06$, $p = .009$, einen geringeren Winkelgrad pro Sekunde drehen als junge Erwachsene ($M = 473.1^\circ/\text{s}$, $SD = 34.2$). Bezüglich der Interaktion „Stimulus*Gruppe“ ergaben Bonferroni korrigierte t-Tests, dass sich die Rotationsgeschwindigkeiten für die einzelnen Stimuli bei den Kindern nicht unterschieden, dagegen bei den jungen Erwachsenen sich die objektbasierten menschlichen Körperfiguren von den Buchstaben unterschieden, $t(37) = -2.504$, $p = .017$, sowie die Körperfiguren der BFO-Bedingung von denen der BFE-Bedingung, $t(37) = -3.42$, $p = .002$. In der Altersgruppe der Senioren ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Buchstaben und den egozentrischen menschlichen Figuren, $t(36) = -3.39$, $p = .002$, sowie zwischen den objektbasierten und egozentrischen Körperstimuli, $t(37) = -3.53$, $p = .001$, siehe Abbildung 5.

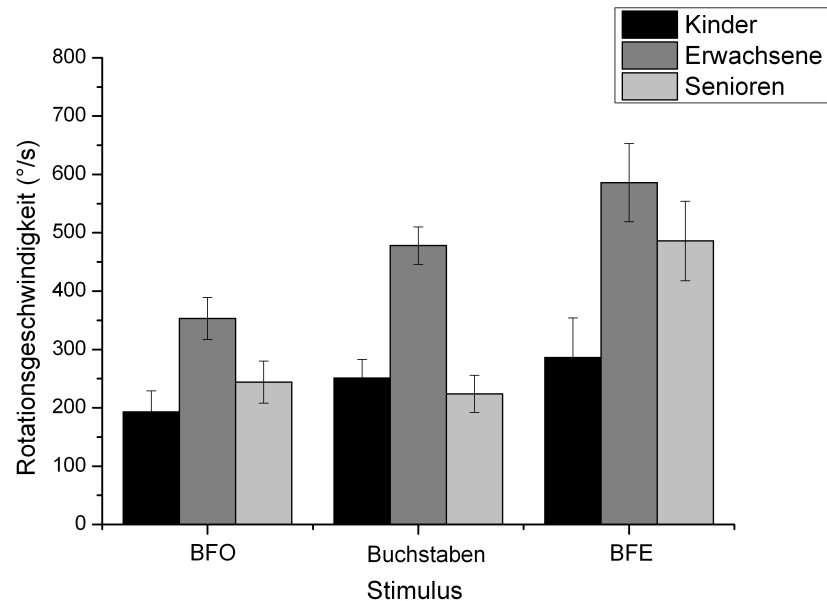


Abbildung 5: Mittlere Rotationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von „Stimulus“ und „Gruppe“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

5.3 Diskussion

Die Literatur zur mentalen Rotationsfähigkeit im Entwicklungsverlauf ist zahlreich fundiert, allerdings sind die Studien der einzelnen Altersgruppen in ihrem Design lediglich bedingt vergleichbar. Das erste Experiment dieser Arbeit zielte darauf ab, eine einheitliche Methodik zu definieren und legte den Fokus auf die Entwicklung objektbasierter und egozentrischer Transformationen, da diese Differenzierung im Entwicklungsverlauf bisher selten untersucht wurde. Die Hauptergebnisse legten nahe, dass Kinder höhere Reaktionszeiten und Fehlerraten aufwiesen als junge Erwachsene und Senioren, wobei die Senioren signifikant langsamer reagierten als die jungen Erwachsenen. Dieser Befund bestätigt **Hypothese 1**. Bezüglich der mentalen Rotationsgeschwindigkeit ließ sich nachweisen, dass Kinder und Senioren langsamer rotierten als junge Erwachsene, was **Hypothese 2** untermauert. Zur Differenzierung der beiden Transformationsarten zeigte sich in der Rotationsgeschwindigkeit ein Performanzunterschied zwischen der BFO- und BFE-Bedingung, allerdings nur bei den Erwachsenen und den Senioren und nicht bei der Altersgruppe der Kinder. Dabei rotierten Erwachsene und Senioren die Körperfiguren in der egozentrischen Bedingung schneller als in der objektbasierten, ein Beleg für **Hypothese 3**. Dagegen zeigte der Vergleich der Reaktionszeiten ein anderes Antwortmuster: Hier zeigte sich auch ein Unterschied zwischen BFO- und BFE-Stimuli, al-

ledings nur bei den Kindern und nicht bei den anderen Altersgruppen. Während sich die Reaktionszeiten von objektbasierten und egozentrischen menschlichen Figuren bei Erwachsenen und Senioren nicht unterschieden, wiesen die Kinder bei den BFE-Stimuli verlangsamte Reaktionen auf.

Betrachtet man die Ergebnisse vor dem Hintergrund der verschiedenen Prozess-Stufen der mentalen Rotation (Cooper & Shepard, 1973; Heil & Rolke, 2002), scheinen die höheren Reaktionszeiten von Kindern und Senioren im Vergleich zu jungen Erwachsenen auf Defizite in mindestens einer der folgende Subprozesse zurückzuführen zu sein: Stimulusenkodierung, Vergleich der Objekte und motorische Reaktion. Stimulusenkodierung und die Beurteilung der Gleichheit der Objekte reflektieren Funktionen des Arbeitsgedächtnisses, was Booth et al. (2000) in ihrer Untersuchung bestätigten, indem sie nachwiesen, dass mental rotierte Stimuli im Arbeitsgedächtnis temporär gespeichert werden. Gathercole et al. (2004) konkretisieren diese Annahme und schreiben dem visuell-räumlichen Notizblock, einem Subsystem des Arbeitsgedächtnisses, eine bedeutende Rolle in der Manipulation visueller Bilder zu. Die Beteiligung dieses Subsystems wird durch die Befunde von Lehmann, Quaiser-Pohl und Jansen (2014) unterstützt. Die Autoren zeigten eine positive Korrelation zwischen der räumlichen Arbeitsgedächtnisleistung und der mentalen Rotationsfähigkeit, wobei erstere durch den Block-Tapping-Test operationalisiert wurde. Neben Befunden auf Verhaltensebene findet diese angenommene Verbindung zwischen mentaler Rotation und Arbeitsgedächtnis Bestätigung durch neuroanatomische Befunde. Beispielsweise demonstrieren Anguera et al. (2010) während der Bearbeitung visuell- räumlicher Arbeitsgedächtnisaufgaben eine Aktivierung des dorsolateralen präfrontalen Kortex und der bilateral inferioren Parietallappen. Es handelt sich hierbei um Areale, die ebenfalls während früher Verarbeitungsstufen in der mentalen Rotation aktiv sind (Cohen et al., 1996). Analog gingen Jordan et al. (2001) durch eine Co-Aktivierung präfrontaler Areale sowohl bei der mentalen Rotation als auch während Arbeitsgedächtnisprozesse von einer Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses bei der mentalen Rotation aus und nahmen an, dass eine Aktivierung des intraparietalen Sulcus während der mentalen Rotation Arbeitsgedächtnisprozesse darstellen könnte, wie beispielsweise die Speicherung der Objektform während der Stimulusrotation. Diese neuroanatomische Korrespondenz unterstreicht die Vermutung, dass Arbeitsgedächtnisprozesse in den Verarbeitungsstu-

fen der mentalen Rotation beteiligt sind. Allerdings sollte angemerkt werden, dass bis dato ungeklärt ist, ob andere Subsysteme oder spezifisch der visuell-räumliche Notizblock bei der mentalen Rotation involviert sind.

Gathercole et al. (2004) liefern einen eindeutigen Beleg dafür, dass das Arbeitsgedächtnis in den ersten Schuljahren einem entwicklungsbedingten Wandel unterlegen ist, der auf Zuwächse in der Speicherkapazität oder in der Strategiewahl zurückzuführen ist. Die Ergebnisse legen nahe, dass die einzelnen Subsysteme (phonologische Schleife, visuell-räumlicher Notizblock und zentrale Exekutive) ab einem Alter von 4 Jahren linear in ihrer Funktionalität zunehmen. Beispielsweise nimmt die Speicherkapazität verbalen Materials im phonologischen Speicher durch das bewusste Wiederholen deutlich zu, eine Strategie, die erst ab dem 7. Lebensjahr angeeignet wird. Verbesserungen im visuell-räumlichen Notizblock werden auf die Hinzunahme von Langzeitwissen oder die Nutzung der zentralen Exekutive als Hilfestellung zurückgeführt. Der Zuwachs in der Funktionalität des Arbeitsgedächtnisses ist zahlreich belegt (Chelonis, Daniels-Shawb, Blakea, & Paule, 2000; Conklin, Luciana, Hooper, & Yarger, 2007; Kemps, De Rammelaere, & Desmet, 2000) und wird neuroanatomisch einer verstärkten Aktivierung frontaler, parietaler und cingulärer Areale, die als neuronale Korrelate des Arbeitsgedächtnisses angesehen werden, zugeschrieben (Kwon, Reiss, & Menon, 2002; Schweinsburg, Nagel, & Tapert, 2005).

Diese entwicklungsbedingten Veränderungen im Arbeitsgedächtnis könnten ebenfalls die generellen Reaktionszeitunterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen der vorliegenden Untersuchung erklären. Analog dazu könnte das verlangsamte Reaktionszeitverhalten der Senioren durch einen Abfall der Arbeitsgedächtnisleistung erklärt werden, der durch Salthouse (1998) im hohen Alter nachgewiesen wurde. Jenkins, Myerson, Hale und Fry (1999) konkretisierten diesen Befund und stellten fest, dass die Leistungen im visuell-räumlichen Subsystem im Laufe des Alters stärker degradieren als in verbalen Merkspannen-Aufgaben, welche die phonologische Schleife beanspruchen. Hale et al. (2011) zogen den Schluss, dass der altersbedingte Abfall domänenspezifisch wirkt und besonders die visuell-räumliche Informationsverarbeitung beeinträchtigt. Analog dazu zeigten Hertzog und Rypma (1991) einen altersbedingten Verlust visuell-räumlicher Information aus dem Arbeitsgedächtnis während der Bearbeitung einer seriellen mentalen Rotationsaufgabe, in der Vergleichs- und Standard-Stimulus

nacheinander und nicht simultan präsentiert wurden. Sie verwendeten diese spezielle, abgewandelte mentale Rotationsaufgabe, um Altersunterschiede in der Rotation per se von denen in dem Entscheidungsprozess zu isolieren. Die Autoren fanden einen altersbedingten Abfall sowohl in der Rotations- als auch in der Entscheidungsphase. Dieses Antwortmuster wurde auf den altersbedingten Rückgang in der mentalen Repräsentation der Standardfigur, die sowohl während der mentalen Rotation per se als auch während des Vergleichsprozesses im Anschluss von Nöten ist, zurückgeführt. Für diese mentale Repräsentation ist wiederum die Information aus dem visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis erforderlich. Eine altersbedingte degradierte oder gar verlorene Information aus dem Arbeitsgedächtnis erschwert folglich sowohl den Rotations- als auch den Entscheidungsprozess. Eine Interpretation dieser Ergebnisse könnte sein, dass die Aufrechterhaltung der mentalen Repräsentation schwer fällt, da die Rotation aufgrund einer verlangsamten altersbedingten Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit länger dauert. Dies würde mit den erhöhten Rotationsgeschwindigkeiten der Kinder und Älteren konform gehen, die wiederum auf einen altersbedingten Abfall in der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit zurückzuführen sind. Bereits Babcock und Salthouse (1990) wiesen darauf hin, dass sich altersbedingte Einbußen sowohl in der Speicherkapazität als auch in der Verarbeitungsgeschwindigkeit manifestieren. Einen Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnis und Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit konnten Fry und Hale (1996) belegen, welche die Altersgruppen von 7-19 Jahren untersuchten und nachwiesen, dass drei Viertel der entwicklungsbedingten Zunahme in der Arbeitsgedächtnisleistung durch Altersunterschiede in der Verarbeitungsgeschwindigkeit erklärt werden können. All diese Befunde deuten darauf hin, dass eine reduzierte Verarbeitungsgeschwindigkeit, die sowohl im Kindes- als auch Seniorenalter gegeben ist, Einfluss auf die Arbeitsgedächtnis- und damit auf die mentale Rotationsleistung hat. Welchen Anteil das Arbeitsgedächtnis nun im Endeffekt einnimmt und auf welche Prozesse der mentalen Rotation es sich auswirkt, sollte in Zukunft detaillierter untersucht werden. Gemäß Hertzog und Rypma (1991) sind insbesondere der Rotationsprozess und die Stufe der Entscheidung von der Verarbeitungsgeschwindigkeit beeinflusst. Da in unserer Studie sowohl generelle Reaktionszeiten, die alle Stufen enthalten, als auch die Rotationsgeschwindigkeit, die den reinen MR-Prozess darstellt, vom Alter beeinflusst sind, könnte dies als Beleg für die Ergebnisse

von Hertzog und Rypma (1991) sprechen, dass gerade diese beiden Prozesse beeinträchtigt sind. Die Bedeutung der Rolle der Informationsverarbeitung ist dabei jedoch sehr wahrscheinlich.

Allerdings sollte angemerkt werden, dass sich eine Abnahme in der Informationsverarbeitung auch auf die Stimulusenkodierung auswirken kann. Dazu wurden Studien (Balota & Ducheck, 1988; Salthouse, 1996) durchgeführt, die den Zusammenhang von Priming und Stimulusenkodierung untersuchten und keine Altersunterschiede in der Stimulusenkodierung nachweisen konnten. Balota und Ducheck (1988) zogen den Schluss, dass die Stimulusaktivierungsprozesse in allen Altersebenen vergleichbar sind und dass sich altersbedingte Unterschiede erst auf höheren Informationsverarbeitungsebenen herausstellen. Dies würde mit den Befunden von Cerella et al. (1981) konform gehen, die in einer Metaanalyse 189 kognitive Aufgaben zur Informationsverarbeitung heranzogen und herausfanden, dass die altersbedingte Verlangsamung den Abfall in den Reaktionszeiten älterer Menschen erklärt, wobei sich der Rückgang in sensorisch-motorischen Prozessen als weniger schwerwiegend herausstellte als der Verlust bei höher geordneten Prozessen. Dennoch sind erstgenannte in der Interpretation der Reaktionszeitunterschiede nicht zu vernachlässigen, da der Zusammenhang zwischen motorischen Fähigkeiten und mentaler Rotationsperformanz zahlreich belegt ist.

Beispielsweise wiesen Pietsch und Jansen (2012) in ihrer quasi-experimentellen Untersuchung eine bessere mentale Rotationsperformanz von Sport- und Musikstudenten im Vergleich zu Erziehungswissenschaftlern nach. Dieser Zusammenhang zeigt sich bereits im Kindesalter. Evidenz dafür liefern Frick et al. (2009), die in ihrem Interferenzparadigma nachwiesen, dass motorische und visuell-räumliche Prozesse bei Kindern stärker verknüpft sind als bei Erwachsenen und die Differenzierungsfähigkeit folglich mit dem Alter zunimmt. Selbst im Seniorenalter lässt sich dieser Zusammenhang empirisch bestätigen. Beispielsweise fanden Jansen und Kaltner (2014) eine positive Korrelation zwischen motorischer und mentaler Rotationsfähigkeit bei 60 Probanden im Alter zwischen 60 und 71 Jahren. Eine Regressionsanalyse zeigte, dass 22.8% der Varianz in der Fehlerrate durch das Geschlecht und die Balance-Fähigkeit erklärt werden konnte. Die Autoren führten die beeinträchtigte mentale Rotationsleistung darauf zurück, dass die Senioren im Vergleich zu der jüngeren Altersgruppe erhöhte kognitive

Ressourcen aufwenden müssen, um die Haltungsstabilität zu bewahren. Schäfer und Schumacher (2011) nahmen an, dass eine reduzierte Automatisierung auf eine altersbedingte Abnahme in Sehgenauigkeit, Muskelstärke und Beweglichkeit zurückzuführen ist. Die Annahme einer erhöhten Inanspruchnahme kognitiver Ressourcen zur Stabilisierung der Haltung könnte auf Kinder übertragen werden. Diesbezüglich verglichen Schäfer, Krampe, Lindenberger und Baltes (2008) 9- und 11-jährige Kinder, die eine kognitive und motorische Aufgabe simultan durchführten. Die Ergebnisse legten nahe, dass Kinder ihre Haltungsstabilität verbesserten, allerdings auf Kosten der kognitiven Performanz, während Erwachsenen in beiden Aufgabenarten Einbußen zu verzeichnen hatten. Die Autoren zogen den Schluss, dass Kinder dazu tendieren, die Bewahrung ihres Gleichgewichts unter Dual-Task-Bedingungen zu priorisieren, was eine geringere Automatisierung der Haltungsstabilität impliziert. Die Annahme vermehrter kognitiver Kosten zur Bewahrung der motorischen Kontrolle wird durch neuroanatomische Befunde gestützt. Beispielsweise fanden Wu und Hallet (2005) in einem Vergleich von Senioren und jüngeren Erwachsenen in einer Dual-Task-Aufgabe (Einüben einer bestimmten Sequenz von Fingerbewegungen und zeitgleiches Zählen visuell präsentierter Buchstaben nach einer vorgegebenen Regel) heraus, dass bei den Senioren Areale wie das Cerebellum, der prämotorische und parietale Kortex sowie der linke Präfrontalkortex eine erhöhte Aktivität aufwiesen im Vergleich zu der jungen Kontrollgruppe bei vergleichbarer Leistungsfähigkeit. Darüber hinaus kam es zu einer zusätzlichen Aktivierung prämotorischer und supplementär motorischer Areale, die junge Erwachsene nicht aufwiesen. Die Ergebnisse legten nahe, dass eine vergleichbare Performanz von jungen Erwachsenen und Senioren eine erhöhte und zusätzliche Aktivierung motorischer Areale bei Senioren erforderte.

Dieser Ansatz könnte auf die Altersgruppe der Kinder zur Erklärung der verlangsamten Reaktionszeiten übertragen werden. Für eine unterentwickelte motorische Kontrollfähigkeit sprechen die Befunde von Schmid, Conforto, Lopez, Renzi und D'Alessio (2005), die zeigten, dass die motorische Kontrolle zur Haltungsstabilität bei Kindern selbst mit 11 Jahren noch nicht ausgereift ist. Dies deutet darauf hin, dass die Kinder ebenfalls erhöhte kognitive Ressourcen für diese Fähigkeit aufwenden müssen. Interessanterweise ist neuronal gesehen der parietale Kortex für die motorische Kontrolle zuständig. Dieses Areal wird darüber hinaus mit der mentalen Rotationsfähigkeit in Zusammen-

hang gebracht (Cohen et al., 1996). Dementsprechend könnte gefolgert werden, dass eine entwicklungs- und altersbedingte Degeneration dieses Areals für die verlangsamten Reaktionen der Kinder und der Senioren zuständig ist. Analog dazu zeigten Heil und Jansen (2008), dass die motorische Kontrolle ein signifikanter Prädiktor für die Leistung in einem mentalen Rotationstest ist. Diese Annahme untermauern Ergebnisse von Stichproben, deren Motorik eingeschränkt ist und die Defizite in der MR aufweisen, wie Kinder mit Adipositas (vgl. Jansen et al., 2011) oder Dyslexie (vgl. Kaltner & Jansen, 2014). Dementsprechend ist häufig eine Dysfunktion in der motorischen Entwicklung mit einer Dysfunktion in der kognitiven Entwicklung verbunden und umgekehrt (Gillberg, 2003; Pitcher, Piek & Hay, 2003).

Zusätzlich könnte die Annahme in Betracht gezogen werden, dass die Ressourcen-Allokation eventuell in frühen Jahren minder entwickelt ist. Dagegen sprechen jedoch die Ergebnisse von Diamond und Taylor (1996), die beobachteten, dass die Effizienz und Koordinierung der Ressourcen-Allokation einen deutlichen Fortschritt zwischen 6 und 8 Jahren macht. Casey, Giedd und Thomas (2000) zeigten in ihrer bildgebenden Untersuchung, dass der dorsolaterale präfrontale Kortex sowie der dorsale anteriore cinguläre Gyrus als neuronale Korrelate für die Aufmerksamkeitsverteilung angesehen werden können. Bildgebende Verfahren, die den Entwicklungsverlauf dieser Areale zum Forschungsgegenstand machen, könnten Aufschluss darüber gewähren.

Bezüglich des Performanzunterschieds zwischen objektbasierten und egozentrischen Transformationen ging der Befund zur dritten Hypothese unserer Untersuchung, der einen Vorteil egozentrischer Transformationen impliziert, konform mit der bisherigen Literatur (Amorim & Stucchi, 1997; Creem et al., 2001; Jansen & Kaltner, 2014; Wraga et al., 2000; Wraga et al., 2005). Zacks et al. (2002a) postulierten, dass der egozentrische Vorteil darin begründet ist, dass durch die Präsentation eines Stimulus im Vergleich zu zwei Stimuli bei der Objektrotation das Arbeitsgedächtnis im Sinne einer geringeren Interferenz weniger beansprucht wird. Auch wenn es zahlreiche Ansätze gibt, die dieses Ergebnismuster erklären, können diese nicht bei der Altersgruppe der Kinder herangezogen werden. Wir stellen die vage Vermutung an, dass das Ausbleiben eines egozentrischen Vorteils bei Kindern ein indirekter Nachweis für eine schlechtere Performanz in dieser Transformationsart ist. Dieser Schluss wird durch ein weiteres Ergebnis dieser Studie gestützt: Während sich die Reaktionszeiten von objektbasierten

und egozentrischen menschlichen Figuren bei Erwachsenen und Senioren nicht unterschieden, zeigten die Kinder bei den BFE-Stimuli verlangsamte Reaktionen. Diese Ergebnisse stimmen überein mit der Studie von Piaget und Inhelder (1971), die nachwiesen, dass Kinder bis zum Alter von 9 bis 10 Jahren Schwierigkeiten haben, egozentrische Transformationsaufgaben zu lösen, wohingegen Objektrotation bereits ab einem Alter von 7 bis 8 Jahren gelöst wurden. Im Gegensatz zu Piaget und Inhelder (1971) hielten wir das Stimulusmaterial konstant, was die Annahme bekräftigt, dass der entscheidende Faktor die Transformationsart und nicht das Stimulusmaterial ist. Um herauszufinden, welche Mechanismen einer defizitären egozentrischen Transformationsfähigkeit zu Grunde liegen, bedarf es weiterer Forschung. Analog zu den Befunden im Seniorenalter (Devlin & Wilson, 2010) könnte ein entwicklungsbedingtes defizitäres Körperschema diesen speziellen Leistungseinbußen zugrunde liegen. Die Autoren zogen den Schluss, dass der altersbedingte Abfall in egozentrischen Transformationen vornehmlich auf Probleme in der Integration von Informationen, die mit dem Körperschema zusammen hängen, zurückzuführen ist. Eine noch nicht ausgereifte Repräsentation des eigenen Körpers könnte bei Kindern angenommen werden. Das Körperschema integriert multisensorische Information, die wiederum von der eigenen Bewegung stark modelliert wird (Buxbaum et al., 2005; Williams et al., 2006). Dementsprechend liegt es nahe, dass sich ein defizitäres Körperschema gerade auf die egozentrische Transformationsart auswirkt, die motorische Prozesse zu einem stärkeren Ausmaß als objektbasierte Rotationen beansprucht, indem die motorische Simulation des eigenen Körpers erfordert wird. In Anbetracht der Tatsache, dass den beiden Transformationsarten unterschiedliche neuronale Korrelate zu Grunde liegen, könnten bildgebende Untersuchungen zur Klärung dieser Fragestellung hilfreich sein. Während objektbasierte Rotationen mit der Aktivierung der rechten Hemisphäre in Verbindung gebracht werden, sind egozentrische Transformationen vorwiegend links lateralisiert (Thakkar et al., 2009). Ähnliche Ergebnisse liefern Läsionsstudien: Ratcliff (1979) berichtete eine beeinträchtigte Performanz in objektbasierten Transformationen nach Schädigungen des rechten posterioren Kortex, während Läsionen im linken posterioren Kortex mit Einbußen in Navigationsaufgaben, in denen die Probanden ihre Perspektive verändert mussten, assoziiert wurden (Semmes, Weinstein, Ghent, & Teuber, 1963). Ein derartiger Vergleich der neuronalen Aktivität im Entwicklungsverlauf könnte für die

Interpretation unserer Ergebnisse sehr aufschlussreich sein und klären, warum ausschließlich bei den Kindern unserer Studie Einbußen zu vermerken sind. Basierend auf den Befunden über den Zusammenhang zwischen Motorik und Körperbild könnte die zusätzliche Erhebung motorischer Fähigkeiten zur Klärung dieser Fragestellung hilfreich sein.

Einschränkungen und Zusammenfassung

Diese Studie wird dadurch limitiert, dass die Stichprobe der Kinder eine Altersspanne von 8-11 Jahren umfasste und gerade in dieser Entwicklungsspanne die Literatur bezüglich eines Entwicklungswandels der mentalen Rotationsfähigkeit äußerst inkonsistent ist (vgl. Huttenlocher & Presson, 1973; Piaget & Inhelder, 1971). Die Untersuchung einer Stichprobe ab einem Alter von 11 Jahren würde einen Zugewinn bringen, um einen besseren Aufschluss darüber zu erzielen, ab welchem Alter ein Entwicklungswandel hinsichtlich dieser beiden Transformationsarten zu verzeichnen ist. Darüber hinaus würde die Rekrutierung einer jüngeren Stichprobe Erkenntnisse bezüglich des Beginns der mentalen Rotationsfähigkeit liefern, gerade in Bezug auf die beiden Transformationsarten. Allerdings ist hier anzumerken, dass bereits sehr junge Stichproben in Erwägung gezogen werden müssen, da nach Moore und Johnson (2008) bereits 5 Monate alte Säuglinge fähig sind, Figuren in unterschiedlichen Winkelstellungen von ihrem Spiegelbild zu unterscheiden, wofür mentale Rotationsprozesse vorausgesetzt werden. Allerdings gestaltet sich die methodische Umsetzung sehr schwierig, da objektbasierte und egozentrische Transformationen unterschiedliche Antworten erfordern (objektbasiert: gleich/gespiegelt vs. egozentrisch: links/rechts) und diese Differenzierung beispielsweise mittels eines Habituationsparadigmas nicht zu erfassen ist. Allerdings wäre es eine interessante Fragestellung, ab welchem Alter sich die jeweiligen Transformationsarten hinsichtlich ihrer Lösungsfähigkeit unterscheiden. Daraus resultierende Forschungsergebnisse könnten zu einem differenzierteren Verständnis hinsichtlich des Entwicklungsverlaufes beitragen. Gleiches gilt für die Rekrutierung älterer Stichproben, die Aufschluss über altersbedingte Entwicklungsverläufe geben könnten. Eine Längsschnittstudie würde einen potenziellen Ansatz darstellen, der allerdings in Anbetracht ökonomischer Gründe nicht in Erwägung zu ziehen ist. Zudem sind in diesem Design Lerneffekte nicht zu vermeiden, die zu einer Verfälschung der

mentalen Rotationsergebnisse beitragen könnten. Eine hohe Drop-out-Rate ist im Falle einer Längsschnittuntersuchung ebenfalls nicht zu vernachlässigen.

Ein weiterer Kritikpunkt liegt in der Verwendung der Buchstaben als Stimulusmaterial. Buchstaben stellen eine eigene Stimuluskategorie dar, da sie überlernte, vertraute Symbole repräsentieren und damit einfacher zu verarbeiten sind. So wird die bessere Performanz von Buchstaben im Vergleich zu anderen Symbolen (abstrakte Würfelfiguren) sowohl im Kindesalter (Hahn, 2010) als auch im Erwachsenenalter (Jordan, Wüstenberg, Heinze, Peters, & Jäncke, 2002) darauf zurückgeführt. Dieser Aspekt ist im Rahmen der Interpretation der Ergebnisse stets zu berücksichtigen.

Diese Studie wurde durchgeführt, um den Entwicklungswandel der mentalen Rotationsfähigkeit zu untersuchen, wobei der Fokus auf objektbasierte und egozentrische Transformationen lag. Bisher wurde diese Differenzierung in Hinblick auf den Entwicklungsaspekt noch nicht zum Forschungsgegenstand gemacht. Zusammenfassend lassen sich zwei wichtige Ergebnisse ableiten: 1) Entwicklungs- und altersbedingte Veränderungen der mentalen Rotationsfähigkeit sollten vor dem Hintergrund der Arbeitsgedächtniskapazität und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit beleuchtet werden und 2) Kinder im Alter zwischen 8 und 11 Jahren zeigen im Vergleich zu Erwachsenen und Senioren Einbußen in egozentrischen Transformationen, die auf ein defizitäres Körperbild zurückgeführt werden können. Dieses Ergebnis reiht sich in die Befunde von Piaget und Inhelder (1971) ein, hebt sich jedoch durch die Verwendung eines standardisierten Paradigmas für jede Altersgruppe ab. Dementsprechend stellen wir die vage Vermutung an, dass die perspektivische Transformationsfähigkeit im Alter zwischen 8 und 11 Jahren noch nicht vollständig ausgereift ist. Dies wiederum führt zu der Fragestellung, ab welchem Alter egozentrische Transformationen gelöst werden können. Inwiefern sich das eigene Körperbild auf die perspektivische Transformationsfähigkeit auswirkt und ab welchem Alter das Körperbild ausgereift ist, könnten Fragestellungen für Folgeexperimente sein. Diese Studie stellte einen ersten Schritt dar, den Entwicklungsaspekt der beiden Transformationsarten zu untersuchen, sollte aber im Rahmen zukünftiger Forschung spezifiziert werden.

6. Studie 2²

Nachdem die mentale Rotationsfähigkeit im Entwicklungsverlauf näher betrachtet worden ist und in diesem Rahmen die Bedeutung motorischer Prozesse deutlich wurde, dient die zweite Studie der Untersuchungsreihe dazu, diese spezielle visuell-räumliche Fähigkeit vor dem Hintergrund der Embodiment-Theorie, die die enge Wechselwirkung von Motorik und Kognition postuliert, zu untersuchen. Das Ziel der Studie war es, die mentale Rotationsfähigkeit in objektbasierten und egozentrischen Transformationen von Sportlern im Vergleich zu Nicht-Sportlern zu untersuchen. Zudem sollte herausgefunden werden, ob die Verwendung eigener Körperbilder und einer damit angenommenen stärkeren Verkörperung zu schnelleren Reaktionen führt. Urgesi et al. (2011) definiert das Körperbild als eine Repräsentation der eigenen Körperteile im Verhältnis zueinander abhängig von multiplen sensomotorischen Input. In ihrer bildgebenden Untersuchung konnten die Autoren nachweisen, dass der posteriore parietale Kortex bei der Repräsentation des Körperbilds eine Rolle spielt. Aufgrund der Tatsache, dass die mentale Rotation zu einer Aktivierung genau dieses Areals führt, ist der Rückschluss, dass das Körperbild bei dieser visuell-räumlichen Fähigkeit eine Rolle spielt, naheliegend. Diese Annahme ist dahingehend zu spezifizieren, dass das Körperbild vorwiegend in der egozentrischen Bedingung von Bedeutung ist, da in dieser Bedingung eine Perspektivenübernahme erfordert wird. Diese induziert wiederum eine interne Repräsentation des eigenen Körpers, basierend auf sensomotorischer Information. Kessler und Thomson (2010) lieferten Evidenz für diesen angenommenen Zusammenhang, indem ihre Ergebnisse nahe legten, dass sich ein Kongruenz-Effekt von Haltung und mentaler Rotationsrichtung nur bei der egozentrischen Bedingung einstellte. Bezüglich des Einflusses des Selbst auf die beiden Transformationsarten gingen wir davon aus, dass gemäß des „Selbst-Vorteils“ von Frassinetti et al. (2008) eigene Körperbilder schneller verarbeitet werden müssten und sich dieses Antwortmuster besonders deutlich in egozentrischen Transformationen abzeichnen müsste, was durch Ferri et al. (2011) bereits belegt wurde. Konform zu den Evidenzen, die eine Beteili-

² Die Ergebnisse dieser Studie wurden bereits veröffentlicht in: Kaltner, S., Riecke, B., & Jansen, P. (2014). Embodied mental rotation: a special link between transformation and the bodily self. *Frontiers in Psychology: Cognition*, 5:505. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00505

gung motorischer Areale bei selbst-spezifischen Stimuli nachwiesen (Tsakiris, 2010), ist der Schluss naheliegend, dass die Verkörperung bei Stimuli des Selbst stärker ausgeprägt ist als bei Körperfiguren fremder Personen.

Basierend auf dieser Befundlage zogen wir analog zu Steggemann et al. (2011) zur Manipulation der Variable „motorische Expertise“ einen Vergleich von Sportlern und Nicht-Sportlern heran und verwendeten in der mentalen Rotationsaufgabe menschliche Körperfiguren als Stimulusmaterial mit der Modifikation, dass wir sowohl eigene Körperbilder als auch die fremder Personen verwendeten. Basierend auf den Befunden von Hausenblas und Downs (2001) weisen Sportler ein besseres Körperbild auf als Nicht-Sportler und müssten gemäß des Embodiment-Ansatzes im Vergleich zu Nicht-Sportlern gerade in der egozentrischen Bedingung eine bessere Performanz aufweisen, die gemäß der Literatur stärker verkörpert ist als die objektbasierte (Kessler & Thomson, 201; Lorey et al., 2009). **Hypothese 1** setzt sich folglich aus zwei Teilannahmen zusammen: 1) Sportler weisen sowohl bezüglich der Reaktionszeiten als auch hinsichtlich der Trefferquote einen Performanzvorteil gegenüber Nicht-Sportlern auf, und 2) Die Effektstärke des Haupteffekts für den Faktor „Gruppe“ sollte in der egozentrischen Bedingung größer sein als in der objektbasierten.

Zudem nahmen wir den Faktor „Ansicht“ in die Analyse mit auf, da die Vorderansicht bei der Perspektivenübernahme eine zusätzliche Rotation um die Längsachse erfordert (vgl. Jola & Mast, 2005), eine Fragestellung, die im Rahmen der Analyse motorischer Prozesse interessant sein könnte. Analog zu den Ergebnissen von Jola und Mast (2005) erwarteten wir, dass die Performanz für Körperfiguren in der Vorderansicht durchschnittlich langsamer ist als die Bearbeitung von Stimuli in der Rückansicht (**Hypothese 2**). In Anlehnung an den Embodiment-Ansatz hypothesierten wir, dass dieser „Vorderansicht-Nachteil“ bei Sportlern reduzierter ausgeprägt ist als bei Nicht-Sportlern (**Hypothese 3**).

Bezüglich der Differenzierung zwischen eigenen und fremden Körperfiguren erwarteten wir gemäß Frassinetti et al. (2008) einen „Selbst-Vorteil“, der sich in geringeren Reaktionszeiten und einer höheren Genauigkeit manifestiert (**Hypothese 4**). Allerdings sollte dieser „Vorteil des Selbst“ basierend auf den Befunden von Ferri et al. (2011) in der egozentrischen Bedingung stärker ausgeprägt sein als in der objektbasierten (**Hypothese 5**). Dementsprechend erwarteten wir, dass die Effektstärke des Haupteffekts

für den Faktor „Stimulus“ in der egozentrischen Transformation größer ist als in der objektbasierten.

Basierend auf den Befunden von Wohlschläger und Wohlschläger (1998) postulierten wir eine Reduktion der Performanz bei steigender Winkeldisparität, ausgedrückt in höheren Reaktionszeiten und einer geringeren Genauigkeit (**Hypothese 6**). Dieses Antwortmuster ist jedoch in der bisherigen Literatur bezüglich der Reaktionszeiten in objektbasierten Rotationen deutlicher ersichtlich als in egozentrischen Transformationen (vgl. Creem-Regehr et al., 2007; Zacks et al., 2002a). Demzufolge postulierten wir für die Reaktionszeiten eine stärkere Performanz-Abnahme für steigende Winkeldisparitäten in der objektbasierten Bedingung als in der egozentrischen Transformation (**Hypothese 7**), die sich gemäß der bisherigen Literatur (vgl. Creem et al., 2007; Zacks et al., 2002a) in 1) Einem kontinuierlicheren Verlauf der Regressionsgerade in der objektbasierten Bedingung als in der egozentrischen und in 2) Einer größeren Effektstärke des Winkeffekts in der objektbasierten im Vergleich zur egozentrischen Transformation äußern sollte. Bezüglich der Trefferquote legt die bisherige Literatur keine Unterschiede im Verlauf der Regressionsgeraden zwischen objektbasierten Transformationen nahe, sondern weist lediglich in beiden Bedingungen eine Abnahme der Genauigkeit bei ansteigender Winkeldisparität nach (Pearson, Marsh, Hamilton, & Ropar, 2014; Tao et al., 2009). Aus diesem Grund bezieht sich Hypothese 7 vorwiegend auf das Reaktionszeitenmuster.

Darüber hinaus variiert der Winkeffekt mit der Ansicht, in welcher der Stimulus präsentiert wird (Vorderansicht vs. Rückansicht). Jola und Mast (2005) zeigten diesbezüglich folgendes Reaktionszeitenmuster: Während die ansteigende Aufgabenschwierigkeit bei zunehmender Winkeldisparität in objektbasierten Transformationen sowohl für die Front- als auch für die Rückansicht repliziert werden konnte, zeigte sich dieses Muster bei egozentrischen Transformationen lediglich für die Rückansicht. Dies geht konform mit den Befunden von Zacks et al. (2002b), die zeigten, dass die Performanz bei der Bearbeitung von Körpern in Vorderansicht nicht als Funktion vom Winkel variierte. Allerdings sollte angemerkt werden, dass in dieser Untersuchung ausschließlich Stimuli in Vorderansicht präsentiert wurden. Gemäß Jola und Mast (2005) wird der Unterschied des mentalen Rotationseffekts zwischen Vorder- und Rückansicht in egozentrischen Transformationen darauf zurückgeführt, dass keine Tiefenrotation durch-

geführt wird, sondern eher eine andere Strategie herangezogen wird, wie beispielsweise ein mentaler Salto eines invertierten Objekts, ursprünglich angenommen von Murray (1997). Gemäß den Befunden von Jola und Mast (2005) hypothetisierten wir für Objektrotationen bei einem Winkelanstieg eine Reduktion in der Performanz sowohl für Vorder- als auch für Rückansicht, während in egozentrischen Transformationen dieses Profil nur für die Rückansicht angenommen wurde (**Hypothese 8**).

6.1 Methode

6.1.1 Stichprobe

Einundachtzig Teilnehmer im Alter zwischen 18 und 32 Jahren nahmen an der Untersuchung teil, davon 42 Sportler (SP; *Mittleres Alter*: 22.43 Jahre; *SD* = 1.9) und 39 Nicht-Sportler (NSP; *Mittleres Alter*: 22.67 Jahre; *SD* = 2.7). Die Sportarten, die von den Sportlern angegeben wurden, waren: Schwimmen, Fußball, Basketball, Joggen, Badminton, Volleyball, Handball, Yoga, Pilates, Tennis, Tischtennis, Klettern und Reiten. Das Geschlechterverhältnis setzte sich aus 41 Männern und 40 Frauen zusammen. Die Probanden wurden den Stimulusbedingungen zufällig zugewiesen (eigene vs. fremde Körperbilder). Die Teilnehmer partizipierten im Rahmen eines Seminars der Universität Regensburg. Kein Proband hatte zuvor bereits einen mentalen Rotationstest durchgeführt.

6.1.2 Instrumente

Fragebogen zur Erhebung demographischer Daten:

Mittels eines Fragebogen wurden demographische Daten wie Name, Alter, Geschlecht, Gewicht, Größe, Beruf, Händigkeit, neurologischer oder psychiatrischer Erkrankungsstand sowie das Ausmaß der sportlichen Aktivität erhoben. Zudem wurde nach Hör- bzw. Seh-Schwierigkeiten, sonstigen Erkrankungen und Operationen sowie Medikamenteneinnahme gefragt. Maßgeblich diente dieser dazu, zu überprüfen, ob sich die beiden Gruppen bezüglich des Ausmaßes ihres Sportverhaltens voneinander unterschieden, ermittelt anhand der Anzahl der Sporteinheiten pro Woche. Zusätzlich wurden die Sportarten erfasst.

Zahlenverbindungstest:

Um sicherzustellen, dass die Ergebnisse in der mentalen Rotation tatsächlich auf die visuell-räumliche Intelligenz zurückzuführen sind, wurde zur Kontrolle die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit durch den sprachunabhängigen Zahlenverbindungstest (ZVT; Oswald & Roth, 1987) erhoben. Hierbei müssen 90 Zahlen, die ungeordnet auf einem Blatt abgebildet sind, nach aufsteigender Größe so schnell und akkurat wie möglich miteinander verbunden werden. Die nächste Ziffer befindet sich dabei immer in unmittelbarer Nachbarschaft zu ihrem Vorgänger und ist durch einen geraden oder schräg verlaufenden Strich zu erreichen. Insgesamt besteht der Test aus vier derartigen Zahlenmatrizen, siehe Abbildung 6. Um die Versuchspersonen mit dem Test vertraut zu machen, werden zunächst zwei Übungsaufgaben mit jeweils 20 Zahlen auf einem gesonderten Blatt durchgeführt. Dabei führt der Testleiter exemplarisch das erste Übungsfeld aus. Die Testdauer umfasst insgesamt 10 Minuten. Der ZVT kann als Einzel- oder Gruppentest durchgeführt werden. Im Falle unseres Experiments wurde ein Einzeltest durchgeführt. Hier erhebt der Versuchsleiter als abhängige Variable die Zeit, die bis zum Erreichen der Zahl 90 benötigt wird. Die dabei entstehenden Zeitwerte werden anschließend addiert und durch vier dividiert, da insgesamt vier Zahlenmatrizen zu bearbeiten sind. Mittels Normtabellen wird für jeden gemittelten Zahlenwert ein entsprechender IQ-Wert angegeben. Die konkordante Validität zwischen ZVT und Standard-IQ-Tests beträgt zwischen $r = .60$ und $.80$ (Vernon & Weese, 1993).

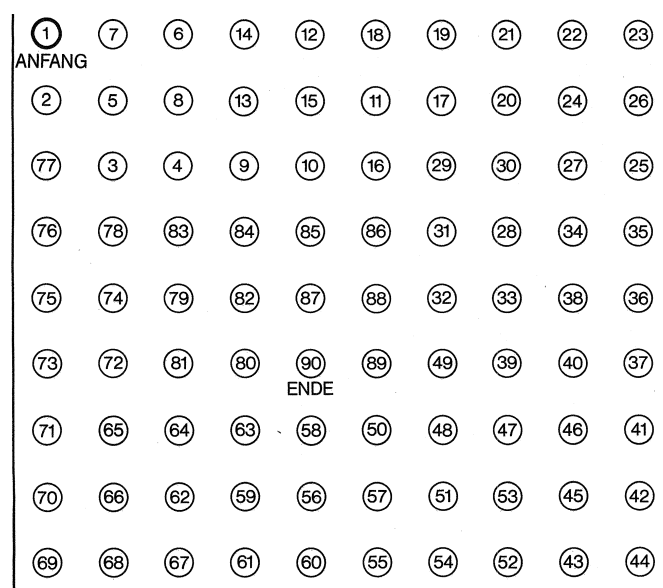


Abbildung 6: Zahlenverbindungstest, Beispielblatt „A“ (Oswald & Roth, 1987).

Frankfurter Körperkonzeptskalen:

Die Frankfurter Körperkonzeptskalen (FKKS) von Deusinger (1998) sind ein auf Selbsteinschätzung beruhender Fragebogen zur Erfassung von Einstellungen zum eigenen Körper. Die Bearbeitung des Fragebogens dauert etwa 10 Minuten. Der Test besteht aus insgesamt 64 Items, die folgende neun Körperkonzepte erfassen: 1) Gesundheit und körperliches Befinden (6 Items); 2) Pflege des Körpers (8 Items); 3) Körperliche Effizienz (10 Items), misst die subjektive eingeschätzte körperliche Stärke und Zähigkeit; 4) Körperkontakt (6 Items), bestimmt, ob dem Individuum körperliche Berührungen mit anderen Personen angenehm oder unangenehm sind; 5) Sexualität (6 Items), ermittelt die allgemeine Einstellung des Individuums zur Sexualität; 6) Selbstakzeptanz des Körpers (6 Items), erfasst den Grad der allgemeinen Akzeptanz des eigenen Körpers; 7) Akzeptanz des Körpers durch andere (4 Items); 8) Aspekte der äußeren Erscheinung (14 Items) und 9) Dissimilatorische Körperprozesse (4 Items), hier werden Beurteilungen des Individuums bezüglich der Körpergerüche zusammengefasst. Aus den einzelnen Skalen kann ein Gesamtwert für das Körperkonzept gebildet werden. Zur Selbsteinschätzung stehen dem Probanden sechsstufige Rating-Skalen von 1 „trifft gar nicht zu“ bis 6 „trifft sehr zu“ zur Verfügung. Normwerte liegen getrennt für Männer und Frauen und für verschiedene Altersgruppen (20 bis 93 Jahren) in Form von Prozenträngen und Mittelwerten vor. Es kann zwischen negativen, neutralen und positiven Körperkonzept differenziert werden (Deusinger, 1998).

Chronometrischer mentaler Rotationstest:

Zur Bearbeitung der chronometrischen mentalen Rotationsaufgabe saßen die Probanden in einem Abstand von 60 cm vor dem Monitor, der die Stimuli, die ausschließlich Körperfiguren darstellten, mittels der Software „Presentation“ (Neurobehavioral Systems) darbot. Bezüglich des Stimulusmaterials gab es vier verschiedene Bedingungen, zwei objektbasierte und zwei egozentrische, die wiederum in die Kategorien „selbst“ und „andere“ unterteilt wurden, resultierend in folgende Kombinationen: objektbasiert-andere, objektbasiert-selbst, egozentrisch-andere, egozentrisch-selbst, siehe Abbildung 7.

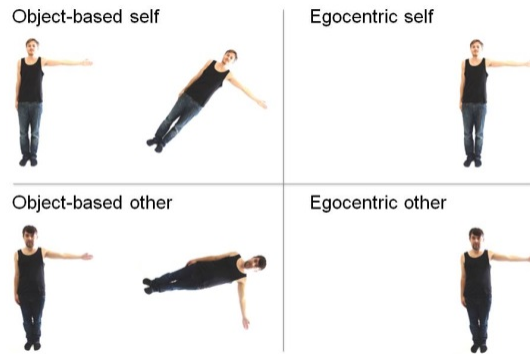


Abbildung 7: Beispiele für das Stimulusmaterial der vier Bedingungen. Die obere Reihe zeigt Bilder des eigenen Körpers, die untere bildet Körperfiguren einer anderen Person gleichen Geschlechts ab. Die linke Spalte bildet objektbasierte Transformationen mit einer Winkeldisparität von 45° (oben) und 90° (unten) ab. Die rechte Spalte zeigt egozentrische Transformationen mit einer links/rechts-Entscheidung.

1) Objektbasierte vs. egozentrische Transformation

In der objektbasierten Transformationsaufgabe wurden zwei Körperfiguren simultan nebeneinander in der Mitte des Bildschirms präsentiert (siehe linke Spalte der Abbildung 7). Die Stimuli wurden paarweise in fünf verschiedenen Winkeldisparitäten von 0°, 45, 90°, 135° oder 180° präsentiert, wobei der rechte Stimulus solange mental rotiert werden musste, bis er deckungsgleich mit dem linken Stimulus, dem sogenannten Standard-Stimulus war, der in aufrechter Position dargeboten wurde. Die Hälfte der Trials bestand aus Paaren identischer (nicht-gespiegelter) Objekte und die andere Hälfte zeigte eine gespiegelte Version des linken Stimulus, resultierend in einer gleich/gespiegelt-Entscheidung.

In der egozentrischen Bedingung wurde eine Körperfigur in den bereits erwähnten Winkelgraden mittig auf dem Bildschirm rotiert dargestellt (siehe rechte Spalte der Abbildung 7). Die Figur hielt entweder den linken oder den rechten Arm ausgestreckt und wurde in Vorder- sowie Rückansicht gezeigt. Von den Probanden wurde folglich eine links/rechts-Entscheidung abverlangt. Alle Stimuli wurden in der Bildebene und im Uhrzeigersinn rotiert.

2) Selbst vs. andere

In den „Selbst“-Trials bestand der experimentelle Stimulus aus einem Bild des eigenen Körpers. Dafür wurde jeder Proband in standardisierter Kleidung (blaue Jeans und schwarzes T-Shirt) fotografiert. Das Setting wurde unter kontrollierten Bedingungen

durchgeführt, indem darauf geachtet wurde, dass Lichtverhältnisse, Abstand der Kamera zur Versuchsperson sowie Position und Mimik (neutral) der Versuchsperson einheitlich gehalten wurden. Die Teilnehmer wurden einmal in Vorder- und Rückansicht mit je einem Arm ausgestreckt fotografiert, was vier Bilder von jeder Versuchsperson ergab: 2*Arm (links vs. rechts) x 2*Ansicht (Vorderansicht vs. Rückansicht). Im Anschluss wurden die Bilder mittels eines Adobe Photoshop Programms bearbeitet, um einen rein weißen Hintergrund sicherzustellen. Analog zu den Bildern des eigenen Körpers wurde die Referenzperson fotografiert, die bezüglich Kleidung und Geschlecht identisch zu der Versuchsperson war.

6.1.3 Versuchsdurchführung

Zu Beginn unterzeichneten die Probanden eine Einverständniserklärung. Dann wurden sie in Vorder- sowie Rückansicht fotografiert. Während die Fotos über das Photoshop Programm bearbeitet wurden, füllten die Versuchspersonen den Fragebogen zur Erhebung der demographischen Daten aus. Um die kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit als Störvariable ausschließen zu können, bearbeiteten die Teilnehmer darauffolgend den Zahlenverbindungstest (ZVT, Oswald & Roth, 1987). Anschließend folgte die Bearbeitung der Frankfurter Körperkonzeptskalen. Den Abschluss bildete der chronometrische mentale Rotationstest. Der Ablauf des cMRT ist identisch zu dem Prozedere des ersten Experiments dieser Untersuchungsreihe. Jeder Proband bearbeitete vier Blöcke zu je 80 Trials: Jede Kombination aus 2*Transformationsart (objektbasiert vs. egozentrisch) x 2*Stimulus (selbst vs. andere), 5*Winkeldisparität (0°, 45°, 90°, 135°, 180°) x 4*Anzahl der Stimuli pro Block (Vorder- vs. Rückansicht x linker vs. rechter Arm) wurde folglich viermal präsentiert, resultierend in einer Gesamtanzahl von 320 Trials.

6.1.4 Statistische Analyse

Fragebogen zur Erhebung der demographischen Daten:

Die Fragebogendaten wurden über alle Versuchspersonen gemittelt. Außerdem wurde jeweils eine multivariate Varianzanalyse mit den abhängigen Variablen „Sportverhalten“ (Anzahl der Sporeinheiten pro Woche), „Alter“ und der unabhängigen Variable „Gruppe“ (Sportler/Nicht-Sportler) durchgeführt.

Zahlenverbindungstest:

Für jede Versuchsperson wurde die Leistung der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit (Oswald & Roth, 1987) berechnet, resultierend in einem IQ-Wert. Anschließend wurde eine multivariate Varianzanalyse mit den abhängigen Faktoren „Leistung im ZVT“ und der unabhängigen Variablen „Gruppe“ (Sportler/Nicht-Sportler) durchgeführt.

Frankfurter Körperkonzeptskalen:

Zur Bestimmung potenzieller Unterschiede im Körperbild zwischen Sportlern und Nicht-Sportlern wurde eine univariate Varianzanalyse mit dem abhängigen Faktor „Gesamtwert der FKKS“ und der unabhängigen Variable „Gruppe“ (Sportler/Nicht-Sportler) berechnet.

Chronometrischer mentaler Rotationstest:

Basierend auf Befunden zu Differenzen in folgenden Aspekten sind objektbasierte und egozentrische Transformationen lediglich bedingt vergleichbar: Visuelle Stimulation (2 Stimuli vs. 1 Stimulus, vgl. Zacks et al., 2002b), Art der Entscheidung (gleich/gespiegelt vs. links/rechts, vgl. Steggemann et al., 2011) und Instruktion (vgl. Borst, Kievit, Thompson, & Kosslyn, 2011). Aus diesem Grund wurde vorab eine Messwiederholung durchgeführt mit der „Winkeldisparität“ (0°, 45°, 90°, 135°, 180°) und der „Transformationsart“ (objektbasiert, egozentrisch) als Innersubjektfaktoren, und der „Reaktionszeit“ sowie der „Trefferquote“ als abhängige Variablen. Auch wenn sich hinsichtlich der Trefferquote keine Unterschiede zwischen den beiden Transformationsarten ergaben, $F(1,80) = .33$, $p = .569$, $\eta_p^2 = .00$, zeigte sich bezüglich der Reaktionszeit, dass sich die objektbasierte Transformation ($M = 1218.6\text{ms}$, $SD = 37.2$) signifikant von der egozentrischen ($M = 1066.4\text{ms}$, $SD = 32.5$) unterscheidet, $F(1,80) = 17.34$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .18$, und lieferte damit die Grundlage für eine getrennte Berechnung dieser beiden Transformationsarten.

Daraufhin wurden für die objektbasierte und egozentrische Bedingung zwei getrennte Varianzanalysen mit Messwiederholung durchgeführt, wobei „Reaktionszeit“ und „Trefferquote“ die abhängigen Variablen darstellten. Folgende Faktoren bildeten die Innersubjektfaktoren: die „Winkeldisparität“ (0°, 45°, 90°, 135°, 180°), der „Stimulus“ (selbst vs. andere) und die „Ansicht“ (Vorder- vs. Rückansicht). Als Zwischensubjektfak-

tor diene die „Gruppe“ (Sportler vs. Nicht-Sportler). Aufgrund der Komplexität der Ergebnisse sollen kurze Zusammenfassungen der Hauptergebnisse im Ergebnisteil zu einer besseren Verständlichkeit beitragen.

Zudem wurde zur Überprüfung einzelner Hypothesen für die Haupteffekte „Gruppe“ (Hypothese 1), „Stimulus“ (Hypothese 5) und „Winkeldisparität“ (Hypothese 7) die jeweilige Effektstärke (*Cohen's d*) nach der Methode von Thalheimer und Cook (2002) berechnet, um eine angenommene stärkere Verkörperung bei egozentrischen Transformationen im Vergleich zu Objektrotationen ($H_{1,5}$), sowie einen stärkeren Winkelfekt in objektbasierten Transformationen im Vergleich zu egozentrischen zu untersuchen (H_7). Um die Effektstärken statistisch miteinander zu vergleichen, wurde das Vorgehen von Hedges und Olkin (1985) herangezogen. Die Autoren empfehlen zu Beginn eine Korrektur der Effektstärke, aus der eine unverzerrte Schätzung der Effektstärke resultiert. Im Anschluss wird die Varianz der einzelnen Effektstärken (objektbasiert, egozentrisch) berechnet, mit Hilfe derer wiederum der Mittelwert über die beiden Effektstärken gebildet werden soll. Unter Verwendung dieser Werte wird die statistische Prüfgröße „Q“ errechnet. Diese ist χ^2 -verteilt und entspricht der standardisierten Summe der quadrierten Differenzen zwischen jeder Effektstärke (hier: $N = 2$) und der mittleren Effektstärke. Ist diese Prüfgröße nach Bortz und Döring (2006) größer als das 95%-Quantil der χ^2 -Verteilung, dessen „kritischen Wert“ man in Abhängigkeit von den Freiheitsgraden und dem Signifikanzniveau in einer Tabellen erhält, kommt es zu einer Ablehnung der Null-Hypothese, die postuliert, dass sich die beiden Effektstärken nicht voneinander unterscheiden. Dieser kritische Wert liegt bei $k-1$ Freiheitsgraden (k als Anzahl der d 's) und einem Signifikanzniveau von .05 bei 3.84.

6.2 Ergebnisse

Fragebogen zur Erhebung der demographischen Daten:

Die Experimentalgruppe unterschied sich von der Kontrollgruppe durch eine signifikant höhere Anzahl der Sporteinheiten pro Woche ($M_{SP} = 4.9$ Einheiten/Woche, $SD_{NSP} = 1.3$ vs. $M_{NSP} = 1.0$ Einheiten/Woche, $SD_{NSP} = 0.9$), $F(1,80) = 206.46$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .74$. Hinsichtlich des Alters gab es keinen signifikanten Gruppenunterschied zwischen Sportlern ($M = 22.4$ Jahre; $SD = 1.9$) und Nicht-Sportlern ($M = 22.6$ Jahre; $SD = 2.7$), $F(1,80) = .20$,

$p = .65$, $\eta_p^2 = .00$. Neurologische und psychiatrische Beeinträchtigungen sowie Hör- oder Sehschwierigkeiten konnten einheitlich ausgeschlossen werden.

Zahlenverbindungstest:

Die Ergebnisse des Zahlenverbindungstests zeigten, dass die beiden Gruppen vergleichbare IQ-Werte bezüglich der Intelligenz aufwiesen, ($M_{SP} = 117.3$, $SD_{SP} = 17.1$ vs. $M_{NSP} = 111.1$, $SD_{NSP} = 12.2$), $F(1,80) = 3.55$, $p = .063$, $\eta_p^2 = .04$.

Frankfurter Körperkonzeptskalen:

Hinsichtlich des Körperkonzepts unterschieden sich die Sportler ($M = 232.8$, $SD = 12.8$) nicht signifikant von den Nicht-Sportlern ($M = 230.5$, $SD = 14.1$), $F(1,80) = .55$, $p = .46$, $\eta_p^2 = .01$.

Chronometrischer mentaler Rotationstest:

Objektbasierte Transformationen: Reaktionszeit

Bezüglich der Reaktionszeit (RT) zeigte die Varianzanalyse mit Messwiederholung drei signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Ansicht“, $F(1, 79) = 27.12$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .26$, „Winkeldisparität“, $F(4,316) = 235.02$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .75$, und „Stimulus“, $F(1, 79) = 15.50$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .16$. Der Haupteffekt für den Faktor „Gruppe“ erwies sich als nicht signifikant, $F(1, 79) = .03$, $p = .853$, $\eta_p^2 = .00$. Die mittleren Reaktionszeiten waren höher für die Frontansicht ($M = 1247.6\text{ms}$, $SD = 39.5$) als für die Rückansicht ($M = 1180.3\text{ms}$, $SD = 36.4$), was den Vorteil der Rückansicht, der in Hypothese 2 postuliert wurde, bestätigt. Bezüglich des Haupteffekts „Winkeldisparität“ zeigten post hoc Tests mit paarweisen Mittelwertvergleichen höhere Reaktionszeiten für jede nachfolgende Winkeldisparität ($p < .001$), was zu einer Bestätigung der Hypothese 6 führt. Der Haupteffekt für den Faktor „Stimulus“ gab an, dass die Probanden länger brauchten, um eigene Körperbilder zu bearbeiten ($M = 1268.9\text{ms}$, $SD = 45.9$) als fremde Körperfiguren ($M = 1158.9\text{ms}$, $SD = 32.9$), vgl. Tabelle 2. Dieser Vorteil zugunsten fremder Körperbilder ist das Gegenteil von dem „Selbst-Vorteil“, der in Hypothese 4 angenommen wurde.

Zudem ergaben sich zwei Interaktionen:

1) Es zeigte sich eine Interaktion zwischen den Faktoren „Ansicht“ und „Stimulus“, $F(1, 79) = 4.61$, $p = .035$, $\eta_p^2 = .06$, siehe Abbildung 8. Post hoc Tests zeigten, dass die Reak-

tionszeitdifferenz zwischen Vorder- und Rückansicht bei den eigenen Körperstimuli größer war als die bei der Bearbeitung fremder Körperbilder. Das bedeutet, die Vorderansicht wurde sowohl bei fremden Stimuli ($M_{front} = 1181.8\text{ms}$, $SD = 33.9$ vs. $M_{back} = 1135.9\text{ms}$, $SD = 33.2$) als auch bei eigenen Körperfiguren ($M_{front} = 1313.3\text{ms}$, $SD = 49.5$ vs. $M_{back} = 1224.6\text{ms}$, $SD = 44.1$) langsamer verarbeitet. Jedoch war dieser Unterschied stärker ausgeprägt, wenn Bilder des eigenen Körpers präsentiert wurden ($M_{diff} = 90.2\text{ms}$, $SD = 18.9$) anstelle von Bildern einer anderen Person ($M_{diff} = 46.3\text{ms}$, $SD = 13.7$), im Sinne eines „Vorderansichts-Nachteils des Selbst“, $t(80) = -2.19$, $p = .032$.

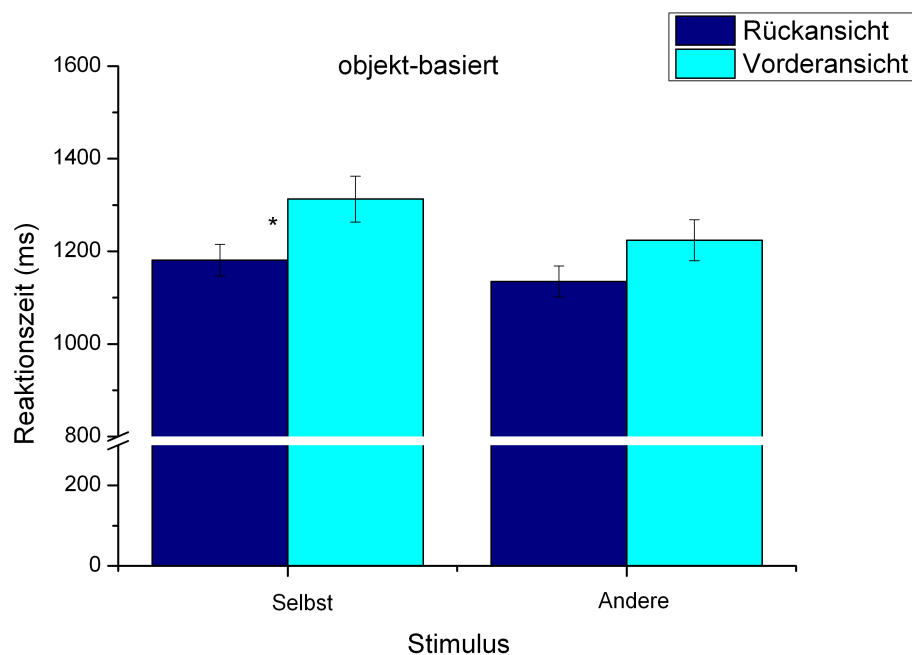


Abbildung 8: Mittlere Reaktionszeiten für die objektbasierte Bedingung in Abhängigkeit von „Ansicht“ und „Stimulus“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

2) Die „Ansicht*Winkeldisparität“-Interaktion erwies sich als signifikant, $F(4, 316) = 2.40$, $p = .050$, $\eta_p^2 = .03$, siehe Abbildung 9. Die Reaktionszeitdifferenz zwischen den Winkeldisparitäten 45° und 90° war in der Vorderansicht größer als die in der Rückansicht, $t(80) = 3.3$, $p = .001$. Generell ließ sich jedoch festhalten, dass die Reaktionszeiten einen monotonen Anstieg bei zunehmender Winkeldifferenz sowohl für die Vorder- als auch für die Rückansicht aufwiesen, was eine Teilannahme der Hypothese 8 bestätigt.

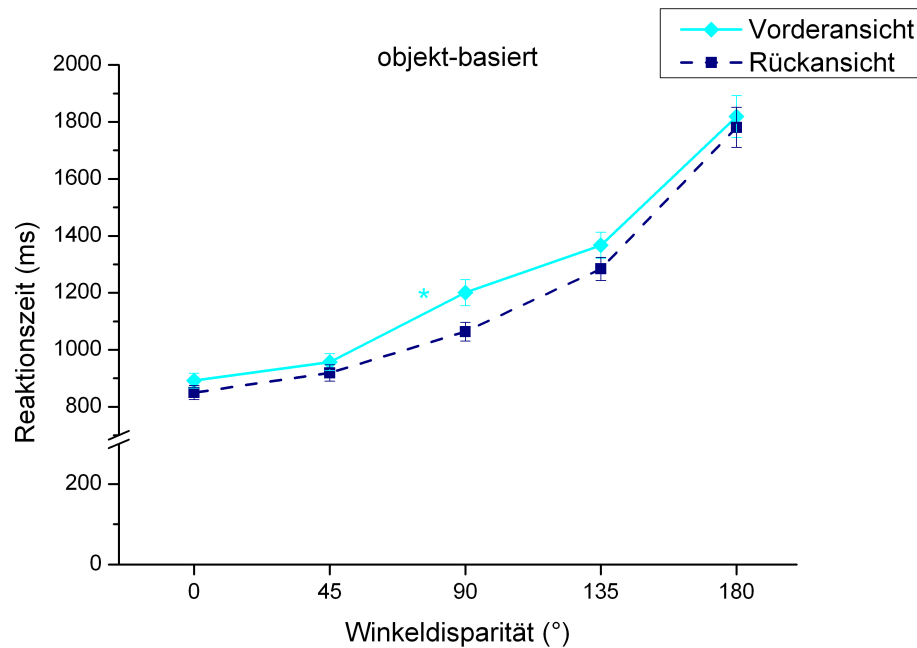


Abbildung 9: Mittlere Reaktionszeiten für die objektbasierte Bedingung in Abhängigkeit von „Ansicht“ und „Winkeldisparität“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Zusammenfassung der Hauptegebnisse: Die RT-Ergebnisse in der objektbasierten Bedingung legten einen „Vorderansichts-Nachteil“ sowie eine nachteilige Verarbeitung eigener Körperbilder nahe, die sich zudem speziell in der Vorderansicht zeigte.

Egozentrische Transformationen: Reaktionszeit

Hinsichtlich der Reaktionszeit ergab die Varianzanalyse mit Messwiederholung drei signifikante Haupteffekte für folgende Faktoren: „Ansicht“, $F(1, 79) = 178.53, p < .001, \eta_p^2 = .69$, „Gruppe“, $F(1, 79) = 8.45, p < .001, \eta_p^2 = .09$, und „Winkeldisparität“, $F(4, 316) = 267.97, p < .001, \eta_p^2 = .77$, siehe Tabelle 2. Im Gegensatz zu objektbasierten Rotationen erwies sich der Haupteffekt für den Faktor „Stimulus“ als nicht signifikant, $F(1, 79) = .12, p = .896, \eta_p^2 = .00$. Zudem war die Effektstärke des Faktors „Stimulus“ in der objektbasierten Bedingung signifikant größer als in der egozentrischen, wie in Tabelle 3 ersichtlich wird. Diese Befunde widersprechen dem in Hypothese 5 angenommenen „Selbst-Vorteil“ speziell in egozentrischen Transformationen, ausgedrückt in einer größeren Effektstärke in der egozentrischen Bedingung, siehe Tabelle 3. Der Haupteffekt „Ansicht“ zeigte, dass die Probanden höhere Reaktionszeiten aufwiesen, wenn die Vorderseite der Körperfigur präsentiert wurde ($M = 1146.9\text{ms}, SD = 38.3$) als bei der Rückansicht ($M = 902.8\text{ms}, SD = 24.9$). Dieses Muster bestätigt den „Vorderansichts-

Nachteil“, der bereits bei objektbasierten Transformationen gefunden und gemäß Hypothese 2 erwartet wurde. Der Haupteffekt des Faktors „Gruppe“ äußerte sich darin, dass die Sportler ($M = 942.0\text{ms}$, $SD = 41.1$) egozentrische Transformationen schneller lösten als Nicht-Sportler ($M = 1114.1\text{ms}$, $SD = 42.6$). Allerdings war die Effektstärke in der egozentrischen Bedingung nicht signifikant größer als in der objektbasierten (vgl. Tabelle 3). Diese Ergebnisse untermauern folglich die erste Teilannahme der Hypothese 1, die einen Leistungsvorteil von Sportlern in der egozentrischen Bedingung postuliert.

Tabelle 2

Haupteffekte für die Faktoren „Gruppe“, „Ansicht“ und „Stimulus“ für objektbasierte und egozentrische Transformationen der Studie 2 (Mittlere Reaktionszeiten und Standardfehler).

		Transformation			
Haupteffekt		objektbasiert		egozentrisch	
Gruppe	Sportler	1220.9ms (51.9)	n.s.	942.0ms (41.1)	*
	Nicht-Sportler	1206.9ms (53.9)		1114.1ms (42.6)	
Ansicht	Vorderansicht	1247.6ms (39.5)	**	1146.9ms (38.3)	**
	Rückansicht	1180.3ms (36.4)		902.8ms (24.9)	
Stimulus	Andere	1158.9ms (32.9)	**	1029.2ms (30.9)	n.s.
	Selbst	1268.9ms (45.9)		1026.9ms (30.9)	
*= $p < .05$; **= $p < .001$; n.s. = nicht signifikant auf dem .05 Level					

Bezüglich der Winkeldisparität unterschieden sich die Reaktionszeiten zwischen den Winkeldisparitäten von 45° und 90° in der egozentrischen Bedingung nicht, $t(80) = -1.29$, $p = .119$. Darüber hinaus nahm die Reaktionszeit zwischen der 0° und 45° -Bedingung tendenziell ab ($p > .05$). Folglich resultiert ein U-förmiger Verlauf in der egozentrischen Transformation, während die Reaktionszeiten in der objektbasierten Bedingung bei zunehmender Winkeldisparität linear ansteigen, was in Abbildung 10 er-

sichtlich wird. Eine wachsende Winkeldifferenz zog in der egozentrischen Bedingung erst ab einer Winkeldisparität von 90° signifikant ansteigende Reaktionszeiten nach sich ($p < .05$). Die Hypothese 7, die postuliert, dass sich der Vorteil kleiner Winkeldisparitäten eher in der objektbasierten Bedingung äußert, kann nur aufgrund des Verlaufs der Regressionsgeraden, nicht jedoch infolge des Effektstärken-Vergleichs, der keinen signifikanten Unterschied in der Effektstärke zwischen egozentrischer und objektbasierter Bedingung nahe legt (vgl. Tabelle 3), bestätigt werden. Alle weiteren Effekte erreichten keine Signifikanz auf dem 0.5-Niveau.

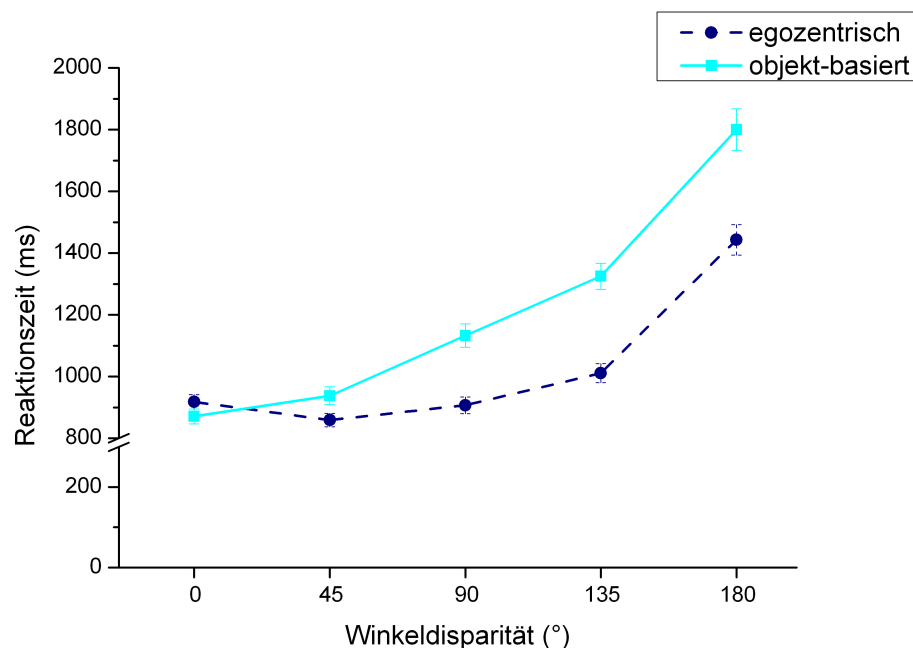


Abbildung 10: Mittlere Reaktionszeiten für die einzelnen Winkeldisparitäten in der objektbasierten und egozentrischen Bedingung. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Darüber hinaus ergaben sich zwei signifikante Interaktionen:

1) Die Interaktion zwischen den Faktoren „Ansicht“ und „Gruppe“ erwies sich als signifikant, $F(1, 79) = 6.16$, $p = .015$, $\eta_p^2 = .07$, siehe Abbildung 11. Post hoc Tests zeigten, dass der Reaktionszeit-Unterschied zwischen Vorder- und Rückansicht bei den Nicht-Sportlern ($M_{Diff} = 291.4\text{ms}$, $SD = 26.5$) größer war als bei den Sportlern ($M_{Diff} = 200.1\text{ms}$, $SD = 25.5$), $t(80) = -2.48$, $p = .015$. Demzufolge gilt sowohl für Sportler ($M_{front} = 1042.0$, $SD = 50.8$ vs. $M_{back} = 841.9\text{ms}$, $SD = 33.5$) als auch für Nicht-Sportler ($M_{front} = 1259.8\text{ms}$, $SD = 52.7$ vs. $M_{back} = 968.4\text{ms}$, $SD = 34.7$), dass die Vorderansicht langsamer verarbeitet wurde als die Rückansicht, jedoch war die Differenz bei Sportlern geringer ausgeprägt. Aufgrund der Tatsache, dass diese Interaktion auf die egozentrischen

Transformationen beschränkt ist und nicht in der objektbasierten Bedingung gefunden wurde, geht dieses Ergebnis konform mit Hypothese 3. Gemäß dieser Hypothese wurde angenommen, dass der „Vorderansichts-Nachteil“ bei Sportlern im Vergleich zu Nicht-Sportlern geringer ausfällt und sich dieser Effekt speziell in der egozentrischen Transformation äußert, da in dieser Bedingung eine motorische Simulation zu einem höheren Maß erfordert wird als bei objektbasierten Rotationen.

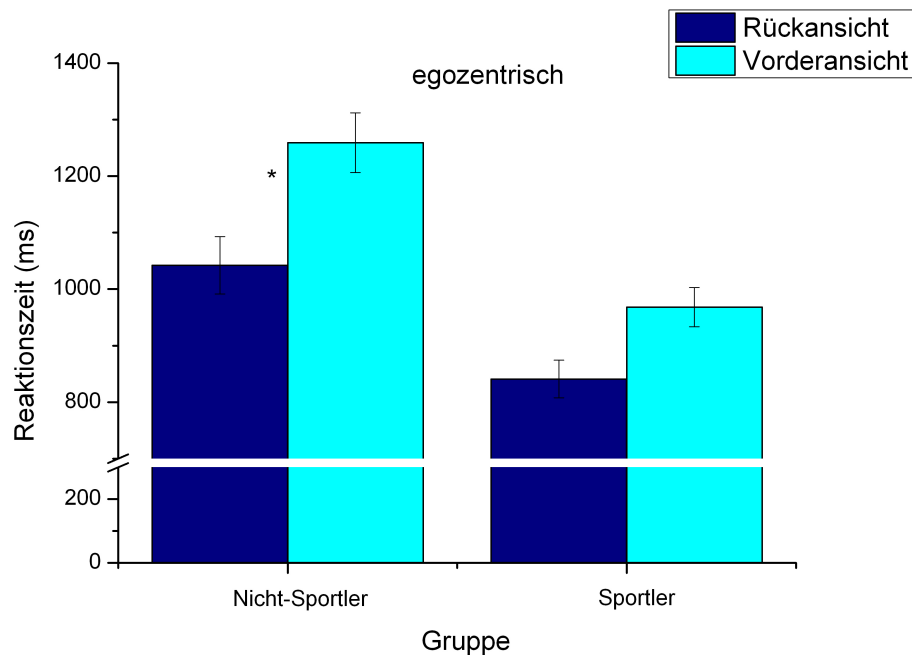


Abbildung 11: Mittlere Reaktionszeiten für die egozentrische Bedingung in Abhängigkeit von „Ansicht“ und „Gruppe“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

2) Die Interaktion zwischen den Faktoren „Ansicht“ und „Winkeldisparität“ war signifikant, $F(4, 316) = 30.62$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .28$, und ist in Abbildung 12 dargestellt. Bezüglich der Rückansicht zeigten post hoc Tests einen linearer Anstieg der Reaktionszeiten ab einer Winkeldisparität von 45° ($p < .001$). Die Reaktionszeit-Differenz zwischen den Winkeldisparitäten von 0° und 45° erwies sich als nicht signifikant, $t(80) = -1.06$, $p = .291$. Während ein tendenzieller Anstieg zwischen diesen beiden Winkeldisparitäten in der Rückansicht zu verzeichnen war, nahmen die Reaktionszeiten in der Vorderansicht zwischen 0° und 45° signifikant ab, $t(80) = 8.14$, $p < .001$. Ein linearer Anstieg lässt sich in der Vorderansicht ab einer Winkeldisparität von 90° beobachten, während sich zwischen 45° und 90° kein signifikanter Reaktionszeitunterschied verzeichnen lässt, $t(80) = -1.29$, $p = .199$.

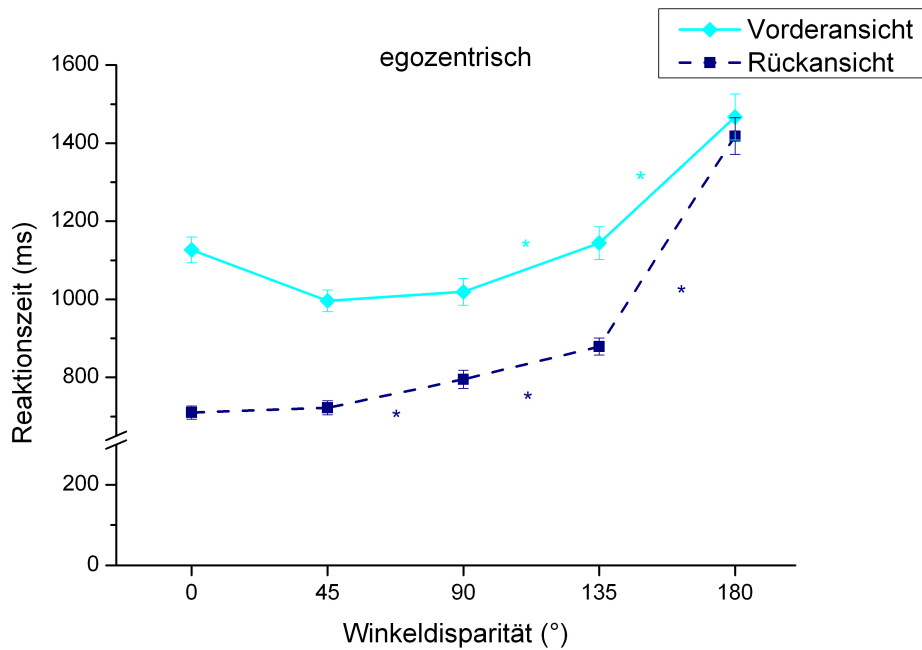


Abbildung 12: Mittlere Reaktionszeiten für die egozentrische Bedingung in Abhängigkeit von „Ansicht“ und „Winkeldisparität“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Zusammenfassung der Hauptergebnisse: Die RT-Ergebnisse in der egozentrischen Bedingung zeigten einen Performanzvorteil von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern und einen „Vorderansichts-Nachteil“, der bei Sportlern reduziert ausgeprägt war.

Objektbasierte Transformationen: Trefferquote

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich der Fehlerrate ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor „Winkeldisparität“, $F(4,316) = 8.94$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .10$. Der Haupteffekt für den Faktor „Gruppe“ erzielte keine Signifikanz auf dem .05-Niveau, $F(1,79) = .02$, $p = .899$, $\eta_p^2 = .00$, sowie für den Faktor „Stimulus“, $F(1, 79) = .05$, $p = .825$, $\eta_p^2 = .00$. Im Bonferroni post hoc Test zeigte sich ein signifikanter Abfall der Genauigkeit zwischen den Winkeldisparitäten von 90° und 135°, $t(80) = 3.38$, $p = .001$. Zwischen den anderen aufeinander folgenden Winkeldisparitäten ergab sich kein signifikanter Unterschied in der Fehlerrate. Demzufolge bestätigen diese Befunde den Vorteil kleinerer Winkeldisparitäten, der in Hypothese 6 postuliert wurde, nur bedingt. Alle anderen Effekte erzielten keine Signifikanz auf dem 0.5-Niveau. Somit können die Hypothesen 1, 2, 3, 4, 5 oder 8 mittels der Daten zur Genauigkeit nicht bestätigt werden.

Egozentrische Transformationen: Trefferquote

Die statistische Analyse ergab drei signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Ansicht“, $F(1, 79) = 20.87, p < .001, \eta_p^2 = .21$, „Gruppe“, $F(1, 79) = 4.33, p = .041, \eta_p^2 = .05$, und „Winkeldisparität“, $F(4, 316) = 9.47, p < .001, \eta_p^2 = .11$. Der Haupteffekt „Gruppe“ zeigte eine höhere Trefferquote von Sportlern ($M = 94.9\%, SD = 1.2$) gegenüber Nicht-Sportlern ($M = 91.2\%, SD = 1.3$), äußerte sich allerdings nicht in einer signifikant größeren Effektstärke als in der objektbasierten Bedingung (vgl. Tabelle 3). Diese Ergebnisse bekräftigen folglich ausschließlich die erste Teilannahme der Hypothese 1, die einen Performanzvorteil von Sportlern in der egozentrischen Bedingung postuliert. Der Haupteffekt für den Faktor „Stimulus“ erwies sich wie in der objektbasierten Bedingung als nicht signifikant, $F(1, 79) = 1.82, p = .181, \eta_p^2 = .01$, die Effektstärken der objektbasierten und egozentrischen Transformation ergaben keinen signifikanten Unterschied, siehe Tabelle 3. Bezüglich des Haupteffekts „Ansicht“ zeigte sich, dass die Teilnehmer bei Körperbildern in Frontansicht weniger genau ($M = 91.1\%, SD = 1.2$) antworteten als in der Rückansicht-Bedingung ($M = 95.1\%, SD = .8$), was für den angenommenen „Vorderansichts-Nachteil“ von Hypothese 2 spricht. Bonferroni korrigierte t-Tests zum Haupteffekt des Faktors „Winkeldisparität“ ergaben, dass die Genauigkeit zwischen den Winkeldisparitäten von 135° und 180° signifikant abnahm, $t(80) = 4.08, p < .001$. Dieses Ergebnis unterstützt Hypothese 6. Demzufolge können die Hypothesen 3, 4, 5 oder 8 mittels der Daten zur Genauigkeit nicht bestätigt werden.

Zusammenfassung der Hauptegebnisse: Die TQ-Ergebnisse in der egozentrischen Bedingung bestätigten den Performanzvorteil von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern sowie den „Vorderansichts-Nachteil“.

Der statistische Vergleich zwischen den Effektstärken der objektbasierten und egozentrischen Bedingung ergab, dass sich sowohl bezüglich der Reaktionszeiten als auch hinsichtlich der Trefferquote keine signifikanten Unterschiede zwischen den Effektstärken ergaben, da keine der Prüfgrößen den kritischen Wert von 3.84 überschritt, siehe Tabelle 3.

Tabelle 3

Illustration der Haupteffekte (RT und TQ) und ihrer entsprechenden Effektstärken sowie Prüfgrößen getrennt für die objektbasierte und egozentrische Bedingung.

AV	Haupteffekt	d_{obj}	d_{ego}	Q
RT	Gruppe	.04	.65	3.59
	Stimulus	.89	.08	6.21
	Winkel	3.45	3.69	.22
TQ	Gruppe	.03	.47	1.89
	Stimulus	.05	.30	.62
	Winkel	.67	.69	.00

Anmerkung. Die Abkürzung „d“ steht für die Effektstärke *Cohen's d* und „Q“ ist die statistische Prüfgröße.

6.3 Diskussion

In Anlehnung an den Embodiment-Ansatz verglichen wir die Performanz von Sportlern und Nicht-Sportlern in objektbasierten und egozentrischen Transformationsaufgaben mit Fokus auf die Differenzierung zwischen eigenen und fremden Körperbildern. Eine tabellarische Übersicht der Hypothesen soll vorweggenommen werden, um zu einem besseren Verständnis der Ergebnisse beizutragen, siehe Tabelle 4. Im Anschluss an die Darstellung der Hauptergebnisse folgt eine inhaltliche Einbettung der Resultate, die zweigeteilt ist in 1) Die Bedeutung der motorischen Fähigkeiten in objektbasierten und egozentrischen Transformationen und in 2) Den Einfluss des eigenen Körperbilds auf die beiden Transformationsarten.

Tabelle 4

Tabellarische Übersicht über die 8 Hypothesen der Studie 2 mit ihren entsprechenden inhaltlichen und statistischen Bedeutungen.

Hypothese	inhaltlich	statistisch
H ₁	Performanzvorteil von Sportlern, gerade in der ego-zentrischen Bedingung	HE „Gruppe“ $d_{\text{ego}} > d_{\text{obj}}$
H ₂	„Vorderansichts-Nachteil“	HE „Ansicht“
H ₃	Reduzierter „Vorderansichts-Nachteil“ bei Sportlern	IA „Ansicht*Gruppe“
H ₄	„Selbst-Vorteil“	HE „Stimulus“
H ₅	„Selbst-Vorteil“, gerade in der egozentrischen Bedingung	HE „Stimulus“ $d_{\text{ego}} > d_{\text{obj}}$
H ₆	Winkeffekt	HE „Winkeldisparität“
H ₇	Winkeffekt stärker ausgeprägt in objektbasierter Bedingung als in egozentrischer	HE „Winkeldisparität“ $d_{\text{obj}} > d_{\text{ego}}$
H ₈	objektbasiert: Winkeffekt Vorder-und Rückansicht egozentrisch: Winkeffekt Rückansicht	IA „Ansicht*Winkeldisparität“

Anmerkung. Die Abkürzung „H“ steht für Hypothese und „HE“ bedeutet Haupteffekt, während „IA“ die Abkürzung von Interaktion ist.

Unsere Hauptergebnisse legten nahe, dass Sportler sowohl bezüglich Reaktionszeit als auch hinsichtlich der Trefferquote besser abschnitten als Nicht-Sportler, allerdings nur in der egozentrischen Bedingung. Auch wenn die Effektstärke des Gruppeneffekts der egozentrischen Bedingung nicht signifikant größer war als die der objektbasierten Transformation, kann dennoch die erste Teilannahme der **Hypothese 1**, die einen Leistungsvorteil der Sportler in der egozentrischen Bedingung postuliert, bestätigt werden.

Hinsichtlich des Faktors „Ansicht“, beobachteten wir einen „Vorderansichts-Nachteil“, der sich in höheren Reaktionszeiten für die Bearbeitung von Stimuli mit Blick zur Versuchsperson ausdrückte, sowohl in objektbasierten als auch in egozentrischen Transformationen. In Bezug auf die Genauigkeit ergaben sich im Sinne einer schlechteren Performanz lediglich in der egozentrischen Bedingung mehr Fehler für die Vorder- als für die Rückansicht. Diese Ergebnisse gehen konform mit **Hypothese 2**. Die schlechtere Performanz in der Vorderansicht wird nicht auf einen Referenzrahmenkonflikt zurückgeführt, da dieser Effekt sowohl objektbasierte und egozentrische Transformationen betrifft. Andernfalls hätte nur die egozentrische Bedingung betroffen sein dürfen, in der Lateralitätsentscheidungen und damit eine Perspektivenübernahme von Nöten sind, die einen Konflikt zwischen dem eigenen und dem Referenzrahmen des zu rotierenden Stimulus schafft. Interessanterweise war der „Vorderansichts-Nachteil“ bei Sportlern geringer ausgeprägt, allerdings rein in der egozentrischen Bedingung, wie es in **Hypothese 3** angenommen wurde.

Bezüglich des Stimulusmaterials zeigte sich, dass in der objektbasierten Bedingung die Körperfigur der anderen Person schneller verarbeitet wurde, als die eigenen Körperbilder, was entgegen **Hypothese 4** ist. Jedoch wurde dieser Vorteil zugunsten „anderer“ nicht in der egozentrischen Transformationsaufgabe beobachtet. Die Tatsache, dass der Vorteil „anderer“ in der egozentrischen Bedingung verschwindet, könnte als indirekte Bestätigung des Effekts angesehen werden, der in **Hypothese 5** postuliert wurde. Diese Annahme spiegelt sich auch in einer signifikant größeren Effektstärke des Faktors „Stimulus“ in der objektbasierten Bedingung im Vergleich zur egozentrischen wider und stellt damit den einzigen Unterschied im Vergleich der Effektstärken dar, der signifikant wurde.

Darüber hinaus nahm die Performanz sowohl in Bezug auf Reaktionszeiten und Trefferquote bei zunehmender Winkeldisparität ab, wie es in **Hypothese 6** erwartet wurde. Zusätzlich war dieser Effekt in Anbetracht des Verlaufs der Regressionsgeraden in der objektbasierten Bedingung deutlicher zu beobachten als in der egozentrischen, was die Teilannahme der **Hypothese 7** bezüglich eines unterschiedlichen Verlaufs der Regressionsgeraden untermauert. Die zweite Annahme dieser Hypothese, die sich auf die Effektstärken bezieht, kann aufgrund der Tatsache, dass sich die Effektstärken des Winkeffekts zwischen der objektbasierten und der egozentrischen Bedingung nicht

unterschieden, nicht bestätigt werden. Unter Berücksichtigung der Ansicht zeigte sich das Reaktionszeitenmuster im Sinne ansteigender Reaktionszeiten bei wachsender Winkeldifferenz sowohl für die Vorder- als auch für die Rückansicht, während sich in egozentrischen Transformationen dieses Profil für die Rückansicht nicht einstellte. Dieses Ergebnis geht folglich nur teilweise konform mit den Befunden von Jola und Mast (2005) und damit mit **Hypothese 8**.

Die Bedeutung motorischer Fähigkeiten in objektbasierten und egozentrischen Transformationen

Es konnte gezeigt werden, dass Sportler schnellere Reaktionszeiten und eine höhere Trefferquote aufwiesen als Nicht-Sportler, wobei sich dieser Performanzvorteil allerdings auf die egozentrische Transformation beschränkte. Dies widerspricht der bisherigen Literatur, die eine verbesserte Performanz bei Sportlern in objektbasierten Rotationen nachweisen konnte (Moreau et al., 2012; Pietsch & Jansen, 2012). Jedoch ist anzumerken, dass in diesen Studien ausschließlich objektbasierte Rotationen überprüft wurden. Eine Studie, die den Vergleich zwischen den beiden Transformationsarten zum Untersuchungsgegenstand machte, wurde von Steggemann et al. (2011) durchgeführt. Hier wurden Experten für Rotationsbewegungen (Turner, Rhönradfahrer, Voltigierer und Judoka) bezüglich beider Bedingungen miteinander verglichen. Aufgrund der hohen Anzahl an Drehungen um verschiedene Körperachsen gingen die Autoren davon aus, dass diese Sportler über eine besonders ausgeprägte Körperrepräsentation für ungewöhnliche Körperlagen verfügen. Die Ergebnisse legten nahe, dass sich der positive Effekt dieser speziellen Motor-Expertise lediglich auf egozentrische Transformationen beschränkte und gerade in Überkopforientierungen zeigte, die für den Alltag ungewöhnlich sind. Dies ließ die Autoren schlussfolgern, dass sich ausschließlich eine spezifische Rotationserfahrung vorteilhaft in der Performanz niederschlägt. Dabei spielen laut Autoren zwei Faktoren eine Rolle: Zum einen die spezifische motorische Expertise per se und zum anderen die Erfahrung, die aus der Beobachtung dieser spezifischen Bewegung während des Trainings resultiert. Es stellt sich folglich die Frage, zu welchen Anteilen motorische und visuelle Expertise einen Einfluss auf die in unserer Untersuchung gefundenen Ergebnisse haben.

Beide Erklärungen liegen unterschiedlichen, dennoch sehr verknüpften, theoretischen Annahmen zugrunde: Der Ansatz, dass die spezifische Rotationserfahrungen in gewis-

sen Sportarten zur Ausdifferenzierung entsprechender motorischer Repräsentationen führt, die wiederum die mentale Rotationsfähigkeit erleichtern können, wenn physische und mentale Rotation übereinstimmen, entstammt der „Common-Processing-Hypothese“ von Wohlschläger und Wohlschläger (1998). Dieses Theorem wird unterstützt durch die Befunde von Jola und Mast (2005) mit Tänzern und Nicht-Tänzern, bei denen keine Leistungsvorteile der Tänzer zu verzeichnen waren. Diese Beobachtung wurde dadurch begründet, dass bei dieser Sportart eine Drehung um die Längsachse erfolgte, die der mentalen Rotationsrichtung (Drehung um Körpertiefen- und Breitenachse) nicht entsprach und folglich nicht dienlich war. Den theoretischen Hintergrund für die zweite Annahme, dass die Spezialisierung in einer Sportart zu einer spezifischen Ausdifferenzierung der Wahrnehmungsleistung führt und sich folglich die visuelle Erfahrung positiv auf die mentale Rotationsleistung auswirkt, bildet der Ansatz der gemeinsamen Codierung nach Prinz („Common-Coding-Annahme“, 1997), der postuliert, dass während der reinen Beobachtung der Handlung eines anderen Menschen interne Simulationsprozesse im Gehirn ablaufen, die genau dieser Handlung entsprechen, ohne diese selbst aktiv auszuführen. Es findet folglich eine Übereinstimmung zwischen der wahrgenommenen Handlung eines Dritten und der eigenen internen motorischen Repräsentation statt. Neuronal gesehen greifen folglich wahrgenommene und geplante Handlungen auf eine gemeinsame Repräsentationsebene zurück. Das entsprechende neuronale Korrelat ist das Spiegelneuronensystem, das sowohl bei der Beobachtung einer Bewegung als auch bei der Ausführung derselben eine erhöhte Aktivität zeigt (Jeannerod, 2003). Der positive Effekt der visuellen Erfahrung wird durch die Befunde von Calvo-Merino, Glaser, Grézes, Passingham und Haggard (2005) gestützt. In ihrer bildgebenden Untersuchung wiesen die Autoren nach, dass die Hirnaktivität höher war, wenn die „eigene“ Sportart beobachtet wurde im Vergleich zur Beobachtung fremder Bewegungen. Hierbei wurden Capoeira- und Balletttänzern Videosequenzen der eigenen sowie der anderen Sportart präsentiert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich die motorische Expertise positiv und zudem domänenspezifisch auf die Wahrnehmungsleistung auswirkt.

Darüber hinaus könnte sich eine weitere Expertise vorteilhaft auf die perspektivische Transformation auswirken: die Erfahrung in der Bewegungsvorstellung. Dieses spezifische Vorstellungsvermögen wird zunehmend von Sportlern als Technik eingesetzt, um

die sportliche Leistungsfähigkeit zu erhöhen (Feltz & Landers, 1983). Beispielhaft ist das verdeckte Wahrnehmungstraining anzuführen, im Rahmen dessen der Übende versucht, den Bewegungsablauf eines anderen in seiner Vorstellung zu beobachten. Die hierfür benötigte Information erhält man durch das Beobachten eines Sportlers, der die Bewegung vollendet beherrscht, wobei das Vorbild der eigenen Konstitution ähneln sollte. Wesentlich hierbei ist die innere Vergegenwärtigung des idealen zeitlichen und rhythmischen Ablaufs des Vorbilds (z.B. Beschleunigungsakzente beim Aufschlag). Des Weiteren gibt es ein Training, das auf der Vorstellung der eigenen Bewegung basiert: Das ideomotorische Training, welches auf der Idee basiert, dass die intensive Vorstellung einer Bewegung die Tendenz zu ihrer Ausführung hervorruft. Um einen positiven Trainingseffekt zu erzielen, sollten die Bewegungen in ihrem Grobablauf bereits realisiert worden sein, um die einzelnen Phasen besser nachvollziehen zu können (Baumann, 1993). Milton, Small und Solodkin (2008) fanden diesbezüglich heraus, dass sich die Fähigkeit zur Bewegungsvorstellung zwischen Hochleistungssportlern und Sportlern zugunsten der ersten Gruppe unterschied. Inwiefern eine generelle Expertise in der Bewegungsvorstellung sich positiv auf die spezielle perspektivische Transformationsfähigkeit in der mentalen Rotation auswirkt, und welche Mechanismen diesen Vorteil bewirken, ist bis dato ungeklärt. Wenn auch spekulativ, könnte die Idee, dass eine höhere Automatisierung in der Bewegungsvorstellung bei Sportlern weniger Ressourcen in Anspruch nimmt, die für die Bearbeitung der perspektivischen Rotationsaufgabe nötig ist, einen möglichen Erklärungsansatz liefern. Trotz der Uneinigkeit darüber, welche Mechanismen verantwortlich sind, sei es die motorische, die visuelle Expertise oder die Erfahrung in der Bewegungsvorstellung – es liegt allen ein gemeinsames Korrelat zugrunde: der motorische Simulationsprozess. Entgegen der Befunde von Steggemann et al. (2011) sprechen jedoch unsere Ergebnisse dafür, dass die spezielle motorische Expertise eine geminderte Rolle spielt, da in unserem Design keine speziellen Rotationsexperten untersucht wurden, sondern Sportler ohne spezifischen Schwerpunkt (siehe Punkt 6.1.1). Demnach muss ein weiterer Aspekt berücksichtigt werden, der eine verstärkte motorische Repräsentation bewirken kann: das Stimulusmaterial. Diesbezüglich nehmen Sack et al. (2007) an, dass verschiedene Cues unterschiedliche Strategien zur Bearbeitung einer mentalen Rotationsaufgabe induzieren. Laut den Autoren ist es naheliegend, dass Bilder einer Hand oder eines Körpers

mit einer höheren Wahrscheinlichkeit den Gebrauch von motorischen Ressourcen in Anspruch nehmen als abstrakte Würfelfiguren. Diese Annahme findet seine Bestätigung in den Befunden von Amorim et al. (2006), die nachwiesen, dass die „Vermenschlichung“ von Shepard-Metzler-Würfelfiguren durch das Hinzufügen von menschlichen Köpfen die Performanz in einer objektbasierten Transformation im Vergleich zu der bei reinen Würfelfiguren verbesserte. Ähnliche Ergebnisse lieferten Jansen, Lehmann und van Doren (2012), die 20 Fußballspieler und Nicht-Sportler in einer objektbasierten mentalen Rotationsaufgabe verglichen. Das Stimulusmaterial setzte sich ebenfalls aus Würfelfiguren und verkörperten Würfelfiguren zusammen. Die Fußballspieler schnitten besser ab als die Kontrollgruppe, allerdings nur bei den verkörperten Stimuli.

Kosslyn et al. (1998) sehen den Performanzvorteil bei der Verwendung von körperähnlichem Stimulusmaterial darin begründet, dass die eigenen Körperachsen auf den Stimulus projiziert werden können, was dem Proband ermöglicht, verdeckte motorische Prozesse zu nutzen, um die dargestellte Körperposition zu simulieren. Obwohl diese Befunde den Eindruck erwecken, dass das Stimulusmaterial der erklärende Faktor ist, liegt allen genannten Erklärungsansätzen ein gemeinsamer Faktor zugrunde: die Beteiligung motorischer Prozesse. In Anbetracht der Tatsache, dass in unserer Untersuchung beide Transformationsarten aus verkörperten Stimuli bestanden, liegt der Schluss nahe, dass es zu einer verstärkten Stimulation motorischer Prozesse durch die Kombination Stimulusmaterial und motorischer Expertise (visuell, motorisch, Bewegungserfahrung) kam, von der vermutlich gerade die zu einem stärkeren Ausmaß verkörperte Transformation (egozentrisch) profitierte. Welcher Mechanismus nun maßgeblich einen verstärkten motorischen Simulationsprozess im Sinne einer perspektivischen Transformation bewirkt, sollte Schwerpunkt zukünftiger Fragestellungen in der Embodiment-Forschung sein.

Der Einfluss des eigenen Körperbilds auf objektbasierte und egozentrische Transformationen

Ein verstärkter Simulationsprozess wurde ebenfalls bei der Präsentation eigener Körperbilder im Vergleich zu der fremder Körperstimuli angenommen. Allerdings legten die Ergebnisse dieser Untersuchung einen Nachteil eigener Körperbilder in der objektbasierten Bedingung nahe, was mit den Befunden von Frassinetti et al. (2008) und unserer Hypothese 4 nicht konform geht. Als möglicher Erklärungsansatz könnte ange-

führt werden, dass die Präsentation eigener Körperbilder selbst-bezogene Gedanken aktiviert, die zu einer Konzentration auf das Selbst führen. Dieser Prozess nimmt wiederum Aufmerksamkeitsressourcen in Anspruch, die für die Bearbeitung der mentalen Rotationsaufgabe von Nöten wären.

Gemäß Gallagher (2005) umfasst das *Körperbild* Gedanken, Einstellungen und Wahrnehmungen über den eigenen Körper. Bezüglich dieser These gibt es empirische Befunde, die bestätigen, dass die Konfrontation mit dem Selbst im Spiegel Gedanken aktiviert, die mit der eigenen Person zusammenhängen (Froming, Walker, & Lopyan, 1982). Duval und Wicklung (1972) liefern dazu die theoretische Einbettung mittels ihrer „Theorie der objektiven Selbstaufmerksamkeit“, gemäß derer das menschliche Bewusstsein ein bidirektionales Konstrukt ist: Es kann entweder internal auf die eigene Person (das Selbst) gerichtet sein oder external auf Objekte aus der Umwelt. Sobald die Aufmerksamkeit internal fokussiert ist, wird das Selbst Objekt bewertender Prozesse. Diese Selbstaufmerksamkeit kann durch Erinnerungen an die eigene Person oder durch die Konfrontation mit dem Spiegelbild getriggert werden. Lieblich und Shaver (1973) setzten die Effekte von Selbstaufmerksamkeitsprozessen mit der Wirkung von Angst gleich, die beide durch ihren evaluativen Charakter kognitive Ressourcen in Anspruch nehmen und damit Aufmerksamkeitsprozesse einnehmen, die für bestimmte kognitive Operationen notwendig wären. In Bezug zur mentalen Rotation fanden Karadi, Kállai und Kovacs (2001) heraus, dass Aufmerksamkeit ein wichtiger Subprozess ist. Gemäß den Autoren erfordert die mentale Rotation die Manipulation visueller Repräsentationen, die vermutlich vielmehr einen kontrollierten, und weniger einen automatischen Prozess darstellt. Die für die Aufgabenbearbeitung benötigten Aufmerksamkeitsressourcen könnten von den Aufmerksamkeitsprozessen, die durch die Konfrontation mit dem eigenen Körper induziert werden, maßgeblich eingenommen werden.

Ein weiteres Ergebnis, das mit erhöhten Selbstaufmerksamkeitsprozessen in Verbindung gebracht werden könnte, ist die nachteilhafte Verarbeitung der Stimuli in Vorderansicht, im Sinne des „Vorderansichts-Nachteils“, der bei eigenen Körperbildern stärker ausgeprägt war als bei fremden Körperfiguren. Auch wenn es ein naheliegender Schluss ist, dass eigene Körperbilder selbst-bezogene Gedanken aktivieren und demzufolge Aufmerksamkeitsressourcen in Anspruch nehmen, ist bis dato ungeklärt, warum sich dieser Effekt rein bei objektbasierten Rotationen und nicht bei egozentri-

schen Transformationen zeigt. Es könnte höchstens gefolgert werden, dass egozentrische Transformationen oftmals mit geringeren Ansprüchen an das Arbeitsgedächtnis assoziiert sind (vgl. Zacks et al., 2002a) und tendenziell schneller verarbeitet werden, sodass die Einnahme von Aufmerksamkeitsressourcen weniger schwerwiegend ist. Ein Dual-Task-Design, in dem Leistungseinbußen von objektbasierter und egozentrischer Performanz verglichen werden, könnte hier aufschlussreich sein.

Interessanterweise verschwindet der Nachteil eigener Körperbilder bei egozentrischen Transformationen, was als indirekter „Vorteil des Selbst“ bei dieser Transformationsart angesehen werden könnte. Diese Interpretation würde wiederum übereinstimmen mit den Befunden von Ferri et al. (2011), die nachwiesen, dass der „Selbst-Vorteil“ auf implizite Wiedererkennung beschränkt war, bei welcher eine motorische Rotation der eigenen Körperteile durch eine Lateralitätsentscheidung induziert wurde. Zusätzlich fanden die Autoren heraus, dass keine motorische Simulation zur Bearbeitung einer expliziten Wiedererkennungsaufgabe erfordert wurde (reine Wiedererkennung ohne Perspektivenübernahme). Beide Befunde wurden als Hinweis dafür gesehen, dass das Selbst mit einer motorischen Repräsentation verknüpft ist. Aufgrund der Tatsache, dass egozentrische Transformationen an eine Lateralitätsentscheidung der Körperteile gekoppelt sind und damit eine motorische Simulation von Nöten ist, gehen wir davon aus, dass die implizite Wiedererkennungsaufgabe von Ferri et al. (2011) mit der egozentrischen Transformationsaufgabe unserer Untersuchung vergleichbar ist. Analog dazu kann die explizite Aufgabe mit unserer objektbasierten Bedingung gleichgesetzt werden. In Ersterer wurden die Probanden gebeten, zu beurteilen, ob die dargebotene Hand (um verschiedene Winkelgrade rotiert) ihre eigene oder die einer fremden Person darstellt. Auch wenn die gleich/gespiegelt-Entscheidung bei objektbasierten Transformationen auf dem Vergleich von zwei simultan präsentierten Stimuli basiert, erfordert die explizite Wiedererkennung auch einen indirekten Abgleich der mental repräsentierten und der in der Aufgabe dargestellten Hand. Darüber hinaus wird in der expliziten Wiedererkennung keine motorische Simulation angenommen, was eine weitere Parallele zur objektbasierten Transformation darstellt und damit unsere angenommene Analogie unterstreichen könnte. Die Befunde von Ferri et al. (2011), die zeigten, dass die visuomotorische Repräsentation des eigenen Körpers essentiell für den „Selbst-Vorteil“ ist, könnten wiederum erklären, warum sich der „Nachteil des Selbst“

auf objektbasierte Rotationen beschränkt hat, die keine motorische Simulationen erfordern. Allerdings sollte angemerkt werden, dass Ferri et al. (2011) Körperteile (Hände) als Stimulusmaterial verwendeten, während in unserer Studie der ganze Körper abgebildet wurde. Aus diesem Grund bleibt bis dato ungeklärt, ob das Ausmaß der Verkörperung egozentrischer Transformationen vom Stimulusmaterial abhängt (Körperteile vs. ganzer Körper). Gemäß der Befunde von Amorim et al. (2006) ist dieser Faktor zu berücksichtigen. Bisher wurden jedoch meist Körperbilder mit nicht-körperlichen Stimuli (wie beispielsweise Würfel) verglichen, eine Differenzierung innerhalb des verkörperten Stimulusmaterials wäre ein Ansatzpunkt für zukünftige Forschungsfragen. Darüber hinaus könnten diese Erkenntnisse in Hinblick auf die Auswirkung auf die egozentrische Transformationsart detaillierter untersucht werden.

Einschränkungen und Zusammenfassung

In Anbetracht der Tatsache, dass die Ergebnisse unserer Studie auf einen Leistungsvorteil von Sportlern hindeuten, der anders als die bisherige Literatur nicht an eine bestimmte Rotationsexpertise gekoppelt ist (Moreau et al., 2012; Steggemann et al., 2011), wäre eine Folgestudie hilfreich, die Rotationsexperten mit Sportlern ohne diese spezielle Expertise und Nicht-Sportlern vergleicht. Diese Manipulation könnte eventuell Aufschluss darüber liefern, zu welchem Ausmaß die motorische Expertise und das Stimulusmaterial jeweils zu Verkörperungseffekten beitragen.

Kritisch ist anzumerken, dass das Vorgehen, mittels eines Gruppeneffekts motorischer Expertise eine unterschiedlich starke Verkörperung objektbasierter und egozentrischer Transformationen nachzuweisen, eine indirekte Methode darstellt, beispielsweise im Vergleich zu einer Manipulation der Körperhaltung. Dieser Ansatz könnte für zukünftige Experimente sehr vielversprechend sein. Bezüglich des Einflusses des eigenen Körperbilds auf objektbasierte und egozentrische Transformationen legen bildgebende Untersuchungen nahe, dass die Körperfiguren nur bedingt mit Händen als Stimuli vergleichbar sind, da es im visuellen Kortex ein Areal gibt, das selektiv für die Verarbeitung von Körperfiguren zuständig ist („extrastriate body area“, vgl. Downing, Jiang, Schuman, & Kanwisher, 2001). Eine Differenzierung hinsichtlich körperlicher Stimuli wäre ebenfalls eine Fragestellung, die im Rahmen dieses Designs bereichernd sein könnte.

Da die Werte der FKKS unserer Studie auf ein verzerrtes Körperbild hindeuten, sollte diese Störvariable kontrolliert werden. Die in unserer Studie erhaltenen Werte (Sportler: $M = 232.8$ vs. Nicht-Sportler: $M = 230.5$) nähern sich den Werten von anorektischen Patienten ($M = 224.0$) an, wie sie in der Untersuchung von Ito (1988) nachgewiesen wurden. Während eine Schlussfolgerung, dass unsere beiden Stichproben nachweisliche Defizite im Körperbild aufweisen, die unter einem Wert von 256 gegeben sind (Deusinger, 1998), etwas vage ist, sollte in diesem Kontext die Rückmeldung der Teilnehmer in Betracht gezogen werden. Ein Großteil der Probanden gab an, die Items der FKKS als „befremdlich“ empfunden zu haben. Allerdings wurde dieser Faktor im Rahmen unserer Untersuchung nicht systematisch untersucht, was in weiterführenden Experimenten umgesetzt werden sollte. Darüber hinaus wäre die Hinzunahme eines weiteren oder die Verwendung eines anderen Verfahrens zur Erhebung des Körperbilds eine mögliche Konsequenz. Allerdings darf in Anbetracht dieser Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden, dass eine defizitäre Einschätzung des Körperbilds in unserer Untersuchung vorliegt. Longo und Haggard (2012) wiesen beispielsweise nach, dass selbst bei gesunden Individuen eine verzerrte Einschätzung der Körpermaße vorliegen kann. Allerdings hing die Verfälschung von dem verwendeten Messverfahren ab. Dabei werden laut den Autoren zwei grundlegende Verfahren unterschieden: darstellende und metrische. In der darstellenden Methode wird der Körper mit Bildern von Körperfiguren verglichen, während metrische Verfahren den Körper mit einem gewissen Standard vergleichen, beispielsweise soll die Länge eines Körperteils (z.B. Finger) mit der Länge einer Linie verglichen werden. Die Autoren wiesen ausschließlich für die metrische Methode verzerrte Einschätzungen der gesunden Population nach.

Zur Klärung der Fragestellung, ob und in welchem Ausmaß das Körperbild eine Rolle spielt, wäre die Abgrenzung zu einer klinischen Stichprobe, die nachweislich Defizite in der Körperwahrnehmung aufweist, äußerst aufschlussreich. Im Falle der Magersucht liegt eine verminderte Wahrnehmungsgenauigkeit vor, welche sich im klinisch-psychologischen Kontext als Überschätzung der eigenen Körperdimensionen äußert (Bell & Rushforth, 2008). In Anbetracht zahlreicher Studien, die nachweisen, dass bei Patienten mit Anorexia nervosa visuell-räumliche Defizite vorliegen (Fowler et al., 2006; Kingston, Szmukler, Andrewes, Tress, & Desmond, 1996; Tchanturia et al., 2004) und diese eine schlechtere Performanz in der egozentrischen Transformation als in der

Objektrotation aufweisen (Urgesi et al., 2011), wäre ein Vergleich dieser Stichprobe mit Sportlern und Nicht-Sportlern ein sehr interessantes Paradigma für die zukünftige Forschung.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Performanzvorteil von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern gerade in egozentrischen Transformationen vermutlich auf eine stärkere Beteiligung motorischer Prozesse zurückzuführen ist, der wiederum aus einem Zusammenspiel von Stimulusmaterial und motorischer Expertise resultiert. Es ist naheliegend, dass ein Simulationsprozess im Sinne einer perspektivischen Transformation von einer Stimulation motorischer Prozesse stärker profitiert als eine Objektrotation, die weniger verkörpert zu sein scheint. Die ursprüngliche Annahme, dass Sportler aufgrund eines besseren Körperbilds (Hausenblas & Downs, 2001) insbesondere in der egozentrischen Transformation besser abschneiden, konnte durch unsere Ergebnisse nicht gestützt werden, da sich die Sportler unserer Untersuchung nicht signifikant von den Nicht-Sportlern im Fragebogen zum Körperkonzept unterschieden. Ob dieses Ergebnis auf die Art der Operationalisierung des Körperkonzepts zurückzuführen ist, oder ob die Sportler unserer Untersuchung nicht den Sportler im klassischen Sinne wie den von Hausenblas und Downs (2001) repräsentiert haben, bleibt bis zu diesem Stand offen. Ein weiterer Erklärungsansatz könnte darin begründet sein, dass das durch die FKKS erhobene Körperkonzept nicht dem von Hausenblas und Downs (2001) erfassten Körperbild entspricht. Eine systematische Untersuchung mit Fokus auf die Differenzierung zwischen den einzelnen Begrifflichkeiten, wie sie von Joraschky et al. (2009) vorgenommen wurde, kann an dieser Stelle neuen Erkenntnisgewinn liefern. Eine Untersuchung, die darauf abzielt, herauszufinden, ob sich der Körperbezug kognitiv, perzeptiv und/oder emotional gesehen zwischen Sportlern und Nicht-Sportlern unterscheidet, wäre ein aufschlussreiches Design für nachfolgende Experimente.

7. Studie 3

Die Ergebnisse der zweiten Studie liefern Ausgangspunkt des dritten Experiments dieser Untersuchungsreihe, welches sich auf dasselbe Design stützt mit der Modifikation, dass die Embodiment-Effekte verstärkt werden sollten. Dazu wurden Stimuli in Lebensgröße verwendet, was bisher in der Forschung, zumindest nicht in Bezug auf den Embodiment-Ansatz untersucht wurde. Die Annahme, dass die Verwendung lebensgroßer Stimuli zu stärkeren Verkörperungseffekten führt, basiert auf einer vermuteten höheren ökologischen Validität, da lebensgroße Stimuli eher mit dem Spiegelbild assoziiert werden als 7x7 cm große, auf einem PC dargebotene Stimuli. Bisherige Studien, die sich mit dem Effekt der Größe der Stimuli auseinandergesetzt haben (Shwartz, 1979; Suzuki & Nakata, 1988), zogen Würfelfiguren oder Polygone als Stimulusmaterial heran und untersuchten rein objektbasierte Rotationen. Interessanterweise fand Shwartz (1979) heraus, dass die Versuchspersonen bei größeren Stimuli höhere Reaktionszeiten aufwiesen als bei den kleinen. Da bei Polygonen keine Verkörperungseffekte zu erwarten sind, stellt die Darstellung von Körperfiguren in Lebensgröße ein neuartiges Design dar. Darüber hinaus liegt die Motivation der Studie darin, dass mögliche Unterschiede in den Ergebnissen bedingt durch die Variation der Stimulusgröße weitreichende Fragestellungen aufwerfen lassen könnten, die beispielsweise an die Angewandte Psychologie gerichtet sind: Gesetzt den Fall, dass die Darbietung lebensgroßer Stimuli die Ergebnisse im Vergleich zu kleinen Stimuli verändert und dies die einzige Manipulation darstellt, welche Schlussfolgerungen lassen sich daraus für die ökologische Validität der bisher verwendeten kleinen Stimuli ableiten? Sind kleine Stimuli vielleicht zu abstrakt und artifiziell, um daraus Schlüsse für das reale Leben zu ziehen? Und noch viel weitreichender: Welche Bedeutung haben mögliche Unterschiede infolge dieser Manipulation für die ökologische Validität von Laborexperimenten allgemein, in denen bisher ausschließlich mit kleinen, am Computer präsentierten Stimuli gearbeitet wurde? All diese Fragestellungen haben dazu veranlasst, eine Spiegelmetapher zu konstruieren, um einen möglichst nahen Bezug zur Realität zu gewährleisten. Mit Hilfe dieser Manipulation können Erkenntnisse gewonnen werden, die Aufschluss darüber gewährleisten, ob es zu Verkörperungseffekten durch eine Veränderung der Stimulusgröße kommt, in welchem Ausmaß die mentale Rotation verkörpert ist und auf welche Transformationsart sich die potentielle Verkörperung durch das Stimulusmaterial stär-

ker auswirkt. Der Fokus auf die Differenzierung zwischen objektbasierten und egozentrischen Transformationen sowie die Verwendung körpereigener Bilder, die darüber hinaus in Lebensgröße präsentiert wurden, stellt ein neues Forschungsdesign dar. Folglich wurden die 8 Hypothesen der zweiten Untersuchung übernommen und um **Hypothese 9** erweitert, die postuliert, dass in Studie 3 stärkere Embodiment-Effekte auftreten müssten als in Studie 2. Basierend auf den Ergebnissen der zweiten Studie wurden folgende Hypothesen für den Vergleich der zweiten und dritten Studie aufgestellt:

Hypothese 9_a: Wir erwarten einen Gruppeneffekt insbesondere in der egozentrischen Bedingung, der in Studie 3 stärker ausgeprägt ist als in Studie 2, ausgedrückt in einer Interaktion „Gruppe*Studie“ in der egozentrischen Bedingung.

Hypothese 9_b: Durch eine angenommene bessere Transformationsfähigkeit von Sportlern sollte der bei Sportlern reduzierte „Vorderansichts-Nachteil“ in der egozentrischen Transformation aus Studie 2 nun in Studie 3 durch die stärkere Verkörperung noch weiter reduziert sein, ersichtlich in einer Dreifach-Interaktion „Ansicht*Gruppe*Studie“ in der egozentrischen Bedingung.

Hypothese 9_c: Der „Nachteil des Selbst“ in der objektbasierten Bedingung aus Studie 2 kann sich unter der Verwendung lebensgroßer Stimuli auf zwei Weisen entwickeln: 1) Der „Selbst-Nachteil“ verstärkt sich in Studie 3 infolge von erhöhten Selbstaufmerksamkeitsprozessen, und 2) Der „Selbst-Nachteil“ wird kompensiert oder schlägt in einen „Selbst-Vorteil“ um, je nachdem wie dominant die Aktivierung motorischer Prozesse durch lebensgroße Stimuli ist. Beide Annahmen sollten in einer Interaktion zwischen „Stimulus“ und „Studie“ in der objektbasierten Transformation erkennbar sein.

Hypothese 9_d: Basierend auf dem „Vorderansichts-Nachteil des Selbst“ bei Objektrotationen aus Studie 2 könnte analog zu der vorherigen Hypothese zwei Effekte eintreten: 1) Aufgrund von erhöhten Selbstaufmerksamkeitsprozessen verstärkt sich der „Vorderansichts-Nachteil des Selbst“ in Studie 3, oder 2) Die verstärkte Verkörperung durch lebensgroße Körperfiguren kompensiert diesen speziellen Nachteil, was durch eine Dreifach-Interaktion „Stimulus*Ansicht*Studie“ in der objektbasierten Bedingung deutlich werden würde.

Hypothese 9_e: Der Winkелеffekt, der sich in einer Abnahme der Rotationsperformanz bei ansteigender Winkeldisparität äußert, kann durch die angenommene stärkere Ver-

körperung in Studie 3 auf zwei Arten wirken: 1) Es kann zu einem Rotationsvorteil kommen, der zu einer Verbesserung der Rotationsperformanz führt, im Sinne eines weniger steilen Anstiegs der Regressionsgeraden in der dritten Studie im Vergleich zur zweiten Studie, oder 2) Es findet eine Erhöhung des Referenzrahmenkonflikts statt, die sich in einer Reduktion der Performanz niederschlägt und folglich zu einem stärkeren Anstieg der Regressionsgeraden in Studie 3 im Vergleich zu Studie 2 führt. Diese Annahmen sollten sich in einer Interaktion „Winkeldisparität*Studie“ niederschlagen.

Hypothese 9_f: Da sich eine erhöhte Verkörperung speziell auf die Sportler auswirken sollte, wird angenommen, dass sich dieser eben erwähnte Winkelleffekt bei Sportlern besonders deutlich auswirken müsste. Analog zu Hypothese 9_e werden zwei Wirkweisen postuliert: 1) Im Falle eines Rotationsvorteils sollte der Anstieg der Reaktionszeiten bei zunehmender Winkeldisparität bei Sportlern der dritten Studie weniger steil sein als in der zweiten Studie, da gerade hohe Winkeldisparitäten von diesem Rotationsvorteil profitieren sollten, oder 2) Erhöht sich der Referenzrahmenkonflikt, wird eine stärkere Zunahme der Reaktionszeiten bei größer werdenden Winkeldisparitäten für Sportler der Studie 3 im Vergleich zu Sportlern der Studie 2 erwartet. Dementsprechend sollte eine Dreifachinteraktion „Gruppe*Winkeldisparität*Studie“ gefunden werden.

Darüber hinaus dient das dritte Experiment dazu, die Interpretation zu überprüfen, dass mögliche Selbstaufmerksamkeitsprozesse zu einem „Selbst-Nachteil“ bei objektbasierten Transformationen führen. Zur Erfassung möglicher Selbstaufmerksamkeitsprozesse wurde eine zusätzliche Wiedererkennungsaufgabe durchgeführt. Durch die Verwendung eigener und fremder Körperbilder und entsprechender Differenzen sollte das Ausmaß der Ablenkung durch selbst-bezogene Stimuli erfasst werden. Es wurden zwei Hypothesen aufgestellt, welchen unterschiedliche theoretische Annahmen zugrunde liegen: 1) Ein „Vorteil des Selbst“ gemäß des Embodiment-Ansatzes und 2) Ein „Nachteil des Selbst“ infolge von Selbstaufmerksamkeitsprozessen. Es wurden zwei verschiedene Orientierungen (0° und 135°) gewählt. Längere Reaktionszeiten bei der Wiedererkennung eigener Körperbilder in der 0°-Bedingung würden für eine erhöhte Inanspruchnahme kognitiver Ressourcen aufgrund selbst-bezogener Gedanken sprechen. Dabei könnte es interessant sein, neben einer reinen Wiedererkennung in der aufrechten Position eine zusätzliche 135°-Bedingung einzuführen, allerdings ohne per-

spektivische Transformation, die beispielsweise durch eine links/rechts-Entscheidung induziert wird. Die 135°-Bedingung wurde hinzugezogen, zum einen um eine Orientierung zu schaffen, die keine Erfahrungseffekte birgt und zum anderen um den Referenzrahmenkonflikt zu untersuchen. Dieser Konflikt resultiert, wenn der eigene Referenzrahmen mit dem des Stimulus, in dessen Perspektive sich der Beobachter transformiert, nicht übereinstimmt (May & Wendt, 2012). Effekte, die den Referenzrahmenkonflikt stützen, sprechen für den Embodiment-Ansatz.

Vor dem Hintergrund dieser Annahmen leiteten sich für den „Vorteil des Selbst“ nach dem Embodiment-Ansatz folgende Hypothesen ab, welche chronologisch die 8 Hypothesen der ersten Studie und die neunte Hypothese der zweiten Studie weiterführten: Im Sinne der Verkörperung wird ein „Vorteil des Selbst“ angenommen, ausgedrückt in einem Haupteffekt zugunsten eigener Körperbilder im Vergleich zu fremden Körperbildern (**Hypothese 10_a**). Der „Vorteil des Selbst“ sollte stärker in der 0°-Bedingung ausgeprägt sein als in der 135°-Bedingung, da in ersterer kein Referenzrahmenkonflikt entsteht. Dementsprechend wird eine Interaktion zwischen dem Stimulus (selbst vs. andere) und der Orientierung (0°, 135°) erwartet (**Hypothese 10_b**).

In Anlehnung an die Interpretation der Selbstaufmerksamkeitsprozesse wird ein „Nachteil des Selbst“ in der Wiedererkennungsaufgabe postuliert, ausgedrückt in einem Haupteffekt, der sich in einer besseren Performanz zugunsten fremder Körperbilder äußert (**Hypothese 11_a**). Die Kosten sollten unabhängig vom Grad der Orientierung sein, da wir davon ausgingen, dass eine Wiedererkennung orientierungsunabhängig erfolgt. Diese Annahme basiert auf dem Phänomen der Symmetriegeneneralisierung, der Tendenz, Spiegelbilder und andere Orientierungen in derselben Kategorie wie das Original zugunsten einer verbesserten Wiedererkennungsleistung im Sinne der Objektkonstanz abzuspeichern (Lachmann, 2002). Der Autor unterstützte diese Annahme mit seinem Befund, dass Spiegelbilder ähnliche neuronale Muster aktivieren wie das aufrechte Original. Dementsprechend erwarten wir keine Interaktion zwischen Stimulus und Orientierung (**Hypothese 11_b**). Das Ausbleiben dieser Interaktion könnte als Hinweis für unsere Theorie der interferierenden Selbstaufmerksamkeitsprozesse angesehen werden.

7.1 Methode

7.1.1 Stichprobe

Es nahmen 73 Teilnehmer im Alter zwischen 19 und 32 Jahren an der Untersuchung teil, davon 38 Sportler (SP; *Mittleres Alter*: 21.89 Jahre; *SD* = 2.3) und 35 Nicht-Sportler (NSP; *Mittleres Alter*: 24.11 Jahre; *SD* = 3.4). Es handelte sich dabei um keine spezifischen Athleten. Die Sportarten, die von den Sportlern angegeben wurden, waren identisch zu denen, die in Studie 2 bereits in Punkt 6.1.1 dargestellt wurden. Sportarten, die von Studie 2 abwichen und in Studie 3 zusätzlich genannt wurden, waren: Triathlon, Kraftsport und Mountainbike fahren. Das Geschlechterverhältnis setzte sich aus 32 Männern und 41 Frauen zusammen. Die Versuchspersonen wurden zufällig zu den Stimulusbedingungen zugewiesen (eigene vs. fremde Körperbilder). Die Teilnahme erfolgte im Rahmen eines Seminars der Universität Regensburg. Die Voraussetzung war, dass kein Proband zuvor bereits einen mentalen Rotationstest durchgeführt hat.

7.1.2 Instrumente

Fragebogen zur Erhebung der demographischen Daten

Hier wurde der identische Fragebogen verwendet, der in der zweiten Studie herangezogen wurde.

Zahlenverbindungstest:

Wie in Studie 2 wurde die kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit durch den ZVT (Oswald & Roth, 1987) in Form eines Einzeltests erhoben.

Frankfurter Körperkonzeptskalen:

Analog zu der zweiten Studie wurde das Körperbild mittels der FKKS (Deusinger, 1998) erfasst.

Chronometrischer mentaler Rotationstest:

Der chronometrische mentale Rotationstest unterschied sich in lediglich einem Aspekt von der Studie 2: in der Stimulusgröße. Die genaue Beschreibung des cMRT erfolgt in Punkt 6.1.2 dieser Arbeit. Anders als bei der zweiten Untersuchung wurden die Körperbilder der Probanden mittels eines Projektors in annähernder Lebensgröße (ca. 150 cm) auf eine Wand vergrößert wiedergegeben und die Probanden saßen in einem Abstand von 3 m von der Wand entfernt, leicht angelehnt an einen Barhocker, um bei

einer Testdauer von 35 Minuten die Zumutbarkeit zu gewährleisten. Es wurde darauf geachtet, dass im Sinne des Embodiment-Ansatzes der Eindruck eines Spiegelbildes erzeugt wurde, um Verkörperungseffekte zu induzieren. Aufgrund dessen sollten die Probanden den Test nicht sitzend bearbeiten. Die Antwortreaktion erfolgte via Mausklick am Oberschenkel des Probanden über eine funkgesteuerte Maus, die Tastenkombinationen entsprachen denen aus der zweiten Studie (linke Maustaste = gleich/links; rechte Maustaste = gespiegelt/rechts), dargestellt in Abbildung 13.

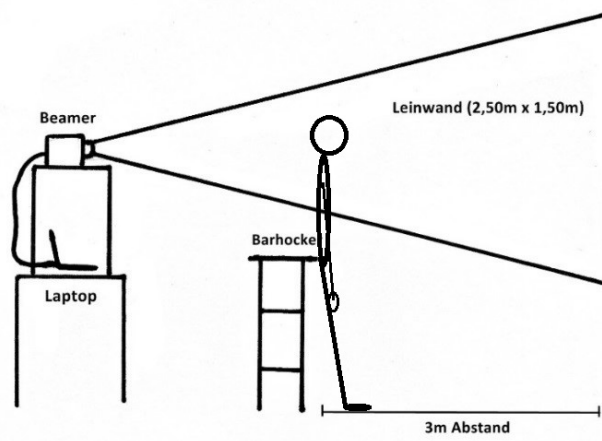


Abbildung 13: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus der Studie 3.

Wiedererkennungsaufgabe:

Die Körperbilder der Versuchspersonen sowie die fremder Personen wurden ebenfalls in Lebensgröße an die Wand projiziert. Eine lebensgroße Darstellung ähnlich einem Spiegelbild wurde gewählt, da dadurch sowohl Embodiment-Effekte als auch Selbstaufmerksamkeitsprozesse verstärkt werden sollten. Die Körperbilder wurden in zwei Orientierungen (0° und 135°) dargeboten. Die 135° -Bedingung wurde aus zwei Gründen gewählt: 1) Um eine Orientierung zu schaffen, die keine Erfahrungseffekte birgt (vgl. Steggemann et al., 2011, Moreau et al., 2012) und 2) Um den Referenzrahmenkonflikt (May & Wendt, 2012) zu untersuchen, der gegebenenfalls zur Bestätigung des Embodiment-Ansatzes dient. Bei dieser Aufgabe wurde lediglich ein Stimulus dargeboten, wobei das Stimulusmaterial aus der mentalen Rotationsaufgabe verwendet wurde, allerdings ohne eine links/rechts-Entscheidung von den Probanden einzufordern, sondern lediglich anzugeben, ob die Teilnehmer sich selbst erkannten oder eine fremde Person sahen. Es resultierte eine Gesamtzahl von 48 Trials, die sich wie folgt zusammensetzte: $2 \times \text{Entscheidungsarten (selbst vs. andere)} \times 3 \times \text{Winkeldisparität } (0^\circ, 135^\circ, -$

135°) x 4*Anzahl der Stimuli pro Block (Vorder- vs. Rückansicht x linker vs. rechter Arm) x 2*Wiederholungen. Die Reihenfolge der Präsentation der Stimuli war randomisiert. Das Programm entstammte der Software „Presentation“ (Neurobehavioral Systems).

7.1.3 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung ist identisch zu dem Prozedere der Studie 2 (siehe Punkt 6.1.3) mit der Variation, dass im Anschluss an den chronometrischen mentalen Rotationstest zusätzlich eine Wiedererkennungsaufgabe durchgeführt wurde. Um Priming-Effekte der Wiedererkennung auf die mentale Rotationsaufgabe ausschließen zu können, wurde diese Aufgabe bewusst im Anschluss erhoben. Eine mögliche Tendenz ausgehend von dem cMRT ist ebenfalls nicht auszuschließen und bedarf zur Klärung weiterer Folgeexperimente, in denen gezielt diese Fragestellung zum Schwerpunkt gemacht wird. Da der Fokus allerdings auf der mentalen Rotationsfähigkeit lag, war die oben genannte Reihenfolge erforderlich.

7.1.4 Statistische Analyse

Fragebogen zur Erhebung der demographischen Daten:

Es wurde eine multivariate Varianzanalyse mit dem abhängigen Variablen „Sportverhalten“ (Anzahl der Sporteinheiten pro Woche) und „Alter“ gerechnet. Der Faktor „Gruppe“ (Sportler/Nicht-Sportler) diente als unabhängige Variable.

Zahlenverbindungstest:

Für jede Versuchsperson wurde die Leistung der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit (Oswald & Roth, 1987) gemittelt und anhand einer Normtabelle ein entsprechender IQ-Wert ermittelt. Anschließend wurde eine univariate Varianzanalyse mit der „Leistung im ZVT“ als abhängige Variable und „Gruppe“ (Sportler/Nicht-Sportler) als unabhängige Variable durchgeführt.

Frankfurter Körperkonzeptskalen:

Es wurde eine univariate Varianzanalyse mit dem abhängigen Faktor „Gesamtwert der FKKS“ und der unabhängigen Variablen „Gruppe“ (Sportler/Nicht-Sportler) berechnet.

Chronometrischer mentaler Rotationstest:

Basierend auf der bedingten Vergleichbarkeit objektbasierter und egozentrischer Transformationen, die bereits in Punkt 6.1.4 detaillierter erläutert wurde, erfolgte analog zu Studie 2 zu Beginn eine statistische Analyse zum Vergleich der beiden Transformationsarten, um eine nachfolgende getrennte Auswertung zu rechtfertigen. Dazu wurde eine multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung mit der „Reaktionszeit“ und „Trefferquote“ als abhängige Variablen gerechnet. Die Innersubjektfaktoren waren die „Winkeldisparität“ (0°, 45°, 90°, 135°, 180°) und die „Transformationsart“ (objektbasiert, egozentrisch). Auch wenn hinsichtlich der Trefferquote keine Unterschiede in der Transformationsart zu verzeichnen waren, $F(1,72) = 2.09$, $p = .153$, $\eta_p^2 = .03$, zeigte die Analyse der Reaktionszeiten, dass sich die objektbasierte Bedingung ($M = 1216.2\text{ms}$, $SD = 34.2$) signifikant von der egozentrischen ($M = 1018.1\text{ms}$, $SD = 26.5$) unterscheidet, $F(1,72) = 39.84$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .36$, und lieferte damit die Grundlage für eine getrennte Berechnung dieser beiden Transformationsarten.

Dementsprechend wurden zur Überprüfung der Hypothesen 1-8 zwei getrennte Varianzanalysen (objektbasiert, egozentrisch) mit Messwiederholung durchgeführt, wobei „Reaktionszeit“ und „Trefferquote“ als abhängige Variablen dienten. Folgende Faktoren bildeten die Innersubjektfaktoren: die „Winkeldisparität“ (0°, 45°, 90°, 135°, 180°), der „Stimulus“ (selbst vs. andere) und die „Ansicht“ (Vorder- vs. Rückansicht). Als Zwischensubjektfaktor fungierte die „Gruppe“ (Sportler vs. Nicht-Sportler). Eine zusätzliche Berechnung einzelner Effektstärken (*Cohen's d*) für die Haupteffekte „Gruppe“ (Hypothese 1), „Stimulus“ (Hypothese 5) und „Winkeldisparität“ (Hypothese 7) diente dazu, um eine angenommene stärkere Verkörperung bei egozentrischen Transformationen im Vergleich zu Objektrotationen ($H_{1,5}$) zu überprüfen, sowie einen stärkeren Winkeleffekt von objektbasierten Rotationen im Vergleich zu egozentrischen (H_7). Hierbei wurde die Methode von Thalheimer und Cook (2002) verwendet. Der statistische Vergleich der Effektstärken erfolgte analog zur Studie 2 mittels des Vorgehens nach Hedges und Olkin (1985).

Im Anschluss wurde die Hypothese 9 untersucht, indem eine zusätzliche multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung gerechnet wurde, wobei „Reaktionszeit“ und „Trefferquote“ als abhängige Variablen fungierten. Die Innersubjektfaktoren waren die „Winkeldisparität“ (0°, 45°, 90°, 135°, 180°), der „Stimulus“ (selbst vs. andere) und

die „Ansicht“ (Vorder- vs. Rückansicht), während die „Gruppe“ (Sportler vs. Nicht-Sportler) sowie die „Studie“ (2 vs. 3) als Zwischensubjektfaktoren verwendet wurden. Aufgrund des Umfangs und der Komplexität der Ergebnisse zu den Hypothesen 1-9 wurden kurze Zusammenfassungen der Hauptergebnisse in den Ergebnisteil eingefügt, um eine bessere Verständlichkeit zu erzielen.

Zuletzt wurden mittels der Wiedererkennungsaufgabe Hypothese 10 und 11 überprüft und anhand zwei univariater Varianzanalysen mit Messwiederholung, wobei „Gruppe“ als Zwischensubjektfaktor und „Winkeldisparität“ (0°, 135°) sowie „Stimulus“ (selbst vs. andere) als Innersubjektfaktoren verwendet wurden, statistisch ausgewertet. Als abhängige Variablen dienten dabei die „Reaktionszeit“ und die „Trefferquote“.

7.2 Ergebnisse

Fragebogen zur Erhebung der demographischen Daten:

Bezüglich der Anzahl der wöchentlichen Sporeinheiten wies die Experimentalgruppe signifikant mehr Einheiten auf als die Kontrollgruppe ($M_{SP} = 3.86$ Einheiten/Woche, $SD_{NSP} = .23$ vs. $M_{NSP} = 1.06$ Einheiten/Woche, $SD_{NSP} = 0.24$), $F(1,72) = 34.96$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .50$. Hinsichtlich des Alters sind Sportler jünger ($M = 21.92$ Jahre; $SD = .48$) als die Nicht-Sportler ($M = 24.21$ Jahre; $SD = .49$), $F(1,72) = 6.16$, $p = .012$, $\eta_p^2 = .15$. Neurologische und psychiatrische Beeinträchtigungen sowie Hör-oder Sehschwierigkeiten konnten einheitlich ausgeschlossen werden.

Zahlenverbindungstest:

Die Ergebnisse des ZVT legten nahe, dass sich beide Gruppen bezüglich der IQ-Werte nicht signifikant unterschieden, ($M_{SP} = 118.10$, $SD_{SP} = 2.80$; $M_{NSP} = 110.00$, $SD_{NSP} = 2.88$), $F(1,72) = 2.87$, $p = .064$, $\eta_p^2 = .04$.

Frankfurter Körperkonzeptskalen:

Hinsichtlich des Körperkonzepts wiesen die Sportler ($M = 220.5$, $SD = 2.1$) signifikant niedrigere Werte als die Nicht-Sportler auf ($M = 234.2$, $SD = 2.2$), $F(1,72) = 10.22$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .12$.

*Chronometrischer mentaler Rotationstest: Hypothesen 1-8**Objektbasierte Transformationen: Reaktionszeit*

Hinsichtlich der Reaktionszeit (RT) ergab die Varianzanalyse mit Messwiederholung vier signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Ansicht“, $F(1, 71) = 5.19, p = .026, \eta_p^2 = .07$, „Gruppe“, $F(1, 71) = 15.89, p < .001, \eta_p^2 = .18$, „Winkeldisparität“, $F(4, 284) = 266.92, p < .001, \eta_p^2 = .79$, und „Stimulus“, $F(1, 71) = 12.59, p = .001, \eta_p^2 = .15$. Der erste Haupteffekt äußerte sich darin, dass die mittleren Reaktionszeiten für die Frontansicht ($M = 1238.3\text{ms}, SD = 33.1$) höher waren als für die Rückansicht ($M = 1204.3\text{ms}, SD = 31.0$), was den Nachteil der Vorderansicht, der in Hypothese 2 postuliert wurde, bestätigt. Bezüglich des Haupteffekts „Gruppe“ wurde nachgewiesen, dass die Sportler ($M = 1096.9\text{ms}, SD = 43.2$) niedrigere Reaktionszeiten aufwiesen als die Nicht-Sportler ($M = 1345.6\text{ms}, SD = 44.9$). Bezüglich des Haupteffekts „Winkeldisparität“ zeigten post hoc Tests mit paarweisen Mittelwertvergleichen höhere Reaktionszeiten für jede nachfolgende Winkeldisparität ($p < .001$), was Hypothese 6 untermauert. Der Haupteffekt für den Faktor „Stimulus“ zeigte, dass die Probanden länger brauchten, um eigene Körperfiguren zu bearbeiten ($M = 1264.3\text{ms}, SD = 35.5$) als fremde Körperbilder ($M = 1178.3\text{ms}, SD = 31.3$), vgl. Tabelle 5. Dieser Vorteil zugunsten fremder Körperbilder ist das Gegenteil von dem „Selbst-Vorteil“, der in Hypothese 4 angenommen wurde.

Zudem ergaben sich drei signifikante Interaktionen:

1) Die „Gruppe*Winkeldisparität“-Interaktion erwies sich als signifikant, $F(4, 284) = 2.59, p = .037, \eta_p^2 = .04$. Post hoc Tests zeigten, dass der Anstieg der Regressionsgeraden signifikant steiler bei Nicht-Sportlern im Vergleich zu Sportlern verlief, ausgedrückt in höheren Differenzwerten zwischen den Winkeldisparitäten 0° und 180° bei Nicht-Sportlern ($M_{\text{Diff}} = 874.9\text{ms}, SD = 64.5$) als bei Sportlern ($M_{\text{Diff}} = 707.8\text{ms}, SD = 52.3$), $t(72) = -2.03, p = .046$.

2) Die Interaktion zwischen den Faktoren „Stimulus“ und „Ansicht“ erreichte Signifikanz auf dem .05-Niveau, $F(1, 71) = 2.72, p = .043, \eta_p^2 = .03$ und ist in Abbildung 14 dargestellt. Post hoc Tests ergaben, dass speziell bei fremden Körperbildern die Rückansicht signifikant schneller verarbeitet wurde als die Vorderansicht, $t(72) = 3.34, p = .001$, während sich bei eigenen Körperfiguren kein Unterschied zwischen Vorder- und Rückansicht einstellte, $t(72) = .27, p = .79$.

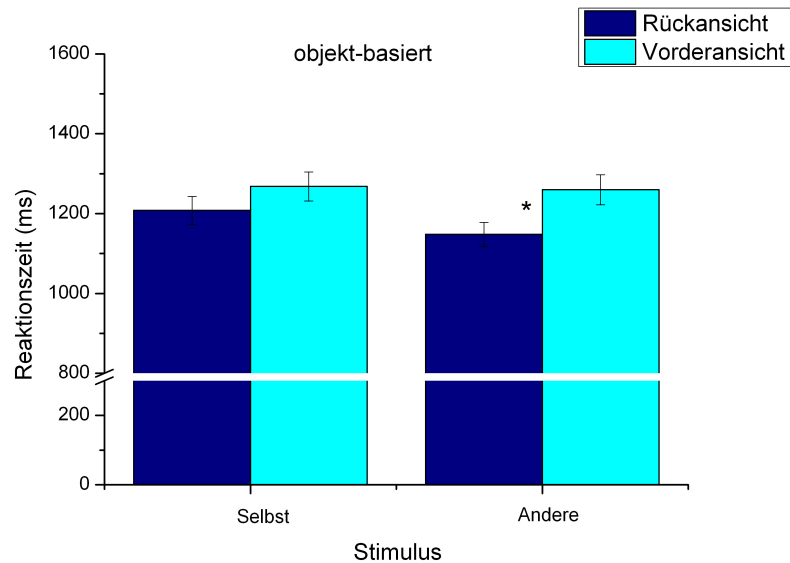


Abbildung 14: Mittlere Reaktionszeiten für die objektbasierte Bedingung in Abhängigkeit von „Stimulus“ und „Ansicht“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

3) Die Interaktion zwischen „Stimulus“ und „Winkeldisparität“ war signifikant, $F(4, 284) = 8.01$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .10$, dargestellt in Abbildung 15. Post hoc Tests zufolge war der Anstieg zwischen 0° und 180° bei eigenen Körperstimuli signifikant steiler als bei fremden Körperfiguren, $t(72) = -3.54$, $p = .001$, wobei dabei gerade der Unterschied zwischen 135° und 180° entscheidend ist, der bei eigenen Körperbildern signifikant größer ($M_{Diff} = 882.3\text{ms}$, $SD = 58.9$) war als bei fremden Körpern ($M_{Diff} = 693.6\text{ms}$, $SD = 38.5$), $t(72) = -3.06$, $p = .003$. Eine schlechtere Rotationsleistung bei eigenen Körperbildern in hohen Winkeldisparitäten widerspricht dem generell angenommenen „Selbst-Vorteil“ von Hypothese 4.

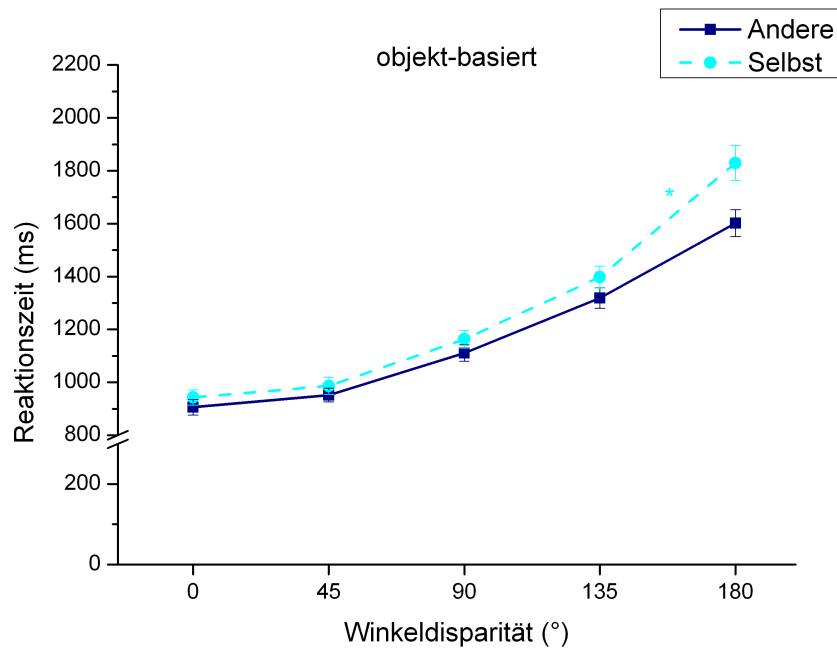


Abbildung 15: Mittlere Reaktionszeiten für die objektbasierte Bedingung in Abhängigkeit von „Stimulus“ und „Winkeldisparität“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Zusammenfassung der Hauptidegebnisse: Es zeigte sich in den RTs der objektbasierten Bedingung ein Vorteil von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern, ein „Vorderansichts-Nachteil“ sowie eine nachteilige Verarbeitung des eigenen Körperbilds.

Egozentrische Transformationen: Reaktionszeit

Hinsichtlich der Reaktionszeit ergab die Varianzanalyse mit Messwiederholung drei signifikante Haupteffekte für folgende Faktoren: „Ansicht“, $F(1, 71) = 174.84, p < .001, \eta_p^2 = .71$, „Gruppe“, $F(1, 71) = 3.88, p = .053, \eta_p^2 = .05$, und „Winkeldisparität“, $F(4, 284) = 176.06, p < .001, \eta_p^2 = .71$, siehe Tabelle 5. Im Gegensatz zu Objektrotationen wurde der Haupteffekt für den Faktor „Stimulus“ nicht signifikant, $F(1, 71) = 1.56, p = .215, \eta_p^2 = .02$. Die Effektstärke unterschied sich zwischen den beiden Transformationsarten nicht (vgl. Tabelle 6). Diese Ergebnisse widersprechen dem insbesondere in egozentrischen Transformationen ausgeprägten „Selbst-Vorteil“ von Hypothese 5. Der Haupteffekt „Ansicht“ zeigte, dass die Probanden höhere Reaktionszeiten aufwiesen, wenn die Vorderseite der Körperfigur präsentiert wurde ($M = 1122.4\text{ms}, SD = 31.9$) als bei der Rückansicht ($M = 917.9\text{ms}, SD = 21.2$). Dieses Muster bestätigt den „Vorderan-

sichts-Nachteil“, der bereits bei objektbasierten Transformationen gefunden und gemäß Hypothese 2 angenommen wurde. Der Haupteffekt des Faktors „Gruppe“ zeigte, dass die Sportler ($M = 969.1\text{ms}$, $SD = 35.9$) egozentrische Transformationen schneller bearbeiteten als Nicht-Sportler ($M = 1071.3\text{ms}$, $SD = 37.5$). Allerdings war die entsprechende Effektstärke in der egozentrischen Bedingung nicht statistisch größer als die in der objektbasierten Bedingung, so wie es in der zweiten Teilannahme der Hypothese 1 angenommen wurde (vgl. Tabelle 6). Dennoch gehen diese Ergebnisse mit der ersten Teilannahme der Hypothese 1 konform, die einen Performanzvorteil von Sportlern in der egozentrischen Bedingung postuliert.

Tabelle 5

Haupteffekte für die Faktoren „Gruppe“, „Ansicht“ und „Stimulus“ für objektbasierte und egozentrische Transformationen der Studie 3 (Mittlere Reaktionszeiten und Standardfehler).

		Transformation			
Haupteffekt		objektbasiert		egozentrisch	
Gruppe	Sportler	1096.9ms (43.2)	**	969.1ms (35.9)	*
	Nicht-Sportler	1345.6ms (44.9)		1071.3ms (37.5)	
Ansicht	Vorderansicht	1238.3ms (33.1)	**	1122.4ms (31.9)	**
	Rückansicht	1204.3ms (31.0)		917.9ms (21.2)	
Stimulus	Andere	1178.3ms (31.3)	**	1031.6ms (28.6)	n.s.
	Selbst	1264.3ms (35.5)		1008.8ms (26.1)	
*= $p < .05$; **= $p < .001$; n.s. = nicht signifikant auf dem .05 Level					

Hinsichtlich des Haupteffekts „Winkeldisparität“ konnte mittels post hoc Tests nachgewiesen werden, dass die Reaktionszeiten zwischen den nachfolgenden Winkeldisparitäten signifikant zunahmen ($p < .05$), wobei als Ausnahme eine Abnahme zwischen der 0°- und der 45°-Bedingung zu verzeichnen war, $t(72) = -2.58$, $p = .012$, siehe Abbildung 16. Folglich resultierte ein U-förmiger Verlauf in der egozentrischen Transforma-

tion, während die Reaktionszeiten in der objektbasierten Bedingung bei wachsender Winkeldifferenz kontinuierlich anstiegen. Die Effektstärke für den Faktor „Winkel“ unterschied sich in den beiden Transformationsarten nicht, wie in Tabelle 6 ersichtlich wird. Demnach kann die Teilannahme der Hypothese 7, die postuliert, dass sich der Vorteil kleiner Winkeldisparitäten eher in der objektbasierten Bedingung äußert, mittels dieser Ergebnisse als bestätigt angesehen werden, nicht jedoch die Teilannahme, dass dieser Effekt stärker in der objektbasierten als in der egozentrischen Transformation ausgeprägt ist. Alle anderen Effekte erwiesen sich als nicht signifikant.

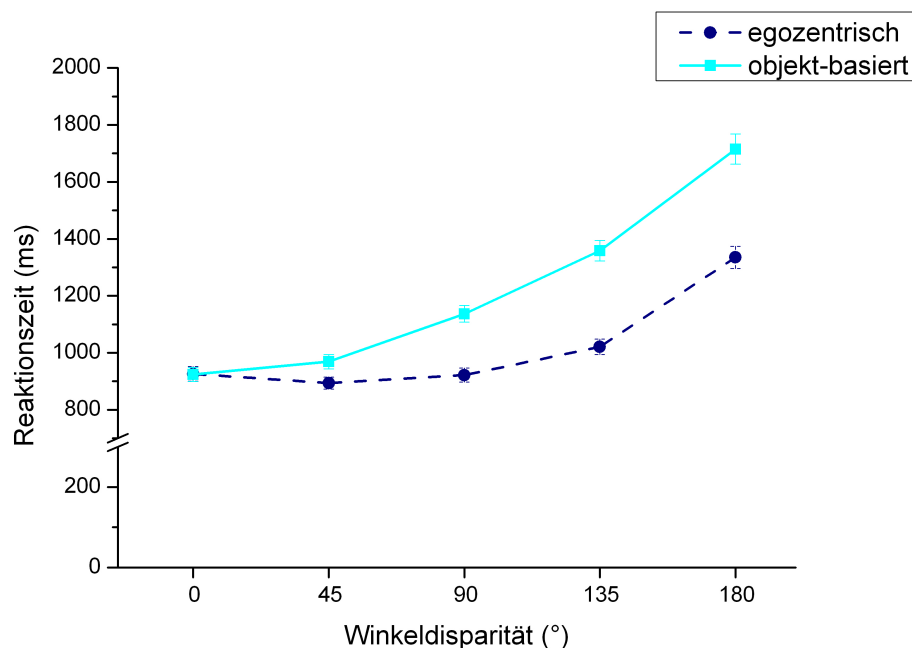


Abbildung 16: Mittlere Reaktionszeiten für die einzelnen Winkeldisparitäten in der objektbasierten und egozentrischen Bedingung. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Darüber hinaus ergaben sich zwei signifikante Interaktionen:

1) Zwischen den Faktoren „Stimulus“ und „Ansicht“ konnte eine Interaktion festgestellt werden, $F(1, 71) = 7.50$, $p = .008$, $\eta_p^2 = .09$, siehe Abbildung 17. Post hoc Tests zeigten, dass sich in der Rückansicht ein signifikanter Unterschied zwischen eigenen und fremden Körperbildern einstellte, $t(72) = 2.98$, $p = .004$, zugunsten der Verarbeitung eigener Körperfiguren ($M = 890.7\text{ms}$, $SD = 20.5$) im Vergleich zu fremden ($M = 941.4\text{ms}$, $SD = 25.9$), wobei sich in der Frontansicht kein „Vorteil des Selbst“ abzeichnete, $t(72) = -.19$, $p = .854$. Dieses Ergebnis spricht in gewissen Maßen für den „Selbst-Vorteil“, der in Hypothese 4 angenommen wurde, auch wenn er sich auf die Rückansicht beschränkt.

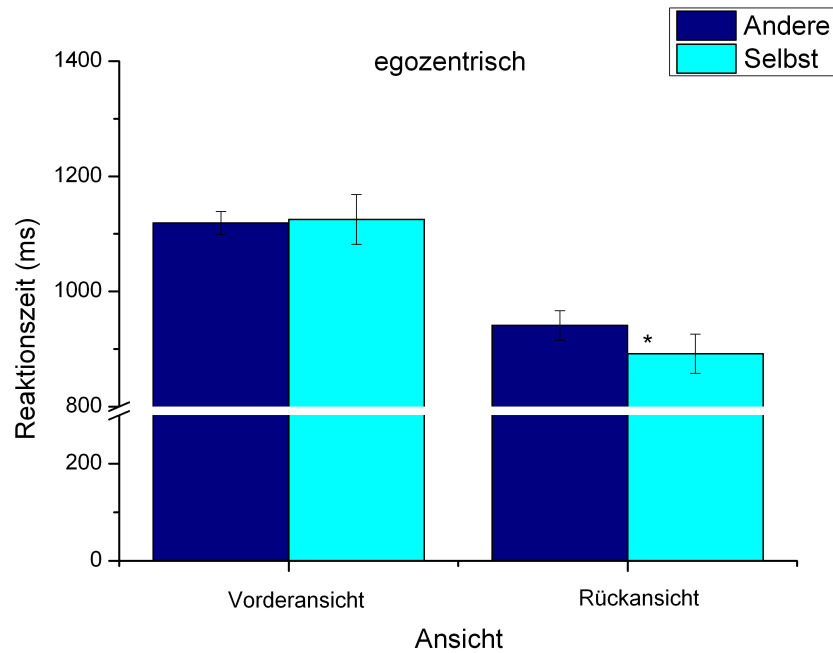


Abbildung 17: Mittlere Reaktionszeiten für die egozentrische Bedingung in Abhängigkeit von „Stimulus“ und „Ansicht“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

2) Die Interaktion zwischen den Faktoren „Ansicht“ und „Winkeldisparität“ erwies sich als signifikant, $F(4, 284) = 69.92$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .50$, und ist in Abbildung 18 dargestellt. Die Interaktion äußerte sich gemäß post hoc Tests darin, dass die Performanzreduktion bei ansteigender Winkeldisparität stärker für die Rückansicht ausgeprägt war als für die Vorderansicht, was sich anhand einer stärkeren Differenz zwischen 0° und 180° in der Rückansicht ($M_{Diff} = 675.5\text{ms}$, $SD = 43.9$) als in der Vorderansicht ($M_{Diff} = 141.3\text{ms}$, $SD = 33.3$) ausdrückte, $t(72) = -18.34$, $p < .001$. Dieser stärkere Anstieg ist darauf zurückzuführen, dass in der Vorderansicht die Reaktionszeiten zwischen 0° und 45° signifikant abfielen, $t(72) = 3.55$, $p = .001$, und sich zwischen 45° und 90° nicht unterschieden, $t(72) = .85$, $p = .39$, während in der Rückansicht sich lediglich die Bedingungen 0° und 45° nicht signifikant unterschieden, $t(72) = -1.89$, $p = .062$, und ab 45° ein kontinuierlicher Anstieg zu verzeichnen war ($p < .001$), der in der Vorderansicht erst ab 90° zu beobachten war ($p < .001$). Aus diesen Ergebnissen resultiert eine kontinuierliche Performanzreduktion bei zunehmender Winkeldisparität speziell bei der Rückansicht, wie es gemäß Hypothese 8 für egozentrische Transformationen erwartet wurde. Alle anderen Effekte erzielten keine Signifikanz auf dem 0.5-Niveau.

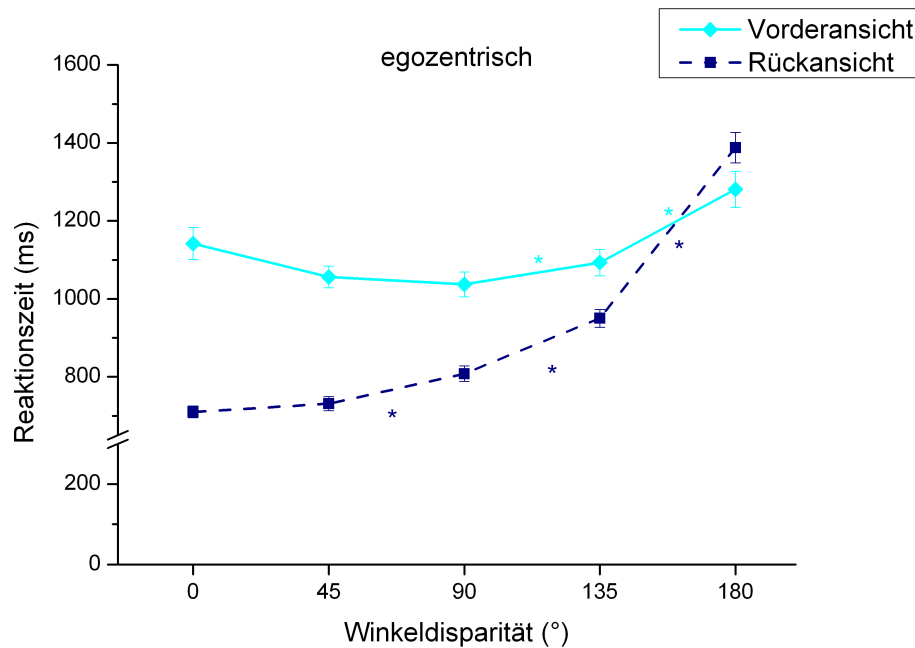


Abbildung 18: Mittlere Reaktionszeiten für die egozentrische Bedingung in Abhängigkeit von „Ansicht“ und „Winkeldisparität“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Zusammenfassung der Hauptidegebnisse: Die RT-Ergebnisse der egozentrischen Bedingung legten einen Performanzvorteil von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern sowie einen „Vorderansichts-Nachteil“ nahe. Zudem zeigte sich eine vorteilhafte Verarbeitung eigener Körperbilder in der Rückansicht.

Chronometrischer mentaler Rotationstest: Hypothesen 1-8

Objektbasierte Transformationen: Trefferquote

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich der Trefferquote ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor „Gruppe“, $F(1,51) = 6.48$, $p = .014$, $\eta_p^2 = .11$, und einen für den Faktor „Winkeldisparität“, $F(4,204) = 4.38$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .08$. Der Haupteffekt für den Faktor „Stimulus“ erzielte keine Signifikanz auf dem .05-Niveau, $F(1, 51) = 2.81$, $p = .099$, $\eta_p^2 = .05$. Der Gruppeneffekt äußerte sich in einer höheren Trefferquote von Sportlern ($M = 92.3\%$, $SD = 3.1$) im Vergleich zu Nicht-Sportlern ($M = 80.5\%$, $SD = 3.5$). Post hoc Tests bezüglich des Haupteffekts „Winkeldisparität“ zeigten, dass sich ein signifikanter Abfall der Genauigkeit zwischen den Winkeldisparitäten von 135° und 180° einstellte, $t(72) = 2.06$, $p = .043$. Zwischen den anderen aufeinander folgenden Winkeldisparitäten ergab sich kein signifikanter Abfall in der Trefferquote ($p > .05$).

Demzufolge bestätigen diese Befunde den Nachteil größerer Winkeldisparitäten, der in Hypothese 6 postuliert wurde.

Zudem ergaben sich zwei signifikante Interaktionen:

1) Zwischen den Faktoren „Ansicht“ und „Winkeldisparität“ konnte eine Interaktion festgestellt werden, $F(4, 204) = 3.28, p = .012, \eta_p^2 = .06$, die in Abbildung 19 dargestellt ist. Diese drückte sich post hoc Tests zufolge derart aus, dass sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den nachfolgenden Winkeldisparitäten sowohl für Vorder- als auch für Rückansicht abzeichneten, bis auf den Unterschied zwischen 135° und 180° in der Vorderansicht, $t(72) = 2.78, p = .007$, der sich in einem signifikanten Anstieg der Genauigkeit äußerte. Darüber hinaus legten weitere post hoc Tests nahe, dass kein signifikanter Unterschied in der Abnahme zwischen 0° und 180° zwischen Vorder- und Rückansicht bestand, $t(72) = .52, p = .61$, sodass beide Verläufe mit dem Abfall konform gehen, der sowohl für die Vorder- als auch für die Rückansicht in Objektrotationen gemäß Hypothese 8 angenommen wurde. Trefferquoten-Anstiege, die in der Rückansicht zwischen 90° und 135° ($p > .05$) zu vermerken sind, ebenso wie der signifikante Anstieg in der Vorderansicht zwischen 135° und 180° ($p < .05$) widerlegen Hypothese 8 nicht.

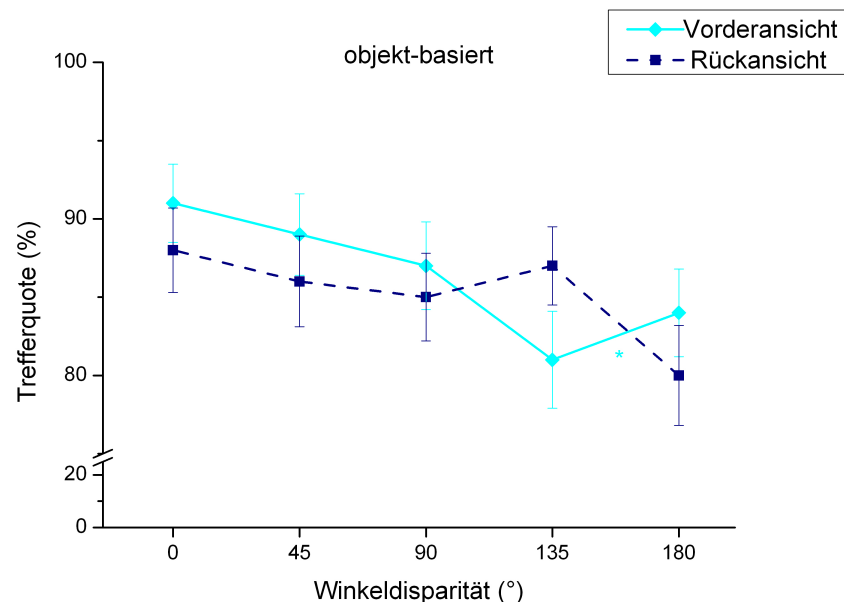


Abbildung 19: Mittlere Trefferquote für die objektbasierte Bedingung in Abhängigkeit von „Ansicht“ und „Winkeldisparität“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

2) Die „Stimulus*Gruppe“-Interaktion erwies sich als signifikant, $F(1, 51) = 3.28$, $p = .012$, $\eta_p^2 = .06$, siehe Abbildung 20. Post hoc Tests legten nahe, dass Sportler ($M = 93.7\%$, $SD = 1.0$) eine signifikant höhere Trefferquote als Nicht-Sportler ($M = 81.8\%$, $SD = 4.1$) erzielten, allerdings nur bei körpereigenen Stimuli, $t(71) = 2.89$, $p = .005$, und nicht bei fremden, $t(71) = 1.54$, $p = .127$. Alle anderen Effekte erwiesen sich als nicht signifikant. Somit können die Hypothesen 2, 3, 4 und 5 mittels der Daten zur Genauigkeit nicht bekräftigt werden.

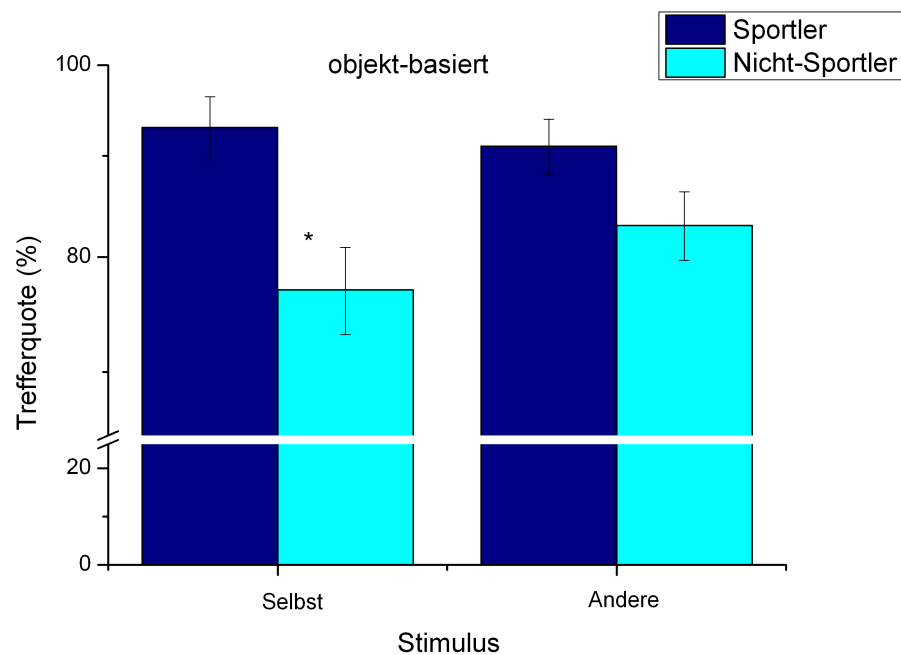


Abbildung 20: Mittlere Trefferquote für die objektbasierte Bedingung in Abhängigkeit von „Stimulus“ und „Gruppe“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Zusammenfassung der Hauptegebnisse: Die TQ-Ergebnisse der objektbasierten Transformationen zeigten einen Performanzvorteil von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern, der sich darüber hinaus insbesondere bei selbst-bezogenen Stimuli äußerte.

Egozentrische Transformationen: Trefferquote

Entsprechend der Varianzanalyse mit Messwiederholung ergaben sich zwei signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Ansicht“, $F(1, 71) = 11.20$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .14$, und „Winkeldisparität“, $F(4, 284) = 11.49$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .14$. Im Gegensatz zu den objektbasierten Rotationen erwies sich der Haupteffekt für den Faktor „Gruppe“ als nicht signifi-

kant, $F(1, 71) = 1.51$, $p = .224$, $\eta_p^2 = .02$, entgegen der ersten Teilannahme der Hypothese 1. Bezüglich der zweiten Teilannahme der Hypothese 1 ergab sich kein signifikanter Unterschied in den Effektstärken zugunsten der egozentrischen Bedingung, dargestellt in Tabelle 6. Analog zur objektbasierten Bedingung erzielte der Haupteffekt für den Faktor „Stimulus“ keine Signifikanz auf dem .05-Niveau, $F(1, 71) = .00$, $p = .967$, $\eta_p^2 = .00$ und unterschied sich ebenfalls nicht bezüglich der Effektstärke von der objektbasierten Bedingung, siehe Tabelle 6. Hinsichtlich des Faktors „Ansicht“ stellte sich heraus, dass die Teilnehmer bei Körperbildern in Frontansicht eine geringere Trefferquote erzielten ($M = 88.4\%$, $SD = 1.9$) als in der Rückansicht-Bedingung ($M = 93.4\%$, $SD = 1.0$), was für den angenommenen „Vorderansichts-Nachteil“ von Hypothese 2 spricht. Bonferroni korrigierte t-Tests zum Haupteffekt des Faktors „Winkeldisparität“ ergaben, dass die Genauigkeit zwischen den Winkeldisparitäten von 135° und 180° signifikant abnahm, $t(72) = 4.31$, $p < .001$. Dieses Ergebnis unterstützt die angenommene schlechtere Performanz bei höheren Winkeldisparitäten von Hypothese 6. Alle anderen Effekte waren nicht signifikant. Somit können die Hypothesen 1, 3, 4, 5, oder 8 mittels dieser Daten zur Trefferquote nicht bestätigt werden.

Zusammenfassung der Hauptegebnisse: Bezüglich der TQ in der egozentrischen Bedingung zeigte sich kein Gruppenunterschied, sondern lediglich ein „Vorderansichts-Nachteil“.

Der statistische Vergleich zwischen den Effektstärken der objektbasierten und egozentrischen Bedingung zeigte, dass sich sowohl bezüglich der Reaktionszeiten als auch hinsichtlich der Trefferquote keine Unterschiede als signifikant erwiesen, da keine der Prüfgrößen den kritischen Wert von 3.84 überschritt, siehe Tabelle 6.

Tabelle 6

Illustration der Haupteffekte (RT und TQ) und ihrer entsprechenden Effektstärken sowie der Prüfgrößen getrennt für die objektbasierte und egozentrische Bedingung.

AV	Haupteffekt	objektbasiert	egozentrisch	Q
RT	Gruppe	.95	.47	2.14
	Stimulus	.84	.30	2.76
	Winkel	3.88	3.15	2.09
TQ	Gruppe	.72	.35	1.31
	Stimulus	.47	.00	2.16
	Winkel	.59	.96	1.26

Anmerkung. Die Abkürzung „d“ steht für die Effektstärke *Cohen's d* und „Q“ ist die statistische Prüfgröße.

Chronometrischer mentaler Rotationstest: Hypothese 9

Objektbasierte Transformationen: Reaktionszeit

Grundlegend konnte kein Effekt für den Faktor „Studie“ gefunden werden, folglich unterscheidet sich die Studie 3 nicht von Studie 2 hinsichtlich der Reaktionszeiten objektbasierter Rotationen, $F(1, 150) = .02$, $p = .882$, $\eta_p^2 = .00$.

Es erwiesen sich zwei Zweifach-Interaktionen als signifikant:

1) Es wurde eine Interaktion zwischen den Faktoren „Gruppe“ und „Studie“ nachgewiesen, $F(1, 150) = 7.09$, $p = .009$, $\eta_p^2 = .05$, die sich post hoc Tests zufolge darin äußert, dass in Studie 2 kein Unterschied zwischen Sportlern ($M = 1220.9\text{ms}$, $SD = 56.7$) und Nicht-Sportlern ($M = 1206.9\text{ms}$, $SD = 47.9$) zu verzeichnen war, $t(79) = .19$, $p = .851$, während in Studie 3 Sportler ($M = 1096.9\text{ms}$, $SD = 36.7$) signifikant schneller objektbasierte Rotationen lösten als Nicht-Sportler ($M = 1345.6\text{ms}$, $SD = 51.4$), $t(71) = -3.98$, $p < .001$, siehe Abbildung 21. Gemäß Hypothese 9_a wird ein Gruppeneffekt in der

egozentrischen Bedingung postuliert, demnach kann diese Hypothese mittels dieses Ergebnisses nicht bestätigt werden.

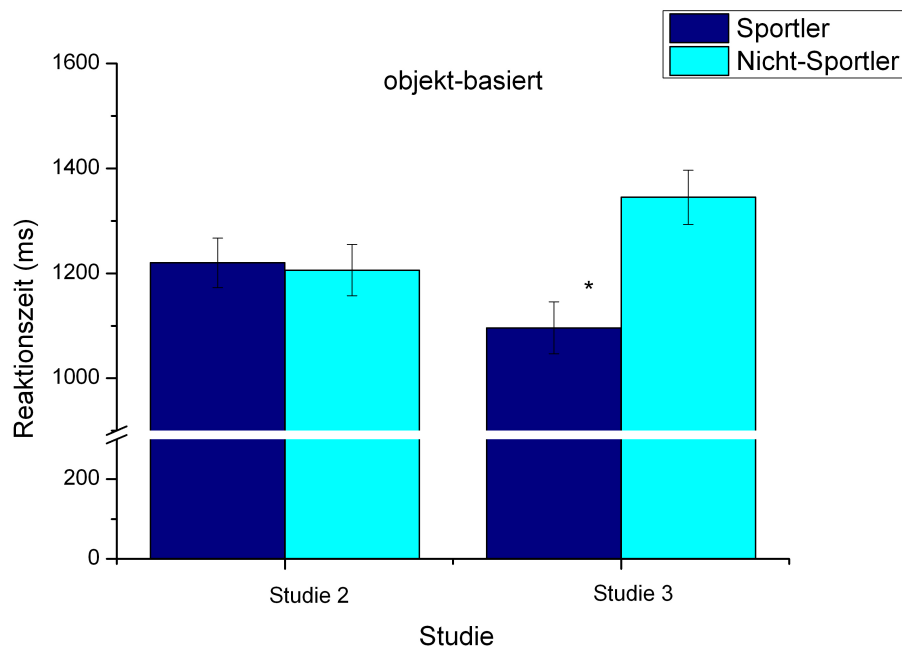


Abbildung 21: Mittlere Reaktionszeiten für die objektbasierte Bedingung in Abhängigkeit von „Gruppe“ und „Studie“. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

2) Die signifikante „Winkeldisparität*Studie“-Interaktion, $F(4, 600) = 2.91$, $p = .021$, $\eta_p^2 = .02$, zeigte, dass sich der Anstieg der Reaktionszeiten bei zunehmender Winkeldifferenz in Studie 2 deutlicher abzeichnete als in Studie 3, $t(72) = 4.31$, $p < .001$, ausgedrückt in einer signifikant größeren Differenz zwischen der 0°- und der 180°- Bedingung von Studie 2 ($M_{Diff} = 932.1\text{ms}$, $SD = 54.4$) im Vergleich zu Studie 3 ($M_{Diff} = 787.9\text{ms}$, $SD = 42.1$), $t(152) = 2.06$, $p = .041$, wobei insbesondere der Anstieg zwischen 135° und 180° in Studie 2 ($M_{Diff} = 475.9\text{ms}$, $SD = 36.7$) stärker war als in Studie 3 ($M_{Diff} = 356.2\text{ms}$, $SD = 30.7$), $t(152) = 2.47$, $p = .015$, siehe Abbildung 22. Dieses Ergebnis spricht für die Annahme einer verbesserten Rotationsleistung infolge der stärkeren Verkörperung von Hypothese 9e.

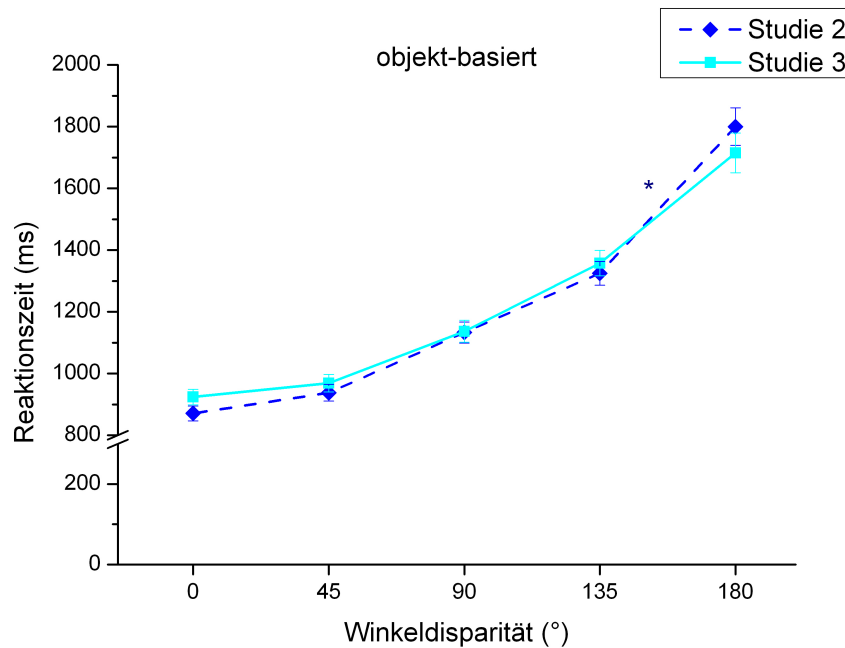


Abbildung 22: Mittlere Reaktionszeiten für die einzelnen Winkeldisparitäten für die objektbasierte Bedingung in Studie 2 und 3. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Darüber hinaus ergaben sich drei signifikante Dreifach-Interaktionen:

1) Die signifikante Interaktion „Gruppe*Winkeldisparität*Studie“, $F(4, 600) = 2.91$, $p = .021$, $\eta_p^2 = .02$, zeigte infolge von post hoc Tests, dass sich in Studie 2 kein Unterschied zwischen Sportlern und Nicht-Sportlern hinsichtlich der mentalen Rotationsfunktion einstellte, ausgedrückt in einem nicht-signifikanten Unterschied in der Differenz zwischen der 0°- und 180°-Bedingung bei Sportlern ($M_{Diff} = 1002.7\text{ms}$, $SD = 82.7$) im Vergleich zu Nicht-Sportlern ($M_{Diff} = 856.1\text{ms}$, $SD = 68.8$), $t(152) = 1.35$, $p = .374$, während sich in Studie 3 ein signifikant stärkerer Anstieg für Nicht-Sportler ($M_{Diff} = 874.9\text{ms}$, $SD = 64.5$) im Vergleich zu Sportlern ($M_{Diff} = 707.8\text{ms}$, $SD = 52.3$) angesichts einer signifikant größeren Differenz zwischen der 0°- und 180°-Bedingung abzeichnete, $t(152) = -2.03$, $p = .046$, siehe Abbildung 23. Dieses Ergebnis untermauert die Annahme, dass die erhöhte Verkörperung in Studie 3 zu einem Rotationsvorteil von Sportlern im Vergleich zu Nicht-Sportlern führt, der in Hypothese 9_f angenommen wurde, ausgedrückt in einem weniger steilen Anstieg der Regressionsgeraden von Sportlern.

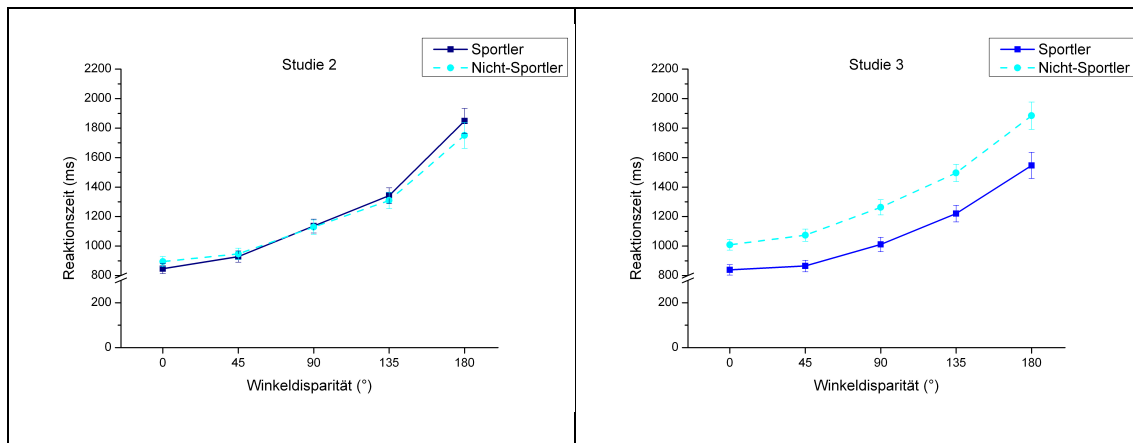


Abbildung 23: Mittlere Reaktionszeiten für die objektbasierte Bedingung in Abhängigkeit von „Gruppe“ und „Winkeldisparität“ der Studie 2 (linke Spalte). Mittlere Reaktionszeiten für die objektbasierte Bedingung in Abhängigkeit von „Gruppe“ und „Winkeldisparität“ der Studie 3 (rechte Spalte). Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

2) Es konnte eine „Stimulus*Ansicht*Studie“-Interaktion gefunden werden, $F(1, 150) = 8.84$, $p = .003$, $\eta_p^2 = .06$, die sich darin ausdrückte, dass sich in Studie 2 ein signifikanter Unterschied zwischen Vorder- (front) und Rückansicht (back) sowohl bei eigenen ($M_{front} = 1314.5\text{ms}$, $SD_{front} = 49.3$ vs. $M_{back} = 1224.3\text{ms}$, $SD_{back} = 43.9$), $t(80) = 4.76$, $p < .001$, als auch bei fremden Körperbildern ($M_{front} = 1182.1\text{ms}$, $SD_{front} = 33.7$ vs. $M_{back} = 1235.8\text{ms}$, $SD_{back} = 33.0$), $t(80) = 3.38$, $p = .001$, zugunsten der Verarbeitung der Rückansicht zeigte, während sich dieser Unterschied in Studie 3 nur bei fremden Körperfiguren ($M_{front} = 1203.9\text{ms}$, $SD_{front} = 37.2$ vs. $M_{back} = 1143.7\text{ms}$, $SD_{back} = 32.1$) nicht dagegen bei eigenen Körperbildern abzeichnete ($M_{front} = 1261.4\text{ms}$, $SD_{front} = 40.9$ vs. $M_{back} = 1255.6\text{ms}$, $SD_{back} = 39.8$), $t(72) = .27$, $p = .788$. Demzufolge blieb ein „Vorderansichts-Nachteil“ bei selbst-bezogenen Stimuli aus, dargestellt in Abbildung 24. Dieses Ergebnis legt nahe, dass es zu einer Kompensation des „Vorderansichts-Nachteil des Selbst“ in Studie 3 kommt, die auf eine verstärkte Verkörperung im Sinne der Aktivierung motorischer Prozesse durch die Stimuli in Lebensgröße zurückzuführen ist und untermauert damit die Kompensations-Annahme der Hypothese 9_d.

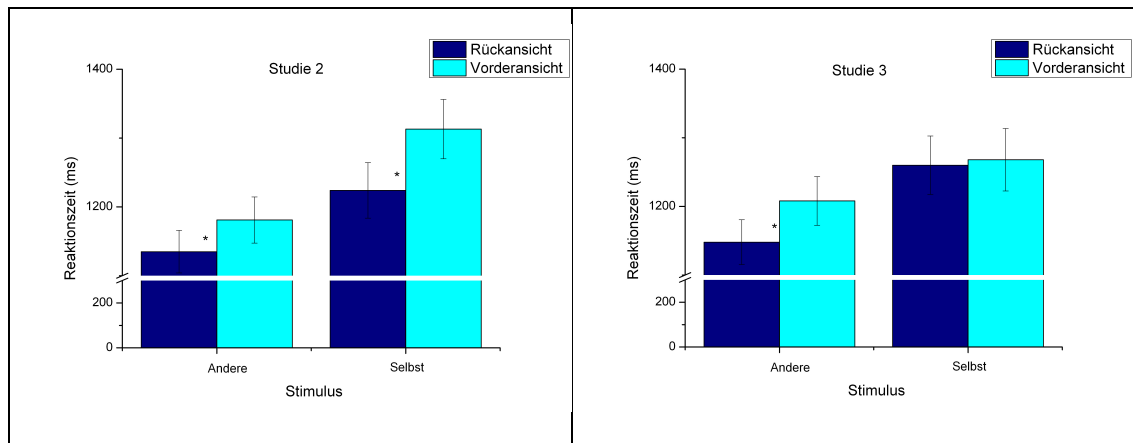


Abbildung 24: Mittlere Reaktionszeiten für die objektbasierte Bedingung in Abhängigkeit von „Stimulus“ und „Ansicht“ der Studie 2 (linke Spalte). Mittlere Reaktionszeiten für die objektbasierte Bedingung in Abhängigkeit von „Stimulus“ und „Ansicht“ der Studie 3 (rechte Spalte). Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

3) Die „Ansicht*Gruppe*Studie“-Interaktion erreichte Signifikanz auf dem .05-Niveau, $F(1, 150) = 6.15$, $p = .014$, $\eta_p^2 = .04$. Gemäß post hoc Tests zeigten Sportler in Studie 2 einen reduzierten „Vorderansichts-Nachteil“, ausgedrückt in einem signifikanten Reaktionszeitunterschied zwischen Vorder- und Rückansicht ($M_{Diff} = 92.6\text{ms}$, $SD = 18.8$) im Vergleich zu Nicht-Sportlern ($M_{Diff} = 42.05\text{ms}$, $SD = 17.6$), während in Studie 3 sich Sportler ($M_{Diff} = 10.6\text{ms}$, $SD = 19.1$) und Nicht-Sportler ($M_{Diff} = 57.4\text{ms}$, $SD = 23.1$) bezüglich der Differenz zwischen Vorder- und Rückansicht nicht unterschieden, $t(71) = -1.57$, $p = .121$. Folglich verschwindet in Studie 3 der in Studie 2 gefundene, bei Sportlern reduzierte „Vorderansichts-Nachteil“ und geht damit nicht konform mit der Hypothese 9_b.

Zusammenfassung der Hauptergebnisse: Die RTs der objektbasierten Bedingung legten einen Rotationsvorteil in Studie 3 im Vergleich zu Studie 2 nahe, der sich in einem stärkeren Gruppenunterschied und einem geringeren Winkelanstieg in Studie 3 ausdrückte sowie sich in einem geringeren Winkelanstieg für Sportler im Vergleich zu Nicht-Sportlern ausschließlich in Studie 3 äußerte.

Egozentrische Transformationen: Reaktionszeit

Analog zur objektbasierten Bedingung ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Studie“, $F(1, 150) = .04$, $p = .884$, $\eta_p^2 = .00$. Im Gegensatz zu Objektrotationen ergab sich keine signifikante Interaktion zwischen dem Faktor „Gruppe“ und „Studie“, $F(1, 150) = .77$, $p = .382$, $\eta_p^2 = .00$, wie es in Hypothese 9_a angenommen wurde.

Es konnte eine signifikante Zweifach-Interaktion nachgewiesen werden:

Zwischen den Faktoren „Winkeldisparität“ und „Studie“ ergab sich eine Interaktion, $F(4, 600) = 7.99, p < .001, \eta_p^2 = .05$, die sich darin ausdrückte, dass der Anstieg zwischen 0° und 180° in der zweiten Studie ($M_{Diff} = 523.2\text{ms}, SD = 29.6$) stärker war als in der dritten Studie ($M_{Diff} = 408.9\text{ms}, SD = 29.1$), $t(152) = 2.74, p = .007$, wobei gerade die Differenz zwischen der Winkeldisparität von 135° - und 180° in Studie 2 ($M_{Diff} = 430.5\text{ms}, SD = 24.9$) signifikant größer war als die in Studie 3 ($M_{Diff} = 313.4\text{ms}, SD = 19.9$), $t(152) = 3.62, p < .001$, dargestellt in Abbildung 25. Dieses Ergebnis unterstützt die Annahme einer verbesserten Rotationsleistung in Studie 3 von Hypothese 9_e.

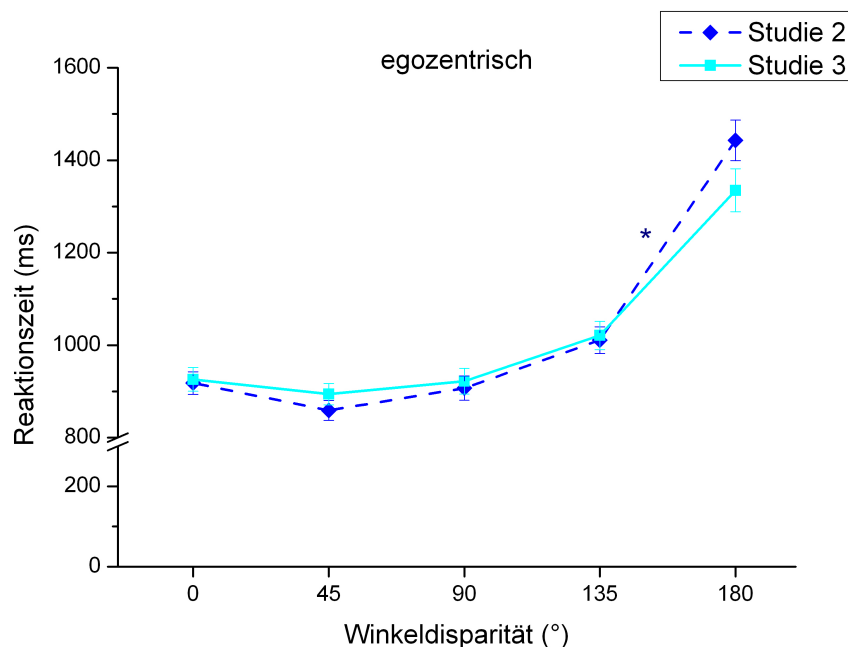


Abbildung 25: Mittlere Reaktionszeiten für die einzelnen Winkeldisparitäten für die egozentrische Bedingung in Studie 2 und 3. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Zudem ergaben sich zwei signifikante Dreifach-Interaktionen:

1) Die „Stimulus*Ansicht*Studie“-Interaktion erreichte Signifikanz auf dem .05-Niveau, $F(1, 152) = 7.97, p = .005, \eta_p^2 = .05$, dargestellt in Abbildung 26. Gemäß post hoc Tests zeigte sich, dass sich in Studie 2 kein Unterschied zwischen eigenen und fremden Körperbildern sowohl in der Vorderansicht ($M_{selbst} = 1139.2\text{ms}, SD_{selbst} = 40.3$ vs. $M_{andere} = 1154.5\text{ms}, SD_{andere} = 40.6$), $t(80) = .59, p = .557$, als auch in der Rückansicht abzeichnete ($M_{selbst} = 896.3\text{ms}, SD_{selbst} = 27.3$ vs. $M_{andere} = 909.4\text{ms}, SD_{andere} = 24.9$), $t(80) = -.86, p = .391$, während in Studie 3 selbstbezogene Stimuli in der Rückansicht schneller verar-

beitet wurden als fremde Körperbilder ($M_{selbst} = 890.7\text{ms}$, $SD_{selbst} = 20.5$ vs. $M_{andere} = 941.4\text{ms}$, $SD_{andere} = 25.9$), $t(72) = 2.98$, $p = .004$, sodass sich ein „Vorteil des Selbst“ gerade in der Rückansicht zeigte, nicht dagegen in der Vorderansicht ($M_{selbst} = 1122.4\text{ms}$, $SD_{selbst} = 34.8$ vs. $M_{andere} = 1117.9\text{ms}$, $SD_{andere} = 34.1$), $t(72) = -.18$, $p = .845$. Dieses Ergebnis geht sogar über die Kompensationsannahme der Hypothese 9_d hinaus und spricht indirekt für einen „Vorteil des Selbst“, der ursprünglich in Hypothese 4 angenommen wurde.

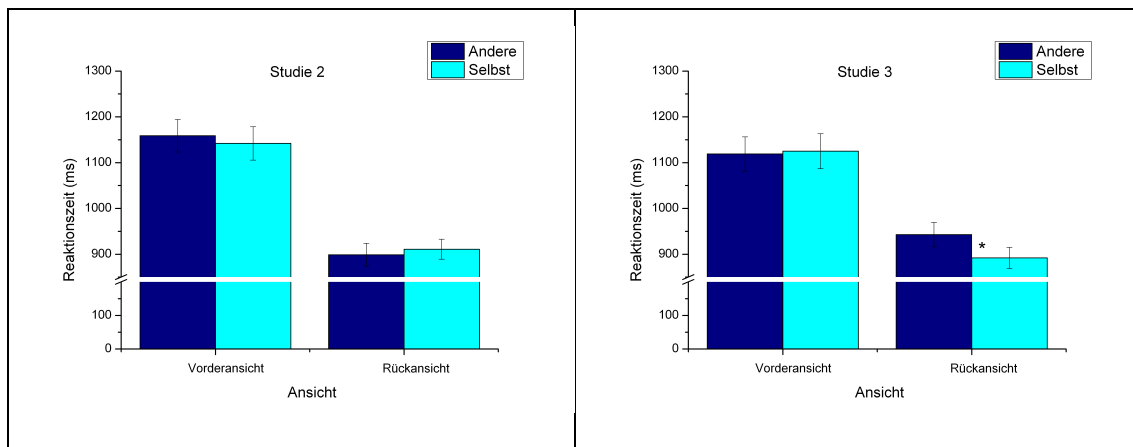


Abbildung 26: Mittlere Reaktionszeiten für die egozentrische Bedingung in Abhängigkeit von „Stimulus“ und „Ansicht“ der Studie 2 (linke Spalte). Mittlere Reaktionszeiten für die egozentrische Bedingung in Abhängigkeit von „Stimulus“ und „Ansicht“ der Studie 3 (rechte Spalte). Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

2) Es konnte eine signifikante „Ansicht*Winkeldisparität*Studie“-Interaktion gefunden werden, $F(4, 600) = 7.10$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .05$, die einen stärkeren Anstieg der mentalen Rotationsfunktion für die Rückansicht von Studie 3 im Vergleich zu Studie 2 zeigte. Während in Studie 3 sowohl der Anstieg in der Rückansicht zwischen 90° und 135° ($M_{Diff} = 142.1\text{ms}$, $SD = 12.4$), $t(72) = 4.06$, $p < .001$, sowie zwischen 135° und 180° ($M_{Diff} = 437.7\text{ms}$, $SD = 23.8$), $t(72) = 7.03$, $p < .001$, stärker war als zwischen 90° und 135° ($M_{Diff} = 56.4\text{ms}$, $SD = 16.6$), sowie zwischen 135° und 180° ($M_{Diff} = 189.3\text{ms}$, $SD = 29.1$) in der Vorderansicht, war in Studie 2 ausschließlich der Anstieg zwischen 135° und 180° in der Rückansicht ($M_{Diff} = 538.6\text{ms}$, $SD = 30.3$) signifikant stärker als in der Frontansicht ($M_{Diff} = 322.3\text{ms}$, $SD = 32.1$), $t(80) = 5.75$, $p < .001$. Weitere Effekte erwiesen sich als nicht signifikant auf dem .05-Niveau.

Zusammenfassung der Hauptergebnisse: Die RT-Ergebnisse der egozentrischen Bedingung demonstrieren einen Rotationsvorteil, der sich in einem geringeren Winkelanstieg in Studie 3 im Vergleich zu Studie 2 äußerte. Der Vorteil eigener Körperbilder in der Rückansicht beschränkte sich auf die dritte Studie und konnte in der zweiten Studie nicht nachgewiesen werden.

Objektbasierte Transformationen: Trefferquote

Es zeigte sich ein Haupteffekt für den Faktor „Studie“, $F(1, 130) = 8.89, p = .003, \eta_p^2 = .06$, der sich in einer höheren Trefferquote der zweiten Studie ($M = 92.7\%, SD = 1.8$) im Vergleich zur dritten Studie äußerte ($M = 86.4\%, SD = 2.2$).

Es konnte eine signifikante Zweifach-Interaktion gefunden werden:

Die Interaktion zwischen den Faktoren „Gruppe“ und „Studie“ erwies sich als signifikant, $F(1, 130) = 7.10, p < .001, \eta_p^2 = .26$. Anhand von post hoc Tests wurde deutlich, dass sich die Sportler bezüglich der Trefferquote zwischen der zweiten und dritten Studie nicht voneinander unterschieden ($M_2 = 92.5\%, SD_2 = 1.8$ vs. $M_3 = 92.3\%, SD_3 = 2.2$), $t(79) = -.13, p = .899$, während die Nicht-Sportler in Studie 3 ($M_3 = 80.5\%, SD_3 = 2.5$) eine signifikant geringere Trefferquote aufwiesen im Vergleich zur Studie 2 ($M_2 = 92.8\%, SD_2 = 1.9$), $t(79) = 2.31, p = .024$. Dieses Ergebnis steht nicht in Einklang mit Hypothese 9_a, die eine verbesserte Performanz von Sportlern in Studie 3 vs. 2 postuliert.

Darüber hinaus ergaben sich zwei Dreifach-Interaktionen:

1) Die „Stimulus*Gruppe*Studie“-Interaktion erreichte Signifikanz auf dem .05-Niveau, $F(1, 130) = 6.46, p = .012, \eta_p^2 = .05$, siehe Abbildung 27. Während sich in Studie 2 Sportler ($M = 92.8\%, SD = 1.1$) von Nicht-Sportlern ($M = 92.7\%, SD = 1.5$) weder in körpereigenen, $t(79) = .06, p = .953$, noch in körperfremden Stimuli ($M_{SP} = 92.3\%, SD_{SP} = 1.2$ vs. $M_{NSP} = 92.8\%, SD_{NSP} = 1.2$), $t(79) = -.29, p = .770$, voneinander unterschieden, zeigten in Studie 3 Sportler ($M = 93.7\%, SD = 4.1$) speziell in selbst-bezogenen Stimuli eine signifikant höhere Trefferquote als Nicht-Sportler ($M = 81.8\%, SD = 4.1$), $t(79) = 2.89, p = .005$, nicht jedoch in fremden Körperbildern ($M_{SP} = 90.6\%, SD_{SP} = 2.2$ vs. $M_{NSP} = 83.7\%, SD_{NSP} = 3.9$), $t(79) = 1.54, p = .127$.

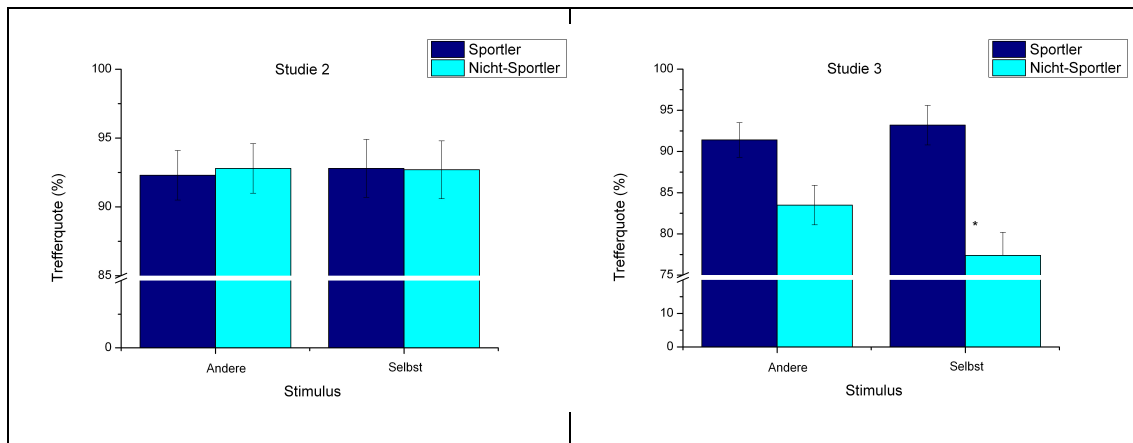


Abbildung 27: Mittlere Trefferquote für die objektbasierte Bedingung in Abhängigkeit von „Stimulus“ und „Gruppe“ der Studie 2 (linke Spalte). Mittlere Trefferquote für die objektbasierte Bedingung in Abhängigkeit von „Stimulus“ und „Gruppe“ der Studie 3 (rechte Spalte). Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

2) Eine signifikante „Ansicht*Winkeldisparität*Studie“-Interaktion konnte gefunden werden, $F(4, 520) = 6.46$, $p = .012$, $\eta_p^2 = .05$. Während in Studie 2 kein signifikanter Unterschied zwischen Vorder- und Rückansicht in keiner der Winkeldisparitäten zu verzeichnen war, zeigte sich in Studie 3, dass in der 45°-Bedingung die Vorderansicht signifikant genauer als die Rückansicht verarbeitet wurde ($M_{front} = 90.9\%$, $SD_{front} = 2.6$ vs. $M_{back} = 86.9\%$, $SD_{back} = 2.6$), $t(72) = 2.38$, $p = .020$, während in der 135°-Bedingung umgekehrtes Muster zu beobachten war ($M_{front} = 85.2\%$, $SD_{front} = 2.5$ vs. $M_{back} = 88.8\%$, $SD_{back} = 2.1$), $t(72) = -2.06$, $p = .043$.

Zusammenfassung der Hauptergebnisse: Die Ergebnisse der TQ in der objektbasierten Bedingung legten in der dritten Studie einen Vorteil von Sportlern in körpereigenen Stimuli im Vergleich zu fremden Körperfiguren nahe, der in der zweiten Studie nicht zu verzeichnen war.

Egozentrische Transformationen: Trefferquote

Im Gegensatz zur objektbasierten Bedingung zeigte sich in der egozentrischen kein Unterschied zwischen den Studien, $F(1, 130) = 1.85$, $p = .175$, $\eta_p^2 = .01$. Es ergaben sich keine weiteren Effekte, die sich als signifikant auf dem .05-Niveau erwiesen.

Chronometrischer mentaler Rotationstest: Hypothese 10 und 11

Reaktionszeiten

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung ergab zwei signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Stimulus“, $F(1, 71) = 16.36$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .19$, und „Winkeldisparität“, $F(1,$

71) = 106.41, $p < .001$, $\eta_p^2 = .60$. Hinsichtlich des Effekts „Stimulus“ zeigte sich, dass eigene Körperbilder ($M = 661.3\text{ms}$, $SD = 14.3$) signifikant langsamer erkannt wurden als die fremder Personen ($M = 636.4\text{ms}$, $SD = 13.7$). Dieses Ergebnis unterstützt den „Selbst-Nachteil“, der in Hypothese 11_a angenommen wurde. Zum Haupteffekt für den Faktor „Winkeldisparität“ ergaben sich längere Reaktionszeiten für die 135°-Bedingung ($M = 682.2\text{ms}$, $SD = 15.5$) im Vergleich zur 0°-Bedingung ($M = 615.5\text{ms}$, $SD = 12.1$). Die „Stimulus*Winkeldisparität“-Interaktion erwies sich als nicht signifikant, $F(1, 72) = .282$, $p = .597$, $\eta_p^2 = .00$, und untermauert damit Hypothese 11_b. Die anderen Effekte erreichten ebenfalls keine Signifikanz auf dem .05-Niveau.

Trefferquote

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung ergab einen signifikanten Effekt für den Faktor „Stimulus“, $F(1, 71) = 16.36$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .19$, der sich in einer höheren Trefferquote zugunsten fremder Körperbilder ($M = 98.2\%$, $SD = .7$) im Vergleich zu eigenen Körperfiguren äußerte ($M = 97.1\%$, $SD = .8$), wie es gemäß Hypothese 11_a erwartet wurde. Weitere Effekte erwiesen sich als nicht signifikant.

Zusammenfassung der Hauptergebnisse: Sowohl die RT- als auch die TQ-Ergebnisse zeigten eine nachteilige Verarbeitung eigener Körperbilder.

7.3 Diskussion

Im Rahmen der Diskussion werden zunächst die Hauptergebnisse zusammengefasst. Hierbei sollen zunächst die Ergebnisse der dritten Studie einzeln präsentiert werden. Im Anschluss folgen die Ergebnisse aus dem Vergleich der zweiten und dritten Studie sowie die Resultate der Wiedererkennungsaufgabe. Diese Zusammenfassung orientiert sich ähnlich wie der Ergebnisteil an der chronologischen Abfolge der Hypothesen. Daraufhin folgt eine Interpretation der Ergebnisse, die sich in zwei inhaltliche Abschnitte untergliedert: 1) Die Bedeutung motorischer Fähigkeiten in objektbasierten und egozentrischen Transformationen, und 2) Der Einfluss des eigenen Körperbilds auf objektbasierte und egozentrische Transformationen. Diese beiden Aspekte werden zuerst für Studie 3 und im Anschluss für den Vergleich der Studie 2 und 3 erörtert.

Zusammenfassung der Hauptergebnisse

Studie 3: Hypothese 1-8

Die tabellarische Darstellung der 8 Hypothesen der Studie 2 wird aus Gründen der besseren Verständlichkeit an dieser Stelle übernommen, siehe Tabelle 7.

Tabelle 7

Tabellarische Übersicht über die 8 Hypothesen der Studie 2 mit ihren entsprechenden inhaltlichen und statistischen Bedeutungen.

Hypothese	inhaltlich	statistisch
H ₁	Performanzvorteil von Sportlern, gerade in der egozentrischen Bedingung	HE „Gruppe“ $d_{\text{ego}} > d_{\text{obj}}$
H ₂	„Vorderansichts-Nachteil“	HE „Ansicht“
H ₃	Reduzierter „Vorderansichts-Nachteil“ bei Sportlern	IA „Ansicht*Gruppe“
H ₄	„Selbst-Vorteil“	HE „Stimulus“
H ₅	„Selbst-Vorteil“, gerade in der egozentrischen Bedingung	HE „Stimulus“ $d_{\text{ego}} > d_{\text{obj}}$
H ₆	Winkeffekt	HE „Winkeldisparität“
H ₇	Winkeffekt stärker ausgeprägt in der objektbasierten Bedingung als in der egozentrischen	HE „Winkeldisparität“ $d_{\text{obj}} > d_{\text{ego}}$
H ₈	objektbasiert: Winkeffekt Vorder-und Rückansicht egozentrisch: Winkeffekt Rückansicht	IA „Ansicht*Winkeldisparität“

Anmerkung. Die Abkürzung „H“ steht für Hypothese und „HE“ bedeutet Haupteffekt, während „IA“ die Abkürzung von Interaktion ist.

Bezüglich der ersten Teilannahme der **Hypothese 1**, die einen Leistungsvorteil von Sportlern in der egozentrischen Bedingung fordert, ergaben sich folgende Ergebnisse: Sportler wiesen bezüglich der Reaktionszeiten und der Trefferquote eine bessere Per-

formanz auf als die Nicht-Sportler, allerdings sowohl in der objektbasierten als auch in der egozentrischen Bedingung, während sich bezüglich der Trefferquote ein Gruppenunterschied ausschließlich in objektbasierten Rotationen einstellte, anders als es in der ersten Teilannahme der Hypothese 1 insbesondere für egozentrischen Transformationen angenommen wurde. Für einen Rotationsvorteil von Sportlern in der objektbasierten Bedingung sprechen zwei weitere Ergebnisse: 1) In dieser Transformationsart konnte ein geringerer Anstieg der Reaktionszeiten bei zunehmender Winkeldisparität für Sportler als für Nicht-Sportler ausfindig gemacht werden und 2) Sportler erzielten eine höhere Trefferquote als Nicht-Sportler, allerdings nur bei eigenen Körperfiguren und nicht bei fremden. Bezüglich der Effektstärken und damit der zweiten Teilannahme der Hypothese 1 zeigte sich, dass sich die Effektstärke des Gruppeneffekts sowohl bezüglich der Reaktionszeiten als auch hinsichtlich der Trefferquote zwischen beiden Transformationsarten nicht unterschied. Aus diesem Ergebnis lässt sich lediglich ein genereller Leistungsvorteil von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern ableiten, der jedoch in keiner der beiden Transformationsarten verstärkt auftritt.

Der in **Hypothese 2** angenommene „Vorderansichts-Nachteil“ zeigte sich in beiden Transformationsarten und untermauert damit diese Hypothese. Allerdings war dieser Effekt im Gegensatz zur zweiten Studie bei Sportlern nicht reduziert, was folglich **Hypothese 3** nicht bekräftigt.

Die Ergebnisse bezüglich **Hypothese 4**, die einen Vorteil zugunsten eigener Körperbilder postuliert, zeigten ein kontroverses Muster für objektbasierte im Vergleich zu egozentrischen Transformationen: Während sich in objektbasierten Rotationen ein genereller „Nachteil des Selbst“ abzeichnete, verschwindet analog zur Studie 2 diese nachteilige Verarbeitung eigener Körper in der egozentrischen Transformation. Der Haupteffekt des Faktors „Stimulus“, der sich in der objektbasierten Bedingung zugunsten fremder Körperbilder auswirkte, wird zusätzlich durch zwei Interaktionen untermauert. Zum einen drückte sich die „Stimulus*Ansicht“-Interaktion darin aus, dass fremde Körperbilder in der Rückansicht besonders schnell verarbeitet wurden, zum anderen konnte anhand der „Stimulus*Winkeldisparität“-Interaktion ein stärkerer Anstieg der Reaktionszeiten bei zunehmender Winkeldisparität bei selbst-bezogenen Stimuli im Vergleich zu fremden Körperfiguren beobachtet werden.

Ähnlich wie in Studie 2 könnte ein Ausbleiben eines „Nachteils des Selbst“ in der egozentrischen Bedingung als indirekter Nachweis für eine vorteilhafte Verarbeitung selbst-bezogener Stimuli gemäß **Hypothese 5** angesehen werden. Diese vage Interpretation wird durch zwei Interaktionen in der egozentrischen Bedingung unterstützt: Aus der „Stimulus*Ansicht“-Interaktion wurde ersichtlich, dass das Selbst gerade in der Kombination mit der Rückansicht besonders schnell bearbeitet wurde, während sich in der Frontansicht kein derartiger „Selbst-Vorteil“ abzeichnete. Anhand der „Stimulus*Gruppe“-Interaktion zeigte sich in der Trefferquote, dass Sportler eine höhere Genauigkeit aufwiesen als Nicht-Sportler, allerdings nur bei eigenen und nicht bei fremden Körperfiguren.

Hypothese 6, die eine Abnahme in der Performanz bei ansteigender Winkeldisparität postuliert, konnte mittels des Antwortmusters sowohl bei objektbasierten als auch bei egozentrischen Transformationen bestätigt werden. Der Befund, dass dieses Antwort-Profil bezüglich des Verlaufs der Regressionsgeraden stärker bei objektbasierten Rotationen als bei egozentrischen ausgeprägt war, untermauert eine Teilannahme der **Hypothese 7**, die sich auf den unterschiedlichen Verlauf der beiden Regressionsgeraden bezieht. Allerdings kann die Teilannahme zu einer größeren Effektstärke in der objektbasierten Bedingung als in der egozentrischen mittels der Ergebnisse nicht bestätigt werden. In Anbetracht der „Winkeldisparität*Ansicht“-Interaktion, die sich ausschließlich in der egozentrischen Bedingung als signifikant erwies, konnte die Annahme der **Hypothese 8**, dass sich der Winkелеffekt bei egozentrischen nur in der Rückansicht einstellt und sich keine Interaktion zwischen „Winkeldisparität“ und „Ansicht“ für objektbasierte Rotationen ergibt, als bestätigt angesehen werden. Die beiden letzten Ergebnisse wurden in der Zusammenfassung aufgegriffen, da sie die bisherige Literatur stützen (Jola & Mast, 2005; Michelon & Zacks, 2006; Zacks et al., 2002b), werden aber im Folgenden nicht ausführlicher diskutiert, da der Fokus auf Verkörperungsprozessen liegt und eine Interpretation dieser Ergebnisse den Rahmen dieser Arbeit übersteigen würde.

Studie 2 und 3 im Vergleich: Hypothese 9

Im Rahmen der Hypothese 9 wurde der generellen Frage nach stärkeren Verkörperungseffekten, bedingt durch die Verwendung lebensgroßer Stimuli, nachgegangen. Eine tabellarische Übersicht über die 6 Subhypothesen der Hypothese 9 soll zur Verein-

fachung dargestellt werden, siehe Tabelle 8. Dabei wird im Gegensatz zur Tabelle 5 auf die inhaltliche Beschreibung verzichtet, da in den meisten Hypothesen ($9_{c,d,ef}$) zwei potentielle Wirkweisen hypothetisiert wurden, die für eine tabellarische Darstellung zu komplex sind.

Tabelle 8

Tabellarische Illustration der Hypothese 9 mit ihren 6 Sub-Hypothesen (9_{a-f}) und ihren entsprechenden statistischen Bedeutungen.

Hypothese	statistisch
H 9 _a	„Gruppe*Studie“
H 9 _b	„Ansicht*Gruppe*Studie“
H 9 _c	„Stimulus*Studie“
H 9 _d	„Stimulus*Ansicht*Studie“
H 9 _e	„Winkeldisparität*Studie“
H 9 _f	„Gruppe*Winkeldisparität*Studie“

Anmerkung. Die Abkürzung „H“ steht für Hypothese

Hypothese 9_a, die einen stärkeren Gruppeneffekt gerade in der egozentrischen Bedingung fordert, konnte durch die Ergebnisse nicht bestätigt werden. Anders als erwartet zeigte sich in der objektbasierten Bedingung eine „Gruppe*Studie“-Interaktion, die sich darin ausdrückte, dass sich in Studie 2 kein Unterschied zwischen Sportlern und Nicht-Sportlern zeigte, während in Studie 3 die Nicht-Sportler signifikant langsamer und mit einer geringeren Trefferquote reagierten als die Sportler.

Hypothese 9_b, die eine stärkere Reduktion des „Vorderansichts-Nachteil“ bei Sportlern insbesondere in der egozentrischen Transformation im Vergleich zu Studie 2 postuliert, konnte durch die Ergebnisse nicht unterstützt werden.

Bezüglich **Hypothese 9_c**, die sich auf den „Selbst-Nachteil“ in der objektbasierten Bedingung aus Studie 2 bezieht, spricht das Ausbleiben einer Interaktion zwischen „Sti-

mulus“ und „Studie“ dafür, dass der „Selbst-Nachteil“ in Objekt-Rotationen von Studie 2 in Studie 3 weiter bestehen bleibt.

Allerdings zeigte sich, dass unter Hinzunahme des Faktors „Ansicht“ der „Vorderansichts-Nachteil des Selbst“ aus Studie 2 in Studie 3 verschwindet. Demzufolge scheinen sich die Verkörperungseffekte der dritten Studie positiv auf diese zusätzliche Tiefenrotation, die bei der Vorderansicht erfordert wird, auszuwirken. Dieser Effekt scheint wiederum in engem Zusammenhang mit dem Selbst zu stehen, was dem Embodiment-Ansatz entspricht, der für eigene Körperbilder eine stärkere motorische Komponente postuliert als für fremde Körperfiguren. Somit kann die Annahme der **Hypothese 9a**, dass es durch die stärkere Verkörperung in Studie 3 zu einer Kompensation des „Vorderansichts-Nachteils des Selbst“ kommt, bestätigt werden.

Analog dazu ergab sich in der egozentrischen Bedingung eine vorteilhafte Verarbeitung des Selbst in der Rückansicht, die sich in Studie 2 nicht zeigte. Es ist naheliegend, dass sich der „Selbst-Vorteil“ gerade in einer einfachen Transformation, wie es bei der Rückansicht gegeben ist (Schritt nach vorne, vgl. Jola & Mast, 2005), äußert. Dennoch ist hervorzuheben, dass es das erste Ergebnis ist, das einen expliziten „Selbst-Vorteil“ in der egozentrischen Bedingung im Sinne des Embodiment-Ansatzes darstellt und könnte damit in gewissem Maß als Bestätigung der Hypothese 5, die einen „Selbst-Vorteil“ speziell in der egozentrischen Transformation postuliert, angesehen werden.

Für eine verbesserte Rotationsperformanz infolge einer stärkeren Verkörperung in Studie 3 sprechen auch die Ergebnisse, die sich im Zusammenhang mit dem Faktor „Winkeldisparität“ ergaben. Sowohl in objektbasierten als auch in egozentrischen Transformationen zeigte sich eine „Winkeldisparität*Studie“-Interaktion, die sich in einem geringeren Anstieg der Regressionsgeraden der dritten im Vergleich zur zweiten Studie äußerte. Diese Ergebnisse untermauern **Hypothese 9e**.

Einen weiteren Beleg für diesen Rotationsvorteil liefert die „Gruppe*Winkeldisparität*Studie“-Interaktion in der objektbasierten Bedingung, gemäß derer in Studie 3 Sportler eine geringere Performanzreduktion bei zunehmender Winkeldifferenz aufwiesen als Nicht-Sportler, ausgedrückt in einem geringeren Anstieg der Regressionsgeraden von Sportlern, während in Studie 2 keine Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen zu verzeichnen war. Dieses Ergebnis untermauert **Hypothese 9f** und spricht

dafür, dass im Sinne des Embodiment-Ansatzes speziell Sportler von der Verkörperung profitieren. Zudem deutet es darauf hin, dass die Beteiligung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation von den motorischen Fähigkeiten der Probanden abhängt. Interessanterweise lassen die Ergebnisse in ihrer Gesamtheit den Schluss zu, dass die Verwendung lebensgroßer Stimuli zu stärkeren Verkörperungseffekten führt als kleine Stimuli und einige Verkörperungseffekte zu beobachten sind, sich diese jedoch speziell auf Objekt-Rotationen auszuwirken scheinen, was nachfolgend genauer erläutert werden soll.

Wiedererkennungsaufgabe: Hypothese 10 und 11

Hypothese 10 und 11 wurden aufgestellt, um der Frage nachzugehen, ob sich durch eine reine Wiedererkennungsaufgabe ein „Vorteil des Selbst“ im Sinne des Embodiment-Ansatzes abzeichnet (Hypothese 10) oder ob der in Studie 2 gefundene „Nachteil des Selbst“ auf ressourcen-reduzierende Selbstaufmerksamkeitsprozesse zurückzuführen ist (Hypothese 11). Die Ergebnisse der Wiedererkennungsaufgabe unterstützten die Annahme, dass selbst-bezogene Gedanken die für die Aufgabenbearbeitung notwendigen Ressourcen beanspruchen und damit zu einer schlechteren Verarbeitung eigener Körperbilder führen. Diese Annahme begründet sich in 1) Dem nachgewiesenen Haupteffekt, der sich in längeren Reaktionszeiten und in einer niedrigeren Trefferquote für selbst-bezogene Stimuli äußerte und in 2) Dem Ausbleiben einer Interaktion zwischen dem Selbst und der dargebotenen Orientierung, die nach dem Embodiment-Ansatz und dem damit verbundenen Referenzrahmenkonflikt hätte eintreten müssen. Folglich untermauern diese Ergebnisse **Hypothese 11**.

Studie 3: Die Bedeutung motorischer Fähigkeiten in objektbasierten und egozentrischen Transformationen

Bezüglich der Hypothesen 1-8 zeigte sich ein Leistungsvorteil von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern, der sich sowohl in geringeren Reaktionszeiten, einer niedrigeren Fehlerrate als auch in einem geringeren Anstieg der Regressionsgeraden in Objekt-Rotationen äußerte. Zudem zeigte sich in der objektbasierten Bedingung hinsichtlich der Trefferquote ein Leistungsvorteil von Sportlern gerade in körpereigenen Stimuli. Die Tatsache, dass die vorteilhafte Verarbeitung eigener Körperbilder auf die Gruppe der Sportler begrenzt ist, geht konform mit den Evidenzen, die nachwiesen, dass 1) Der

„Selbst-Vorteil“ auf einer sensomotorischen Repräsentation basiert (Tsakiris, 2010) und aufgrund dieser engen Verknüpfung zur Motorik 2) Das Körperbild gerade in ego-zentrischen Transformationen eine Rolle spielt (Ionta et al., 2007). Folglich entspricht dieses Ergebnis dem Embodiment-Ansatz in vollem Ausmaß: Die Sportler, bei denen eine verstärkte Inanspruchnahme motorischer Ressourcen nach Moreau (2012) vorliegt, zeigten gerade bei selbst-bezogenen Stimuli, die wiederum neuronal gesehen motorisch abgebildet sind (Ferri et al., 2011; Tsakiris, 2010) eine bessere Performanz als Nicht-Sportler in einer Transformationsart, die als stärker verkörpert gilt (Kessler & Thomson, 2010).

Diese Ergebnisse, die eine verbesserte Rotationsleistung von Sportlern nahe legen, reihen sich ein in die Befunde der bisherigen Literatur, wie beispielsweise die von Piettsch und Jansen (2012), die eine bessere Performanz von Sport- und Musikstudenten gegenüber Erziehungswissenschaftlern in objektbasierten Transformationen nachwiesen oder die Ergebnisse von Moreau et al. (2012), die einen Leistungsvorteil von Wrestlern gegenüber Läufern ausfindig machen konnten. Analog dazu konnten Tlauka, Williams und Williamson (2008) einen positiven Zusammenhang zwischen räumlichen Fähigkeiten und einem Sportstudium nachweisen. Diese Korrelation von motorischen Fähigkeiten und mentaler Rotationsfähigkeit zeigt sich bereits bei Kindern im Alter von 5 bis 6 Jahren (Jansen & Heil, 2010), und erstreckt sich bis ins hohe Alter (Jansen & Kaltner, 2014).

In Anbetracht der Stufen-Theorie der mentalen Rotation (Cooper & Shepard, 1973) spricht ein geringerer Anstieg der Regressionsgeraden von Sportlern dafür, dass Sportler gerade im mentalen Rotationsprozess per se besser abschneiden. Würden Sportler beispielsweise ausschließlich in der generellen Reaktionszeit überlegen sein, könnte der Leistungsvorteil auf jeden der vier Prozessschritte (Enkodierung, Vergleich, mentale Rotation, motorische Reaktion) zurückgeführt werden (vgl. Jansen et al., 2012). Performanzunterschiede von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern im mentalen Rotationsprozess könnten auf eine verringerte Leistungsfähigkeit von Nicht-Sportlern hinsichtlich unterschiedlicher Funktionen basieren: 1) Exekutivfunktionen/Arbeitsgedächtnis oder 2) Einbindung motorischer Prozesse. Exekutive Funktionen werden nach Monsell und Driver (2000) den höheren geistigen Leistungen zugeordnet und als Kontrollprozesse verstanden, die Verhalten leiten, koordinieren und insbesondere in neu-

en, ungewohnten Situationen flexibles Verhalten ermöglichen (Braver & Cohen, 2000). Dazu zählen die Fähigkeiten, die Aufmerksamkeit auf das Wesentliche zu fokussieren, irrelevante Stimuli zu ignorieren (Inhibition) und die Aufmerksamkeit in schneller Folge zu wechseln, oftmals als „Shifting“ titulierte (Monsell & Driver, 2000). Demzufolge stellen exekutive Funktionen keine Einheit dar, sondern untergliedern sich in mehrere Funktionen wie das Arbeitsgedächtnis, die Inhibition automatisierter oder inadäquater Reaktionen und die Flexibilität in der Aufmerksamkeitssteuerung (Miyake et al., 2006). Kortikal gesehen werden diese mit verschiedenen Hirnstrukturen, die innerhalb und außerhalb des frontalen Kortex liegen, assoziiert (Pashler, 2000).

Analog zu Studien, die den positiven Einfluss aerober Aktivität auf die mentale Rotationsleistung nachweisen, gibt es Befunde zu Exekutivfunktionen: Beispielsweise wiesen Colcombe und Kramer (2003) in einer Metaanalyse zu älteren Menschen (55-80 Jahre) nach, dass ein Ausdauertrainingsprogramm dem altersbedingten Verlust von Hirngewebe und dem Rückgang von Neurotransmitterkonzentrationen entgegenwirkt und damit zu einer Verbesserung in den exekutiven Funktionen (Arbeitsgedächtnis, Aufmerksamkeitssteuerung und Inhibition) führt. Ähnlich positive Effekte physischer Aktivität zeigten Hillmann, Castelli und Buck (2005) für Kinder und Erwachsene. Das Arbeitsgedächtnis, das als eine bestimmte exekutive Funktion verstanden wird, weist der Literatur zufolge ebenfalls Zusammenhänge zu motorischen Fähigkeiten auf. Guiney und Machado (2013) bestätigen diesen Zusammenhang in ihrem Review über den Einfluss eines aeroben Trainings auf die exekutiven Funktionen bei Kindern, Erwachsenen und Senioren. Darüber hinaus lassen sich in Studien zu Stichproben mit Funktionsstörungen im Bereich der motorischen Entwicklung Defizite in der Arbeitsgedächtnisleistung ausfindig machen. Beispielsweise zeigen Kinder mit einem Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätssyndrom (Pitcher et al., 2003) sowie autistische Kinder (Leary, 1996) eine schlechtere räumliche Arbeitsgedächtnisleistung als motorisch durchschnittlich begabte Kinder. Darüber hinaus wiesen Wiedenbauer und Jansen-Osmann (2006) für Kinder mit Spina Bifida, die unter einem Neuralrohrdefekt leiden, eine verminderte Arbeitsgedächtnis- sowie mentale Rotationsleistung nach. Diese Befunde wurden von Lehmann und Jansen (2013) untermauert.

Die Beteiligung von Arbeitsgedächtnisprozessen bei der mentalen Rotation (vgl. Hyun & Luck, 2007) wurden bereits erläutert (siehe Punkt 5.3). Vor dem Hintergrund der

Befunde von Hertzog und Rypma (1991) spielt das Arbeitsgedächtnis unter anderem im mentalen Rotationsprozess eine Rolle, weshalb die bessere Rotationsleistung von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern ebenfalls darauf zurückgeführt werden kann. Interessanterweise zeigt sich hier eine Analogie zu entwicklungs- und altersbedingten Einbußen, die sich in erhöhten Rotationsgeschwindigkeiten, ausgedrückt in einem steileren Anstieg der Regressionsgeraden, im Vergleich zu jungen Erwachsenen manifestieren. Entgegen der Befunde von Babcock und Salthouse (1990), dass altersbedingte Einbußen in der Arbeitsgedächtnisleistung auf die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit zurückzuführen sind, kann in unserem Fall nicht geschlussfolgert werden, da sich in unserer Studie die Nicht-Sportler bezüglich dieser Komponente, operationalisiert durch den ZVT, von den Sportlern nicht signifikant unterscheiden. Allerdings ist die von den Autoren angeführte reduzierte Speicherkapazität eine mögliche Variable, die als ursächlich angesehen werden kann. Der Effekt von physischer Aktivität auf diesen Faktor insbesondere in Hinblick auf den mentalen Rotationsprozess könnte im Rahmen weiterführender Studien von Interesse sein. Eine methodische Erweiterung des Designs der dritten Studie um Testverfahren zur Arbeitsgedächtniskapazität wäre in diesem Kontext aufschlussreich.

Die bessere Rotationsleistung von Sportlern im Vergleich zu Nicht-Sportlern kann neben Unterschieden in der Arbeitsgedächtnisleistung auf einer verstärkten Beanspruchung motorischer Prozesse von Sportlern basieren und würde damit für den Embodiment-Ansatz sprechen. Diese Schlussfolgerung entspricht den Befunden von Moreau (2012), der den Vorteil von Sportlern darin begründete, dass diese vermehrt motorische Ressourcen heranziehen. Der Autor nimmt an, dass die Beanspruchung motorischer Ressourcen dazu führt, dass abstrakte Stimuli wie die Würfelfiguren, die relativ zu einem anderen Objekt positioniert sind, in körper-basierte egozentrische Stimuli transferiert werden, die relativ zu der eigenen Körperachse lokalisiert sind, was zu einer erleichterten Verarbeitung führt (vgl. Amorim et al., 2006). Da gemäß Moreau (2012) Sportler mit einer höheren Wahrscheinlichkeit als Nicht-Sportler motorische Ressourcen heranziehen, könnte bei dieser Stichprobe ein Priming der Transformation eines abstrakten in einen egozentrischen (motorischen) Stimulus erfolgen. Diese Annahme eines gewissen Primings wird durch bildgebende Verfahren unterstützt, wie beispielsweise die PET-Studien von Kosslyn et al. (1998) und Wraga et al. (2003). Beide

Arbeiten wiesen nach, dass sich die Beanspruchung motorischer Ressourcen implizit auf die mentale Rotation von abstrakten Objekten transferiert hat, nachdem menschliche Körperfiguren bearbeitet wurden. In dieser Untersuchung übertrug sich die Aktivierung motorischer Areale auf die Bearbeitung von Würfelfiguren, allerdings nur wenn zuvor eine mentale Rotationsaufgabe mit verkörpertem Stimulusmaterial dargeboten wurde. Es handelt sich folglich um keinen automatischen Prozess, sondern um einen, der getriggert wurde durch eine Aufgabe, die motorische Prozesse aktiviert hat. Gemäß Moreau (2012) stellt die tägliche Manipulation motorischer Repräsentationen von Sportlern eine gewisse Form des Primings dar, die sich im Vergleich zu Nicht-Sportlern positiv auf die mentale Rotationsleistung auswirkt. Dies könnte als Erklärung für die bessere Performanz von Sportlern in unserer Studie herangezogen werden, allerdings ist die Vergleichbarkeit zu Moreau (2012) durch methodische Differenzen in der Stichprobe und im Stimulusmaterial eingeschränkt.

Anders als Moreau (2012), der Wrestler untersuchte, konzentrierten wir uns auf Sportler ohne Rotationsexpertise und verwendeten verkörpertes Stimulusmaterial im Sinne von menschlichen Körperfiguren (vs. Würfelfiguren). Interessanterweise zeigte sich schon bei der zweiten Studie ein Vorteil von Sportlern ohne Rotationsexpertise, was dafür spricht, dass eine spezielle Rotationserfahrung nicht maßgeblich für einen Leistungsvorteil erforderlich sein muss. Diese Vermutung widerspricht den Befunden von Steggemann et al. (2011) sowie von Jola und Mast (2005). Allerdings ist bezüglich der Studie von Steggemann et al. (2011) anzumerken, dass ein Rotationsvorteil ausschließlich in der egozentrischen Bedingung gefunden wurde, während sich die Athleten in der objektbasierten Bedingung nicht von den Nicht-Sportlern unterschieden. Ähnliches galt für den Vergleich von Tänzern und Nicht-Tänzern in objektbasierten Rotationen in der Studie von Jola und Mast (2005). In Anbetracht der Tatsache, dass sich in unserer zweiten Studie ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Sportlern und den Nicht-Sportlern in der objektbasierten Bedingung abzeichneten und diese sich erst in Studie 3 infolge der verstärkten „Verkörperung“ der Stimuli als signifikant erwiesen, deuten unsere Ergebnisse daraufhin, dass vielmehr das Stimulusmaterial und weniger die spezielle motorische Expertise einen erklärenden Faktor darstellt oder zumindest die Interaktion zwischen diesen beiden Variablen entscheidend ist. Auch wenn eine bedingte Vergleichbarkeit der Studien aufgrund von Unterschieden im Stimulusmaterial, der

Transformationsarten, sowie der Sportarten in dieser Interpretation zu berücksichtigen ist, und weitere Forschungsarbeiten unter Verwendung dieses Designs mit zusätzlicher Untersuchung von Rotationsexperten diese Aussage empirisch absichern könnte, wird die Bedeutung des Stimulusmaterials in Zusammenhang mit der Verkörperung durch die nachfolgenden Ergebnisse der Studie 3 untermauert.

Interessanterweise wirkt sich die Verkörperung durch lebensgroße Stimuli speziell auf die objektbasierte Bedingung aus, der Gruppenunterschied erweist sich beispielsweise hinsichtlich der Trefferquote ausschließlich in der objektbasierten Transformation als signifikant. Darüber hinaus war die Effektstärke des Gruppenunterschieds in der egozentrischen Bedingung nicht signifikant stärker als in der objektbasierten. Demzufolge scheinen gerade Objekt-Rotationen von der Verwendung lebensgroßer Stimuli zu profitieren. Die Induktion von Embodiment-Effekten durch das Stimulusmaterial geht konform mit den Befunden von Amorim et al. (2006), die nachwiesen, dass die Verkörperung von dreidimensionalen Würfeln nach Shepard und Metzler (1971) durch das Hinzufügen von Körpermerkmalen zu einer verbesserten Performanz in einer objektbasierten Transformation führte. Die Autoren schrieben das Ergebnis einer Stimulation motorischer Prozesse durch das „verkörperte“ Stimulusmaterial zu. Ähnliche Befunde lieferten Sack et al. (2007), die zeigten, dass sich eine Interferenz von manueller und mentaler Rotation ausschließlich bei Händen als Stimulusmaterial ergab, nicht dagegen bei Würfeln. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Jansen et al. (2012), die 20 Fußballspieler und Nicht-Sportler in einer objektbasierten mentalen Rotationsaufgabe verglichen. Das Stimulusmaterial setzte sich ebenfalls aus Würfelfiguren und verkörperten Würfelfiguren zusammen. Die Fußballspieler schnitten besser ab als die Kontrollgruppe, allerdings nur bei den verkörperten Stimuli.

Erwartungsgemäß hätten diese Verkörperungseffekte bei der egozentrischen Transformation stärker ausfallen müssen. Die einzige vage Vermutung, die für eine stärkere Nutzung von der Verkörperung durch objektbasierte Transformationen sprechen würde, ist angelehnt an die Überlegung von Moreau (2012). Diese stützt sich darin, dass bei egozentrischen Transformationen bereits ein gewisses Priming motorischer Ressourcen gegeben ist, rein aufgrund der Tatsache, dass eine perspektivische Transformation im Sinne einer motorischen Simulation von Nöten ist. Dagegen wurden die Stimuli aus Studie 2 vermutlich eher wie abstrakte Objekte gedreht und erst durch die

„Verkörperung“ in Studie 3, bedingt durch die Darbietung der Körperfiguren in Lebensgröße, ist eine verstärkte Aktivierung motorischer Ressourcen erfolgt. Dies würde erklären, warum sich erst in der dritten Studie ein Gruppenunterschied in der objektbasierten Bedingung ergeben hat, im Sinne einer verstärkten „Verkörperung objektbasierter Rotationen“ durch lebensgroße Körperfiguren. Wenn auch sehr spekulativ, sprechen die Studien, die Verkörperungseffekte bedingt durch das Stimulusmaterial demonstrierten (Amorim et al., 2006, Jansen et al., 2012, Sack et al., 2007), für diese Schlussfolgerung.

Studie 3: Der Einfluss des eigenen Körperbilds auf objektbasierte und egozentrische Transformationen

In Anbetracht der Hypothese 4, die basierend auf den Befunden von Frassinetti et al. (2008) eine vorteilhafte Verarbeitung eigener Körperbilder postuliert, sprechen die in Studie 3 nachgewiesenen Befunde für einen „Selbst-Nachteil“ in Objekt-Rotationen, der bereits in Studie 2 ersichtlich wurde. Analog zu den Ergebnissen der zweiten Studie blieb die nachteilige Bearbeitung eigener Körperbilder in der egozentrischen Transformation aus. Der „Nachteil des Selbst“ in der objektbasierten Bedingung wird durch zwei Interaktionen in der dritten Studie untermauert: Die mentale Rotationsgerade war bei eigenen Körperbildern steiler als bei fremden und letztere wiesen einen gewissen „Vorteil der Rückansicht“ auf, der bei körpereigenen Stimuli nicht zu beobachten war. Während ein ausbleibender „Selbst-Nachteil“ in der egozentrischen Bedingung als indirekter Hinweis auf einen „Selbst-Vorteil“ zu interpretieren ist, spricht folgende Interaktion in gewisser Weise für eine explizite vorteilhafte Verarbeitung eigener Körperbilder: Eigene Körperbilder wurden in der egozentrischen Transformation in der Rückansicht, nicht dagegen in der Vorderansicht schneller verarbeitet als fremde Körperbilder. Diese Befunde sollen nun detaillierter erörtert werden.

Der „Selbst-Nachteil“ in der objektbasierten Bedingung

Der in Objekt-Rotationen gefundene „Nachteil des Selbst“ wurde in Studie 2 dahingehend interpretiert, dass mögliche Aufmerksamkeitsprozesse für die schlechtere Performanz verantwortlich gemacht werden könnten, welche die für die mentale Rotation notwendigen Ressourcen beanspruchen (Karadi et al., 2001). Zur Klärung dieser Fragestellung wurde eine zusätzliche Wiedererkennungsaufgabe durchgeführt, deren Er-

gebnisse diese Schlussfolgerung bestätigt. Es zeigten sich bei der reinen Wiedererkennung ohne Lateralitätsentscheidung sowohl höhere Reaktionszeiten als auch eine geringere Trefferquote bei selbst-bezogenen Stimuli. Darüber hinaus blieb eine Interaktion zwischen dem Stimulus und der dargebotenen Orientierung aus, welche sich infolge des Embodiment-Ansatzes aufgrund eines stärkeren Referenzrahmenkonflikts in der 135°- als in der 0°-Bedingung als signifikant hätte erweisen müssen. Die Frage, warum gemäß diesen Ergebnissen egozentrische Transformationen von Selbstaufmerksamkeitsprozessen nicht betroffen sind, wurde spekulativ auf eine geringere kognitive Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses zurückgeführt. Eine weitere mögliche Erklärung könnte in der Gleichsetzung zwischen Objekt-Rotation und manueller Rotation begründet sein (Kosslyn et al., 1998; Wexler et al., 1996; Wohlschläger & Wohlschläger, 1998). Dementsprechend ist bei der objektbasierten Bedingung eine stärkere Distanz zwischen Versuchsperson und Stimulus als bei einer Perspektivenübernahme im Falle der egozentrischen Transformation gegeben. Dadurch könnte bei der Objekt-Rotation eventuell stärker eine Konfrontation mit dem Spiegelbild assoziiert werden, was zur Folge haben könnte, dass sich Selbstaufmerksamkeitsprozesse vorwiegend auf diese Transformationsart auswirken.

Hinsichtlich des „Nachteils des Selbst“ in der objektbasierten Rotation zeigte die „Stimulus*Ansicht“-Interaktion, dass fremde Körperbilder in der Rückansicht signifikant niedrigere Reaktionszeiten als in der Vorderansicht hervorriefen (= „Vorderansichtsnachteil“), während eigene Körperfiguren in der Rückansicht nicht schneller verarbeitet wurden. Demnach zeigte sich ein „Vorteil der Rückansicht“ nur bei körperfremden Stimuli. Dieser Befund deutet darauf hin, dass das Selbst im Vergleich zu fremden Körperbildern in der Rückansicht nachteilig verarbeitet wird. Zur Erklärung dieses Ergebnisses könnten analog zur Vorderansicht Selbstaufmerksamkeitsprozesse angeführt werden, die Ressourcen einnehmen, welche für den mentalen Rotationsprozess erforderlich wären. Zudem zeigte sich eine Interaktion zwischen den Faktoren „Stimulus“ und „Winkeldisparität“, ausgedrückt in einem stärkeren Anstieg der Regressionsgeraden bei körpereigenen Stimuli, die ebenfalls auf die Ressourcenproblematik zurückgeführt werden kann: Die konkurrierenden Selbstaufmerksamkeitsprozesse wirken sich speziell bei zunehmender Aufgabenschwierigkeit, die bei ansteigender Winkeldisparität gegeben ist, negativ auf die Rotationsfähigkeit aus.

Allerdings ist in Anbetracht der Arbeit von Moreau (2012) eine weitere Schlussfolgerung möglich: Der Autor nimmt an, dass die Beanspruchung motorischer Ressourcen dazu führt, dass abstrakte Stimuli, wie die Würfelfiguren, die relativ zu einem anderen Objekt lokalisiert sind, in körperbasierte egozentrische Stimuli transferiert werden. Da diese relativ zu der eigenen Körperachse lokalisiert sind, wird die Verarbeitung erleichtert. Dies spiegelt sich in einer verbesserten Performanz wider (vgl. Amorim et al., 2006). Übertragen auf unsere Studie würde das bedeuten, dass sich der Referenzrahmen der Körperfiguren in der objektbasierten Transformation ändert, weg von der Relation zu einem anderen Objekt hin zu einem internen Bezugssystem, dem eigenen Körper. Demzufolge müssten die eben genannten Interaktionen in Anbetracht motorischer Simulationen im Sinne einer Perspektivenübernahme interpretiert werden. Vor diesem Hintergrund lassen sich die erhöhten Reaktionszeiten bei der Bearbeitung eigener Körperbilder in der Rückansicht dadurch erklären, dass selbst-bezogene Gedanken bei der Präsentation eigener Körperbilder entstehen, die dazu führen, dass die im Falle der Rückansicht erleichterte Transformation erschwert wird (vgl. Jola und Mast, 2005) und demnach der „Vorteil der Rückansicht“, ausgedrückt in signifikant geringeren Reaktionszeiten der Rück- im Vergleich zur Vorderansicht, nur bei fremden Körperbildern eintritt. Der stärkere Anstieg der Regressionsgeraden eigener Körperbilder im Vergleich zu fremden könnte der Überlegung von Moreau (2012) zufolge auf einen Referenzrahmenkonflikt zurückzuführen sein, der sich gerade bei hohen Winkeldisparitäten ausdrückt. Dieser entsteht durch die Inkompatibilität des eigenen Referenzrahmens mit dem des zu rotierenden Stimulus (May & Wendt, 2012). Die Frage, warum dieser Konflikt bei eigenen Körperbildern besonders stark ausgeprägt war, kann entweder auf erschwerende, ressourcen-einnehmende Selbstaufmerksamkeitsprozesse zurückgeführt werden oder darauf basieren, dass der Referenzrahmenkonflikt besonders stark zu Tage tritt, wenn es sich bei dem zu rotierenden Stimulus und dessen Referenzrahmen um das eigene Körperbild handelt. Wenn auch sehr spekulativ, sollte dieser Gedanke nicht unberücksichtigt bleiben.

Der „Selbst-Vorteil“ in der egozentrischen Bedingung

Das Ausbleiben des „Selbst-Nachteils“ in der egozentrischen Bedingung in Studie 2 wurde als indirekter Hinweis auf einen „Selbst-Vorteil“ in dieser Transformationsart gedeutet, der mit den Befunden von Ferri et al. (2011) konform geht. Die Autoren be-

obachteten, dass der „Vorteil des Selbst“ an eine motorische Komponente geknüpft ist, wie es bei der egozentrischen Bedingung postuliert wird (Kessler & Thomson, 2010). Somit können zahlreiche Evidenzen (Ionta et al., 2007; Parsons, 1987, 1994), die belegen, dass das eigene Körperbild beziehungsweise die Repräsentation davon gerade bei egozentrischen Transformationen eine bedeutende Rolle spielt, mittels dieser Ergebnisse in gewissem Maß als bestätigt angesehen werden. Obwohl sich die Ergebnisse der zweiten Studie hinsichtlich des Einflusses des eigenen Körperbilds auf die beiden Transformationsarten replizieren ließen, ergaben sich im Rahmen der dritten Studie zusätzliche Interaktionen, die 1) Den „Nachteil des Selbst“ in Objekt-Rotationen von Hypothese 4 in gewisser Weise untermauern und tendenziell für 2) Einen direkten „Selbst-Vorteil“ in der egozentrischen Bedingung gemäß Hypothese 5 sprechen im Vergleich zu dem indirekten Hinweis darauf, welcher in der zweiten Studie gegeben war.

Neben diesem indirekten Nachweis im Sinne eines ausbleibenden „Selbst-Nachteils“ in der egozentrischen Transformation ist ein gewisser „Vorteil des Selbst“ ersichtlich, der sich darin ausdrückte, dass eigene Körperbilder in der Rückansicht, nicht dagegen in der Vorderansicht schneller verarbeitet wurden als fremde Körperfiguren. Dieses Ergebnis ist der erste Hinweis für eine explizite vorteilhafte Verarbeitung eigener Körperbilder, wie es in Hypothese 4 angenommen wurde. Dass sich dieser „Selbst-Vorteil“ in einer erleichterten Transformationsart zeigt, die keine zusätzliche Tiefenrotation erfordert, entspricht nur in gewissen Maßen dem Embodiment-Ansatz, welcher den „Selbst-Vorteil“ gerade bei motorischen Simulationen postuliert. Dementsprechend wäre ein „Selbst-Vorteil“ bei der Vorderansicht erwartungskonform gewesen, allerdings erfordert die Rückansicht auch eine gewisse Form der Perspektivenübernahme (Schritt nach vorne, vgl. Jola & Mast, 2005) und kann demnach trotzdem in diesen theoretischen Rahmen der Verkörperung eingeordnet werden.

Zusammenfassend lässt sich anhand der Ergebnisse der dritten Studie schlussfolgern, dass die Verwendung lebensgroßer Stimuli zu Verkörperungseffekten geführt hat, die sich derart auswirken, dass speziell objektbasierte Rotationen von der Verkörperung profitierten. Bezüglich der Beteiligung motorischer Prozesse zeigte sich gerade in Objekt-Rotationen ein Rotationsvorteil von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern und hinsichtlich des Einflusses des eigenen Körperbilds ließ sich eine stärkere Verkörperung

objektbasierter Rotationen nachweisen. Ob sich diese im Sinne einer verstärkten Nutzung motorischer Ressourcen oder sogar in Form einer gewissen Perspektivenübernahme während einer objektbasierten Transformation nach Moreau (2012) ausdrückt, bleibt bis zu dem heutigen Forschungsstand ungeklärt und wirft einen interessanten Ansatzpunkt für zukünftige Forschungsfragen auf. Darüber hinaus wirkt sich die verstärkte Verkörperung bedingt durch lebensgroße Stimuli ebenfalls auf egozentrische Transformationen aus. Gerade der Einfluss des Körperbilds auf egozentrische Transformationen schien von der Manipulation der dritten Studie zu profitieren. Der Vergleich objektbasierter und egozentrischer Transformationen zeigte dabei folgendes Muster: Während in Objekt-Rotationen ein „Nachteil des Selbst“ zu beobachten war, ergab sich in der egozentrischen Transformation ein expliziter „Vorteil des Selbst“. Diese Beobachtung könnte derart gedeutet werden, dass die negativen Selbstaufmerksamkeitsprozesse gerade in objektbasierten Transformationen dominant sind und weniger in egozentrischen, vielleicht weil sie in dieser Bedingung durch die starke Einbindung motorischer Prozesse, die gerade in Verbindung mit dem Selbst besonders gut wirken können, in gewissem Maße kompensiert werden. Allerdings bleibt bis dato ungeklärt, inwiefern sich erhöhte Aufmerksamkeitsprozesse auf perspektivische Transformationen auswirken. Eine differenzierte Betrachtung dieses Zusammenhangs würde eine interessante Fragestellung für Nachfolge-Experimente darstellen. Die Durchführung einer Dual-Task-Aufgabe in Studie 3 könnte in diesem Kontext aufschlussreich sein.

Der entscheidende Unterschied zwischen objektbasierten und egozentrischen Transformationen ist folglich das Ausmaß der Verkörperung - eine Variable, die im Rahmen der dritten Studie manipuliert wurde. Inwiefern sich diese stärkere Verkörperung in Studie 3 ausgewirkt hat, soll in einem Vergleich der Ergebnisse der zweiten und dritten Studie resultierend aus einer einheitlichen Analyse (Hypothese 9) diskutiert werden.

Studie 2 und 3 im Vergleich: Die Bedeutung motorischer Fähigkeiten in objektbasierten und egozentrischen Transformationen

Hinsichtlich der Bedeutung motorischer Fähigkeiten zeigte sich, dass die Verkörperung einen Rotationsvorteil für Sportler speziell in der objektbasierten Bedingung induzierte. Diese Schlussfolgerung resultiert aus einer signifikanten „Gruppe*Winkeldisparität*Studie“-Interaktion, anhand derer sich ein Unterschied zwischen Sportlern

und Nicht-Sportlern im Winkelanstieg für Studie 3, nicht jedoch für Studie 2 einstellte. Sportler wiesen einen niedrigeren Anstieg der Regressionsgeraden als Nicht-Sportler auf, allerdings nur in der dritten Studie. Dieses Ergebnis lässt sich mittels der durch Moreau (2012) gefundenen, verstärkten Nutzung motorischer Ressourcen von Sportlern erklären und reiht sich ein in die Vielzahl der Studien, die einen Leistungsvorteil von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern nachweisen (Moreau et al., 2012; Pietsch & Jansen, 2012). Diese vorteilhafte Performanz von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern drückte sich ebenfalls in der Trefferquote aus, die speziell bei körpereigenen Stimuli und ausschließlich in Studie 3 zu beobachten war, während in Studie 2 kein Unterschied zwischen Sportlern und Nicht-Sportlern, weder in fremden noch in eigenen Körperfiguren gefunden werden konnte. In Anbetracht der Kopplung des „Selbst-Vorteils“ an motorische Prozesse (Ferri et al., 2006) und der Befunde zur verstärkten Verwendung motorischer Ressourcen durch sportliche Betätigung nach Moreau (2012) untermauert dieses Ergebnis den Embodiment-Ansatz.

Ein weiterer Befund, der in diesem Zusammenhang für einen Rotationsvorteil bedingt durch die stärkere Verkörperung spricht, ist die „Winkeldisparität*Studie“-Interaktion. Demnach ist sowohl in objektbasierten als auch in egozentrischen Transformationen der Anstieg der Regressionsgeraden in Studie 2 steiler als der in Studie 3. Folglich scheint der mentale Rotationsprozess von den lebensgroßen Körperfiguren im Vergleich zu den kleineren Stimuli zu profitieren und untermauert damit den Embodiment-Ansatz im Sinne einer verbesserten Rotationsleistung infolge verstärkter Verkörperung.

Studie 2 und 3 im Vergleich: Der Einfluss des eigenen Körperbilds auf objektbasierte und egozentrische Transformationen

Die Ergebnisse hinsichtlich des Einflusses eigener Körperbilder unterstützen die Annahme, dass es durch die Manipulation der Stimulusgröße in Studie 3 zu einer Verkörperung objektbasierter Stimuli kommt, die folglich wie egozentrische Transformationen eine motorische Simulation in Gang setzen (Moreau, 2012). Beispielsweise zeigte die Dreifachinteraktion „Stimulus*Ansicht*Studie“ in der objektbasierten Bedingung, dass der in Studie 2 nachgewiesene „Vorderansichts-Nachteil des Selbst“ in Studie 3 verschwindet. Demnach könnte gefolgert werden, dass die ressourcen-einnehmenden Selbstaufmerksamkeitsprozesse durch die stärkere Aktivierung motorischer Prozesse

infolge der stärkeren Verkörperung in Studie 3 kompensiert werden, im Sinne einer Aufhebung des „Selbstaufmerksamkeitsnachteil“ durch einen „Verkörperungsvorteil“. Dieser spezielle „Nachteil des Selbst“ wird demnach so reduziert, dass er ausbleibt, was indirekt als positiver Einfluss der Manipulation auf die Verarbeitung eigener Körperbilder im Sinne eines „Selbst-Vorteils“ gedeutet werden könnte. Auch wenn kein expliziter „Vorteil des Selbst“ zu beobachten war, ist die Tendenz von einer negativen Verarbeitung des Selbst hin zu einer neutralen als positive Richtung anzusehen. Gemäß des Embodiment-Ansatzes ist der „Selbst-Vorteil“ an eine motorische Simulation geknüpft (vgl. Ferri et al., 2006), wie es im Falle der Vorderansicht, bedingt durch eine zusätzliche Tiefenrotation (vgl. Jola & Mast, 2005), gegeben ist. Dies wiederum spricht dafür, dass eine gewisse perspektivische Transformation selbst bei objektbasierten Rotationen von statten geht, wie es von Moreau (2012) angenommen wurde.

Während in der objektbasierten Bedingung jedoch kein direkter „Selbst-Vorteil“ nachgewiesen werden konnte, war in der egozentrischen ein expliziter Vorteil in der Verarbeitung eigener Körperbilder zu beobachten, der sich in der „Stimulus*Ansicht*Studie“-Interaktion ausdrückte. Während in Studie 2 kein Unterschied zwischen körpereigenen und fremden Stimuli sowohl in Vorder- als auch Rückansicht zu verzeichnen war, wurden in Studie 3 selbst-bezogene Körperbilder in der Rückansicht schneller verarbeitet als in der Vorderansicht. Aufgrund der ausbleibenden zusätzlichen Tiefenrotation im Vergleich zur Vorderansicht (Jola & Mast, 2005) ist es schlüssig, dass sich gerade in der Rückansicht ein Vorteil zeigte. Allerdings ist hervorzuheben, dass es sich dabei um den ersten expliziten „Vorteil des Selbst“ handelt. Anhand dieses Ergebnisses sind zwei Schlussfolgerungen abzuleiten: 1) Hinsichtlich des Vergleichs zu objektbasierten Rotationen zeigte sich, dass der Einfluss des eigenen Körperbilds bei egozentrischen stärker ausgeprägt ist, was bisherige Evidenzen bestätigt (Ferri et al., 2006) und 2) Die stärkere Verkörperung der dritten Studie im Vergleich zur zweiten wirkte sich auf den Einfluss des eigenen Körperbilds derart aus, dass sich der indirekte „Vorteil des Selbst“ in der egozentrischen Transformation in der Studie 2 hin zu einem direkten Vorteil in Studie 3 entwickelt hat, auch wenn dieser auf die Rückansicht beschränkt ist.

Zusammenfassend lassen diese Ergebnisse den Schluss zu, dass die Manipulation der Stimulusgröße durchaus zu Verkörperungseffekten geführt hat, die sich hinsichtlich der

Bedeutung motorischer Fähigkeiten in einem generellen Rotationsvorteil und einem Rotationsvorteil speziell für Sportler in Studie 3 im Vergleich zu Studie 2 ausgedrückt haben. Der Einfluss des eigenen Körperbilds hat von dieser Maßnahme derart profitiert, dass man hinsichtlich der Objekt-Rotationen von einer Kompensation des „Vorderansichts-Nachteils“ durch einen Verkörperungsvorteil sprechen kann, während in egozentrischen im Vergleich zur zweiten Studie erstmals ein gewisser „Selbst-Vorteil“ zu beobachten war. Generell wurde deutlich, dass gerade die objektbasierte Transformation von der Verkörperung profitiert hat. Dies führte zum Schluss, dass eine gewisse Perspektivenübernahme selbst im Rahmen von Objekt-Rotationen infolge von Verkörperungseffekten durch das Stimulusmaterial nicht ausgeschlossen ist. Weiterführend könnte man daraus ableiten, dass die Formulierung „Objekt-Rotation“ inhaltlich gesehen nicht adäquat ist und demnach ausschließlich der Ausdruck „objektbasierte Transformation“ verwendet werden sollte. Würde man diesen Gedankengang weiterführen, könnte man in Frage stellen, ob der Ausdruck „objektbasiert“ treffend ist, da bei einer Perspektivenübernahme das Bezugssystem ein internes ist und kein anderes Objekt, wie es der Ausdruck „objektbasiert“ impliziert.

Einschränkungen und Zusammenfassung

Kritisch ist anzumerken, dass analog zur zweiten Studie die motorische Expertise als Variable verwendet wurde, um das Ausmaß der Verkörperung zu überprüfen. Zentrum des Interesses ist hierbei die Bedeutung der motorischen Fähigkeiten, allerdings wäre die Beteiligung motorischer Prozesse vielleicht aussagekräftiger. Ein Interferenzparadigma, in dem die Körperhaltung manipuliert wird, könnte einen interessanten Ansatz darstellen, um diese Fragestellung zu untersuchen, gerade mit Hinblick auf die Frage, ob Interferenzeffekte bei einer stärkeren Verkörperung von Studie 3 stärker ausfallen als in Studie 2. In Anbetracht der Tatsache, dass laut Tsakiris (2010) der „Vorteil des Selbst“ auf einer sensomotorischen Repräsentation basiert, wäre es interessant zu erheben, ob taktile Stimulation in Form einer Berührung während der Bearbeitung einer mentalen Rotationsaufgabe die beiden Transformationsarten (objektbasiert, egozentrisch) unterschiedlich stark beeinflusst. Darüber hinaus sollte ein differenzierteres Verständnis darüber geschaffen werden, zu welchem Ausmaß Verkörperungseffekte auf das Stimulusmaterial zurückzuführen sind. Auch wenn unsere Befunde darauf hindeuten, dass verkörperte Stimuli eine entscheidende Rolle spielen, sollten die Er-

gebnisse, die auf die Bedeutung der speziellen Rotationsexpertise hinweisen (Jola & Mast, 2005; Steggemann et al., 2011), nicht außer Acht gelassen werden. Die Rekrutierung einer weiteren Stichprobe von Rotationsexperten wäre auch in dieser Studie gerade vor dem Hintergrund der Manipulation der Stimulusgröße sehr aufschlussreich.

Ursprünglich wurde angenommen, dass Sportler mitunter aufgrund ihres verbesserten Körperbildes bessere Ergebnisse in der mentalen Rotation erzielen als Nicht-Sportler. Während in der zweiten Studie keine Unterschiede zwischen Sportlern und Nicht-Sportlern zu verzeichnen waren, wiesen in der dritten Studie die Nicht-Sportler gemäß der Frankfurter Körperkonzeptskalen sogar ein besseres Körperkonzept auf als die Sportler. Betrachtet man allerdings die Cut-off-Werte dieses Fragebogens, die für einen Wert unterhalb von 256 ein verzerrtes Körperbild indizieren (Deusinger, 1998), würde das bedeuten, dass beide Stichproben ein pathologisches Selbstbild aufweisen. Auch wenn es Nachweise gibt, dass gesunde Erwachsene eine verzerrte Körperrepräsentation aufweisen (Fuentes et al., 2013), sollte vorwiegend vor Augen geführt werden, dass die Erhebung des Konstrukts „Körperbild“ mit vielen Schwierigkeiten assoziiert ist. Darunter ist beispielweise die Vielfalt der Begrifflichkeiten anzuführen, die mit dem Begriff „Körperbild“ in Verbindung gebracht werden. Während in der englischsprachigen Literatur der Begriff „Body Image“ relativ konsistent verwendet wird (Cash & Pruzinsky, 2002), herrscht im deutschsprachigen Raum eine Vielzahl von Ausdrücken. Meermann (1991) differenziert Begriffe wie „Körperwahrnehmung“, „Körperschema“, „Körperbild“, „Körper-Ich“, „Körper-Selbst“ und „Körperkonzept“. Diese Begriffe werden zum Teil synonym verwendet, obwohl sie sich bezüglich ihrer inhaltlichen Bedeutung voneinander unterscheiden. Dieser Umstand könnte möglicherweise erklären, warum die Erhebung des Körperbilds durch die FKKS im Rahmen unserer Untersuchung nicht aussagekräftig oder sogar widersprüchlich zu der Metaanalyse von Hausenblas und Downs (2001) sind, die einen positiven Effekt sportlicher Betätigung auf das Körperbild und das Selbstwertgefühl nachwiesen. McDonald und Thompson (1992) konnten ebenfalls eine Korrelation des Selbstwertgefühls und der körperlichen Aktivität feststellen. Diese Ergebnisse sollten für Nachfolgestudien stärker berücksichtigt werden, indem die Erhebung dieses Konstrukts vor dem Hintergrund der angesprochenen Problematik differenzierter vorgenommen werden sollte. Dabei kann die von Joraschky et al. (2009) aufgeführte Abgrenzung zwischen körperbezogenen Emoti-

onen, Kognitionen und Perzeptionen (vgl. Tabelle 1), sowie eine zusätzliche Erhebung dieser Konstrukte hilfreich sein.

Die Erhebung einer zusätzlichen Wiedererkennungsaufgabe lieferte Aufschluss darüber, ob die Ergebnisse auf konkurrierende Selbstaufmerksamkeitsprozesse zurückzuführen sind. Allerdings sollte diesbezüglich vor Augen geführt werden, dass diese Aufgabe im Anschluss an die mentale Rotationsaufgabe präsentiert wurde, sodass die Versuchspersonen bereits mit dem eigenen Körper konfrontiert wurden, was sich auf die Ergebnisse der nachfolgenden Aufgabe auswirken kann. In einer weiteren Folgestudie sollte genau dieser Aspekt zum Fokus gemacht werden und eine ausbalancierte Darbietung der beiden Aufgaben angestrebt werden. Eine Möglichkeit, die Effekte des eigenen Körperbildes zu verstärken, könnte darin bestehen, die Abgrenzung zu fremden Körperbildern zu erhöhen. Dies könnte beispielsweise durch die Präsentation des anderen Geschlechts erfolgen. Hierbei sollte allerdings berücksichtigt werden, dass das ohnehin schon sehr komplexe Paradigma dadurch um einen weiteren Faktor erweitert werden würde. Dementsprechend sollten Variablen wie beispielsweise die „Ansicht“ nicht methodisch erfasst werden, wenn der Fokus auf dieser Manipulation liegen sollte. Eine weitere Möglichkeit, den Einfluss des eigenen Körperbilds zu variieren, könnte darin bestehen, die Ähnlichkeit zwischen dem lebensgroßen Stimulus und der eigenen Person dadurch zu erhöhen, indem die gleiche Körperhaltung eingenommen wird. Diese Manipulation ist vermutlich einfacher umsetzbar, wenn man ausschließlich die egozentrische Transformation untersucht, da hier lediglich ein Stimulus dargeboten wird. In einer Bedingung könnte die Versuchsperson konstant den rechten, in der anderen den linken Arm ausstrecken. Eine Analyse, die inkompatible Trials (Arm des Stimulus stimmt mit dem Arm der Versuchsperson überein) mit kompatiblen Trials vergleicht, könnte Aufschluss über die Wirksamkeit dieser Manipulation geben.

Generell sprechen die Ergebnisse der Studie 3, einzeln und im Vergleich zur Studie 2 betrachtet, für eine Verkörperung infolge der Manipulation des Stimulusmaterials, die sich sowohl auf die Bedeutung motorischer Fähigkeiten als auch auf den Einfluss des eigenen Körperbilds auswirkt. Interessanterweise profitiert besonders die objektbasierte Bedingung von dieser Manipulation, was die bisherige Annahme einer verstärkten Verkörperung egozentrischer Transformationen erweitert, indem ebenfalls für ob-

jektbasierte Transformationen eine gewisse Form der Perspektivenübernahme infolge unserer Ergebnisse angedeutet wurde.

In Anbetracht der ursprünglichen Motivation, die Manipulation der Stimulusgröße zum Untersuchungsgegenstand zu deklarieren, demonstrieren die Ergebnisse der zweiten und dritten Studie, dass die Darbietung lebensgroßer Körperbilder einen Effekt auf die Performanz der Versuchspersonen hat. Trotz des Nachweises, dass es infolge der Variation der Größe zu Verkörperungseffekten gemäß des Embodiment-Ansatzes kommt, wäre dennoch eine Kontrollbedingung interessant, die nicht-verkörpernte Stimuli in Lebensgröße darstellt. Ein Vergleich zwischen den verwendeten Fotografien und schematischen Darstellungen des Körpers wäre eine alternative Fragestellung. Zudem wäre ein within-Design eine Möglichkeit zu überprüfen, ob sich die von Kosslyn et al. (1998) gefundenen Übertragungseffekte einer motorischen Strategie auf nicht-verkörperntes Stimulusmaterial (Würfelfiguren) replizieren lassen, mit dem Unterschied, dass es sich in beiden Bedingungen um menschliche Körperfiguren handeln würde, die sich lediglich in der Größe voneinander unterscheiden. Eine Gruppe würde zuerst eine mentale Rotationsaufgabe mit lebensgroßen Stimuli bearbeiten und dann im Anschluss kleine, auf dem PC präsentierte Stimuli dargeboten bekommen, während die zweite Gruppe in umgekehrter Reihenfolge getestet wird.

Der in dieser Untersuchungsreihe nachgewiesene Effekt der Stimulusgröße sollte für die Umsetzung zukünftiger Forschungsfragen berücksichtigt werden, um die ökologische Validität und damit die Tragweite der Ergebnisse einer Laborstudie zu erhöhen. Als Anregung für Nachfolge-Experimente könnte die ökologische Validität gesteigert werden, indem beispielsweise dreidimensionale Stimuli (Avatar-Figuren) verwendet werden. Unsere Studie stellte einen Versuch dar, die externe Validität zu erhöhen. Eine Weiterführung dieser Fragestellung wäre wünschenswert, da die Replikation unserer Ergebnisse dafür sprechen würde, dass die aus einem Laborexperiment gewonnenen Befunde kritisch zu betrachten sind. Daraus könnte man schlussfolgern, dass Versuchspersonen in einer Testsituation Aufgaben möglicherweise stärker kognitiv-basiert lösen, während sie im realen Leben „verkörperter“ denken – ein Befund, der die Bedeutung des Embodiment-Ansatzes weiter bekräftigen würde.

8. Gesamtdiskussion

8.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse der Untersuchungsreihe

Im abschließenden Teil dieser Arbeit werden die Ergebnisse der durchgeführten Studien zusammengefasst und diskutiert. Die drei Studien konzentrierten sich inhaltlich auf die Differenzierung zwischen objektbasierten und egozentrischen Transformationen hinsichtlich ihres Entwicklungsaspektes und der Beteiligung motorischer Prozesse.

In der ersten Studie konnte nachgewiesen werden, dass Kinder und Senioren langsamer rotierten als junge Erwachsene, unabhängig vom Stimulusmaterial. Entwicklungs- und altersbedingte Unterschiede in der Rotationsgeschwindigkeit wurden auf kognitive Veränderungen im Arbeitsgedächtnis und dessen engen Verbindung zur Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit zurückgeführt. Der Vergleich der beiden Transformationsarten zeigte, dass Kinder im Vergleich zu Erwachsenen und Senioren Defizite in der perspektivischen Transformation aufwiesen. In Anbetracht der Befunde, die für die egozentrische Transformation eine stärkere Beteiligung motorische Prozesse nachweisen, da es sich hier um eine Transformationsart handelt, die eine Perspektivenübernahme erfordert, wurde geschlussfolgert, dass die Motorik einen ausschlaggebenden Faktor darstellen könnte. Basierend auf dieser Interpretation stellten wir zwei Folgeexperimente an, die das Ausmaß der Verkörperung der beiden Transformationsarten unter dem Einfluss motorischer Fähigkeiten sowie des eigenen Körperbils zum Schwerpunkt des Interesses machten.

Den theoretischen Hintergrund für diese Kopplung zwischen kognitiven und motorischen Fähigkeiten bildet der Embodiment-Ansatz. Dieser postuliert, dass sensorische und motorische Funktionen eine wichtige Bedeutung in der Entwicklung kognitiver Prozesse spielen. Dementsprechend wurden Sportler mit Nicht-Sportlern bezüglich der beiden Transformationsarten verglichen. Zusätzlich wurde der Einfluss des eigenen Körperbils, das ebenfalls gemäß der bisherigen Literatur (Ferri et al., 2011) mit motorischen Prozessen verknüpft ist, auf die beiden Transformationsarten untersucht. Die Ergebnisse der zweiten Studie legten nahe, dass Sportler ausschließlich in der egozentrischen Transformation besser abschnitten als Nicht-Sportler und das eine indirekt vorteilhafte Verarbeitung des Selbst in der egozentrischen Bedingung zu beobachten war, wie es gemäß des Embodiment-Ansatzes hypothetisiert wurde. Allerdings zeigte sich

ein direkter „Nachteil des Selbst“ in der objektbasierten Transformation, der auf ressourcen-einnehmende Selbstaufmerksamkeitsprozesse zurückgeführt wurde.

Um diese Vermutung zu überprüfen, wurde die dritte Studie durchgeführt, bei der die Stimulusgröße manipuliert wurde und Körperbilder in Lebensgröße zur Simulation eines Spiegelbildes präsentiert wurden. Diese Manipulation sollte eine Verstärkung von Selbstaufmerksamkeitsprozessen und Verkörperungseffekten induzieren. Die Ergebnisse der dritten Studie zeigten, dass sich die Verkörperung hinsichtlich der Beteiligung motorischer Prozesse positiv im Sinne eines Rotationsvorteils auswirkte, der sich in der objektbasierten Bedingung einmal zugunsten der Sportler im Vergleich zu den Nicht-Sportlern ausschließlich in Studie 3, nicht dagegen in Studie 2, auswirkte und sich im Vergleich der zweiten zur dritten Studie in einem geringeren Winkelanstieg in Studie 3 ausdrückte. In Bezug auf den Einfluss des eigenen Körperbilds zeigte sich durch die Verkörperung in Studie 3 ein indirekter „Vorteil des Selbst“ in Objekt-Rotationen durch das Verschwinden des „Vorderansichts-Nachteil des Selbst“, während erstmals ein direkter Vorteil eigener Körperbilder in der egozentrischen Transformation zu beobachten war. Im Vergleich zu Studie 2 profitierte folglich speziell die objektbasierte Bedingung von der Verkörperung. Demzufolge lassen die Ergebnisse vermuten, dass diese Transformationsart infolge der speziellen Manipulation stärker verkörpert ist als es in der bisherigen Literatur angenommen wurde. Diese Ergebnisse betonen damit die Rolle des Stimulusmaterials im Rahmen der Verkörperung.

Nachdem der Einfluss des eigenen Körperbilds in Studie 2 und 3 ausreichend erläutert worden ist, ist es Ziel der folgenden Gesamtdiskussion, aufzuzeigen, dass gerade in Bezug auf den Entwicklungsaspekt weitere kognitive Komponenten an der mentalen Rotationsperformanz in Erwägung gezogen werden müssen, wie beispielsweise das Arbeitsgedächtnis und die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit. Diese beiden Determinanten wurden bereits im theoretischen Hintergrund dieser Arbeit genannt und sollen nun vertieft erörtert werden, da die Ergebnisse dieser Untersuchungsreihe auf die zentrale Rolle dieser beiden Konstrukte in der mentalen Rotation hindeuten. Ähnliche wie die mentale Rotationsfähigkeit weisen diese Faktoren Verbindungen zur Motorik auf. Demnach soll folgender Abschnitt verdeutlichen, dass nicht nur die mentale Rotation, sondern auch das Arbeitsgedächtnis und die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit in einer gewissen Weise als „verkörpert“ im Sinne des Embodiment-

Ansatzes angesehen werden können. Zur Veranschaulichung der Interdependenz zwischen mentaler Rotation, Arbeitsgedächtnis, Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und motorischen Prozessen soll eine einführende schematische Darstellung einen Überblick über den gedanklichen Aufbau der Gesamtdiskussion liefern, dargestellt in Abbildung 28.

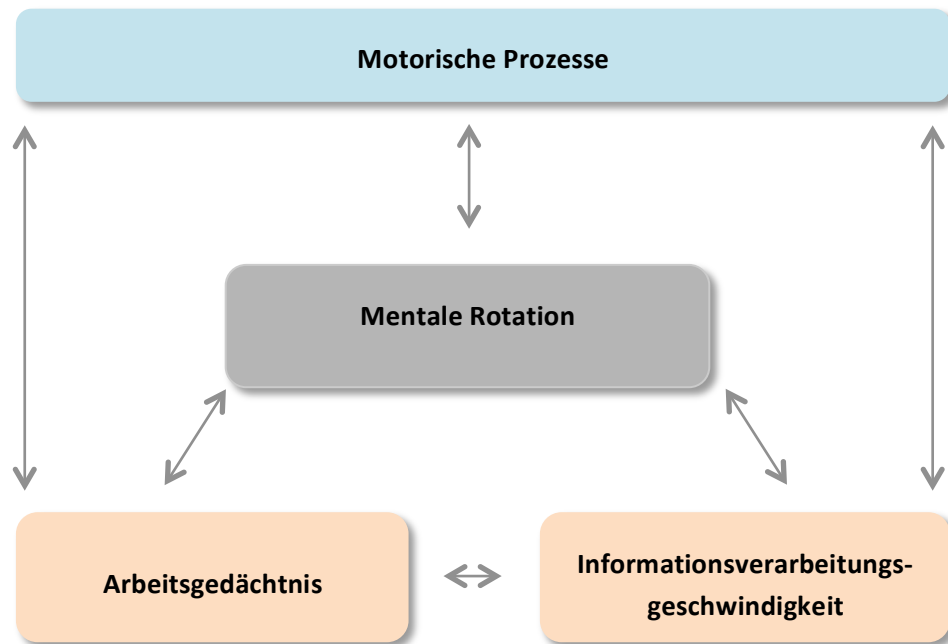


Abbildung 28: Schematische Darstellung der Interdependenz zwischen mentaler Rotation, Arbeitsgedächtnis, Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und motorischen Prozessen.

8.2 Die kognitiven Determinanten der mentalen Rotation und ihre Verbindung zur Motorik

Alle drei Studien verbindet ein Ergebnis: Leistungsunterschiede, sei es zwischen den Kindern, Senioren und den Erwachsenen oder zwischen den Sportlern und Nicht-Sportlern, drücken sich in Unterschieden im Anstieg der Reaktionszeiten bei zunehmender Winkeldisparität aus. Sowohl die Kinder sowie die Senioren als auch die Nicht-Sportler weisen einen stärkeren Anstieg der Regressionsgeraden auf als die jungen Erwachsenen und die Sportler. Gemäß Cooper und Shepard (1973) bilden die Steigung und der Achsenabschnitt der Funktionsgeraden verschiedene kognitive Prozesse der mentalen Rotation ab. Basierend auf ihrer elektrophysiologischen Untersuchung nehmen Heil und Rolke (2002) vier sequentiell aufeinander folgende und unabhängig voneinander verlaufende Prozessschritte an: Stimulusenkodierung, mentale Rotation, Vergleich der Objekte und motorische Reaktion. Daraufhin postulierten Cooper und

Shepard (1973), dass die Steigung der Regressionsgerade die mentale Rotation an sich abbildet, während der Achsenabschnitt die Prozesse der Enkodierung, des Stimulusvergleichs und der motorischen Antwort umfasst. Folglich sprechen Unterschiede im Anstieg der Regressionsgeraden dafür, dass sich die Gruppen bezüglich des mentalen Rotationsprozesses per se voneinander unterscheiden. Jedoch können diese Unterschiede auf weitere zwei Faktoren und deren Interdependenz mit motorischen Prozessen zurückgeführt werden:

- 1) Arbeitsgedächtnis
- 2) Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit

8.3 Die Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses bei der mentalen Rotation

Die Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses in der mentalen Rotation ist durch zahlreiche behaviorale (Hyun & Luck, 2007; Lehmann et al., 2014) sowie neuroanatomische Evidenzen (Anguera et al., 2010; Jordan et al., 2001) gestützt. Bezogen auf die Prozessschritte der mentalen Rotation gehen Hertzog und Rypma (1991) davon aus, dass Arbeitsgedächtnisprozesse im mentalen Rotationsprozess per se und in der Stufe der Entscheidung über die Gleichheit der Stimuli involviert sind. Diese Annahme stimmt mit den Befunden von Booth et al. (2000) überein, die der Funktion des Arbeitsgedächtnisses eine temporäre Speicherung von mental rotierten Stimuli zuschrieben. Dadurch kann das mentale Bild des Stimulus trotz Manipulation (= mentale Rotation) aufrechterhalten und schließlich mit dem Standardstimulus verglichen werden. Hyun und Luck (2007) konkretisierten diesen Befund und unterzogen sich der Frage, in welchem Subsystem die Information gespeichert wird. Die Autoren unterscheiden dabei das räumliche Subsystem für räumliche Information und das Objekt-Subsystem, welches Informationen wie Form und Farbe speichert. Obwohl der mentale Rotationsprozess eine visuell-räumliche Fähigkeit darstellt, fanden die Autoren in ihrem Interferenzparadigma heraus, dass das Objekt-Subsystem eine entscheidende Rolle im mentalen Rotationsprozess spielt, da sich nur in dieser Bedingung ein Interferenzeffekt zeigte. Die Autoren zogen daraus den Schluss, dass weniger die Art der Operation, sondern vielmehr die Art der Information für den Speicherort entscheidend ist. Bezogen auf die Stichproben unserer Studie, die sich hinsichtlich des Alters (Studie 1) und der motorischen Expertise (Studie 2 und 3) unterschieden, stellt sich nun die Frage, ob es einen einheitlichen Faktor für diese beiden Variablen gibt, welcher die Leistungsun-

terschiede erklären könnte. Demzufolge könnte eine unterschiedliche Arbeitsgedächtnisleistung von Kindern und Senioren im Vergleich zu Erwachsenen sowie von Nicht-Sportlern gegenüber Sportlern für Unterschiede im Anstieg der Regressionsgeraden angeführt werden.

Bezüglich des Entwicklungsaspekts lieferten Gathercole et al. (2004) einen eindeutigen Nachweis dafür, dass das Arbeitsgedächtnis in den ersten Schuljahren einen deutlichen Fortschritt aufweist, der einem Zuwachs in der Speicherkapazität zuzuschreiben ist. Dieser wird wiederum den Autoren zufolge auf eine verstärkte Anwendung von Strategien zurückgeführt, wie das bewusste Wiederholen von Items. Dagegen wird der altersbedingte Abbau der Arbeitsgedächtnisleistung durch einen Rückgang in der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit verursacht (Hale et al., 2011; Hertzog & Rypma, 1991). In Anbetracht der Tatsache, dass auch Nicht-Sportler in Studie 3 einen stärkeren Anstieg der Regressionsgeraden aufwiesen, der für eine langsamere Rotationsgeschwindigkeit spricht, stellt sich die Frage, inwiefern sich sportliche Betätigung auf die Arbeitsgedächtniskapazität bzw. die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit auswirkt. Folglich könnte eventuell die Motorik der erklärende Faktor sein, der den Leistungseinbußen der drei Gruppen (Kinder, Senioren, Nicht-Sportler) zugrunde liegt. Basierend auf Befunden, die einen Zusammenhang zwischen Motorik und mentaler Rotation nachweisen (Kessler & Thomson, 2010; Moreau et al., 2012; Pietsch & Jansen, 2012), sowie Studien, welche die Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses bei dem mentalen Rotationsprozess postulieren (Hertzog & Rypma, 1991; Hyun & Luck, 2007; Lehmann, 2013; Lehmann et al., 2014), ist die Annahme, dass das Arbeitsgedächtnis und die Motorik in einer gewissen Verbindung zueinander stehen, durchaus naheliegend. Zunächst soll der Zusammenhang zwischen motorischen Fähigkeiten und Arbeitsgedächtnis dargelegt werden, um aufzuzeigen, dass auch diese Determinante der mentalen Rotation eine bestimmte Assoziation zur Motorik aufweist.

8.4 Der Zusammenhang zwischen Motorik und Arbeitsgedächtnis

Bereits im Kindesalter zeigt sich eine gewisse Verbindung zwischen motorischer Koordination und der Arbeitsgedächtnisleistung. Dieser Fragestellung unterzogen sich beispielsweise Piek et al. (2004) im Rahmen einer umfassenden Stichprobe von 238 Kindern im Alter zwischen 6-15 Jahren. Diese Untersuchung basierte auf den Befunden von Piek, Pitcher und Hay (1999) zu einer beeinträchtigten Arbeitsgedächtnisleistung

bei Kindern mit einer Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) und deren hohen Komorbidität zu einer entwicklungsbedingten Koordinationsstörung (developmental coordination disorder). Die Autoren wiesen nach, dass die Varianz in der Updating-Aufgabe zum Arbeitsgedächtnis als einzige Komponente der exekutiven Funktionen durch die Leistung im Motoriktest erklärt werden konnte. Pitcher et al. (2003) konkretisierten diesen Befund, indem sie spezielle Einbußen in der Handgeschicklichkeit bei Kindern mit ADHS beobachteten.

Guiney und Machado (2013) beschäftigten sich in einem Review mit dem Einfluss eines aeroben Trainings auf die exekutiven Funktionen bei Kindern, Erwachsenen und Senioren. Im Rahmen dieses Reviews wurden Studien zusammengefasst, die den Zusammenhang zwischen sportlicher Betätigung und der Leistung in standardisierten Tests zur Erfassung der exekutiven Funktionen belegen. Darunter konzentrierten sich Studien auf die Arbeitsgedächtnisfähigkeit, die nachweislich als exekutive Funktion verstanden wird (Miyake et al., 2006). Das Review ergab, dass bei den jungen Erwachsenen das Arbeitsgedächtnis im Vergleich zu weiteren Exekutivfunktionen (Shifting, Inhibition) am meisten von einer Sportintervention profitierte. Zur Konkretisierung dieser Befunde soll nun eine exemplarische Untersuchung für jede Altersgruppe aus der Vielfalt der von Guiney und Machado (2013) zusammengefassten Studien herausgegriffen werden. Bezüglich des Kindesalters befasste sich die Arbeitsgruppe um Kamijo (2011) mit den Effekten eines Ausdauertrainings auf die Arbeitsgedächtnisleistung. Dieses umfasste 75 Minuten pro Tag und wurde an 5 Tagen die Woche über einen Zeitraum von 9 Monaten durchgeführt. Die Arbeitsgedächtnisleistung wurde mittels des Sternberg-Paradigmas erhoben. Es zeigte sich, dass Kinder im Alter zwischen 7 und 9 Jahren infolge der Intervention eine signifikante Verbesserung hinsichtlich der Genauigkeit aufwiesen. Studien zum Erwachsenenalter (Altersspanne: 17-47 Jahre) konnten demonstrieren, dass sich sportliche Betätigung im Rahmen einer Intervention zum einen positiv auf die Genauigkeit in einer „2-back-task“ auswirkte (Hansen, Johnsen, Sollers, Stenvik, & Thayer, 2004) und zum anderen zu schnelleren Reaktionszeiten in derselben Aufgabe führte (Stroth et al., 2010). Senioren (> 60 Jahre) wiesen laut Williams und Lord (1997) infolge eines 60-minütigen Ausdauertrainings, das zweimal wöchentlich über einen Zeitraum von 12 Monaten erfolgt ist, in der Vorwärtsvariante des Zahlen-

nachsprechen eine bessere Performanz auf als Repräsentanten ihrer Altersgruppe ohne Sportmaßnahme.

Allerdings sollte bei einem Vergleich der drei Altersgruppen vor Augen geführt werden, dass unterschiedliche Maße für die Erhebung der Arbeitsgedächtnisleistung verwendet wurden, die wiederum spezifische Komponenten des Arbeitsgedächtnisses operationalisieren. Arbeitsgedächtnisaufgaben erfordern vom Probanden, Informationen aufrecht zu erhalten und diese ständig zu aktualisieren (Baddeley & Hitch, 1974). Während die „2-back-task“ eher die „Aktualisierungskomponente“ erfasst (Smith & Jonides, 1997), da hier nur eine geringe Menge an Information aufrechterhalten werden muss, testen das „Zahlennachsprechen vorwärts“ sowie das Sternberg-Paradigma eher die Arbeitsgedächtniskapazität anhand der Menge der gespeicherten Informationen (Guiney & Machado, 2013). Bei der „2-back-task“ wird der Versuchsperson eine Abfolge von Reizen präsentiert. Ihre Aufgabe ist es, mit einem Knopfdruck zu reagieren, sobald der gegenwärtige Reiz (z.B. Buchstabe) mit dem Reiz übereinstimmt, welcher zwei Schritte zuvor dargeboten wurde (Cohen et al., 1994). Aufgaben zum „Zahlennachsprechen vorwärts“ beinhalten, dass der Versuchsleiter eine Sequenz von Zahlen vorspricht, die in der richtigen Reihenfolge wiedergegeben werden müssen. Die Anzahl der Items nimmt mit steigender Aufgabenschwierigkeit zu. Im Sternberg-Paradigma wird den Probanden eine Liste an Items präsentiert und nach einer Verzögerung erfolgt eine Wiedererkennungsaufgabe. Hier muss die Versuchsperson angeben, ob der zu diesem Zeitpunkt präsentierte Reiz in der zuvor gelernten Liste vorkam (Guiney & Machado, 2013). Diese Aufschlüsselung ist insofern interessant, da in Zusammenhang mit der mentalen Rotation vermutlich eher die „Aktualisierungskomponente“ entscheidend ist, da die Menge an Information in Form eines Stimulus keine besondere Beanspruchung der Arbeitsgedächtniskapazität darstellen sollte.

Die Wirksamkeit sportlicher Betätigung auf die Arbeitsgedächtnisleistung

Aufgrund der Differenzierung empirischer Evidenzen zwischen konditionellen und koordinativen Interventionsmaßnahmen, soll zunächst eine Erläuterung der beiden Begrifflichkeiten nach Bös und Mechling (1983) erfolgen. Während unter *Kondition* die Dauer, Dynamik und Intensität des Muskeleinsatzes im Sinne der Kraft und Ausdauer verstanden wird, steht bei der *Koordination* die Qualität der Bewegungsausführung im

Vordergrund, die sich durch die Kategorien Wahrnehmung, Orientierung, Reaktion und Rhythmus beschreiben lässt (Bös & Mechling, 1983).

Die Wirksamkeit konditioneller sportlicher Betätigung

Der konkrete Wirkmechanismus eines Ausdauertrainings auf die exekutiven Funktionen ist vielseitig. Ein Wirkfaktor ist in der trainingsbedingten Zunahme der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) begründet, die wiederum zu einer stärkeren Sauerstoffsättigung in aufgabenrelevanten Hirnregionen führen kann (Geiger, 1996). Empirische Evidenz lieferten Colcombe et al. (2004), die einen signifikanten Anstieg in der Sauerstoffaufnahme bei zuvor untrainierten Menschen im Alter von 60-75 Jahren infolge eines 6-monatigen Ausdauertrainings (Walking) nachwiesen, während dieser Effekt in der Kontrollgruppe, die Dehnübungen vollzog, nicht gefunden wurde. Da Verbesserungen in den exekutiven Funktionen ausschließlich in der Experimentalgruppe zu verzeichnen waren, zogen die Autoren den Schluss, dass die kognitive Leistungssteigerung mit dem Anstieg der maximalen Sauerstoffaufnahme assoziiert werden kann. Darüber hinaus vermuteten die Autoren, dass durch die trainingsbedingte zunehmende kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit eine stärkere synaptische Vernetzung speziell in der zellkörperreichen grauen Substanz des frontalen und parietalen Kortex bewirkt wird, die sich förderlich auf die kognitive Leistungsfähigkeit auswirkt. Zudem kann die muskuläre Beanspruchung zu einer Biosynthese diverser Botenstoffe führen, welche eine verbesserte Funktionalität des Aufmerksamkeitsnetzwerkes nach sich ziehen kann, wovon wiederum die Leistung in den Exekutivfunktionen profitiert (Colcombe et al., 2004). Dabei scheint die Effizienz des serotonergen und dopaminergen Transmittersystems eine entscheidende Rolle zu spielen, dessen Synthese und Metabolismus durch körperliche Aktivität beeinflusst werden (Meeusen & De Meirleir, 1995).

Empirische Evidenz bezüglich des Zusammenhangs der Dopamin-Konzentration und akuter körperlicher Belastung konnten Meeusen et al. (2001) in einer tierexperimentellen Untersuchung in Form eines nachweisbaren Dopamin-Anstiegs im Hypothalamus, Hippocampus und präfrontalen Kortex infolge eines Trainingsreizes nachweisen. Dopamin beeinflusst insbesondere über den präfrontalen Kortex die Arbeitsgedächtnisleistung, was durch die Untersuchung von Diamond (2000) empirisch fundiert wurde, gemäß derer ein Rückgang der Dopamin-Konzentration mit einer reduzierten Arbeitsgedächtnisleistung in Verbindung gebracht wird. Analog dazu wurde von Zelazo,

Craik und Booth (2004) der Leistungsrückgang bei zunehmendem Alter mit einem weniger effizienten Dopamin-System im Frontalhirn assoziiert. Ähnliche Befunde zeigen sich für den Neurotransmitter Serotonin. Aussagekräftige Untersuchungsergebnisse lieferte die Arbeitsgruppe um Chaouloff (1986), die feststellte, dass eine einstündige Laufbandbelastung, die 4-5 Einheiten in einer Woche umfasste, zu Anstiegen des Serotonin-Spiegels bei Ratten führte. Diese Beobachtung wurde von Chennaoui, Drogou, Gomez-Merino, Grimaldi, Fillion und Guezennec (2001) einer Erhöhung der Serotonin-Rezeptordichte zugeschrieben.

Die Wirksamkeit koordinativer sportlicher Betätigung

Trotz nachgewiesener Wirksamkeit eines Ausdauertrainings auf die Arbeitsgedächtnisleistung, spielt die Koordination in Bezug auf die kognitive Wirksamkeit sportlicher Betätigung eine ebenso bedeutende Rolle (Lehmann, 2013; Piek et al., 2004). Im Rahmen der zahlreichen Versuche, ein einheitliches Klassifikationsschema der koordinativen Fähigkeiten zu kreieren, stimmen die Autoren in einem charakteristischen Merkmal überein: die Wechselwirkung von Wahrnehmung und motorischer Realisierung (Schnabel, Harre, & Krug, 2008). Dieses Kriterium legt nahe, dass es sich bei der Koordination nicht um eine rein motorische Fähigkeit handelt, so wie die mentale Rotation laut Embodiment-Ansatz nicht als eine rein kognitive Fähigkeit zu verstehen ist. Die Beobachtung, dass die Koordination kognitive Prozesse beansprucht, wird an der Unterteilung der koordinativen Fähigkeiten nach dem „Arbeitsmodell der Leipziger Koordinationsforscher für den Nachwuchsleistungssport“ (vgl. Bös & Mechling, 1983) deutlich: Sei es 1) Die Orientierungsfähigkeit, die eine Aktualisierung der eigenen Lage des Körpers infolge diverser Veränderungen von Raum und Zeit ermöglicht, oder 2) Die Umstellungsfähigkeit als Fähigkeit zur Anpassung einer zielgerichteten Bewegung an eine Situationsveränderung oder 3) Die Reaktionsfähigkeit, die eine schnellstmögliche Bewegungsausführung auf ein Signal hin induziert - all diese Fähigkeiten implizieren eine kognitive Beanspruchung. Dabei wird die Bedeutung kognitiver Prozesse in dem von Meinel und Schnabel (2007) konstruierten Modell zum Ablauf der einzelnen Prozesse der Bewegungskoordination spezifiziert. Die Autoren weisen dabei unter anderem auf folgende Prozessschritte hin: die *Antizipation* (des Ziels, der Situation und der Aktion) und die *Speicherung* von Programmelementen, der Situation und Rückmeldungen im motorischen Gedächtnis, welche stets in Abhängigkeit von externen Faktoren

(Instruktionen, Korrekturen) aktualisiert werden müssen. Gerade letztere Funktion könnte mit der Aktualisierungskomponente des Arbeitsgedächtnisses assoziiert werden. Während die Antizipation in keiner offensichtlichen Verbindung zum Arbeitsgedächtnis steht, könnte diese wiederum die „kognitive Schlüsselkomponente“ der mentalen Rotation darstellen, wie bereits in Punkt 3.1 erläutert wurde.

Empirische Evidenz zu der Bedeutung koordinativer Fähigkeiten in der mentalen Rotationsperformanz lieferten Jansen und Heil (2010) bereits im Kindesalter zwischen 5 und 6 Jahren mittels einer Regressionsanalyse. Ihrer statistischen Analyse zufolge konnte ein großer Anteil der Varianz durch die Balancefähigkeit und die Handgeschicklichkeit aufgeklärt werden. Ähnliche Befunde wiesen Moreau et al. (2012) in einer Interventionsstudie nach, die ergab, dass sich ein 10-monatiges Wrestling Training positiv auf die mentale Rotationsperformanz auswirkte, während derartige Effekte infolge eines Lauftrainings als Konditionsschulung nicht gefunden werden konnten. Analog dazu demonstrierten Jansen et al. (2009), dass ein 3-monatiges Jonglage-Training zu signifikant schnelleren Reaktionszeiten der Experimental- im Vergleich zur Kontrollgruppe führte. Das Jonglage-Training wird ebenfalls mit Anforderungen an die Koordination assoziiert. Lehmann (2013) führte diesbezüglich folgende koordinative Funktionen als ausschlaggebend an: Die Auge-Hand-Koordination sowie die Orientierungs-, Differenzierungs-, Reaktions- und Kopplungsfähigkeit, wobei letztere die Koordination von Teilbewegungen impliziert (vgl. Leipziger Arbeitsmodell, Bös und Mechling, 1983). Gemäß Lehmann (2013) müssen die Bälle dosiert geworfen werden, sodass sie mit der anderen Hand gefangen werden können. Zudem müssen die Bewegungen der Arme und des Oberkörpers angepasst werden, um den Ball zu werfen und wieder aufzufangen. Es erfolgt laut der Autorin ein steter Abgleich zwischen Augen und Händen.

Diese spezielle Verbindung zwischen Motorik und Kognition wird nicht nur durch ein theoretisches Modell gestützt, sondern auch durch neuroanatomische Evidenzen gesichert. Diamond (2000) stellte diesbezüglich fest, dass neuronale Areale wie der präfrontale Kortex oder das Cerebellum sowohl bei motorischen als auch bei kognitiven Aufgaben aktiviert werden. Die Autorin nahm an, dass speziell der dorsolaterale präfrontale Kortex, der eine bedeutende Rolle in der Arbeitsgedächtnisleistung einnimmt (vgl. Anguera et al., 2010; Jordan et al., 2001), in seiner Funktionalität gleichermaßen für die motorische Performanz entscheidend ist. Serrien, Irvy und Swinnen (2007)

schließen ebenfalls von der Übereinstimmung der neuronalen Korrelate auf die Beteiligung der Kognition bei motorischen Prozessen. Zudem kann ein gemeinsames neuronales Korrelat auch für die Beteiligung motorischer Prozesse bei kognitiven Vorgängen sprechen. Ein stärkerer Fokus auf den kausalen Wirkungs-Zusammenhang wäre für ein tieferes Verständnis des Embodiment-Ansatzes hilfreich.

Diese Befunde sprechen sich einheitlich dafür aus, dass die kognitive Beanspruchung im Rahmen koordinativer Fähigkeiten die entscheidende Komponente darstellt, welche die positive Wirkweise physischer Interventionen erklärt, sowohl in Bezug auf das Arbeitsgedächtnis als auch hinsichtlich der mentalen Rotationsfähigkeit. Der genaue Wirkmechanismus ist bis zu dem heutigen Erkenntnisstand nicht eindeutig geklärt, dabei sollte jedoch die eben angeführte *Antizipation* als kognitives Kriterium in Erwägung gezogen werden, deren Untersuchung Potenzial für zukünftige Forschungsfragen darstellen könnte. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass basierend auf der engen Verknüpfung zwischen Motorik-Arbeitsgedächtnis-mentaler Rotation Leistungsunterschiede von Sportlern gegenüber Nicht-Sportlern in der mentalen Rotation nicht ausschließlich auf Unterschiede in der reinen Rotationsperformanz zurückzuführen sind, sondern die Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses stets in Betracht gezogen werden sollte.

Allerdings wird aus entwicklungs- und altersspezifischen Studien (Fry & Hale, 1996; Hertzog & Rypma, 1991) ersichtlich, dass Einbußen in der Arbeitsgedächtniskapazität oftmals auf eine reduzierte Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit zurückzuführen sind. Beispielsweise sprachen sich Hertzog und Rypma (1991) dafür aus, dass eine altersbedingte degradierte oder gar verlorene Information aus dem Arbeitsgedächtnis den mentalen Rotationsprozess erschwert. Die Autoren führten die erschwerte Aufrechterhaltung der mentalen Repräsentation darauf zurück, dass die Rotation infolge einer verlangsamten altersbedingten Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit länger dauert. Hinsichtlich des Kindesalters legten Fry und Hale (1996) nahe, dass drei Viertel der entwicklungsbedingten Zunahme in der Arbeitsgedächtnisleistung durch Altersunterschiede in der Verarbeitungsgeschwindigkeit erklärt werden können. Diese Befunde gehen konform mit dem von Salthouse und Kail (1983) postulierten Entwicklungsverlauf der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, der durch einen kontinuierlichen Anstieg im Kindesalter charakterisiert ist, seinen Höchstwert im jungen Erwachsenen-

alter erreicht und im Anschluss allmählich abnimmt. Vor diesem Hintergrund ist bei der Interpretation der mentalen Rotationsergebnisse die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit als bedeutende Variable durchaus zu berücksichtigen.

8.5 Die Beteiligung der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit bei der mentalen Rotation

Kail und Salthouse (1994) betonen, dass das Interesse an der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit auf zwei Beobachtungen zurückzuführen ist: 1) Entwicklungs- und altersbedingte Einflüsse manifestieren sich deutlich in dieser Variable (Kail, 1986; Salthouse, 1985) und 2) Die Leistung in Tests zur Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit wird mit kognitiven Prozessen höherer Ordnung in Verbindung gebracht. Beispielsweise korrelieren laut den Autoren die beiden Wahrnehmungsgeschwindigkeitstests (Visual Matching Test und Cross Out Test) mit Werten der Fluiden Intelligenz und des Kurzzeitgedächtnisses. Analog dazu kann die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit mit der mentalen Rotationsfähigkeit assoziiert werden (Fry & Hale, 1996; Hertzog & Rypma, 1991).

Processing Speed Theory von Salthouse (1996)

Den theoretischen Rahmen für diese beiden Evidenzen liefert die *Processing Speed Theory* von Salthouse (1996). Die zentrale Annahme dieser Theorie stellt die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit als ausschlaggebenden Faktor dar, welcher verantwortlich für altersbedingte Unterschiede in kognitiven Fähigkeiten ist. Kail (1991) übertrug diesen Basismechanismus auf die Entwicklung kognitiver Funktionsfähigkeit während der Kindheit, sodass die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit über die Lebensspanne hinweg in enger Verbindung zur Qualität der kognitiven Performanz steht. Diesbezüglich zeigten Kail und Salthouse (1994) anhand einer robusten Testbatterie, den Woodcock-Johnson Tests of Cognitive Abilities, den Entwicklungsverlauf der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit auf. Sie demonstrierten, dass im Vergleich zu einer Referenzgruppe von 250 18-Jährigen, Kinder im Alter von 6 Jahren 5 Standardabweichungen unter dem Mittelwert der jungen Erwachsenen liegen, während die Differenz im Alter von 75 Jahren 2 Standardabweichungen beträgt. Den Autoren zufolge nähert sich ab einem Alter von 12 Jahren der Mittelwert dem eines durchschnittlichen 18-Jährigen an, der sich erst ab einem Alter von 55 Jahren rückläufig entwickelt und sich schließlich signifikant von der Referenzgruppe unterscheidet. Gemäß Hale

(1990) ist die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit ein globales Konstrukt, das sich unabhängig von der Aufgabenart in Abhängigkeit vom Alter verändert, da die einzelnen Prozesskomponenten gleichermaßen von der Entwicklung beeinflusst werden. Dazu untersuchte die Autorin vier Altersgruppen (10-, 12-, 15-, und 19-Jährige) in vier verschiedenen Aufgabenarten zur Wahlreaktionszeit, zum Buchstaben-Abgleich, zur mentalen Rotation und zum abstrakten Abgleich. Es zeigte sich, dass die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit in allen Aufgaben mit zunehmendem Alter mit der gleichen Rate anstieg. Kail und Salthouse (1994) setzen die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit mit einer Ressource gleich, die im Kindesalter dadurch begrenzt ist, dass sie noch nicht voll ausgereift ist und sich im Alter quantitativ rückläufig entwickelt. Laut Kail (1986) konkurrieren kontrollierte Prozesse um diese Verarbeitungsressource und sind in ihrer Effizienz dementsprechend sensitiv gegenüber der Verfügbarkeit dieser Ressource. Dies würde die generellen Reaktionszeitunterschiede zwischen Kindern, Senioren und jungen Erwachsenen aus unserer ersten Studie erklären, die alle Prozessschritte der mentalen Rotation nach Cooper und Shepard (1973) umfassen: Stimuluskodierung, mentale Rotation, Vergleich der Objekte und motorische Reaktion. Neuroanatomische Grundlage für diese Befunde liefert die geringere Myelinisierung, die sowohl im Kindes- als auch im Seniorenalter vorliegt (Paus, 2005; Paus et al., 1999).

Salthouse (1996) führt in der *Processing Speed Theory* zwei theoretische Mechanismen an, die für die Verbindung zwischen Geschwindigkeit und Kognition verantwortlich sind: den *Mechanismus der limitierten Zeit* und den *Simultaneitäts-Mechanismus*. Die Basis für den *Mechanismus der limitierten Zeit* (MLZ) liefert die Idee, dass die Zeit, um spätere kognitive Operationen (kognitive Prozesse höherer Ordnung) durchzuführen, stark eingeschränkt wird, wenn die insgesamt verfügbare Zeit von der Bearbeitung früherer Operationen (kognitive Prozesse früher Verarbeitungsebenen) eingenommen wird, da diese zu langsam durchgeführt werden. Dieser Mechanismus tritt nicht nur in Aufgaben auf, die kognitiv unterschiedlich stark beanspruchen, sondern auch in ausschließlich komplexen Aufgaben, in denen der Anspruch durch die Anzahl der Operationen (z.B. Assoziationen, Wiederholungen) festgelegt wird (Salthouse & Kail, 1983). Der *Simultaneitäts-Mechanismus* (SM), der ebenfalls für die Verbindung zwischen Geschwindigkeit und Qualität der kognitiven Performanz als verantwortlich angenommen wird, basiert auf der Annahme, dass infolge einer langsamen Verarbeitung Information

verloren geht und somit nicht mehr *simultan* zur Verfügung steht, wenn sie für spätere Verarbeitung gebraucht wird. Dieser Informationsverlust wirkt sich folglich negativ auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit aus, mit Hilfe derer kognitiv höhere Operationen wie Enkodieren, Abruf, Integration, oder Abstraktion durchgeführt werden (Salthouse, 1982). Darüber hinaus könnte die Information in Anbetracht sich schnell verändernder Bedingungen auch in einer gewissen Weise nicht mehr gebräuchlich sein. Das bedeutet, dass sie nicht mehr akkurat oder relevant ist für den Zeitpunkt, in der sie verfügbar sein soll. Dieser *Simultaneitäts-Mechanismus* tritt, anders als der erste, unabhängig von zeitlichen Beschränkungen auf, da die kritische Komponente eine interne ist und nicht an die Verbindung zwischen internalen (Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit) und externalen Faktoren (Darbietungsdauer des Stimulus) gekoppelt ist.

Interessanterweise führt Kail (1986) für Senioren und Kinder getrennte Ursachen für eine reduzierte Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit an: Während er bei älteren Erwachsenen annimmt, dass ein Verlust an Informationen, die für spätere Verarbeitungsprozesse wichtig wären, verantwortlich für eine reduzierte Geschwindigkeit ist, ist die defizitäre Performanz von Kindern darauf zurückzuführen, dass sie die Information bereits zu Beginn der Aufnahme nicht ausreichend intensiv enkodieren. Die Folge ist für beide identisch: Die einzelnen Verarbeitungseinheiten müssen länger auf ausreichend Information warten, um ein Signal zu identifizieren, dementsprechend ist die Verzögerung umso größer, je höher die Verarbeitungsebene ist. Die *Processing Speed Theory* betont ähnlich wie die *Birren-Hypothese* (1974, siehe Punkt 1.2) die Bedeutung der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit als zentrales Konstrukt in der Verbindung „Alter-Kognition“, unterscheidet sich jedoch darin, dass die beiden eben genannten Mechanismen für die Verbindung zwischen Geschwindigkeit und Kognition verantwortlich gemacht werden.

Processing Speed Theory in Hinblick auf die mentale Rotation

Transferiert man nun die *Processing Speed Theory* auf die Ergebnisse unterschiedlicher mentaler Rotationsgeschwindigkeit zwischen Kindern/Senioren und jungen Erwachsenen der ersten Studie unserer Untersuchungsreihe, kann die Schlussfolgerung, dass die Altersunterschiede in der Rotationsperformanz auf Differenzen in der Arbeitsgedächtnisleistung und diese wiederum auf Unterschiede in der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit zurückgeführt werden, nun konkretisiert werden: Gemäß Salthouse

(1996) ist die Verknüpfung zwischen Arbeitsgedächtnisleistung und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit in der Funktionalität des *Simultaneitäts-Mechanismus* begründet, da das Konzept des Arbeitsgedächtnisses an bestehende Informationen gekoppelt ist, die augenblicklich verfügbar für Speicherung oder Verarbeitung sein müssen. Basierend auf der Tatsache, dass bei einer mentalen Rotationsaufgabe keine zeitliche Limitation gegeben ist, zumindest nicht bei dem chronometrischen mentalen Rotationstest, ist die Annahme der Bedeutung dieses speziellen *Simultaneitäts-Mechanismus* anders als die des *Mechanismus der limitierten Zeit* naheliegend. Interessanterweise zeigte sich in unserer ersten Studie, dass sich Altersunterschiede gerade in der mentalen Rotationsgeschwindigkeit manifestierten. Die mentale Rotationsgeschwindigkeit wird bestimmt, indem die Reaktionszeiten in Abhängigkeit von der Winkeldisparität berechnet und als „Grad pro Sekunde“ angegeben werden. Eine niedrigere Rotationsgeschwindigkeit, wie sie bei Kindern und Senioren gefunden wurde, drückt sich in einem steileren Anstieg der Regressionsgeraden aus und bedeutet inhaltlich, dass diese beiden Altersgruppen insbesondere große Winkeldisparitäten langsamer rotierten als die jungen Erwachsenen. Übertragen auf die *Processing Speed Theory* würde dies bedeuten, dass infolge einer verlangsamten Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit die Bearbeitung größerer Winkeldisparitäten mit einem größeren Informationsverlust verbunden ist und damit der Vergleich mit dem Standardstimulus am Ende der Rotation erschwert wird. Diese Annahme würde auch mit den Befunden von Hertzog und Rypma (1991) konform gehen, dass die Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses im mentalen Rotationsprozess per se und in der Entscheidungsphase eine Rolle spielt. Da aber keine umfassende Item-Anzahl wie bei einer Arbeitsgedächtnisaufgabe (z.B. Digit Span) aufrechterhalten werden muss, sondern lediglich ein Stimulus in seiner Ausgangsorientierung, liegt die Vermutung nahe, dass ein wesentlicher Aspekt die Ergebnisse maßgeblich beeinflusst: die Aufgabenschwierigkeit. Größere Winkeldisparitäten sind schwieriger zu bearbeiten, da gemäß Wohlschläger und Wohlschläger (1998), die eine Analogie zwischen mentaler und manueller Rotation postulieren, ein längerer Weg auf der Rotationsbahn vollzogen wird. Diese Annahme würde mit der *Komplexitätshypothese* von Cerella et al. (1980) konform gehen, die besagt, dass stets altersbedingte Latenzzeitunterschiede zu beobachten sind, doch die Aufgabenschwierigkeit über das Ausmaß der Leistungsunterschiede entscheidet. Ob sich die erhöhte

Aufgabenschwierigkeit bei ansteigender Winkeldisparität derart auswirkt, dass es zu einer Ressourcenproblematik nach Kail und Salthouse (1994) kommt, gemäß derer insbesondere bei hohen Winkeldisparitäten Informationsverarbeitungs-Ressourcen von Nöten wären, die entwicklungs- und altersbedingt nur beschränkt vorhanden sind, oder ob die Defizite von Kindern und Senioren mit einer erhöhten Schwierigkeit verbunden sind, die Information über den Ausgangsstimulus aufrecht zu erhalten, was für den *Simultaneitäts-Mechanismus* sprechen würde, bleibt bis zu diesem Stand ungeklärt.

Folglich bedarf es weiterer Forschung, ob das Arbeitsgedächtnis oder die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit eine bedeutendere Komponente in der mentalen Rotation darstellt. Basierend auf den Befunden von Salthouse (1991, 1994) stellt die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit die Schlüsselkomponente in der Verbindung zwischen Alter und Kognition dar. Der Zusammenhang zwischen Alter und Kognition ist schwächer ausgeprägt nachdem die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit als Variable kontrolliert wurde, als im Falle der Kovariate „Arbeitsgedächtnis“. Analog verändert sich die Verbindung zwischen Alter und Arbeitsgedächtnis in Abhängigkeit von der Erhebung der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit als Kovariate (Hale & Jansen, 1994; Salthouse, 1991, 1992, 1994; Salthouse & Babcock, 1991). Dabei untersuchte Salthouse (1994) 240 Erwachsene zwischen 18 und 80 Jahren in einer computerbasierten Testbatterie mit Aufgaben zum Gedächtnis, Schlussfolgern und räumlichen Vorstellungsvermögen. In Anbetracht empirischer Evidenzen, die aufzeigten, dass es sich bei der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit um ein globales Konstrukt handelt (Hale, 1990; Kail & Salthouse, 1994), ist diese Variable stets bei der Interpretation mentaler Rotationsergebnisse zu berücksichtigen.

Konfundierende Faktoren in der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit

Dennoch sind bei der Interpretation der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit konfundierende Faktoren zu beachten: 1) Die Erfahrung und 2) Sensorische sowie motorische Aspekte. Die Befunde unserer Untersuchung zeigten sowohl alters- und entwicklungsbedingte Defizite im Vergleich zu jungen Erwachsenen in der generellen Reaktionszeit als auch in der Rotationsgeschwindigkeit. Interessanterweise schnitten Kinder in der generellen Reaktionszeit signifikant schlechter ab als die Senioren. Nach den Prozessschritten der mentalen Rotation (Cooper & Shepard, 1973) sind diese Ergebnis-

se derart zu beurteilen, dass wie bereits erwähnt der Rotationsprozess per se mit einer gewissen Aufgabenschwierigkeit und dadurch mit Anforderungen an Ressourcen und/oder an das Arbeitsgedächtnis assoziiert ist. Generelle Reaktionszeiten reflektieren dagegen alle Prozessschritte (Enkodierung, mentale Rotation, Vergleich und motorische Reaktion). Eine mögliche Erklärung dafür, dass Senioren schnellere generelle Reaktionszeiten als die Kinder aufwiesen, könnte darin bestehen, dass der Faktor „Erfahrung“ eine Rolle spielt. Gemäß Chi (1977) reflektieren Altersunterschiede in der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit eine unterschiedlich effiziente Lösungsstrategie, die mit zunehmendem Alter angeeignet wird. Bezogen auf die mentale Rotation würde das bedeuten, dass Kinder möglicherweise dazu neigen, vermehrt analytisch zu rotieren, während Erwachsene und Senioren vorwiegend holistisch rotieren. Während bei der holistischen Verarbeitung der Stimulus als Ganzes rotiert wird, wird bei der analytischen Vorgehensweise das Objekt in seine Einzelteile zerlegt und die Repräsentationen dieser Segmente werden im Anschluss einzeln rotiert, was sich folglich in längeren Reaktionszeiten manifestiert im Vergleich zu einer ganzheitlichen Rotation (Bethell-Fox & Shepard, 1988; Kosslyn, 1981; Yuille & Steiger, 1982). Die Annahme einer unterschiedlichen Strategien-Wahl aufgrund altersbedingter Erfahrung wird empirisch durch Dror et al. (2005) fundiert, die nachwiesen, dass Senioren zu einer holistischen Strategie tendieren, während Kinder die Wahl einer analytischen Strategie bevorzugen. Allerdings handelt es sich hierbei um eine spekulative Vermutung, die weiterer Überprüfung bedarf. Dennoch sollte der Aspekt „Erfahrung“ in Hinblick auf die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit stets berücksichtigt werden.

Ähnlich wie eine beschleunigte Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit im Erwachsenenalter Folge einer verbesserten Strategien-Wahl sein kann, müssen Altersunterschiede in der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit in Hinblick auf zwei weitere Variablen betrachtet werden, die ebenfalls für die reduzierte Performanz von Kindern und Senioren verantwortlich gemacht werden können: sensorische und motorische Aspekte. Demzufolge könnten die generellen Reaktionszeitunterschiede der ersten Studie zwischen den Altersgruppen Senioren und Kindern sowohl durch sensorische (Enkodierung) als auch durch motorische (motorische Reaktion) Faktoren bedingt sein. Salthouse (1996) widmete sich unter anderem dieser Fragestellung und erhob die Wahrnehmungsgeschwindigkeit durch eine Buchstaben-Matching-Task, in der die Pro-

banden angeben mussten, ob es sich um identische Buchstaben handelt. Die motorische Geschwindigkeit wurde dadurch erfasst, dass Zahlen kopiert und Linien in spezifische Richtungen gezeichnet werden mussten. Zudem wurden rein kognitive Reaktionszeitaufgaben erhoben, wie beispielsweise der Zahlen-Symbol-Test, der dem Hamburger-Wechsler-Intelligenztest entstammt. Die Ergebnisse legten nahe, dass ein Teil der Varianz in der Verarbeitungsgeschwindigkeit durch sowohl sensorische als auch motorische Leistung erklärt werden konnte. Folglich sollte eine entwicklungs- und altersbedingte Verlangsamung stets vor dem Hintergrund dieser beiden Variablen beleuchtet werden.

8.6 Der Zusammenhang zwischen Motorik und Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit

Gemäß Oxendine (1984) ist die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit das entscheidende Kriterium, das Leistungssportler von durchschnittlichen und weniger sportlichen Personen abgrenzt. So gehen Sporttrainer oftmals davon aus, dass Personen mit schnellerer Reaktionsfähigkeit die besseren Sportler werden. Da Erfolg im Sport oftmals von schnellen Reaktionen abhängt, ist es naheliegend, der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit eine derartige Bedeutung zukommen zu lassen (Nielsen & McGown, 1985). Dem Review von Tomporowski und Ellis (1986) zufolge ist die empirische Befundlage bezüglich der Effekte physischer Betätigung auf die Informationsverarbeitung widersprüchlich. Während sich einige Forscher für die Erleichterung dieser kognitiven Fähigkeit sowohl während als auch nach physischer Beanspruchung ausgesprochen haben (Heckler & Croce, 1992; Newson & Kemps, 2008; Sjöberg, 1980), gibt es Befunde, die Gegenteiliges im Sinne einer Beeinträchtigung nachwiesen (Cian, Barraud, Melin, & Raphel, 2001) bis hin zu Autoren, die keine Wirksamkeit physischer Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit feststellen konnten (Tomprowski, Ellis, & Stephens, 1987). Die Inkonsistenz der Befundlage zur Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit ist nach Davranche und Audiffren (2004) auf Diskrepanzen zurückzuführen, wie die Verwendung unterschiedlicher Maße zur Erhebung der Trainingsart, -intensität und -dauer, sowie Differenzen in der Art der kognitiven Aufgabe.

Das kognitiv-energetische Modell der Informationsverarbeitung nach Sanders (1983)

Es gibt zahlreiche theoretische Erklärungsansätze für die Wirkungsweise von Trainingsintervention auf die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, wobei in dieser

Arbeit der Fokus auf dem *kognitiv-energetischen Modell der Informationsverarbeitung* nach Sanders (1983) liegt, da zum einen eine Parallele zu den vier Prozessschritten der mentalen Rotation nach Cooper und Shepard (1973) gezogen werden kann und zum anderen dieses Modell die Bedeutung von Ressourcen betont, von denen wiederum die einzelnen Prozessschritte in der Informationsverarbeitung und damit die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit abhängen, sowie möglicherweise alle mit diesem Konstrukt in Verbindung stehenden kognitiven Fähigkeiten, wie das Arbeitsgedächtnis oder die mentale Rotation. Der Grundgedanke des Modells ist, dass sich mentale Vorgänge in der Reaktionszeit abbilden, die sich aus der Summe der Dauer der folgenden vier sequentiell ablaufenden Prozessschritte zusammensetzt: 1) „Vorverarbeitung“, 2) „Merkmalserkennung“, 3) „Reaktionswahl“, 4) „Motorische Abstimmung“. Nach Sanders (1983) interagiert jede Stufe mit drei energetischen Aufmerksamkeitskontroll-Mechanismen („Arousal“, „Activation“, „Effort“) und einem „Evaluations-Mechanismus“, siehe Abbildung 29.

In der Stufe der „Vorverarbeitung“ („pre-processing“) erfolgt die Stimulusanalyse, die keine Ressourcen beansprucht. Die „Merkmalserkennung“ („feature extraction“) repräsentiert die ressourcen-intensiven Wahrnehmungsprozesse. Dabei trennt sie relevante von irrelevanten Stimulusinformationen und entspricht dem Konzept der selektiven Aufmerksamkeit nach Posner (1978). Die Stufe der „Reaktionswahl“ („reaction choice“) ist charakterisiert durch die kontrollierte und ressourcen-intensive Verarbeitung der Information. Die „motorische Abstimmung“ („motor adjustment“) bezieht sich auf die Vorbereitung der motorischen Reaktion, die einen zeitaufwendigen und ebenfalls ressourcen-einnehmenden Prozess darstellt. Als ein Bestandteil der Aufmerksamkeitskontroll-Mechanismen ist das „Arousal-System“ verantwortlich für die phasisch-physiologischen Arousal-Reaktionen, die durch einen Reiz induziert werden, wie Veränderungen der Herzrate oder der Hautleitfähigkeit. Das „Activation-System“ dient dazu, den Organismus auf motorische Reaktionen vorzubereiten. Das „Effort-System“ ist diesen beiden Systemen übergeordnet und übernimmt die Versorgung der kontrollierten Verarbeitungsstufen mit Ressourcen. Zudem kompensiert es energetische Mängel der beiden untergeordneten Systeme (Pribram & McGuiness, 1975; Sanders, 1983).

Die Wechselwirkung der einzelnen Prozessschritte mit ihren übergeordneten Aufmerksamkeitskontroll-Mechanismen beginnt damit, dass eingehende Stimuli in der Stufe der „Vorverarbeitung“ den „Arousal-Mechanismus“ energetisieren, der Ressourcen für die nächste Stufe der „Merkmalerkennung“ zur Verfügung stellt. Zudem sorgt das „Arousal-System“ durch seine Interaktion mit dem „Activation-Mechanismus“ dafür, dass dieser die notwendigen Ressourcen für die motorische Ausführung bereitstellt. Beide Mechanismen informieren den „Evaluation-Mechanismus“ über den Status der verfügbaren Ressourcen. Dieser gibt wiederum diese Information über den Ressourcen-Status an das „Effort-System“ weiter, welches die Ressourcen kontrolliert und diese der Stufe der „Reaktionswahl“ bereitstellt, wenn komplexe kognitive Aufgaben gelöst werden müssen (Davranche & Audiffren, 2004, vgl. Abb.29).

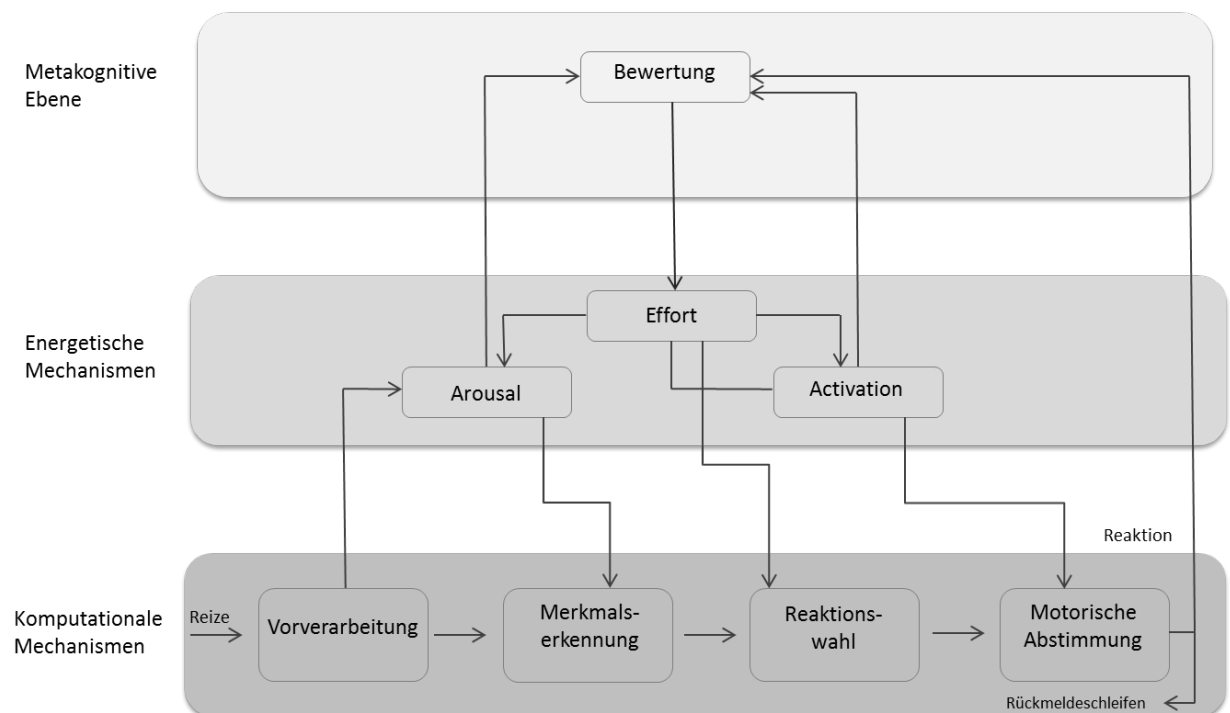


Abbildung 29: Modifizierte Version des kognitiv-energetischen Modells der Informationsverarbeitung nach Sanders (1983).

Die Wirksamkeit sportlicher Betätigung auf die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit nach Sander's Modell (1983)

Gemäß Davranche und Audiffren (2004) ist der positive Effekt physischer Aktivität darin begründet, dass es zu einer Erhöhung des Arousal-/Activation-Levels kommt, wodurch eine verstärkte Verfügbarkeit von Aufmerksamkeitsressourcen bewirkt wird. Arousal ist nach Rühle et al. (2001) als ein zeitlich begrenzter Aktivierungszustand zu

verstehen, der zu Leistungsanstieg, nervaler Aktionspotentialzunahme, Hormonfreisetzung und Verhaltensmodifikation führen kann. Pribram und McGuinness (1975) weisen den einzelnen Mechanismen des kognitiv-energetischen Modells der Informationsverarbeitung neuronale Korrelate zu, welche die positive Wirkung sportlicher Betätigung auf neuroanatomischer Ebene erklären können. Das „Arousal-System“, welches je nach Menge des sensorischen Inputs mit Beibehaltung oder Erhöhung seiner Aktivität reagiert, ist laut den Autoren neuronal durch die *Formatio Reticularis* und deren Verbindung zum Hypothalamus repräsentiert. Die *Formatio Reticularis* ist ein diffuses Neuro-nennetzwerk im Hirnstamm, das über den Hypothalamus die Ausscheidung der Neurotransmitter (Nor-)Adrenalin und Serotonin reguliert und somit zur lang anhaltenden, tonischen Aktivierung und Dämpfung der kortikalen Aktivität führt. Der Hypothalamus ist neben dem neuronalen Arousal zusätzlich für vegetative Reaktionen verantwortlich (Trepel, 2004). Die Amygdala, die von Pribram und McGuinness (1975) als Kontrollinstanz des „Arousal-Systems“ angesehen wird, sorgt durch ihre inhibitorischen und erregenden Efferenzen zu diesen beiden Regionen dafür, dass dieser Schaltkreis Beginn, Dauer und Intensität des stimulusbedingten Arousals beeinflusst sowie viszerale autonome Reaktionen reguliert (Pribram & McGuinness, 1975). Folglich stellt das „Arousal-System“ die sensorisch energetische Struktur dar, da sie Wahrnehmungsprozesse durch eine erhöhte Aufmerksamkeit aktiviert. Entscheidend scheint dabei die durch das Arousal induzierte verstärkte Ausschüttung des Neurotransmitters Noradrenalin zu sein. In diesem Zusammenhang führten Peyrin, Pequignot, Lacour und Fourcade (1987) die kognitive Leistungssteigerung auf die noradrenerge Aktivierung des zentralen Nervensystems zurück. Empirische Evidenz dazu lieferten Forschungsarbeiten, die einen signifikant positiven Zusammenhang zwischen der noradrenergen Plasmakonzentration und den Reaktionszeiten von Männern während sportlicher Betätigung nachwiesen (Chmura, Kryzstofiak, Ziemba, Nazar, & Kaciuba-Uscilko, 1998; Chmura, Nazar, & Kaciuba-Uscilko, 1994).

Dagegen ist es Aufgabe des „Activation-Systems“ als motorisch energetische Struktur, den Organismus auf die motorische Reaktion vorzubereiten. Pribram und McGuinness (1975) sehen hierbei die Basalganglien als entscheidendes neuronales Korrelat an. Infolge einer kortiko-striatalen Erregung wird über diverse Verbindungen die tonische Hemmung des Thalamus beseitigt, sodass wiederum über dessen Verbindung zum

supplementären motorischen Areal eine motorische Reaktion ermöglicht wird. Zudem ist die Substantia Nigra, die funktionell den Basalganglien zugeordnet wird, wichtig. Die Substantia Nigra stellt die Hauptproduktionsstelle von Dopamin dar (Trepel, 2004). Nach Rihet, Possamai, Micallef-Roll, Blin und Hasbroucq (2002) wirkte sich die orale Verabreichung von Levodopa, dem Präkursor von Dopamin, positiv auf die Reaktionszeiten in einer visuellen Reaktionszeitaufgabe aus. Bezogen auf das kognitiv-energetische Modell der Informationsverarbeitung nach Sanders (1983) beeinflusste diese Manipulation speziell die Stufe der „Vorverarbeitung“, was die Autoren schlussfolgern ließ, dass das dopaminerge System speziell in der sensorischen Verarbeitung eine Rolle spielt, vermutlich durch seinen aktivierenden Einfluss auf das Arousal-Level.

Pribram und McGuiness (1975) gehen von einer Trennung dieser sensorischen und motorischen Strukturen aus, postulieren jedoch, dass eine übergeordnete Verbindung besteht, das sogenannte „Effort-System“. Dieser Mechanismus ist im Hypothalamus lokalisiert und sorgt dafür, dass im Falle einer stereotypen, automatisierten Reaktion diese Verbindung zwischen „Arousal“ und „Activation“ genutzt wird. Folglich bewirkt ein Arousal-Anstieg in den sensorischen Strukturen einen Erregungsanstieg in den motorischen Arealen und resultiert in einer motorischen Reaktion, die reziprok eine Stimulation der sensorischen Strukturen im Sinne einer Selbststimulation induzieren kann. Im Rahmen sportlicher Betätigung wird jedoch oftmals eine Veränderung automatisierten Verhaltens erfordert, dabei wird eine Unterbrechung dieser Direkt-Verbindung durch das „Effort-System“ ebenfalls ermöglicht.

Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass die infolge physischer Betätigung vermehrte Transmitterausschüttung zu einer Aktivierung des „Arousal“- sowie des „Activation-Systems“ und der damit assoziierten neuronalen Funktionsschleifen führt, was sich schließlich positiv auf die Ressourcen-Allokation auswirkt, wovon wiederum die einzelnen Prozessschritte nach Sanders Modell (1983) profitieren. Gemäß Sanders (1983) führt physische Aktivität durch eine verbesserte Ressourcen-Allokation zu einer Erhöhung der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, was wiederum in der Folge für die Funktionalität eng verwandter Konstrukte, wie das Arbeitsgedächtnis oder die mentale Rotation, von Vorteil sein könnte. Die Ressourcen-Verfügbarkeit könnte eine Schlüsselfunktion in der Erklärung von Performanzunterschieden unserer drei Stich-

proben (Kinder, Senioren, Nicht-Sportler vs. Erwachsene, Sportler) einnehmen und sollte in zukünftigen Forschungsfragen verstärkt fokussiert werden.

Die Hauptaussage dieser abschließenden Diskussion besteht darin, dass die mentale Rotation weitere kognitive Vorgänge wie die Arbeitsgedächtnisleistung und die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit beinhaltet, die stets bei der Interpretation der Ergebnisse zur mentalen Rotation berücksichtigt werden sollten. Analog zu dieser spezifischen visuell-räumlichen Fähigkeit legt die bisherige Literatur nahe, dass ein Zusammenhang zwischen dem Arbeitsgedächtnis sowie der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und der Motorik besteht (vgl. Abbildung 28), der insbesondere aus Interventionsstudien ersichtlich wird. Der positive Einfluss physischer Aktivität ist kognitiv gesehen einer Erhöhung des Arousal-Levels zuzuschreiben, welche wiederum eine stärkere Rekrutierung von Aufmerksamkeitsressourcen ermöglicht (Davranche & Audiffren, 2004; Sanders, 1983). Auf physiologischer Ebene führt sportliche Betätigung zu Veränderungen im kardiovaskulären und respiratorischen System (Mathews & Fox, 1976), die eine verbesserte Blut- und Sauerstoffversorgung im Gehirn ermöglichen. Aus der neurochemischen Perspektive bewirken Ausdauerbelastungen eine Ausschüttung bestimmter Neurotransmitter (Noradrenalin, Dopamin, Serotonin), die sich in einer Verbesserung geistiger Funktionen manifestiert (Diamond, 2000; Meeusen & De Meirleir, 1995; Meeusen et al., 2001). In Anbetracht des Einflusses physischer Aktivität ist stets zu berücksichtigen, dass Inkonsistenzen in der Empirie auf methodologische Diskrepanzen zurückzuführen sind und demnach die Wirksamkeit stark durch Faktoren wie die Trainingsintensität, -dauer und Art der motorischen Betätigung determiniert wird (Davranche & Audiffren, 2004). Bezüglich letztgenannten Aspekts ist zwischen koordinativen und konditionellen Interventionsmaßnahmen gemäß Bös und Mechling (1983) zu differenzieren, die beide nachweislich positive Effekte auf die kognitive Performanz verzeichnen lassen, allerdings spricht die Literatur tendenziell dafür, dass insbesondere in Hinblick auf die mentale Rotation koordinativen Sportarten eine bedeutende Rolle zuteilwird, was auf die kognitive Beanspruchung im Rahmen koordinativer Betätigung zurückzuführen ist (Meinel & Schnabel, 2007). Aus diesen Befunden sind zwei maßgebliche Schlussfolgerungen abzuleiten: 1) Durch die strikte Kopplung zwischen Motorik und Kognition, die durch die zahlreichen Interventionsstudien deutlich wurde, scheinen die Arbeitsgedächtnisleistung und die Informationsverarbeitungsge-

schwindigkeit gleichsam zur mentalen Rotationsfähigkeit „verkörperte“ Kognitionen im Sinne des Embodiment-Ansatzes darzustellen und 2) Dieser Verkörperungsansatz sollte gerade in Hinblick auf die Differenzierung zwischen konditionellen und koordinativen Interventionsmaßnahmen in zukünftigen Forschungsfragen aufgegriffen werden. Aus diesen durch die Gesamtdiskussion gewonnenen Erkenntnissen könnten Implikationen für weitere Forschungsdesigns abgeleitet werden, die abrundend in einem Ausblick speziell auf die Untersuchungsreihe dieser Arbeit transferiert werden sollen.

8.7 Ausblick

Basierend auf den Befunden zur Bedeutung der Arbeitsgedächtnisfähigkeit und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit in der mentalen Rotation, sollten diese beiden Variablen in zukünftigen Studien zusätzlich erhoben werden. Um die angenommene „Verkörperung“ dieser beiden Konstrukte zu überprüfen, wären Korrelationsanalysen zwischen sowohl sportlichen Fähigkeiten als auch sportlichen Interventionsmaßnahmen und der kognitiven Leistungsfähigkeit aufschlussreich. Darüber hinaus könnte auch die Durchführung von Dual-Task-Aufgaben, die eine kognitive Aufgabe mit einer motorischen Anforderung koppeln, hilfreich sein. Mittels dieses Paradigmas ließe sich überprüfen, ob die entwicklungs- und altersbedingten Einbußen in der mentalen Rotation sowie in der Arbeitsgedächtnisleistung und in der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit weniger kognitive Defizite repräsentieren, sondern vielmehr motorische Einbußen widerspiegeln. Dual-Task-Aufgaben wären zudem bereichernd, da entwicklungs- und altersbedingte Leistungseinbußen in der Literatur oftmals mit einer Ressourcen-Problematik assoziiert werden, die sich mittels eines derartigen Designs gut überprüfen lassen. Allerdings wird die methodische Umsetzung im Falle eines Querschnittsdesigns, welches die Erhebung von drei unterschiedlichen Altersgruppen implementiert, durch die Wahl eines geeigneten einheitlichen motorischen Testverfahrens erschwert. Beispielsweise ist der Einbeinstand (Vellas, Wayne, & Romero, 1997) für das Kindes- und Seniorenalter ein geeignetes Instrument zur Operationalisierung der Balance-Fähigkeit, während im jungen Erwachsenenalter überwiegend Deckeneffekte erzielt werden, da diese Altersstichprobe diese Aufgabe problemlos bewältigen kann. Ähnlich wie die Movement Assessment Battery for Children 2 (M-ABC-2; Petermann, 2009), die verschiedene Alterskategorien zwischen 3 und 16 Jahren erhebt, wäre eine Testbatterie für die gesamte Entwicklungsspanne wünschenswert.

Darüber hinaus wäre die Rekrutierung von klinischen Stichproben, die nachweislich sowohl kognitive (AG, MR) als auch motorische Defizite aufweisen, wie es bei Kindern mit Spina Bifida (Lehmann & Jansen, 2010; Wiedenbauer & Jansen-Osmann, 2006), Dyslexie (Kaltner & Jansen, 2014), ADHS (Piek et al., 2004) oder einer entwicklungsbedingten Koordinationsstörung (Piek et al., 1999) gegeben ist, interessant. Da die motorischen Defizite unterschiedlich stark ausgeprägt sind, wie es bei der entwicklungsbedingten Koordinationsstörung im Vergleich zu Kindern mit ADHS der Fall ist (Wilson, Maruff, & McKenzie, 1997), wäre es von Bedeutung zu untersuchen, inwiefern sich diese motorischen Leistungsunterschiede in der kognitiven Performanz (AG, MR, Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit) widerspiegeln. Daraus könnte man eine weitere mögliche Fragestellung für die mentale Rotation ableiten, die sich darauf konzentriert, ob sich die motorischen Defizite gerade in der egozentrischen Bedingung, die als stärker verkörpert angenommen wird als die objektbasierte, ausdrücken. Zudem wäre ein Vergleich dieser klinischen Stichproben mit Fokus auf die einzelnen Prozessschritte der mentalen Rotation nach Cooper und Shepard (1973) ein durchaus interessanter Aspekt. Wirken sich die motorischen Defizite lediglich auf den mentalen Rotationsprozess per se aus oder sind weitere Prozess-Stufen betroffen? Wirken sich Unterschiede in der Motorik auf die Verarbeitungsstufen quantitativ oder eher qualitativ aus? Sind folglich bei motorisch stärker beeinträchtigten Kindern mehrere Prozessschritte beeinträchtigt oder sind die Einbußen in unterschiedlichen Stufen zu beobachten? All diese Fragestellungen könnten Aufschluss über die Beteiligung motorischer Prozesse bei den einzelnen mentalen Rotationsstufen liefern. Diese eben erwähnten Stichproben weisen zudem AG-Defizite auf, sodass im Vergleich zu einer gesunden Stichprobe zusätzliche Erkenntnisse über die Beteiligung dieser kognitiven Determinante bei der mentalen Rotation gewonnen werden könnten. Basierend auf Befunden, die den positiven Effekt physischer Aktivität auf die AG-Leistung bei gesunden Stichproben nachwiesen (Guiney & Machado, 2013), wäre ein Transfer auf die genannten klinischen Stichproben ein Ansatz, der Anstöße für therapeutische Interventionen liefern könnte.

Ein differenzierteres Verständnis über die Bedeutung der Sportinterventionsart (konditionell vs. koordinativ) für die kognitive Leistungsfähigkeit könnte daraus resultieren, wenn diese beiden Maßnahmen im Rahmen eines mehrmonatigen Trainings unter

standardisierten Bedingungen bezüglich ihrer Wirksamkeit direkt miteinander verglichen werden würden, sowohl klinische als auch gesunde Stichproben betreffend. Anders als das von Moreau et al. (2012) durchgeführte Wrestling-Training, das einem Lauftraining gegenüber gestellt wurde, sollte der Faktor „Rotationsexpertise“, welcher beim Ringen gegeben ist, in dieser Fragestellung ausgeklammert werden. Dabei wäre ein allgemeines Koordinationstraining, das sich beispielsweise auf die Schulung der Ballfertigkeit, Handgeschicklichkeit und der Balance stützt, sinnvoll. Insbesondere in Hinblick auf die Differenzierung zwischen egozentrischen und objektbasierten Transformationen wäre es durchaus interessant zu untersuchen, ob sich diese Interventionen (konditionell vs. koordinativ) in unterschiedlicher Weise auf objektbasierte und egozentrische Transformationen auswirken. Würden die beiden Transformationsarten von einem Konditions- oder Koordinationstraining unterschiedlich stark profitieren? Diese Fragestellung würde zudem Aufschluss darüber geben, in welchem Ausmaß die motorische Rotationsexpertise als ausschlaggebend für eine bessere mentale Rotationsperformanz anzusehen ist. Während Steggemann et al. (2011) sowie Jola und Mast (2005) die Bedeutung einer spezifischen Rotationserfahrung unterstreichen, sprechen die Ergebnisse unserer zweiten und dritten Studie vorwiegend für Verkörperungseffekte bedingt durch das Stimulusmaterial und weniger aufgrund einer speziellen Rotationserfahrung. Eine bessere Differenzierung zwischen diesen beiden Faktoren sollten sich zukünftige Forschungsarbeiten zum Ziel setzen. Eine experimentelle Variation, die es erlaubt Rückschlüsse zu ziehen, könnte derart gestaltet sein, dass Rotationsexperten mit Athleten ohne Rotationserfahrung und Nicht-Sportlern verglichen werden würden. Allerdings müsste in den einzelnen Gruppen „verkörpertes“ Stimulusmaterial (z.B. Körperfiguren) und „nicht-verkörpertes“ Stimulusmaterial (z.B. Würfelfiguren) getrennt untersucht werden, um unter anderem Priming-Effekte einer motorischen Strategie ausschließen zu können, die sich nach Wraga et al. (2003) auf nicht-verkörpertes Stimulusmaterial übertragen kann. In diesem Zusammenhang wäre es zudem interessant zu untersuchen, welche Stimulusmanipulation ausreicht oder ausschlaggebend ist, um Verkörperungseffekte zu induzieren. Laut Amorim et al. (2006) erzeugte bereits die Darstellung eines Kopfes auf Würfelfiguren die Stimulation motorischer Prozesse.

Bezüglich der Verkörperungseffekte, bedingt durch die Variation des Stimulusmaterials, legten die Ergebnisse unserer Untersuchungsreihe nahe, dass die Größe und die damit assoziierte „Spiegelmetapher“ von bedeutender Relevanz sind. Dabei würde die Fragestellung, ab welcher Darstellungsgröße der Eindruck eines Spiegelbildes erzeugt wird bzw. Verkörperungseffekte eingeleitet werden, weiteren Erkenntnisgewinn liefern. Eine vage Schlussfolgerung wäre, dass durch diese Stimulusmanipulation die ökologische Validität erhöht wurde. Damit stellt sich die Frage, inwiefern die bisher verwendeten, auf einem Computer dargestellten Stimuli und die damit nachgewiesenen Befunde auf die Realität übertragbar sind. Denken Menschen in einem stärkeren Ausmaß „verkörpert“ als bisher angenommen? Welche Auswirkungen hat dieser Gedankengang auf den Alltag? Beispielhafte Implikationen für berufliche Zwecke könnten derart aussehen, dass Videokonferenzen im Vergleich zu Telefonkonferenzen präferiert werden sollten. Vielleicht können unsere Befunde zur Bedeutung der Stimulusgröße auch mitunter erklären, warum große Bildschirme im häuslichen Gebrauch gegenüber kleineren vorgezogen werden oder warum die Menschen sich gerne Filme auf überdimensional großen Leinwänden im Kino ansehen.

Aus diesem Kontext heraus könnte sich die Fragestellung ergeben, ob sich Verkörperungseffekte durch die „Spiegel-Metapher“ nicht nur kognitiv, sondern auch emotional auswirken. Die kognitive Perspektivenübernahme, wie sie durch die egozentrische Transformation erhoben wird, könnte als kognitives Pendant zur Empathie angesehen werden. Diese Analogie unterstreicht Allport (1937, S. 530) in seiner Definition von Empathie, welche er als folgende Fähigkeit deklariert: „putting oneself in the place of another“. Folglich ist Empathie als Eigenschaft zu verstehen, den internalen Status eines anderen Individuums mental zu repräsentieren. Basierend auf Befunden von Preston und de Waal (2002), die eine Ko-Aktivierung des parietalen Kortex während visuell-räumlicher Prozesse und empathischer Empfindungen nachwiesen, scheint eine gewisse Verbindung zwischen diesen beiden Konstrukten zu bestehen, die weiterer Forschung bedarf. Die Untersuchung klinischer Stichproben, die Defizite in der Empathie aufweisen, könnte dahingehend Erkenntnisgewinn liefern. Zwei psychische Störungen, die mit einer empathischen Dysfunktion in Verbindung gebracht werden, sind der Autismus und die Psychopathie. Blair (2005) unterzog sich eben dieser Fragestellung und stellte in diesem Rahmen fest, dass eine Differenzierung des unitären Systems „Empa-

thie“ unerlässlich ist, die auf der Trennung zwischen kognitiver, motorischer und emotionaler Empathie basiert. Kognitive Empathie wird vom Autor mit der *Theory of Mind* gleichgesetzt, die nach Premack und Woodruff (1978) die Fähigkeit darstellt, Gedanken, Wünsche, Intentionen und Wissen einer anderen Person mental zu repräsentieren. Die motorische Komponente der Empathie sieht Blair (2005) in der Existenz der Spiegelneurone, die dazu führen, dass beobachtete Handlungen anderer motorisch abgebildet und damit mental simuliert werden (Jeannerod, 2003). Die emotionale Komponente reflektiert die Reaktionen auf Gesichtsausdrücke oder Sätze, die emotional konnotiert sind. Blair (2005) wies in dieser Untersuchung nach, dass Autisten vorwiegend in kognitiver und motorischer Empathie Defizite aufwiesen, während bei Psychopathen ausschließlich Beeinträchtigungen in der emotionalen Komponente zu verzeichnen waren. Dieser theoretische Hintergrund des Konstrukts Empathie könnte im Zusammenhang mit der mentalen Rotation äußerst hilfreich sein.

Zusammenfassend hat diese Arbeit aufgezeigt, dass die mentale Rotation eine kognitive Fähigkeit darstellt, die nicht nur weitere andere kognitive Prozesse wie das Arbeitsgedächtnis und die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit miteinbezieht, sondern durch ihre Verknüpfung zur Motorik auch die Frage aufwirft, ob nicht ihre Determinanten ebenso einen gewissen Grad an Verkörperung aufweisen. Demnach hebt diese Arbeit die Bedeutung des Embodiment-Ansatzes hervor und betont die Rolle der Stimulusgröße in Zusammenhang mit Verkörperungseffekten. Dieser Befund sollte die ökologische Validität bisheriger Untersuchungen mit kleinen, artifiziellen Stimuli kritisch in Frage stellen oder zumindest dahingehend einen Denkanstoß liefern, dass die Kognition im Alltag durchaus „verkörperter“ ist, als es vielleicht die Ergebnisse aus Laborexperimenten nahelegen. Der Embodiment-Ansatz sollte folglich in der Forschung zielstrebig fokussiert werden, da durchaus weitreichende Implikationen für den beruflichen Alltag, sowie für ein therapeutisches Setting gewonnen werden können.

9. Literatur

- Adelman, P.K., & Zajonc, R.B. (1987). Facial efference and the experience of emotion. *Annual Review of Psychology*, 40, 249-280.
- Agrell, B., & Dehlin, O. (1998). The clock-drawing test. *Age and Ageing*, 27, 399-403.
- Alexander, G.M., & Evardone, M. (2008). Blocks and bodies: sex differences in a novel version of the mental rotations test. *Hormones and Behavior*, 53, 177–184. doi:10.1016/j.yhbeh.2007.09.014
- Alivisatos, B., & Petrides, M. (1997). Functional activation of the human brain during mental rotation. *Neuropsychologia*, 35, 111-118.
- Allport, G.W. (1937). *Personality: a psychological interpretation*. New York: Holt, Rinehart, & Winston.
- Amorim, M.A., Isableu, B., & Jarraya, M. (2006). Embodied spatial transformations: “Body analogy” for the mental rotation of objects. *Journal of Experimental Psychology*, 135, 327-347.
- Amorim, M., & Stucchi, N. (1997). Viewer- and object-centered mental explorations of an imagined environment are not equivalent. *Cognitive Brain Research*, 5, 229-239.
- Andersen, R.A. (1989). Visual and eye movement functions of the posterior parietal lobe. *Annual Review of Neuroscience*, 12, 377– 403.
- Anguera, J.A., Reuter-Lorenz, P.A., Willingham, D.T., & Seidler, R.D. (2010). Contributions of spatial working memory to visuomotor learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22, 1917-1930.
- Arzy, S., Overney, L.S., Landis, T., & Blanke, O. (2006). Neural mechanisms of embodiment: asomatognosia due to premotor cortex damage. *Archives of Neurology*, 63, 1022–1025.
- Babcock, R.L., & Salthouse, T.A. (1990). Effects of increased processing demands on age differences in working memory. *Psychology and Aging*, 5, 421-428.
- Baddeley, A., & Hitch, G.J. (1974). Working memory. In: G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation; Advances in research and theory* (pp.47-89). New York: Academic Press.

- Balota, D.A., & Duchek, J.M. (1988). Age related differences in lexical access, automatic spreading activation, and simple pronunciation. *Psychology & Aging, 3*, 84-93.
- Baumann, S. (1993). *Psychologie im Sport*. Aachen: Meyer und Meyer.
- Bell, L., & Rushforth, J. (2008). *Overcoming body image disturbance: a programme for people with eating disorders*. Hove: Routledge.
- Berg, C, Hertzog, C., & Hunt, E. (1982). Age differences in the speed of mental rotation. *Developmental Psychology, 18*, 95-107.
- Berger, M. (2004). *Psychische Erkrankungen. Klinik und Therapie* (2.Auflage). München: Urban und Fischer.
- Berlucchi, G., & Aglioti, S. (1997). The body in the brain: neural bases of corporeal awareness. *Trends in Neuroscience, 20*, 560–564.
- Bethell-Fox, C.E., & Shepard, R.N. (1988). Mental rotation: effects of stimulus complexity and familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 14*, 12-23.
- Birren, J.E. (1974). Psychophysiology and speed of response. *American Psychologist, 29*, 808-815.
- Blair, R.J.R. (2005). Responding to the emotions of others: dissociating forms of empathy through the study of typical and psychiatric populations. *Consciousness and Cognition, 14*, 698-718.
- Blanke O., Ionta S., Fornari E., Mohr C., & Maeder P. (2010). Mental imagery for full and upper human bodies: common right hemisphere activations and distinct extrastriate activations. *Brain Topography, 23*, 321–332.
- Bode, S., Koenke, S., & Jäncke, L. (2007). Different strategies do not moderate primary motor cortex involvement in mental rotation: a TMS study. *Behavioural and Brain Functions, 3*, 38-42.
- Bonda, E., Petrides, M., Frey, S., & Evans, A. (1995). Neural correlates of mental transformations of the body-in-space. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A., 92*, 11180–11184.

- Booth, J.R., MacWhinney, B., Thulborn, K.R., Sacco, K., Voyvodic, J.T., & Feldman, H.M. (2000). Developmental and lesion effects in brain activation during sentence comprehension and mental rotation. *Developmental Neuropsychology*, 18, 139-169.
- Borst, G., Kievit, R.A., Thompson, W.L., & Kosslyn, S.M. (2011). Mental rotation is not easily cognitively penetrable. *Journal of Cognitive Psychology*, 23, 60-75.
- Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (4. Auflage). Berlin: Springer.
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands “feel” touch that eyes see. *Nature*, 391, 756. doi:10.1038/35784
- Bös, K., & Mechling, H. (1983). *Dimensionen sportmotorischer Leistungen*. Schorndorf: Hofmann.
- Braver, T.S., & Cohen, J.D. (2000). On the control of control. The role of dopamine in regulating prefrontal function and working memory. In Monsell, S., & Driver, J. (Eds.). *Control of cognitive processes* (pp.713-737). Cambridge: The MIT Press.
- Briggs, S.D., Raz, N., & Marks, W. (1999). Age-related deficits in generation and manipulation of mental images: the role of sensorimotor speed and working memory. *Psychology and Aging*, 14, 427-435. doi:10.1037/0882-7974.14.3.427
- Bruyer, R., & Scailquin, J.-C. (1998). The visuospatial sketchpad for mental images: Testing the multicomponent model of working memory. *Acta Psychologica*, 98, 17-36.
- Buxbaum, L. J., Johnson-Frey, S. H., & Bartlett-Williams, M. (2005). Deficient internal models for planning hand-object interactions in apraxia. *Neuropsychologia*, 43, 917–929.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D.E., Grèzes, J., Passingham, R.E., & Haggard, P. (2005). Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex*, 15, 1243-1249.
- Carpenter, P.A., Just, M.A., Keller, T.A., Eddy, W., & Thulborn, K. (1999). Graded functional activation in the visuospatial system with the amount of task demand. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 9-24.

- Carpenter, M., & Proffitt, D.R. (2001). Comparing viewer and array mental rotations in different planes. *Memory & Cognition*, 29, 441-448.
- Casey, B.J., Giedd, J.N., & Thomas, K.M. (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biological Psychology*, 5, 241-257.
- Cash, T.F., & Pruzinsky, T. (2002). Understanding body images: historical and contemporary perspectives. In T. F. Cash, & T. Pruzinsky (Eds.), *Body image: a handbook of theory, research and clinical practice* (pp. 3-12). New York: Guilford.
- Cerella, J. (1985). Information processing rates in the elderly. *Psychological Bulletin*, 98, 67-83.
- Cerella, J., Poon, L.W., & Fozard, J.L. (1981). Mental rotation and age reconsidered. *Journal of Gerontology*, 36, 620-624.
- Cerella, J., Poon, L.W., & Williams, D. (1980). *Age and the complexity hypothesis*. In L. W. Poon (Ed.), *Aging in the 1980s: Psychological issues* (pp. 293-308). Washington, DC: American Psychological Association.
- Chaouloff, F., Kennett, G.A., Serrurier, B., Merino, D., & Curzon, G. (1986). Amino acid analysis demonstrates that increased plasma free tryptophan causes the increase of brain tryptophan during exercise in the rat. *Journal of Neurochemistry*, 46, 1647-1650
- Chelonis, J., Daniels-Shawb, J., Blakea, D., & Paule, M. (2000). Developmental aspects of delayed matching-to-sample task performance in children. *Neurotoxicology and Teratology*, 22, 683-694.
- Chennaoui, M., Drogou, C., Gomez-Merino, D., Grimaldi, B., Fillion, G., & Guezennec, C.Y. (2001). Endurance training effects on 5-HT_{1B} receptors in rat central nervous system. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 361, 600-604.
- Chi, M.T.H. (1977). Age differences in the speed of processing: a critique. *Developmental Psychology*, 13, 543-544.
- Chmura, J., Nazar, K., & Kaciuba-Uscilko, H. (1994). Choice reaction time during graded exercise in relation to blood lactate and plasma catecholamine threshold. *Journal of Sports Medicine*, 15, 172-176.

- Chmura, J., Krysztofiak, H., Ziemba, A.W., Nazar, K., & Kaciuba-Uscilko, H. (1998). Psychomotor performance during prolonged exercise above and below the blood lactate threshold. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77, 77-80.
- Cian, C., Barraud, P.A., Melin, B., & Raphel, C. (2001). Effects of fluid ingestion on cognitive function after heat stress or exercise-induced dehydration. *International Journal of Psychophysiology*, 42, 243-251.
- Cohen, M.S., Kosslyn, S.M., Breiter, H.C., Digirolamo, G.J., Thompson, W.L., Anderson, A.K., ... Belliveau, J.W. (1996). Changes in cortical activity during mental rotation: a mapping study using functional MRI. *Brain*, 119, 89-100.
- Colcombe, S.J., & Kramer, A.F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychological Science*, 14, 125-130.
- Colcombe, S.J., Kramer, A.F., Erickson, K.I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J.,... Elasky, S. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101, 3316-3321.
- Conklin, H.M., Luciana, M., Hooper, C.J., & Yarger, R.S. (2007). Working memory performance in typically developing children and adolescents: behavioral evidence of protracted frontal lobe development. *Developmental Neuropsychology*, 31, 103-128.
- Cooper, L.A. (1975). Mental rotation of random two-dimensional shapes. *Cognitive Psychology*, 7, 20-43.
- Cooper, L.A., & Podgorny, P. (1976). Mental transformations and visual comparison processes: effects of complexity and similarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2, 503-514.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing* (pp. 75-176). Oxford, England: Academic.
- Coslett, H. B. (1998). Evidence for a disturbance of the body schema in neglect. *Brain & Cognition*, 37, 527-44

- Craig, A.D. (2003). Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 500–505.
- Craik, F.I.M. (1977). Age differences in human memory. In J. E. Birren, & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 384–420). New York: Van Nostrand Reinhold.
- Creem, S.H., Wraga, M., & Proffitt, D.R. (2001). Imagining physically impossible transformations: geometry is more important than gravity. *Cognition*, 81, 41–64.
- Creem-Regehr, S. H. (2010). Body mapping and spatial representation. In F. Dolins, & R. Mitchell (Eds.), *Spatial Cognition, Spatial Perception: Mapping the Self and Space* (pp. 422–438). Cambridge: Cambridge University Press.
- Creem-Regehr, S.H., Neil, J.A., & Yeh, H.J. (2007). Neural correlates of two imagined egocentric spatial transformations. *NeuroImage*, 35, 916–927.
- Culham, J.C., & Kanwisher, N.G. (2001). Neuroimaging of cognitive functions in human parietal cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, 11, 157–163.
- Davranche, K., & Audiffren, M. (2004). Facilitating effects of exercise on information processing. *Journal of Sport Sciences*, 22, 419–428.
- Decety, J., Perani, D., Jeannerod, M., Bettinardi, V., Tadary, B., Woods, R., Mazziotta, J.C., & Fazio, F. (1994). Mapping motor representations with positron emission tomography. *Nature*, 371, 600–602.
- Deusinger, I.M. (1998). *Die Frankfurter Körperkonzeptskalen (FKKS)*. Göttingen: Hogrefe.
- Devlin, A.L., & Wilson, P.H. (2010). Adult age differences in the ability to mentally transform object and body stimuli. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 17, 709–729.
- Devue, C., Collette, F., Balteau, E., Degueldre, C., Luxen, A., Maquet, P., & Bédart, S. (2007). Here I am: the cortical correlates of visual self-recognition. *Brain Research*, 1143, 169–182.

- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development*, 71, 44-56.
- Diamond, A., & Taylor, C. (1996). Development of an aspect of executive control: development of the abilities to remember what I said and "do as I say, not as I do." *Developmental Psychobiology*, 29, 315-34.
- Downing, P.E., Jiang, Y., Shuman, M., & Kanwisher, N. (2001). A cortical area selective for visual processing of the human body, *Science*, 293, 2470-2373.
- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Neuroplasticity: changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427, 311-312.
- Dror, I.E., & Kosslyn, S.M. (1994). Mental imagery and aging. *Psychology and Aging*, 9, 90-102.
- Dror, I.E., Schmitz-Williams, I.C., & Smith, W. (2005). Older adults use mental representations that reduce cognitive load: mental rotation utilizes holistic representations and processing. *Experimental Aging Research*, 31, 409-420.
- Duval, S., & Wicklund, R. A (1972). *A theory of objective self awareness*. New York: Academic Press.
- Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition and Emotion*, 6, 169-200.
- Estes, D. (1998). Young children's awareness of their mental activity: the case of mental rotation. *Child Development*, 69, 1345-1360.
- Ferri F., Frassinetti F., Maini, M., & Gallese V. (2011). Motor simulation and the bodily self. *PLoS ONE* 6(3): e17927.
- Folk, M.D., & Luce, R.D. (1987). Effects of stimulus complexity on mental rotation rate of polygons. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 13, 395-404.
- Fowler, L., Blackwell, A., Jaffa, A., Palmer, R., Robbins, T.W., Sahakian, B. J., & Dowsen, J.H. (2006). Profile of neurocognitive impairments associated with female inpatients with anorexia nervosa. *Psychological Medicine*, 36, 517-527.

- Frassinetti F., Maini, M., Romualdi S., Galante E., & Avanzi, S. (2008). Is it mine? Hemispheric asymmetries in corporeal self-recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20, 1507-1516.
- Frick, A., Daum, M.M., Walser, S., & Mast, F.W. (2009). Motor processes in children's mental rotation. *Journal of Cognition and Development*, 10, 18–40.
- Froming, W.J., Walker, G.R., & Lopyan, K.J. (1982). Public and private self-awareness: When personal attitudes conflict with societal expectations. *Journal of Experimental Social Psychology*, 18, 476-487.
- Fry, A.F., & Hale, S. (1996). Processing speed, working memory, and fluid intelligence: evidence for a developmental cascade. *Psychological Science*, 7, 237–241.
- Funk, M., Brugger, P., & Wilkening, F. (2005). Motor processes in children's imagery: the case of mental rotation of hands. *Developmental Science*, 8, 402-408.
- Ghafori, M., & Lestienne, F. (2000). Altered representation of peripersonal space in the elderly human subject: a sensorimotor approach. *Neuroscience Letters*, 298, 193-196.
- Gallese, V. (2003). A neuroscientific grasp of concepts: from control to representation. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 358, 1231-1240.
- Gallese, V. (2005). Embodied simulation: from neurons to phenomenal experience. *Phenomenology of Cognitive Science*, 4, 23-48.
- Gathercole, S.E., Pickering, S.J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40, 177-190.
- Gaylord, S.A., & Marsh, G.R. (1975). Age differences in the speed of a spatial cognitive process. *Journal of Gerontology*, 30, 674-678.
- Geiger, L. (1996). *Ausdauertraining*. München: Copress
- Gillberg, C. (2003). Deficits in attention, motor control, and perception: a brief review. *Archives of Disease in Childhood*, 88, 904-910.
- Gogos, A., Gavrilescu, M., Davison, S., Searle, K., Adams, J., Rossell, S. L.,...Egan, G.F. (2010). Greater superior than inferior parietal lobule activation with increasing

- rotation angle during mental rotation: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 48, 529-535.
- Graybiel, A.M., Aosaki, T., Flaherty, A.W., & Kimura, M. (1994). The basal ganglia and adaptive motor control. *Science*, 265, 1826–1831.
- Guiney, H., & Machado, L. (2013). Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20, 73–86
- Hahn, N. (2010). *Mentale Rotation bei Vorschulkindern: Geschlechtsunterschiede in der Lateralisierung*. Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf. Institut für Experimentelle Psychologie: Dissertation.
- Hale, S. (1990). A global developmental trend in cognitive processing speed. *Child Development*, 61, 653–663.
- Hale, S., & Jansen, J. (1994). Global processing-time coefficients characterize individual and group differences in cognitive speed. *Psychological Science*, 5, 384–389.
- Hale, S., Rose, N.S., Myerson, J., Strube, M.J., Sommers, M., Tye-Murray, N., & Spehar, B. (2011). The structure of working memory ability across the adult life span. *Psychology & Aging*, 26, 92-110.
- Hansen, A.L., Johnsen, B.H., Sollers, J., Stenvik, K., & Thayer, J.F. (2004). Heart rate variability and its relation to prefrontal cognitive function: the effects of training and detraining. *European Journal of Applied Physiology*, 93, 263–272.
- Harris, I.M., Egan, G.F., Sonkkila, C., Tochon-Danguy, H.J., Paxinos, G., & Watson, J.D.G. (2000). Selective right parietal lobe activation during mental rotation: a parametric PET study. *Brain*, 123, 65-73.
- Harrison, P.A., & Narayan, G. (2003). Differences in behavior, psychological factors, and environmental factors associated with participation in school sports and other activities in adolescence. *Journal of School Health*, 73, 113-120.
- Hausenblas, H.A., & Downs, D.S. (2001). Comparison of body image between athletes and non athletes: a meta-analytic review. *Journal of Applied Sport Psychology*, 13, 323-339.

- Hausmann, M., Slabbekoorn, D., Van Goozen, S.H., Cohen-Kettenis, P.T., & Gunturkun, O. (2000). Sex hormones affect spatial abilities during the menstrual cycle. *Behavioral Neuroscience*, 114, 1245-1250.
- Heckler, B., & Croce, R. (1992). Effects of time of posttest after two durations of exercise on speed and accuracy of addition and subtraction by fit and less-fit women. *Perceptual and Motor Skills*, 75, 1059–1065.
- Hedges, L.V., & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. Orlando, FL: Academic Press.
- Heil, M., & Jansen-Osmann, P. (2008). Sex differences in mental rotation with polygons of different complexity: do men utilize holistic processes whereas women prefer piecemeal ones? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 683-689.
- Heil, M., & Rolke, B. (2002). Towards a chronopsychophysiology of mental rotation. *Psychophysiology*, 39, 414-422.
- Herman, J.F., & Bruce, P.R. (1983). Adults' mental rotation of spatial information: effects of age, sex and cerebral laterality. *Experimental Aging Research*, 9, 83-85.
- Herman, J.F., & Coyne, A.C. (1980). Mental manipulation of spatial information in young and elderly adults. *Developmental Psychology*, 15, 537–538.
- Hertzog, C., & Rypma, B. (1991). Age differences in components of mental rotation task performance. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 29, 209-212.
- Hertzog, C., Vernon, M.C., & Rypma, B. (1993). Age differences in mental rotation task performance: the influence of speed/accuracy tradeoffs. *Journals of Gerontology*, 48, 150–156.
- Hillman, C.H., Castelli, D.M., & Buck, S.M. (2005). Aerobic fitness and neurocognitive function in healthy preadolescent children. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 37, 1967-1974.
- Huttenlocher, J., & Presson, C.C. (1973). Mental rotation and the perspective problem. *Cognitive Psychology*, 4, 277-299.
- Hyun, J.-S., & Luck, S. J. (2007). Visual working memory as the substrate for mental rotation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13, 154-158.

- Inagaki, H., Meguro, K., Shimada, M., Ishizaki, J., Okuzumi, H., & Yamadori, A. (2002). Discrepancy between mental rotation and perspective-taking abilities in normal aging assessed by Piaget's three-mountain task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 18–25.
- Inui, N. (1997). Simple reaction times and timing of serial reactions of middle-aged and old men. *Perceptual and Motor Skills*, 84, 219–225.
- Ionta, S., Fourkas, A.D., Fiorio, M., Aglioti, S.M. (2007). The influence of hands posture on mental rotation of hands and feet. *Experimental Brain Research*, 183, 1-7.
- Ionta, S., Gassert, R., & Blanke, O. (2011). Multi-sensory and sensorimotor foundation of bodily-self-consciousness – an interdisciplinary approach. *Frontiers in Psychology*, 2: 383. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00383
- Ionta, S., Heydrich, L., Lenggenhager, B., Mouthon, M., Fornari, E., Chapuis, D., ... Blanke, O. (2011). Multisensory mechanisms in temporo-parietal cortex support self-location and first-person perspective. *Neuron*, 70, 363-374.
- Ito, M. (1988). *Selbst- u. Körperkonzept bei Bulimia Nervosa. In: Abgrenzung zur expansiven Form der Anorexia Nervosa*. Goethe-Universität Frankfurt/M.: unveröffentlichte Diplomarbeit.
- Jacewicz, M.M., & Hartley, A. A. (1979). Rotation of mental images by young and old college students: the effects of familiarity. *Journal of Gerontology*, 34, 396-403.
- Jansen, P., & Heil, M. (2010). The relation between motor development and mental rotation ability in 5-6 years old children. *European Journal of Developmental Science*, 4, 66-74.
- Jansen, P., Titze, C., & Heil, M. (2009). The influence of juggling on mental rotation performance. *International Journal of Sport Psychology*, 40, 351-359.
- Jansen, P., & Kaltner, S. (2014). Object-based and egocentric mental rotation performance in older adults: the importance of gender differences and motor ability. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 21, 296-316.
- Jansen, P., & Lehmann, J. (2013). Mental rotation performance in soccer players and gymnasts in an object based mental rotation task. *Advances in Cognitive Psychology*, 9, 92-98.

- Jansen, P., Lehmann, J., & van Doren, J. (2012). Mental rotation performance in male soccer player. *PLoS ONE*, 7, 348620. doi: 10.1371/journal.pone.0048620
- Jansen, P., Schmelter, A., Kasten, L., & Heil, M. (2011). Impaired mental rotation performance in overweight children. *Appetite*, 56, 766-769.
- Jansen-Osmann, P., & Heil, M. (2007). Developmental aspects of the laterality of ERP effects during mental rotation. *NeuroReport*, 18, 175-178.
- Jeannerod, M. (2003). *Motor cognition. What actions tell to the self*. Oxford: Oxford University Press.
- Jenkins, L., Myerson, J., Hale, S., & Fry, A.F. (1999). Individual and developmental differences in working memory across the life span. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 28–40.
- Jola, C., & Mast, F. W. (2005). Mental object rotation and egocentric body transformation: two dissociable processes? *Spatial Cognition and Computation*, 5, 217–237.
- Joraschky, P., Löw, T., & Röhrich, F. (2009). *Körperleben und Körperbild: Ein Handbuch zur Diagnostik*. Stuttgart: Schattauer.
- Jordan, K., Heinze, J., Lutz, K., Kanowski, M., & Jäncke, L. (2001). Cortical activations during the mental rotation of different visual objects. *NeuroImage*, 13, 143-152.
- Jordan, K., Wüstenberg, T., Heinze, H. J., Peters, M., & Jäncke, L. (2002). Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks. *Neuropsychologia*, 40, 2397-2408.
- Kail, R. (1986). Sources of age differences in speed of processing. *Child Development*, 57, 969-987.
- Kail, R. (1991). Developmental change in speed of processing during childhood and adolescence. *Psychological Bulletin*, 109, 490-501.
- Kail, R., Pellegrino, J., & Carter, P. (1980). Developmental changes in mental rotation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 29, 102–116.
- Kail, R., & Salthouse, T. A. (1994). Processing speed as a mental capacity. *Acta Psychologica*, 86, 199-225.

- Kaltner, S., Riecke, B., & Jansen, P. (2014). Embodied mental rotation: a special link between transformation and the bodily self. *Frontiers in Psychology: Cognition*, 5: 505. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00505
- Kaltner, S., & Jansen, P. (2014). Mental rotation and motor performance in children with developmental dyslexia. *Research in Developmental Disabilities*, 35, 741-754.
- Kamijo, K., Pontifex, M. B., O'Leary, K. C., Scudder, M. R., Wu, C. T., Castelli, D. M., & Hillman, C.H. (2011). The effects of an afterschool physical activity program on working memory in preadolescent children. *Developmental Science*, 14, 1046-1058.
- Karadi, K., Kallai, J., & Kovacs, B. (2001). Cognitive subprocesses of mental rotation: why is a good rotator better than a poor one? *Perceptual and Motor Skills*, 93, 333-337.
- Keehner, M., Guerin, S.A., Miller, M.B., Turk, D.J., & Hegarty, M. (2006). Modulation of neural activity by angle of rotation during imagined spatial transformations. *NeuroImage*, 33, 391-398.
- Keenan, J.P., Nelson, A.M., O'Connor, M., & Pascual-Leone, A. (2001). Self-recognition and the right hemisphere. *Nature*, 409, 305.
- Kemps, E., De Rammalaere, S., & Desmet, T. (2000). The development of working memory: exploring the complementarity of two models. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77, 89-109.
- Kemps, E., & Newson, R. (2005). Patterns and predictors of adult age differences in mental imagery. *Aging, Neuropsychology and Cognition: A Journal on Normal and Dysfunctional Development*, 12, 99-128.
- Kessler, J., Markowitsch, H.J., & Denzler, P. (2000). *Mini-Mental-Status-Test (MMST)*. Göttingen: Beltz Test GmbH.
- Kessler, K., & Thomson, L.A. (2010). The embodied nature of spatial perspective taking: embodied transformation versus sensorimotor interference. *Cognition*, 114, 72-88.

- Kessler, K., & Rutherford, H. (2010). The two forms of visuo-spatial perspective taking are differently embodied and subserve different spatial prepositions. *Frontiers in Psychology, 1*, 213. doi: 10.3389/fphys.2010.00213
- Kingston, K., Szmukler, G., Andrewes, D., Tress, B., & Desmond, P. (1996). Neuropsychological and structural brain changes in anorexia nervosa before and after refeeding. *Psychological Medicine, 26*, 15-28.
- Kosslyn, S. M. (1981). The medium and the message in mental imagery: a theory. *Psychological Review, 88*, 46-66.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and brain - The resolution of the imagery debate*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kosslyn, S.M., Digirolamo, G.J., Thompson, W.L., & Alpert, N.M. (1998). Mental rotation of objects versus hands: neural mechanisms revealed by positron emission tomography. *Psychophysiology, 35*, 151-161.
- Kosslyn, S.M., Thompson, W.L., Wraga, M., & Alpert, N.M. (2001). Imagining rotation by endogenous versus exogenous forces: distinct neural mechanisms. *Neuro-report: For Rapid Communication of Neuroscience Research, 12*, 2519-2525.
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation spatial ability and spatial orientation ability. *Memory and Cognition, 29*, 745-756.
- Kozhevnikov, M., Motes, M.A., Rasch, B., & Blajenkova, O. (2006). Perspective-taking vs. mental rotation transformations and how they predict spatial navigation performance. *Applied Cognitive Psychology, 20*, 397-417.
- Kwon, H., Reiss, A.L., & Menon, V. (2002). Neural basis of protracted developmental changes in visuo-spatial working memory. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America, 99*, 13336-13341.
- Lachmann, T. (2002). Reading disability as a deficit in functional coordination and information integration. In E. Witruk, A. D. Friederici, & T. Lachmann (Eds.), *Basic functions of language, reading and reading disability* (pp. 165-198). Boston: Kluwer/Springer.
- Lamm, C., Windischberger, C., Moser, E., & Bauer, H. (2007). The functional role of

- dorsolateral premotor cortex during mental rotation: an event-related fMRI study separating cognitive processing steps using a novel task paradigm. *NeuroImage*, 36, 1374–1386.
- Leary, M.R. (1996). Deficits in attention, motor control, and perception: a brief review. *Archives of Disease in Childhood*, 88, 904-910.
- Lehmann, J. (2013). *The relationship between motor skills and cognition in children with a special focus on spatial abilities*. Dissertation, Universität Regensburg.
- Lehmann, J., & Jansen, P. (2013). Mental rotation performance in children with hydrocephalus both with and without spina bifida. *Developmental Neuropsychology*, 38, 433-444.
- Lehmann, J., Quaiser-Pohl, C., & Jansen, P. (2014). Correlation of motor skill, mental rotation, and working memory in 3- to 6-year-old children. *European Journal of Developmental Psychology*. doi: 10.1080/17405629.2014.888995
- Levine, S.C., Vasilyeva, M., Lourenco, S.F., Newcombe, N.S., & Huttenlocher, J. (2005). Socioeconomic status modifies the sex difference in spatial skill. *Psychological Science*, 16, 841-845.
- Liebling, B.A., & Shaver, P. (1973). Evaluation, self-awareness, and task performance. *Journal of Experimental Social Psychology*, 9, 297-306.
- Linn, M.C., & Petersen, A.C. (1985). Emergence and characterisation of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis. *Child Development*, 56, 1479-1498.
- Longo, M.R., & Haggard, P. (2012). Implicit body representations and the conscious body image. *Acta Psychologica*, 141, 164–168.
- Lorey, B., Bischoff, M., Pilgramm, S., Stark, R., Munzert, J., & Zentgraf, K. (2009). The embodied nature of motor imagery: the influence of posture and perspective. *Experimental Brain Research*, 194, 233-243.
- Marmor, G.S. (1975). Development of kinetic images: when does the child first represent movement in mental images? *Cognitive Psychology*, 7, 548–559.
- Masters, M.S. (1998). The gender difference on the mental rotations test is not due to performance factors. *Memory & Cognition*, 26, 444-448.

- Mathews, D.K., & Fox, E.L. (1997). *The physiological basis of physical education and athletics* (2nd ed.). Philadelphia: Saunders.
- May, M., & Wendt, M. (2012). Separating mental transformations and spatial compatibility effects in the own body transformation task. *Cognitive Processing*, 13, 257–260.
- McDonald, K., & Thompson, J.K. (1996). Eating disturbance, body image dissatisfaction, and reasons for exercising: gender differences and correlational findings. *International Journal of Eating Disorders*, 11, 289-292.
- Meermann, R. (1991). Body-Image-Störungen bei Anorexia und Bulimia nervosa und ihre Relevanz für die Therapie. In C. Jacobi, & T. Paul (Hrsg.), *Bulimia und Anorexia nervosa: Ursachen und Therapie* (S. 69-83). Berlin: Springer.
- Meinel, K., & Schnabel, G. (2007). *Bewegungslehre – Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Meeusen, R., & De Meirleir, K. (1995). Exercise and brain neurotransmission. *Sports Medicine*, 20, 160-188.
- Meeusen, R., Piacentini, M.F., Kempenaers, F., Busschaert, B., De Schutter, G., Buyse, L., & De Meirleir, K. (2001). Neurotransmitter im Gehirn während körperlicher Belastung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 52, 361-368.
- Michalak, J., Troje, N.F., Fischer, J., Vollmar, P., Heidenreich, T., & Schulte D., (2009). Embodiment of sadness and depression-gait patterns associated with dysphoric mood. *Psychosomatic Medicine*, 71, 580-587.
- Michelon, P., & Zacks, J. M. (2006). Two kinds of visual perspective-taking. *Perception and Psychophysics*, 68, 327-337.
- Milton, J., Small, S.L., & Solodkin, A. (2008). Imagining motor imagery: methodological issues related to expertise. *Methods*, 45, 336-341.
- Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, M.J., Witzki, A.H., Howerter, A., & Wager, T.D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49 -100.

- Moé, A., & Pazzaglia, F. (2006). Following the instructions! Effects of gender beliefs in mental rotation. *Learning and Individual Differences*, 16, 369-377.
- Monsell, S., & Driver, J. (2000). Banishing the control homunculus. In S. Monsell, & J. Driver (Eds.), *Control of cognitive processes* (pp.3-32). Cambridge: The MIT Press.
- Moore, D.S., & Johnson, S.P. (2008). Mental rotation in human infants. A sex difference. *Psychological Science*, 19, 1063-1066.
- Moreau, D. (2012). The role of motor processes in three-dimensional mental rotation: sharing cognitive processing via sensorimotor experience. *Learning and Individual Differences*, 22, 354-359.
- Moreau, D., Clerc, J., Mansy-Dannay, A., & Guerrin, A. (2012). Enhancing spatial ability through sport practice: evidence for an effect of motor training on mental rotation performance. *Journal of Individual Differences*, 33, 83-88.
- Murray, J.E. (1997). Flipping and spinning: spatial transformation procedures in the identification of rotated natural objects. *Memory and Cognition*, 25, 96-105.
- Neimark, E. D. (1975). Intellectual development during adolescence. In F. D. Horowitz (Ed.), *Review of Developmental Research* (pp. 541-594). Chicago: University of Chicago Press.
- Newson, R.S. & Kemps, E.B. (2008). Relationship between ageing and cognitive performance in high- and low-fitness adults. *Psychology and Health*, 33, 69-386.
- Nielsen, D., & McGown, C. (1985). Processing speed as predictor of offensive ability in baseball. *Perceptual and Motor Skills*, 60, 775-781.
- Oswald, W.D., & Roth, E. (1987). Der Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT). (2. überarb. u. erw. Aufl.), Testzentrale. Göttingen: Hogrefe.
- Oxendine, J. B. (1984). *Psychology of motor learning*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Pashler, H. (2000). Task switching and multitask performance. In S. Monsell, & J. Driver (Hrsg). *Control of cognitive processes* (pp.277-307). Cambridge: The MIT Press.

- Parsons, L.M. (1987). Imagined spatial transformations of one's hands and feet. *Cognitive Psychology*, 19, 178–241.
- Parsons, L.M. (1994). Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 709–730.
- Parsons, L.M., Fox, P.T., Downs, J.H., Glass, T., Hirsch, T.B., Martin, C.C., ... Lancaster, J.L. (1995). Use of implicit motor imagery for visual shape discrimination as revealed by PET. *Nature*, 375, 54-58.
- Paus, T. (2005). Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 60-68.
- Paus, T., Zijdenbos, A., Worsley, K., Collins, D.L., Blumenthal, J., Giedd, J.N., Rapoport, J., & Evans, A.C. (1999). Structural maturation of neuronal pathways in children and adolescents: in vivo study. *Science*, 283, 1908-1911.
- Pearson, A., Marsh, L., Hamilton, A., & Ropar, D. (2014). Spatial transformations of bodies and objects in adults with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44, 2277-2289.
- Peper E., & Lin I. (2012). Increase or decrease depression: how body postures influence your energy level. *Biofeedback*, 40, 125-130.
- Peronnet, F., & Farah, M. J. (1989). Mental rotation: an event-related potential study with a validated mental rotation task. *Brain and Cognition*, 9, 279–288.
- Petermann, F. (Hrsg.). (2009). *Movement Assessment Battery for Children-2 (M-ABC-2)* (2.veränd. Auflage). Frankfurt am Main: Pearson Assessment.
- Peyrin, L., Pequignot, J.M., Lacour, J.R., & Fourcade, J. (1987). Relations between catecholamines or 3-methoxy 4-hydroxy phenylglycol changes and the mental performance under submaximal exercise in men. *Psychopharmacology*, 93, 188–192.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1971). *Mental imagery in the child*. New York: Basic Books.
- Piek, J.P., Dyck, M.J., Nieman, A., Anderson, M., Hay, D., Smith, L.M.,... Hallmayer, J. (2004). The relationship between motor coordination, executive functioning

- and attention in school aged children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19, 1063-1076.
- Piek, J. P., Pitcher, T.M., & Hay, D.A. (1999). Motor coordination and kinaesthesia in boys with attention deficit-hyperactivity disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 41, 159–165.
- Pietsch S., & Jansen, P. (2012). Different mental rotation performance in students of music, sports and education science. *Learning and Individual Differences*, 2, 159–163.
- Pitcher, T.M., Piek, J.P., & Hay, D.A. (2003). Fine and gross motor ability in males with ADHD. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 45, 525-535.
- Podzebenko, K., Egan, G.F., & Watson, J.D.G. (2002). Widespread dorsal stream activation during a parametric mental rotation task, revealed with functional magnetic resonance imaging. *NeuroImage*, 15, 547-558.
- Posner, M.I. (1978). *Chronometric explorations of mind*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Earlbaum Ass.
- Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences*, 1, 515–526.
- Presson, C.C. (1982). Strategies in spatial reasoning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 8, 243-251.
- Preston, S.D., & De Waal, F.B. (2002). Empathy: its ultimate and proximate bases. *Behavioral and Brain Sciences*, 25, 1–72.
- Pribram, K.H. & McGuinness, D. (1975). Arousal, activation, and effort in the control of attention. *Psychological Review*, 87, 116-149.
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9, 129-154.
- Ratcliff, G. (1979). Spatial thought, mental rotation and the right cerebral hemisphere. *Neuropsychologia*, 17, 49–54.

- Rigal, R. (1996). Right-left orientation, mental rotation and perspective taking: when can children imagine what people see from their own viewpoint? *Perceptual & Motor Skills*, 83, 831–842.
- Rihet, P., Possamaï, C.A., Micallef-Roll, J., Blin, O., & Hasbroucq, T. (2001). Dopamine and human information processing: a reaction-time analysis of the effect of levodopa in healthy subjects. *Psychopharmacology*, 163, 62-67.
- Riskind, J.H., & Gotay, C.C. (1982). Physical posture: could it have regulatory functions of physical effects on motivation and emotion? *Motivation and Emotion*, 6, 273- 298.
- Robert, M., & Cevriert, E. (2003). Does men's advantage in mental rotation persist when real three-dimensional objects are either felt or seen? *Memory & Cognition*, 31, 1136-1145.
- Ruby, P., & Decety, J. (2004). How would you feel versus how do you think she would feel? A neuroimaging study of perspective taking with social emotions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 988–999.
- Rühle, K.H., Raschke, F., Hein, H., Ficker, J.H., Fietze, I., Juhasz G.J., ... Weeß, H. G.(2001). Arousals: Aktueller Stand, Klinische Bedeutung und offene Fragen. *Somnologie*, 5, 24-45.
- Sack, A. T., Lindner, M., & Linden, D. E. J. (2007). Object- and directions-specific interference between manual and mental rotation. *Perception and Psychophysics*, 69, 1435-1449.
- Salthouse, T.A. (1982). *Adult cognition: an experimental psychology of human aging*. New York: Springer-Verlag.
- Salthouse, T.A. (1985). Speed of behavior and its implications for cognition. In J. E. Birren, & K.W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 400 426). New York: Van Nostrand Reinhold.
- Salthouse, T.A. (1991). Mediation of adult age differences in cognition by reductions in working memory and speed of processing. *Psychological Science*, 2, 179-183.
- Salthouse, T.A. (1992). *Mechanisms of age-cognition relations in adulthood*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.

- Salthouse, T.A. (1994) The nature of the influences of speed on adult age differences in cognition. *Developmental Psychology*, 30, 240-259.
- Salthouse, T.A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103, 403-428.
- Salthouse, T.A. (1998). Independence of age-related influences on cognitive abilities across the life span. *Developmental Psychology*, 34, 851–864.
- Salthouse, T.A., & Babcock, R.L. (1991). Decomposing adult age differences in working memory. *Developmental Psychology*, 27, 763-776.
- Salthouse, T.A., & Kail, R. (1983). Memory development throughout the life span: the role of processing rate. In P. B. Baltes, & O.G. Brim (Eds.), *Lifespan development and behavior* (pp. 89-116). New York: Academic Press.
- Salthouse, T.A., Mitchell, D.R., Skovronek, E., & Babcock, R.L. (1989). Effects of adult age and working memory on reasoning and spatial abilities. *Developmental Psychology*, 26, 845-854.
- Samson, D., Apperly, I.A., Kathirgamanathan, U., & Humphreys, G.W. (2005). Seeing it my way: a case of a selective deficit in inhibiting self-perspective. *Brain*, 128, 1103-1111.
- Sanders, A. F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, 53, 61–97.
- Schäfer, S., Krampe, R.T., Lindenberger, U., & Baltes, P.B. (2008). Age differences between children and young adults in the dynamics of dual-task prioritization: body (balance) vs. mind (memory). *Developmental Psychology*, 44, 747-757.
- Schäfer, S. & Schumacher, V. (2011). The interplay of cognitive and motor functioning in healthy older adults: findings from dual-task studies and suggestions for intervention. *Gerontology*, 57, 239-246.
- Schmid, M., Conforto, S., Lopez, L., Renzi, P., & D'Alessio, T. (2005). Development of postural strategies in children: a factorial design study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2, 29. doi: 10.1186/1743-0003-2-29

- Schnabel, G., Harre, H-D., & Krug, J. (2008). *Trainingslehre - Trainingswissenschaft*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Schweinsburg, A.D., Nagel, B.J., & Tapert, S.F. (2005). fMRI reveals alteration of spatial working memory networks across adolescent development. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 11, 631–644.
- Semmes, J., Weinstein, S., Ghent, L., & Teuber, H.-L. (1963). Impaired orientation in personal and extrapersonal space. *Brain*, 86, 747-772.
- Serrien, D.J., Ivry, R.B., & Swinnen, S.P. (2007). The missing link between action and cognition. *Progress in Neurobiology*, 82, 95-107.
- Shepard, R.N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Shih, M., Pittinsky, T. L., & Ambady, N. (1999). Stereotype susceptibility: identity salience and shifts in quantitative performance. *Psychological Science*, 10, 80-83.
- Shwartz, S. P. (1979). Studies of mental image rotation: implications for a computer simulation of visual imagery. The Johnson Hopkins University: Unpublished doctoral dissertation.
- Signorella, M.L., & Jamison, W. (1986). Masculinity, femininity, androgyny, and cognitive performance: a meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 100, 207-228.
- Sirigu, A., & Duhamel, J. (2001). Motor and visual imagery as two complementary but neurally dissociable mental processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 910-919.
- Sit, R.A., & Fisk, A.D. (1999). Age-related performance in a multiple-task environment. *Human Factors*, 41, 26–34.
- Slade, P.D (1994). What is body image? *Behaviour Research and Therapy*, 32, 497–502.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1997). Working memory: a view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, 33, 5–42.
- Sjoberg, H. (1980). Physical fitness and mental performance during and after work. *Ergonomics*, 23, 977– 985.

- Steggemann, Y., Engbert, K., & Weigelt, M. (2011). Selective effects of motor expertise in mental body rotation tasks: comparing object-based and perspective transformations. *Brain and Cognition*, 76, 97-105.
- Storch, M., Cantieni, B., Hühner, G., & Tschacher, W. (2010). *Embodiment. Die Wechselwirkung von Körper und Psyche verstehen und nutzen* (2. Aufl.). Bern: Huber.
- Strack, F., Martin, L., & Stepper, S. (1988). Inhibiting and facilitating conditions of the human smile: a nonobtrusive test of the facial feedback hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 5, 768-777.
- Stroth, S., Reinhardt, R. K., Thöne, J., Hille, K., Schneider, M., Härtel, S.,... Spitzer, M. (2010). Impact of aerobic exercise training on cognitive functions and affect associated to the COMT polymorphism in young adults. *Neurobiology of Learning and Memory*, 94, 364-372.
- Surtees, A., Apperly, I.A., & Samson (2013). The use of embodied self-rotation for visual and spatial perspective-taking. *Frontiers in Cognition*, 7, 698.
- Suzuki, K., & Nakata, Y. (1988). Does the size of figures affect the rate of mental rotation? *Perception & Psychophysics*, 44, 76-80.
- Tagaris, G. A., Richter, W., Kim, S. G., Pellizzer, G., Andersen, P., Ugurbil, K., & Georgopoulos, A.F. (1998). Functional magnetic resonance imaging of mental rotation and memory scanning: a multidimensional scaling analysis of brain activation patterns. *Brain Research Reviews*, 26, 106-112.
- Tao, W., Liu, Q., Huang, X., Tao, X., Yan, J., Teeter, C.J.,... Sun, H.J. (2009). Effect of degree and direction of rotation in egocentric mental rotation of hand: an event-related potential study. *NeuroReport*, 20, 180-185.
- Tchanturia K., Anderluh M.B., Morris R.G., Rabe-Hesketh S., Collier D.A., Sanchez P., & Treasure J.L. (2004). Cognitive flexibility in anorexia nervosa and bulimia nervosa. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 10, 513-520.
- Thakkar, K.N., Brugger, P., & Park, S. (2009). Exploring empathic space: correlates of perspective transformation ability and biases in spatial attention. *PLoS ONE* 4(6): e5864. doi:10.1371/journal.pone.0005864

- Thalheimer, W., & Cook, S. (2002, August). *How to calculate effect sizes from published research articles: a simplified methodology*. Zugegriffen am 12.02.2015, aus http://work-learning.com/effect_sizes.htm.
- Tlauka, M., Williams, J., & Williamson, P. (2008). Spatial ability in secondary school students: intra-sex differences based on self-selection for physical education. *British Journal of Psychology*, 99, 427-440.
- Tomprowski, P.D., & Ellis, N.R. (1986). The effects of exercise on cognitive processes: A review. *Psychological Bulletin*, 99, 338–346.
- Tomprowski, P.D., Ellis, N.R., & Stephens, R. (1987). The immediate effects of strenuous exercise on free recall memory. *Ergonomics*, 30, 121–129.
- Tsakiris, M. (2010). By body in the brain: a neurocognitive model of body-ownership. *Neuropsychologia*, 48, 703-712.
- Tschacher W., & Storch, M. (2012). Die Bedeutung von Embodiment für Psychologie und Psychotherapie. *Psychotherapie in Psychiatrie, Psychotherapeutischer Medizin und Klinischer Psychologie*, 17, 259-267
- Tuokko, H., Hadjistavropoulos, T., Miller, J.A., & Beattie, B.L. (1992). The Clock Test: a sensitive measure to differentiate normal elderly from those with Alzheimer disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, 40, 579–584.
- Trepel, M. (2004). *Anatomie* (3. Aufl.). München: Urban & Fischer.
- Tversky, B., & Hard, B.M. (2009). Embodied and disembodied cognition: spatial perspective taking. *Cognition*, 110, 124-129.
- Urgesi, C., Fornasari, L., De Faccio, S., Perini, L., Mattiussi, E., Ciano, R.,..., Brambilla, P. (2011). Body schema and self-representation in patients with bulimia nervosa. *International Journal of Eating Disorders*, 44, 238-248.
- Vandenberg, S.G., & Kuse, A.R. (1978). Mental rotations, a group test of three dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 599-604.
- Vellas, B.J., Wayne, S.J., & Romero, L. (1997). One-leg balance is an important predictor of injurious falls in older persons. *Journal of the American Geriatric Society*, 45, 735-738.

- Vernon, P.A. (1993). Der Zahlen-Verbindungstest and other trail-making correlate of general intelligence. *Personality and Individual Differences*, 14, 35-40.
- Voyer, D. (2011). Time limits and gender differences on paper-and-pencil tests of mental rotation: a meta-analysis. *Psychonomic Bulletin Review Journal*, 18, 267-277.
- Voyer, D., & Hou, J. (2006). Type of items and the magnitude of gender differences on the mental rotations test. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 60, 91-100.
- Walsh, D.A. (1976). Age differences in central perceptual processing: a dichoptic backward masking investigation. *Journal of Gerontology*, 31, 178-185.
- Welford, A. T. (1958). *Aging and human skill*. London: Oxford University Press.
- Wexler, M., Kosslyn, S.M., & Berthoz, A. (1998). Motor processes in mental rotation. *Cognition*, 68, 77-94.
- Wiedenbauer, G., & Jansen-Osmann, P. (2006). Spatial knowledge of children with spina bifida in a virtual large scale space. *Brain and Cognition*, 62, 120-127.
- Williams, P., & Lord, S.R. (1997). Effects of group exercise on cognitive functioning and mood in older women. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 21, 45-52.
- Williams, J., Thomas, P.R., Maruff, P., Butson, M., & Wilson, P.H. (2006). Motor, visual and egocentric transformations in children with developmental coordination disorder. *Child: Care, Health & Development*, 32, 633-647.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 625-636.
- Wilson, P.H., Maruff, P., & McKenzie, B.E. (1997). Covert orienting of visuospatial attention in children with developmental coordination disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 39, 736-745.
- Wohlschläger, A. (2001). Mental object rotation and the planning of hand movements. *Perception & Psychophysics*, 63, 709-718.
- Wohlschläger, A., & Wohlschläger, A. (1998). Mental and manual rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 397-412.

- Wraga, M. (2003). Thinking outside the body: an advantage for spatial updating during imagined versus physical self-rotation. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 29, 993–1005.
- Wraga, M., Creem, S.H., & Proffitt, D.R. (2000). Updating displays after imagined object and viewer-rotations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 26, 1, 151-168.
- Wraga, M., Shephard, J.M., Church, J.A., Inati, S., & Kosslyn, S.M. (2005). Imagined rotations of self versus objects: a fMRI study. *Neuropsychologia*, 43, 1351–1361.
- Wraga, M., Thompson, W.L., Alpert, N.M., & Kosslyn, S.M. (2003). Implicit transfer of motor strategies in mental rotation. *Brain and Cognition*, 52, 135-143.
- Wu, T., & Hallett, M. (2005). The influence of normal human ageing on automatic movements. *The Journal of Physiology*, 562, 605-615.
- Yuille, J.C., & Steiger, J.H. (1982). Nonholistic processing in mental rotation: some suggestive evidence. *Perception & Psychophysics*, 31, 201-209.
- Zacks, J.M. (2008). Neuroimaging studies of mental rotation: a meta-analysis and review. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20, 1-19.
- Zacks, J.M., & Michelon, P. (2005). Transformations of visuospatial images. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 4, 96-118.
- Zacks, J.M., Mires, J., Tversky, B., & Hazeltine, E. (2002a). Mental spatial transformations of objects and perspective. *Spatial Cognition and Computation*, 2, 315-332.
- Zacks, J. M., Ollinger, J.M., Sheridan, M.A., & Tversky, B. (2002b). A parametric study of mental spatial transformations of bodies. *NeuroImage*, 16, 857– 87.
- Zacks, J., Rypma, B., Gabrieli, J.D., Tversky, B., & Glover, G.H. (1999). Imagined transformations of bodies: a fMRI investigation. *Neuropsychologia*, 37, 1029-1040.
- Zajonc, R.B., Murphy, S.T., & Inglehart, M. (1989). Feeling and facial efference: implications for the vascular theory of emotion. *Psychological Review*, 96, 395-416.
- Zelazo, P.D., Craik, F.I.M., & Booth, L. (2004). Executive function across the life span. *Acta Psychologica*, 115, 167-183.