

„Der Zusammenhang zwischen sportlicher Aktivität und visuell-räumlichen Fähigkeiten“

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



vorgelegt von

Stefanie Pietsch

aus Lengfeld

2012

Regensburg 2012

Erstgutachter: Professor Doktor Petra Jansen

Zweitgutachter: Professor Doktor Hans Gruber

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	7
A. Theorie und Grundlagen	10
1. Motorik und Kognition	10
1.1 Grundlagen der Motorik	11
1.1.1 Facetten der Motorik	11
1.1.2 Motorische Fähigkeiten	14
1.1.2.1 Kondition	15
1.1.2.2 Koordination	23
1.1.3 Motorische Fertigkeiten	29
1.1.3.1 Grundlagen und Begriffsbestimmung	30
1.1.3.2 Sportartspezifische motorische Fertigkeiten	31
1.1.3.2.1 Kunst- und Gerätturnen	32
1.1.3.2.2 Volleyball	36
1.1.3.2.3 Mittel- und Langstreckenlauf	38
1.2 Grundlagen der Kognition	42
1.2.1 Facetten der Kognition	42
1.2.2 Räumlich-kognitive Fähigkeiten	45
1.3 Zusammenhänge von Motorik und Kognition	48
1.3.1 Zusammenhang von motorischen Fähigkeiten und allgemeinen kognitiven Fähigkeiten	49
1.3.2 Zusammenhang zwischen motorischen und visuell-räumlichen Fähigkeiten	53
2. Mentale Rotation	56
2.1 Grundlagen der mentalen Rotation	56
2.1.1 Definition und Begriffsbestimmung	57
2.1.2 Prozessschritte der mentalen Rotation	58
2.1.3 Holistische und analytische Verarbeitungsstrategien	59
2.1.4 Kortikale Aktivität während der mentalen Rotation	61

2.2	Das Paradigma der mentalen Rotation	63
2.2.1	Entwicklungspsychologische Aspekte	64
2.2.2	Differentiell-psychologische Aspekte	66
2.2.3	Einfluss unterschiedlichen Stimulusmaterials	72
2.2.4	Zusammenhang zwischen perzeptueller und mentaler Rotation	74
2.2.5	Beteiligung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation	75
2.3	Das Training der mentalen Rotation	80
2.3.1	Räumlich-kognitives Training	81
2.3.2	Manuelles Training	84
2.3.3	Motorisches Training	86
2.4	Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstandes	90
B.	Empirische Untersuchung	93
3.	Messmethoden	93
3.1	Tests zur Erfassung der Mentalen Rotationsfähigkeit	93
3.1.1	Mentaler Rotationstest von Peters, Chrisholm und Laeng (1995)	93
3.1.2	Computerbasierter mentaler Rotationstest (CMR)	95
3.2	Test zur Kontrolle der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit	97
3.3	Motorisch – koordinativer Test zur Überprüfung der Ausprägung der komplexen koordinativen Fähigkeiten unter Zeitdruck	98
4.	Studie 1	100
4.1	Methode	100
4.1.1	Stichprobe	100
4.1.2	Versuchsaufbau	101
4.1.3	Versuchsdurchführung	101
4.1.4	Design und statistische Analyse	102
4.2	Ergebnisse	103
4.3	Diskussion	107
5.	Studie 2	111
5.1	Methode	111
5.1.1	Stichprobe	111
5.1.2	Versuchsaufbau	112

5.1.3	Versuchsdurchführung	112
5.1.4	Design und statistische Analyse	113
5.2	Ergebnisse	114
5.3	Diskussion	119
6.	Studie 3	125
6.1	Methode	126
6.1.1	Stichprobe	126
6.1.2	Versuchsaufbau	126
6.1.3	Versuchsdurchführung	127
6.1.4	Design und statistische Analyse	127
6.2	Ergebnisse	128
6.3	Diskussion	132
7.	Studie 4	137
7.1	Methode	137
7.1.1	Stichprobe	137
7.1.2	Versuchsaufbau	138
7.1.3	Versuchsdurchführung	139
7.1.4	Design und statistische Analyse	140
7.2	Ergebnisse	141
7.3	Diskussion	147
8.	Abschlussdiskussion	150
8.1	Allgemeine Einflussfaktoren auf die mentale Rotationsleistung	150
8.1.1	Testspezifische Aspekte	150
8.1.2	Differentiell-psychologische Aspekte	152
8.2	Motorisch–kognitive Einflussfaktoren auf die mentale Rotationsleistung	155
8.2.1	Zusammenhang motorischer Prozesse und mentaler Rotationsprozesse	155
8.2.2	Motorisches Vorstellungsvermögen und motorisches Gedächtnis	157
8.2.3	Ausprägung von motorischer Leistungsfähigkeit und mentaler Rotationsleistung	159

8.3	Darstellung motorischer Erweiterungsmöglichkeiten _____	163
8.3.1	Diskussion des motorischen Konzepts _____	164
8.3.2	Auswahl der Sportarten _____	166
8.3.3	Diskussion der Trainingsformen _____	170
8.3.3.1	Wahrnehmungstraining _____	171
8.3.3.2	Motorisches Training _____	172
8.4	Kritische Anmerkungen _____	177
8.4.1	Auswahl der Tests _____	177
8.4.2	Durchführung der Interventionsstudie _____	178
8.5	Zusammenfassung und Ausblick _____	179
9.	Literatur _____	181

Anhang

Zusammenfassung

Thema dieser Arbeit ist es, den Zusammenhang zwischen motorischen bzw. sportlichen Fähigkeiten und visuell-räumlichen Fähigkeiten zu untersuchen sowie bislang gewonnene Forschungsergebnisse hinsichtlich dieser Verknüpfung zu erweitern. Speziell soll die Bedeutung der konditionellen und koordinativen Fähigkeiten für die Leistung im Bereich der mentalen Rotationsfähigkeit herausgearbeitet werden.

Nicht nur im Alltag, sondern vor allem auch bei der Ausübung sportlicher Tätigkeiten scheint die mentale Rotationsleistung eine wichtige Rolle zu spielen. Während verschiedene grundlegende Studien zum Zusammenhang von Motorik und Kognition existieren, die sich vor allem mit dem Einfluss der Ausprägung motorischer Fähigkeiten und Fertigkeiten oder einer unmittelbar absolvierten körperlichen Aktivität auf die Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistung auseinandersetzen (z.B. Dordel & Breithecker, 2003; Hillmann, Castelli, & Buck, 2005; Sibley & Etnier, 2003), fehlt wissenschaftliche Evidenz gerade in Bezug auf den Einfluss bestimmter sportlicher Betätigungen auf die mentale Rotationsleistung bislang jedoch noch.

Seit Shepard und Metzler (1971) gilt die Bestimmung der mentalen Rotationsfähigkeit als eine der klassischen Aufgaben zur Erfassung des visuell-räumlichen Vorstellungsvermögens. Unter anderem mittels des von Vandenberg und Kuse (1978) entwickelten Paper-Pencil-Tests, mit dem zumeist korrelative Untersuchungen mit größeren Versuchsgruppen durchgeführt wurden, wurde die mentale Rotationsleistung unterschiedlicher Personengruppen (z.B. Geschlecht, Alter, Beruf) erfasst. Neben einem eindeutigen Nachweis geschlechtsspezifischer Unterschiede zugunsten von Männern (Peters, 2008; Quaiser-Pohl, & Lehmann, 2002; Yang, Hooven, Boynes, Gray, & Pope, 2007) werden entwicklungspsychologische Aspekte der mentalen Rotation aktuell kontrovers diskutiert (Kucian, 2007; Moore & Johnson, 2008; Perucci, Agnoli, & Albiero, 2008). Unbestritten erscheint die Beteiligung motorischer Prozesse an der mentalen Rotation (Jansen & Heil, 2010; Petit & Harris, 2005; Saimpont, Pozzo, & Papaxanthis, 2009) sowie die Tatsache, dass die Fähigkeit mental zu rotieren durch Training verbessert werden kann (Bethell-Fox & Shepard, 1988; Voyer, 1995), wobei sich ein solches Training meist auf die

wiederholte Lösung mentaler Rotationsaufgaben in unterschiedlichen Intensitäten und Umfängen bezieht. Weniger klar gestaltet sich der Einfluss eines motorischen Trainings auf die mentale Rotationsfähigkeit, wobei Naito (1994), Ozel, Larue und Molinaro (2004) sowie Tlauka, Williams und Williamson (2008) eine Verbindung zwischen der Qualität der Ausbildung motorischer Fähigkeiten und der mentalen Rotationsleistung vermuten.

In der hier vorliegenden Arbeit wurde angenommen, dass ein Zusammenhang zwischen der Ausprägung spezieller sportmotorischer Fähigkeiten und Fertigkeiten, im Besonderen dem Betreiben koordinativer Sportarten und der mentalen Rotationsfähigkeit besteht.

In Studie 1 wurde getestet, ob ein grundlegender Unterschied in der mentalen Rotationsfähigkeit von sportlich aktiven und nicht aktiven Erwachsenen vorliegt. Dabei konnte eindeutig eine bessere mentale Rotationsleistung von Sportstudenten im Vergleich zu einer Gruppe von sportlich nicht derart versierten Pädagogikstudenten bei Auftreten des typischen Geschlechtereffekts zugunsten der männlichen Teilnehmer festgestellt werden.

Der Zusammenhang zwischen bestimmten sportmotorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsfähigkeit wurde in Studie 2 untersucht. Hier korrelierte die koordinative Leistungsfähigkeit der Probanden und deren Leistung in einem mentalen Rotationstest.

Studie 3 beschäftigte sich mit der mentalen Rotationsleistung von Athleten verschiedener Sportarten. Hier konnte nachgewiesen werden, dass Männer und Frauen, die in der schwerpunktmäßig koordinativ orientierten Sportart Kunstturnen als ausgewiesene Experten gelten, eine signifikant bessere mentale Rotationsfähigkeit aufweisen als Experten der rein konditionell orientierten leichtathletischen Disziplinen Mittel- und Langstreckenlauf und Teilnehmer einer nicht sportlich aktiven Kontrollgruppe.

In Studie 4 wurde die Auswirkung eines konkreten zehnwöchigen Trainings koordinativer Sportarten auf die mentale Rotationsleistung junger Erwachsener im Vergleich zu einer sportlich nicht speziell aktiven Gruppe von Versuchspersonen getestet. Dabei konnten keine signifikanten Ergebnisse zugunsten der Trainingsgruppe gefunden werden.

Basierend auf den Ergebnissen dieser Arbeit kann ein Zusammenhang zwischen der langfristigen und häufigen Ausübung koordinativ orientierter Sportarten bzw. dem Grad der Ausprägung der koordinativen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsleistung angenommen werden, in wie weit ein zeitlich limitiertes Trainingsprogramm Einfluss auf die mentale Rotationsfähigkeit haben kann, bleibt noch genauer zu untersuchen.

A. Theorie und Grundlagen

Im Mittelpunkt dieses ersten Abschnitts steht eine grundlegende Einführung in diejenigen Themengebiete der Forschungsfelder Motorik und Kognition, die für die durchgeführten Studien von Bedeutung sind. Dabei liegt das Hauptaugenmerk im Motorikbereich auf der fähigkeitsorientierten Betrachtungsweise differenzieller Motorikforschung, die eine Einteilung in motorische Fähigkeiten und Fertigkeiten vornimmt (Roth & Willimczik, 1999). Bei der Betrachtung kognitiver Grundlagen stehen vor allem die räumlich-visuellen Fähigkeiten im Vordergrund. Nach der Präsentation der Forschungsergebnisse von Zusammenhängen zwischen Motorik und Kognition im Allgemeinen und zwischen den motorischen und den visuell-räumlichen Fähigkeiten im Besonderen, gilt der zweite Schwerpunkt dieser Einführung der Darstellung der Grundlagen mentaler Rotationsfähigkeit sowie der aktuellen Forschungslage und den bisherigen Einsichten zur Verbesserung der mentalen Rotationsleistung durch Training.

1. Motorik und Kognition

It's a fortunate person whose brain
Is trained early, again and again.
And who continues to use it
To be sure not to lose it
So the brain, in old age, may not wane.
(Rosenzweig & Bennett, 1996, S. 63)

Lebenslanges kognitives Training, wie in diesem Gedicht beschrieben, trägt mit Sicherheit dazu bei, die kognitiven Fähigkeiten optimal zu entwickeln und die geistige Gesundheit bis ins hohe Lebensalter zu erhalten, jedoch gilt auch die positive Wirkung körperlicher Aktivität als stimulativer Faktor für das menschliche Gehirn als unumstritten (Hollmann, Strüder, & Tagarakis, 2003). Auch der Zusammenhang zwischen Motorik und Kognition ist klar ersichtlich, ist doch das Ziel von kognitiven Vorgängen meist ein bestimmtes (häufig motorisches) Verhalten. Im Umkehrschluss wird die Wahrnehmung verschiedener Bewegungen häufig durch die Kenntnis der

motorischen Möglichkeiten bestimmt. Neue aktuelle Denkrichtungen wie „embodied cognition“ oder „common coding“ untermauern und betonen die enge Verknüpfung von Motorik und kognitiven Prozessen. Auch wenn es in der Literatur noch keine allgemeingültige Definition kognitiver Fähigkeiten gibt, zählen zu ihnen generell Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsprozesse, unterschiedliche Facetten des Denkens, Gedächtnis- und Entscheidungsprozesse, Intelligenz, mentale Vorstellungen und z.B. die Sprachentwicklung (vgl. z.B. Solso, 2004). Neben den sportartspezifischen und sportartübergreifenden motorischen Fertigkeiten werden motorische Fähigkeiten grundsätzlich in konditionelle (energetisch determinierte) und koordinative Fähigkeiten (informationsorientierte Fähigkeiten) unterschieden. Während die bei kognitiven Prozessen eingehenden Informationen hauptsächlich über das sensorische System (Augen, Haut-, Muskel-, und Sehnenrezeptoren, Gleichgewichtsorgane) zur Verarbeitung weitergeleitet werden, wird der „motorische Output“ über das sensomotorische System gesteuert (Pinel & Pauli, 2007). Diese Grundlagen der Motorik werden im folgenden Kapitel näher betrachtet.

1.1 Grundlagen der Motorik

Motorik beschäftigt sich „einerseits mit den beobachtbaren Produkten (Bewegungen und Haltungen) sowie andererseits mit dem Gesamtsystem jener körperinternen Prozesse [...], die den (Bewegungs-)Vollzügen zugrunde liegen“ (Roth & Willimczik, 1999, S. 11). Im Laufe der Forschungsentwicklung entstanden in der Fachliteratur differenzierende Bezeichnungen wie „Neuromotorik“ (Beschäftigung mit den neurophysiologischen Grundlagen der Bewegung), „Psychomotorik“ (Verflechtung von Bewegung und psychischen Vorgängen) und „Sensomotorik“ (Zusammenspiel sensorischer und motorischer Aspekte), wobei allen Gebieten die genaue Betrachtung der Steuerungs- und Funktionsprozesse von Bewegungen zugrunde gelegt werden kann (Willimczik & Singer, 2009).

1.1.1 Facetten der Motorik

The human motor system is a very complex whole with many interacting pieces, processes and mechanisms, and to attempt to successfully understand the entire system would be extremely difficult. (Schmidt, & Lee, 1999, S. 93)

Mit der Erforschung dieses komplexen Systems beschäftigt sich im Rahmen der Sportwissenschaft die „Motorik“ als ein wesentlicher Bestandteil des Theoriefeldes „Bewegungswissenschaft“. Wesentliche Teilaspekte stellen dabei die Analyse motorischer Leistungsdifferenzen und motorischer Kontrolle, sowie die Untersuchung motorischer Veränderungsprozesse und die Entwicklung von motorischen Diagnosemethoden und Tests dar. Neben verschiedenen anderen Betrachtungsperspektiven der Bewegung (biomechanisch, ganzheitlich und funktional) hat sich das Konzept der fähigkeitsorientierten Betrachtungsweise als analytische Vorgehensweise etabliert (Roth & Willimczik, 1999).

Die dabei verwendeten motorischen Merkmale haben

zur Beschreibung, Analyse und Erklärung von Leistungsdifferenzen [...] den Charakter nomothetischer, querschnittlich relativ konsistenter und längsschnittlich relativ stabiler Dispositionen oder Traits. Sie können hinsichtlich ihrer aufgabenbezogenen Anwendungsrelevanz von unterschiedlicher Breite sein. (Roth & Willimczik, 1999; S. 230/231)

Nach dieser Theorie der Fähigkeitsorientierung können alle Motorikmerkmale und Bewegungen wie in Abbildung 1 auf einem Kontinuum zwischen Spezifität und Offenheit angeordnet werden:

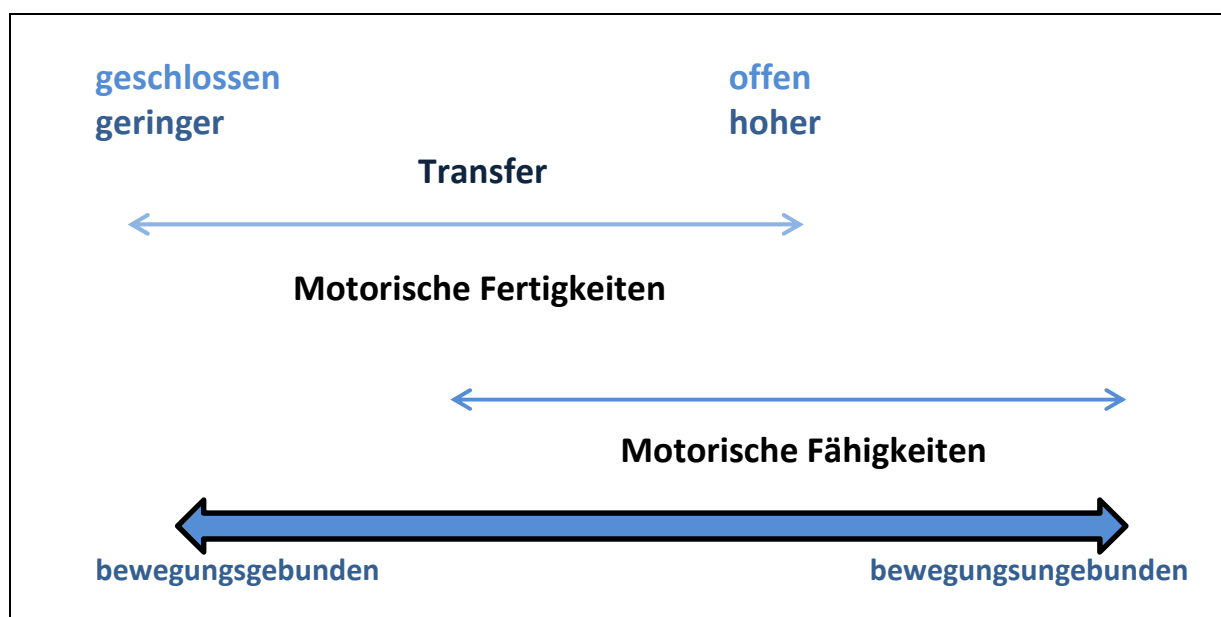


Abbildung 1: Allgemeinheit und Spezifität der Motorikmerkmale von Bewegungen (nach Roth & Willimczik, 1999, S. 231).

Auf der linken Seite der Abbildung sind spezielle Bewegungsformen (wie Kippe, Spannstoß oder Schwimmtechniken) mit ihren internen motorischen Voraussetzungen anzusiedeln, wobei die Offenheit bzw. Geschlossenheit der Bewegung und das Transferpotential berücksichtigt werden muss. Diese spezifischen Bewegungsformen, die jeweils eine bestimmte „strukturelle Ausführungsform“ besitzen, bezeichnen Roth und Willimczik (1999, S. 232) als „sportmotorische Fertigkeiten“. Auf der rechten Seite der Abbildung sind motorische Dispositionen einzuordnen, die „generelle bewegungsunspezifische Steuerungs- und Funktionsprozesse“ (wie Ausdauer oder Koordination) beschreiben und keine sportartspezifischen Technikformen darstellen. Sie dienen als Grundlage für möglichst viele verschiedene Bewegungsmuster, sind für die erfolgreiche Ausführung unterschiedlicher sportmotorischer Fertigkeiten von grundlegender Bedeutung und werden deshalb als „motorische Fähigkeiten“ bezeichnet.

Ab dem frühen Kindesalter lässt sich eine stetige Verbesserung motorischer Leistungen beobachten, die bei Mädchen mit Beginn der Pubertät, bei Jungen im frühen Erwachsenenalter die höchste Ausprägung erfährt und im weiteren Verlauf wieder abfällt (Willimczik, Voelcker-Rehage, & Wiertz, 2006). Motorische Entwicklung findet dabei jedoch immer in einem Wechselspiel von Lern- und Reifungsprozessen statt. Bei der Untersuchung geschlechtsspezifischer Unterschiede im motorischen Leistungsvermögen liegen in der Literatur meist Querschnittsdaten vor, die mit Vorsicht zu betrachten sind, da in der Durchschnittsbevölkerung aufgrund der je nach Geschlecht unterschiedlichen bevorzugten Auswahl von Sportarten bei Frauen mit einem deutlich anderen und meist auch geringeren Trainingspensum ausgegangen werden muss (Alfermann, 2009). Bös und Schneider (2006) halten fest, dass die Unterschiede in der motorischen Leistungsfähigkeit zwischen Männern und Frauen generell während der gesamten Lebensspanne deutlich größer sind als bei psychischen Leistungen, wobei sie wesentlich von der Art der motorischen Anforderung und dem Trainingszustand der untersuchten Personen abhängig sind. Ein Metaanalyse von Thomas und French (1985) ergab einen geringen bis mittleren Unterschied vor der Pubertät und einen sprunghaften Anstieg des Geschlechtsunterschieds ab der Pubertät zugunsten von Jungen in solchen Tests, die vor allem die konditionellen Fähigkeiten Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit beinhalten. Mädchen zeigen bessere Werte in den Bereichen Feinmotorik, Handgeschicklichkeit und Beweglichkeit. Als grundlegende Ursachen für

geschlechtsspezifische Unterschiede in der motorischen Leistungsfähigkeit nennt Alfermann (2009, S. 259) neben „biologischen und genetischen Faktoren“ vor allem „Umwelteinflüsse“ und „Selbstkonstruktionsprozesse“. Bös (1994) fügt hier noch Sozialisations-effekte hinzu.

Die Entwicklung motorischer Fähigkeiten und Fertigkeiten hat jedoch nicht nur Einfluss auf die körperliche Leistungsfähigkeit. Asendorf und Teubel (2009) konnten in einer Längsschnittstudie positive Korrelationen zwischen den Ergebnissen eines Motoriktests und der Intelligenzleistung sowie der sozialen Ungehemmtheit von Kindern im Kindergartenalter feststellen. Bis ins junge Erwachsenenalter wurden außerdem Auswirkungen der sozial-emotionalen Persönlichkeit auf die motorische Leistungsfähigkeit nachgewiesen. Einen Zusammenhang zwischen Übergewicht und einer weniger guten Entwicklung der grobmotorischen Fähigkeiten, vor allem der Ausdauer bei Kindern fanden Graf et al. (2003), stimmig dazu ergab ihre Studie eine positive Korrelation zwischen der Ausprägung grobmotorischer Fähigkeiten und einem aktiven Lebensstil. Dass motorische Leistungen bereits im Kindesalter durch gezieltes Training verbessert werden können, zeigten unter anderem Ketelhut, Mohasseb und Ketelhut (2010).

1.1.2 Motorische Fähigkeiten

Neben Faktoren wie Umwelt- und Situationsbedingungen, Persönlichkeitseigenschaften und genetischen Gegebenheiten stellen die sportmotorischen Fähigkeiten eine zentrale Leistungsvoraussetzung für jegliche körperlich sportliche Bewegungshandlung dar. Der Begriff der „sportmotorischen Fähigkeiten“ ist zunächst klar abzugrenzen von dem der „sportmotorischen Fertigkeiten“, welche als „ganz bestimmte, einmal erlernte Bewegungsabläufe, die automatisiert sind“ (Grosser, Starischka, & Zimmermann, 2008, S. 9) definiert werden. Während sportmotorische Fertigkeiten daher das Ergebnis eines Trainingsprozesses beschreiben, können sportmotorische Fähigkeiten als Voraussetzungen, die zum erfolgreichen Vollzug einer sportlichen Handlung notwendig sind, angesehen werden. Durchgesetzt hat sich die Gliederung der motorischen Fähigkeiten nach Gundlach (1968) in konditionelle und koordinative Fähigkeiten, wobei die konditionellen Fähigkeiten überwiegend durch energetische

Prozesse bestimmt werden, während den koordinativen Fähigkeiten Prozesse der Bewegungssteuerung und –regelung zugrunde liegen. Eine solche Unterteilung dient jedoch in erster Linie der Vereinfachung, da sportmotorische Fähigkeiten in der Praxis nie als völlig eigenständig betrachtet werden können, sondern der Vollzug sportlicher Bewegungen immer als Kombination einzelner konditioneller und koordinativer Fähigkeitsbereiche mit unterschiedlicher Gewichtung erfolgt (Grosser & Zintl, 1994). In den folgenden beiden Punkten kann aufgrund der Komplexität und Vielschichtigkeit dieses Themengebiets nur ein kurzer Einblick und Abriss zu den konditionellen und koordinativen Fähigkeiten gegeben werden, um die für die folgenden Experimente nötigen Grundlagen darzulegen. Eine ausführliche Darstellung würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen.

1.1.2.1 *Kondition*

Kondition ist eine Komponente des Leistungszustandes. Sie basiert primär auf dem Zusammenwirken energetischer Prozesse des Organismus und der Muskulatur und zeigt sich als Kraft-, Schnelligkeits-, Ausdauerfähigkeit (sowie Beweglichkeit) im Zusammenhang mit den für diese Fähigkeiten erforderlichen psychischen Eigenschaften. (Martin, Carl, & Lehnertz, 2001, S. 87)

In der Literatur werden Begriffe wie „körperliche Eigenschaften“ (Zaciorskij, 1972), „motorische Grundeigenschaften“ (Martin, 1977; Letzelter, 1978) und „motorische Beanspruchungsformen“ (Hollmann & Hettinger, 1980) als Synonyme für den Begriff „Kondition“ verwendet. Kondition aktualisiert sich in den konditionellen Fähigkeiten, die als wesentliche Grundlage und Voraussetzung für das Niveau des Leistungszustandes zu betrachten sind, da „sportliche Techniken, koordinative Fähigkeiten, Taktik und Willenseigenschaften nur in dem Maße effektiv umgesetzt werden können, wie das die energetisch verursachten Muskelleistungen erlauben“ (Martin et al., 2001, S. 89). Diese Fähigkeiten folgen in ihrer Entwicklung auch ohne Trainingseinwirkungen einem natürlichen Veränderungsprozess, ihre Weiterentwicklung steht in Wechselbeziehung zu den Reizen, die durch muskuläre Beanspruchung gesetzt werden. Eine zentrale Bedeutung der Entwicklung der konditionellen Fähigkeiten liegt neben der optimalen Ausbildung einzelner Fähigkeiten und Fähigkeitskomplexe für verschiedene Sportarten auch im Breitensportlichen Fitnesstraining zur Steigerung von Lebensqualität und

körperlichem sowie geistigem Wohlbefinden. Im Bereich des Leistungssports spricht man von der Ausprägung allgemeiner und spezieller konditioneller Fähigkeiten, wobei Stellenwert, Struktur und Durchführungsformen des Konditionstrainings von Sportart zu Sportart stark variieren.

Als „rein“ konditionelle Fähigkeiten gelten aufgrund der hauptsächlich energetischen Orientierung Kraft und Ausdauer, während Schnelligkeit und Beweglichkeit, deren Ausprägung neben muskulären Gegebenheiten auch vom neuromuskulären Zusammenspiel von Agonisten, Antagonisten und Synergisten bei Bewegungen abhängig sind, nach neueren Erkenntnissen als Mischformen von konditionellen und koordinativen Fähigkeiten angesehen werden, jedoch meist weiterhin unter dem Oberbegriff der konditionellen Fähigkeiten geführt werden (Weineck, 2007). Schnabel, Harre und Krug (2008) geben außerdem an, dass die genannten körperlich-motorischen Fähigkeiten Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer niemals als isolierte Fähigkeiten eingesetzt werden, sondern wie in Abbildung 2 dargestellt erst als komplexe Verbindung leistungswirksam auftreten können.

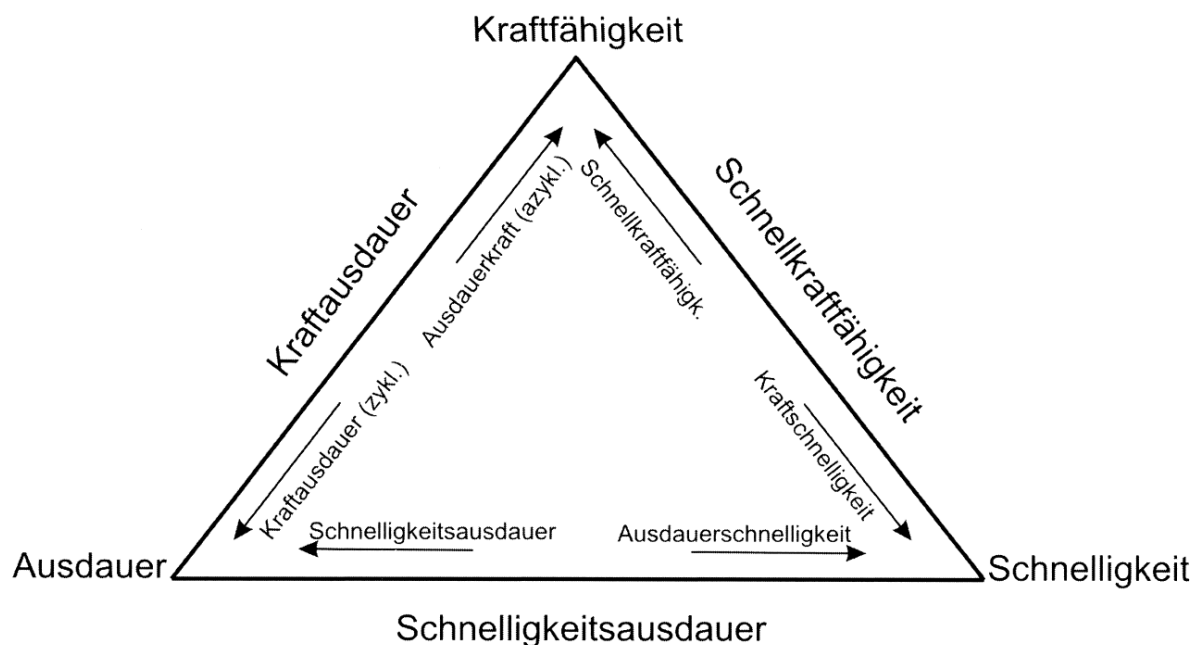


Abbildung 2: Beziehungen zwischen den konditionellen Fähigkeiten Kraft, Ausdauer und Schnelligkeit; außerhalb des Dreiecks: gültige Oberbegriffe für die aufgeführten komplexen Fähigkeiten; innerhalb des Dreiecks: differenzierte Bezeichnungen nach der dominanten Fähigkeit (Schnabel, Harre, & Krug, 2008, S. 156).

Als Krafftähigkeit wird generell die energetische Grundlage für Muskelleistungen verstanden, bei denen der Krafteinsatz bei mehr als 30% des realisierbaren Kraftmaximums liegt. Die Effektivität statischer bzw. dynamischer Kraftentwicklung ist dabei überwiegend abhängig von Muskelquerschnitt, Muskelfaserspektrum und Energiebereitstellung, von der Ausprägung der inter- und intramuskulären Koordination, den konstitutionellen Voraussetzungen des Sportlers, der Qualität der erworbenen sportlichen Technik sowie von willentlicher Steuerung und Motivation (Martin et al., 2001; Schnabel et al., 2008). Bührle (1989) und Schmidtbleicher (1984) entwickelten eine Unterteilung der Krafftähigkeit in die komplexen Fähigkeiten Maximalkraft, Schnellkraft, Reaktivkraft und Kraftausdauer (Schnabel et al. (2008) sprechen hier von Ausdauerkraft), wobei die drei letztgenannten von der Ausprägung der Maximalkraft abhängig sind, die somit als übergeordnete Krafftähigkeit anzusehen ist. Sie wird definiert als „die höchstmögliche Kraft, die das Nerv-Muskelsystem bei maximaler willkürlicher Kontraktion auszuüben vermag“ (Martin et al., 2001, S. 103). Damit unterscheidet sie sich von der Absolutkraft der Muskulatur, die jedoch nur unter Zwangsbedingungen oder elektrischer Reizung abrufbar ist; der Unterschied zwischen Absolutkraft und Maximalkraft wird als Kraftdefizit bezeichnet und beträgt je nach Trainingszustand 5-30% der Maximalkraft (Bührle, 1985). Die Maximalkraft ist zum einen abhängig vom physiologischen Muskelquerschnitt, zum anderen von der inter- und intramuskulären Koordination (Weineck, 2007). Während in einigen Sportarten die Entwicklung von möglichst hohen Maximalkraftwerten, die durch eine zunehmende aktive Körpermasse begünstigt wird, entscheidend ist (z.B. Kugelstoßen), ist in Sportarten, bei denen hauptsächlich das eigene Körpergewicht bewegt wird (z.B. Kunstturnen, Sprungdisziplinen in der Leichtathletik), zur Erlangung eines optimalen Last-Kraft-Verhältnisses eine möglichst hohe relative Krafftähigkeit, definiert durch den Quotienten aus Maximalkraftleistung und Körpergewicht das Ziel (Schnabel et al., 2008).

Schnellkraft wird in der Regel als die Fähigkeit angesehen, möglichst hohe Kraftwerte in einer gegebenen Zeit zu realisieren und damit den Körper oder Gegenstände mit größtmöglicher Geschwindigkeit zu bewegen (Martin et al., 2001; Weineck, 2007). Als Unterformen der Schnellkraft unterscheidet man die Startkrafftähigkeit, die in den ersten 30 Millisekunden für die Kraftentwicklung verantwortlich ist und die Explosivkrafftähigkeit, die durch den steilsten Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve (siehe Abbildung 3) definiert wird (Schnabel et al., 2008).

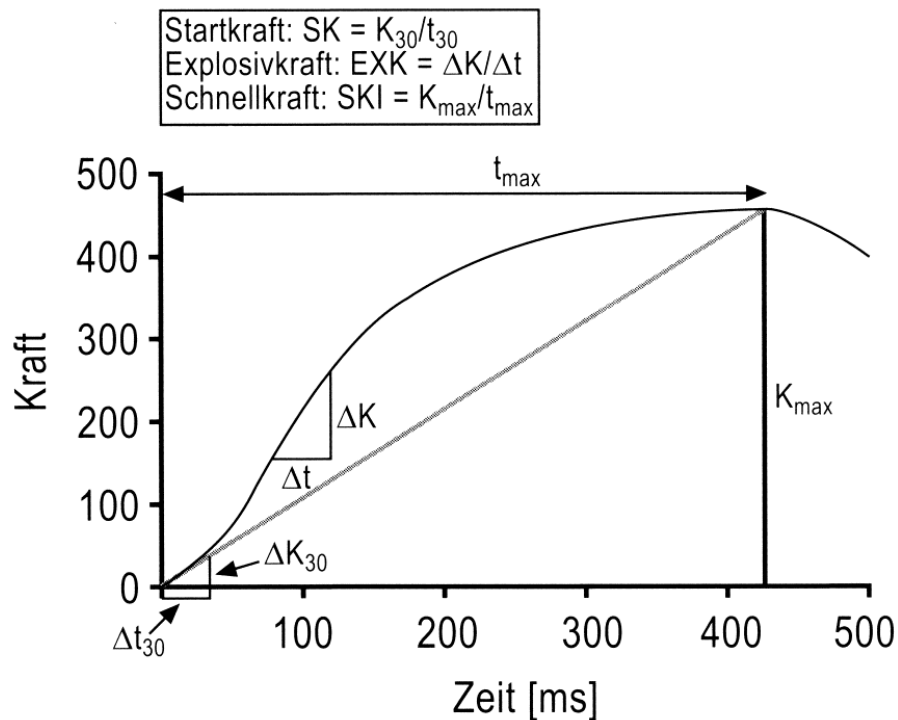


Abbildung 3: Kraft – Zeit – Kurve mit charakteristischen Kennwerten bei der Durchführung einer maximalen isometrischen Kontraktion (Weineck, 2007, S. 374).

Die Ausprägung der Schnellkraft erfolgt in der Regel sportartspezifisch, da nicht immer die Entwicklung einer möglichst hohen Anfangsbeschleunigung (wie beim Sprintstart) gefordert wird, sondern häufig das Erreichen einer maximalen Endgeschwindigkeit bei vorgegebenem Beschleunigungsweg, wie zum Beispiel beim Volleyball-Angriffsschlägen oder bei den Wurfdisziplinen in der Leichtathletik. Unter Reaktivkraft verstehen Schnabel et al. (2008, S. 163) die „Fähigkeit, bei kurzzeitiger Kopplung exzentrischer und konzentrischer Muskelkontraktion, d. h. im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus, schnellkräftig zu agieren“. Wichtig ist diese Kraftform vor allem in Sportarten, bei denen Aushol- und Landebewegungen bei der Ausführung der Technikformen eine entscheidende Rolle spielen (z.B. Sprünge und Würfe). Uneinigkeit herrscht in der Literatur bei der Verwendung der Begriffe „Kraftausdauer“ bzw. „Ausdauerkraft“. Ein Großteil der Definitionen in der trainingswissenschaftlichen Literatur verwendet die Formulierung von Harre (1970), der von Ermüdungswiderstandsfähigkeit des Organismus bei länger andauernden Belastungen über 30% des Kraftmaximums spricht. Im Gegensatz dazu legen Martin et al. (2001) den Schwerpunkt ihrer Definition auf eine möglichst kleine Verringerung der Höhe der Kraftstöße bei einer bestimmten Anzahl von Wiederholungen einer Bewegung in einem festgelegten Zeitraum. Schnabel et al. (2008) verwenden den

Begriff Ausdauerkraft als Bezeichnung für wiederholte möglichst maximale Krafteinsätze, bei denen mit zunehmender Wiederholung der Bewegung die muskuläre Ausdauer als leistungslimitierende Komponente an Bedeutung gewinnt. Einen Überblick über die verschiedenen in den letzten Jahren gebräuchlichen Kraftbegriffe geben Hollmann und Strüder (2009, S. 168/169).

Die konditionelle Fähigkeit „Ausdauer“ gilt aufgrund relativ umfangreicher Forschungen vor allem auf dem Gebiet der Sportmedizin und Biochemie (z.B. Hollmann & Strüder, 2009) als eine der am besten untersuchten sportmotorischen Fähigkeiten, wobei auch hier für den Begriff „Ausdauer“ noch keine völlig eindeutige und allgemein akzeptierte Definition gefunden werden konnte. Die am häufigsten aufgeführten Elemente zu deren Umschreibung sind nach Martin et al. (2001, S. 172) „langandauernde Arbeitsausführung“ und „Ermüdungswiderstandsfähigkeit“. Grosser, Starischka und Zimmermann definieren Ausdauer als die

Fähigkeit, einer sportlichen Belastung physisch und psychisch möglichst lange widerstehen zu können (d. h. eine bestimmte Leistung über einen möglichst langen Zeitraum aufrechterhalten zu können) und/oder sich nach sportlichen (psychophysischen) Belastungen möglichst rasch zu erholen. (Grosser, Starischka, & Zimmermann, 2008, S. 110)

Ausdauer stellt somit eine Leistungsvoraussetzung dar, die es ermöglicht, eine länger andauernde sportliche Belastung mit stabiler Technik und Taktik sowie größtmöglicher Intensität ausführen zu können. Dabei ist die erbrachte Leistung grundsätzlich nicht nur von energetischen Voraussetzungen abhängig, sondern auch von Willensspannkraft und Durchhaltevermögen des Sportlers (Schnabel et al., 2008). Zintl und Eisenhut (2009) sprechen von folgenden Einteilungsformen der Ausdauerfähigkeit (Tabelle 1):

Tabelle 1: Strukturierung der Ausdauer nach verschiedenen Einteilungskriterien nach Zintl und Eisenhut (2009, S. 44).

Bezeichnung	Beschreibung
	<i>Umfang der beteiligten Muskulatur:</i>
Lokale Ausdauer	- weniger als 1/6 – 1/7 der Gesamtmuskulatur
Allgemeine Ausdauer	- mehr als 1/6 – 1/7 der Gesamtmuskulatur
	<i>Überwiegende Energiebereitstellung:</i>
Aerobe Ausdauer	- bei ausreichendem Sauerstoffangebot
Anaerobe Ausdauer	- ohne Sauerstoffbeteiligung
	<i>Überwiegende Arbeitsweise der Skelettmuskulatur:</i>
Dynamische Ausdauer	- kontinuierlicher Wechsel von Spannung und Entspannung
Statische Ausdauer	- Dauerbelastung ohne Entspannung
	<i>Dauer der Belastung bei höchstmöglicher Intensität:</i>
Kurzzeitausdauer	- 35 Sekunden bis 2 Minuten
Mittelzeitausdauer	- 2 bis 10 Minuten
Langzeitausdauer	- mehr als 10 Minuten (LZA 1: 10-35min; LZA 2: 35-90min; LZA 3: 90-360min; LZA 4: über 360 min)
	<i>Bedeutung für das sportartspezifische Leistungsvermögen:</i>
Grundlagenausdauer	- Basisvermögen für allgemeine sportliche Leistung
Spezielle Ausdauer	- Ausprägung je nach Beanspruchungsstruktur der jeweiligen Sportart

Bei dieser Aufzählung gilt es jedoch zu beachten, dass die vorgenommene Einteilung nur aufgrund der besseren Einordnungsmöglichkeiten zustande kommt, die einzelnen aufgeführten Arten von Ausdauer aber in der Praxis nur in den seltensten Fällen in Reinform vorkommen. Da jede Ausdauerbelastung mit einer spezifischen Bewegungshandlung verbunden ist, muss bei der Ausbildung der gewünschten Ausdauerfähigkeit außerdem die Art (zyklisch/azyklisch) und der technische Komplexitätsgrad (homogen/variabel) der Bewegung sowie das Zusammenwirken mit anderen konditionellen Fähigkeiten beachtet werden. In zyklischen Sportarten, wie dem Mittel- und Langstreckenlauf kann durch die Verbesserung der Ausdauer die mittlere Laufgeschwindigkeit erhöht werden, in Spielsportarten wie dem Volleyball kann über die gesamte Spieldauer ein höheres Spieltempo bei weniger technischen

Fehlern erreicht werden und in technisch-kompositorischen Sportarten dient die optimale Ausprägung der Ausdauerleistung dazu, die erlernten sportlichen Techniken auch bei zunehmendem Belastungsumfang mit hoher Stabilität ausführen zu können (Schnabel et al., 2008).

Noch kein einheitliches Bezeichnungssystem hat die trainingswissenschaftliche Forschung für die motorische Fähigkeit „Schnelligkeit“ entwickelt (Lühnenschloß & Dierks, 2005). Da die Verbesserung vor allem der elementaren Schnelligkeit einen engen Zusammenhang mit motorischem Lernen und zentralnervösen Steuerungsprozessen aufweist, definieren Schnabel et al. Schnelligkeit als eine „koordinativ-konditionell determinierte Fähigkeit“, die es ermöglicht,

in kürzester Zeit auf Reize zu reagieren bzw. Informationen zu verarbeiten sowie Bewegungen oder motorische Handlungen unter erleichterten und/oder sportartspezifischen Bedingungen unter Zeitdruck ausführen zu können, wobei durch eine sehr kurze Belastungsdauer eine Leistungslimitierung durch Ermüdung ausgeschlossen werden soll. (Schnabel et al., 2008, S. 169)

Obwohl einige Autoren wie beispielsweise Schaper und Letzelter (1995) von der gängigen Darstellung abweichen, gilt die Unterteilung der Schnelligkeit von Grosser (1991) in elementare und komplexe Schnelligkeitsformen als grundsätzlich anerkannt. Die elementaren Formen Reaktions-, Frequenz-, Koordinations- und Aktionsschnelligkeit sind dabei ausschließlich von genetischen Voraussetzungen (hoher Anteil schnellzuckender Muskelfasern) und vom zentralen Nervensystem (kurzer Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus) abhängig (Grosser & Renner, 2007), während die komplexen Formen Kraftschnelligkeit, Schnellkraftausdauer, maximale Schnelligkeitsausdauer, Beschleunigungsfähigkeit und lokomotorische Schnelligkeit kombinierte Fähigkeiten unter Beteiligung elementarer Schnelligkeit, Kraft und Ausdauer darstellen. Dabei gilt die elementare Schnelligkeit für konkrete sportliche Handlungen eher als grundlegende Leistungsvoraussetzung und nicht als leistungsdeterminierend, für die Schnelligkeit der Ausführung einer sportlichen Technik ist die spezifische Art und Weise eines effektiven und ökonomischen Bewegungsvollzugs ausschlaggebend. Elementare Schnelligkeitsleistungen erfordern eine komplexe Koordination schneller Zeitprogramme und werden häufig als Voraussetzung für die sportartspezifischen Formen von Schnelligkeit angesehen. Problematisch erscheint die eindeutige Einordnung der komplexen Schnelligkeit als

Fähigkeit, da es sich bei schnellen sportartspezifischen Bewegungen meist um erlernte Fertigkeiten handelt, so dass gut ausgebildete sportliche Techniken als Ergebnis eines motorischen Lernprozesses unabdingbar für die effektive Ausführung von sportlichen Schnelligkeitsleistungen sind (Lühnenschloß & Dierks, 2005). Dadurch ist die Verbesserung der komplexen Schnelligkeitsformen durch Training im Gegensatz zu den reinen Schnelligkeitsfähigkeiten beinahe unbegrenzt (Grosser & Renner, 2007).

Zur motorischen Fähigkeit „Beweglichkeit“ wurden viele, zum Teil auch widersprüchliche Theorien publiziert (z.B. Ullricht & Gollhofer, 1994; Freiwald, Engelhardt, Jäger, Gnewuch, Reuter et al., 1998; Begert & Hillebrecht, 2003; Klee & Wiemann, 2005). Einige Autoren (z. B. Grosser, Starischka, & Zimmermann, 2008) verwenden synonym die Begriffe „Gelenkigkeit“ und „Flexibilität“ bzw. „Dehnfähigkeit“, wobei ersterer verstärkt auf die Ausführung von Bewegungen mit einer bestimmten Schwingungsweite der Gelenke in Verbindung gebracht wird, während die beiden letzteren vorwiegend auf die Dehnfähigkeit von Bändern, Sehnen und Muskeln abzielen. Der Begriff „Beweglichkeit“ schließt nach Martin et al. (2001) auch die für gute Beweglichkeitsleistungen erforderlichen Voraussetzungen des Zusammenspiels der elastischen Eigenschaften der Muskeln, Sehnen und Bänder, der für das Erreichen einer bestimmten Stellung nötigen Kraft, sowie eine gut entwickelte inter- und intramuskuläre Koordination und die vorhandenen Bewegungsprogramme mit ein und kann somit als die „Fähigkeit, Bewegungen willkürlich und gezielt mit der erforderlichen bzw. optimalen Schwingungsweite der beteiligten Gelenke ausführen zu können“ (Martin et al., 2001, S. 214) beschrieben werden. Dabei wird unterschieden zwischen aktiver, durch Muskelkraft erreichbare und passiver, durch äußere Kräfte zustande kommende Beweglichkeit, sowie zwischen allgemeiner Beweglichkeit, die sich durch ein durchschnittliches Beweglichkeitsniveau des Gelenksystems auszeichnet und spezieller, sportartspezifischer Beweglichkeit. Eine ausreichende (sportartspezifische) Beweglichkeit ist nicht nur Voraussetzung für das Erlernen und Realisieren sportlicher Techniken (Israel, 1995) sowie für die Optimierung und Ökonomisierung der qualitativen und quantitativen Bewegungsausführung (Alter, 1996), sondern dient auch der Verletzungsprophylaxe und einer beschleunigten Wiederherstellung nach Belastungen und Verletzungen (Malliaropoulos, Papalexandris, Papalada, & Papacostas, 2004).

Aufgrund trainingsmethodischer Überlegungen entwickelte sich der Begriff der sportmotorischen „Basisfähigkeiten“ im Gegensatz zu den sportart- und disziplinspezifischen Fähigkeiten. Als Basisfähigkeiten gelten für Kraftleistungen die Maximalkraftfähigkeit, für Ausdauerleistungen die Grundlagenausdauer und für Schnellkeitsleistungen die elementare Schnelligkeit. Dagegen werden als „sportartspezifische Fähigkeiten“ komplexe Fähigkeiten wie Kraftausdauer und Schnellkraft bezeichnet, die durch die Verbindung mit bestimmten Bewegungshandlungen eine spezifische Bedeutung erlangen, zum Beispiel als Wurfkraft oder Antrittsschnelligkeit (Schnabel et al., 2008). Grundsätzlich problematisch erscheint in der Literatur jedoch aufgrund der komplexen Verbindungen die eindeutige Begriffszuordnung einzelner Mischformen wie Kraftschnelligkeit und Ausdauerkraft zu einer jeweiligen konditionellen Fähigkeit (Grosser, 1988; Letzelter & Letzelter, 1990).

1.1.2.2 Koordination

Um die erworbenen konditionellen Fähigkeiten optimal und sinnvoll einsetzen zu können, müssen die energetischen Prozesse und alle ablaufenden Bewegungen sinnvoll aufeinander abgestimmt werden. Aufgrund der Vielzahl an kinematischen (Gelenksystem und Gliederketten) und elastischen Freiheitsgraden (Muskeln, Sehnen und Bänder) über die der menschliche Körper verfügt, ist es Ziel des motorischen Lernprozesses, die Bewegungsmöglichkeiten, die bei einer Ganzkörperbewegung sogar über Freiheitsgrade im dreistelligen Bereich verfügen, immer besser zu beherrschen, um so das gesamte System einfacher steuerbar zu machen (Bertram & Laube, 2008; Meinel & Schnabel, 2007). Dabei ist es sinnvoll, die überflüssigen Freiheitsgrade so weit wie möglich einzuschränken und die an der Bewegung beteiligten Muskeln bezüglich Kontraktionsbeginn, -dauer und -stärke möglichst exakt zu kontrollieren (Bernstein, Pickenhain, & Schnabel, 1988; Olivier & Rockmann, 2003), so dass die angestrebten Bewegungen als „habituell verfestigte Verlaufsformen psychophysischer Prozesse der Bewegungsregulation“ (Schnabel et al., 2008), die auf ein bestimmtes Ziel bzw. einen Zweck hin ausgerichtet sind ablaufen. Erschwerend bei der koordinativen Steuerung und Regelung von Bewegungen kommt hinzu, dass sich als Folge des Bewegungsvollzugs Richtung, Größe und Angriffspunkt der wirkenden Kräfte häufig verändern, wodurch kurzfristige

Anpassungen nötig sind. Mehrere Autoren (u. a. Beyer & Pöhlmann, 1994; Loosch, 1999; Nitsch & Munzert, 1997; Roth & Willimczik, 1999) haben verschiedene Modelle der Bewegungskoordination konzipiert. Singer (1985, S. 97) unterscheidet beispielsweise zwischen „Informationsverarbeitungsmodellen“, „kybernetisch orientierten Modellen“ und „Modellen adaptiver oder hierarchischer Kontrolle“, wobei keines der Modelle das Problemfeld „Bewegungskoordination“ in seiner ganzen Breite erfasst und behandelt. Ein vereinfachtes Modell des Ablaufs der Regulationsprozesse der Bewegungskoordination von Meinel und Schnabel (2007, S. 38) stellt Abbildung 4 dar:

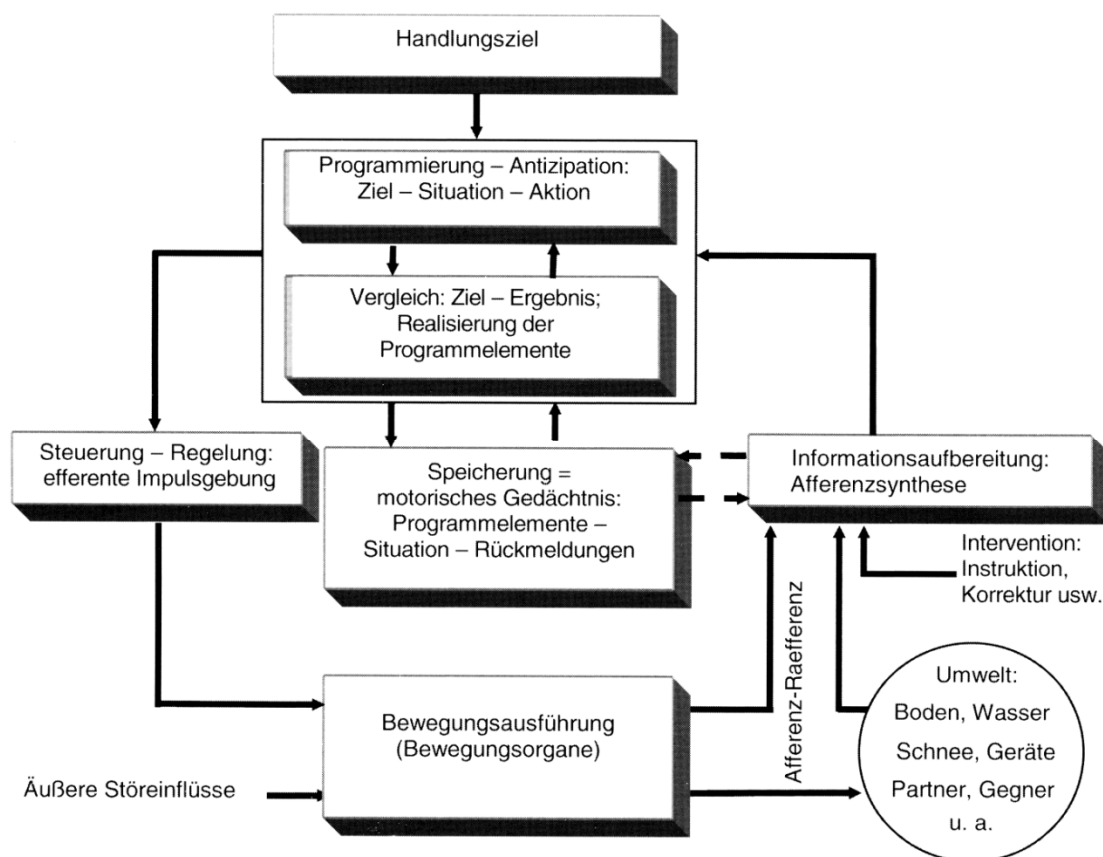


Abbildung 4: Vereinfachtes Modell der Bewegungskoordination (Meinel & Schnabel, 2007, S. 38).

Sie gehen davon aus, dass für die erfolgreiche Durchführung einer koordinativ anspruchsvollen sportlichen Bewegung der Ablauf mehrere Teilfunktionen nötig ist. Nach der „Vorausnahme des Handlungsziels und –ergebnisses“ folgt die „afferente und refferente Informationsaufnahme und –aufbereitung“. Im Anschluss an die „Programmierung des Bewegungsablaufs“ und die „Vorhersage der Zwischen- und

Endergebnisse“ werden der motorische Speicher abgefragt und Ausführungs- und Korrekturmuster gespeichert. Nach der „Realisierung der Steuerung und Regelung“ starten schließlich die „Bewegungsausführung durch die Bewegungsorgane“ und der Vergleich von Ist- und Sollwerten.

Die Bedeutung der Bewegungskoordination für den erfolgreichen Ablauf sportlicher Bewegungen ist unbestritten dargelegt. Ziel der Sportpraxis ist es daher, bei den Athleten diejenigen koordinativen Fähigkeiten auszubilden, mit deren Hilfe sie anspruchsvolle koordinative Aufgaben, wie beispielsweise die Ausführung komplizierter Bewegungsfolgen mit Lageveränderungen des Körpers im Raum oder die adäquate Reaktion auf gegnerisches Verhalten bewältigen können. Zunächst sprach man im Sportbereich zumeist nur von einer einzelnen übergeordneten koordinativen Fähigkeit, der „Gewandtheit“, die als „Fähigkeit zur schnellen und zweckmäßigen Lösung motorischer Aufgaben“ verstanden wurde (Meinel & Schnabel, 2007, S. 212). Als Vorreiter von Untersuchungen in diesem Bereich gilt Bernstein (u. a. Bernstein, 1967; 1975; 1996), der die Meinung vertritt, dass Gewandtheit eine übergreifende und äußerst komplexe Leistungseigenschaft mit vielfältigen Erscheinungsformen darstellt, die nicht nur im Sport, sondern auch bei Alltagsbewegungen von großer Bedeutung ist. Diese Komplexität und die unterschiedlichen Anforderungen an die jeweilige Ausprägungsform der Gewandtheit führten zu einer Unterteilung in einzelne koordinative Leistungsvoraussetzungen. Während Hirtz (1995) von diesen koordinativen Fähigkeiten als Verlaufsqualitäten von Bewegungssteuerungsprozessen spricht, die von den vorhandenen Bewegungserfahrungen abhängen, definieren Schnabel et al. (2008) die koordinativen Fähigkeiten als

Klasse motorischer Fähigkeiten, die vorrangig durch Prozesse der Bewegungsregulation bedingt sind und relativ verfestigte und generalisierte Verlaufsqualitäten dieser Prozesse darstellen. Sie sind Leistungsvoraussetzungen zur Bewältigung dominant koordinativer Anforderungen. Charakteristisches Merkmal koordinativer Fähigkeiten ist die jeweils spezifische Einheit von Wahrnehmung und motorischer Realisierung. (Schnabel et al., 2008, S. 136)

Gut ausgebildete koordinative Fähigkeiten tragen dazu bei, dass Handlungsprogramme optimal und situationsadäquat angewendet werden können,

neue sporttechnischen Fertigkeiten schneller und genauer erlernt werden und die vorliegenden konditionell-energetischen Gegebenheiten möglichst ökonomisch ausgenutzt werden können (Schnabel et al., 2008).

Trotz des großen Interesses im Bereich der Sportwissenschaften (u.a. Ludwig & Ludwig, 2002; Pöhlmann, 1986; Rostock & Zimmermann, 1997; Roth, 1982, 1999; Schnabel, 2007) konnte bisher keine allgemein akzeptierte Taxonomie der koordinativen Fähigkeiten eingeführt werden. Es entstanden sowohl Einteilungen in wenige, relativ komplexe koordinative Fähigkeiten (z. B. Letzelter, 1973; Zimmer, 1984) als auch die Entwicklung einer größeren Anzahl elementarer koordinativer Fähigkeiten (z. B. Fleishman, 1972; Lütgeharm, 1978; Rieder, 1987; Teipel, 1988). Eine Vielzahl von Autoren (u.a. Bös & Mechling, 1983; Hirtz, 1985; Martin, Nicolaus, Ostrowski, & Rost, 1999) stimmen jedoch darin überein, dass die folgenden koordinativen Fähigkeiten, die auch als „Arbeitsmodell der Leipziger Koordinationsforscher für den Nachwuchsleistungssport“ bekannt sind, als grundlegend und leistungsbestimmend angesehen werden können:

- *Differenzierungsfähigkeit:* Fähigkeit zur Feinabstimmung von Körper- bzw. Teilkörperbewegungen
- *Orientierungsfähigkeit:* Bestimmung und Veränderung der Lage des Körpers in Raum und Zeit
- *Gleichgewichtsfähigkeit:* Halten und Wiederherstellen des Körpergleichgewichts
- *Reaktionsfähigkeit:* schnellstmögliche zweckmäßigste Ausführung eines Bewegungsmusters auf ein Signal hin
- *Rhythmusfähigkeit:* zeitliche Gliederung eines wiederkehrenden Bewegungsmusters
- *Koppelungsfähigkeit:* Koordination von Teilkörperbewegungen
- *Umstellungsfähigkeit:* Anpassung einer zielgerichteten Handlung aufgrund von Situationsveränderungen

Nach Roth (1999, S. 77) ist auch eine Dreiteilung in die „Fähigkeit zur präzisen Bewegungsregulation“, die „Fähigkeit zur Koordination unter Zeitdruck“ und die „Fähigkeit zur situationsadäquaten motorischen Umstellung und Anpassung“ sinnvoll (siehe Tabelle 2):

Tabelle 2: Einteilung der koordinativen Fähigkeiten nach Roth (1989, S. 77).

	Fähigkeit zur präzisen Bewegungsregulation	Fähigkeit zur Koordination unter Zeitdruck	Fähigkeit zur motorischen Anpassung und Umstellung
Bewegungsart	genau (geführt zyklisch)	schnell und genau	schnell, genau und variabel
Sportarten	Dart, Schießsport...	Schnellkraftdisziplinen	Kampfsport, Sportspiele
Koordinationscharakteristik	ständiger Soll-Ist-Vergleich	Vorausprogrammierung generalisierter motorischer Programme	Programmvariation, Programmumstellung
Dominierende cortikale Region	Basalganglien	Kleinhirn	Motorkortex
Erfassung	Niveautests	Schnelligkeitstests	Komplextests
Methodik	hohe Genauigkeit, Zielvorgaben	hohes Tempo, Zeitvorgaben, Zeitdruckerhöhung	hohe Variabilität, Gegnereinwirkung, Komplexitätserhöhung

Zimmer (1984) sieht auf übergeordneter Ebene nur die Fähigkeiten zur Stabilisierung der Bewegungskoordination bei Ablaufkonstanz und Ablaufvariation, Teipel (1988) führt eine Unterscheidung zwischen koordinativen Fähigkeiten für fein- und grobmotorische Handlungen durch. Interessante neuere Ansätze liefern Hossner (1997, 2002) und Neumaier, Mechling und Strauss (2009). Hossner spricht in seinem Modulkonzept von der Existenz horizontaler - also aufgabenübergreifender koordinativer Fähigkeiten - und vertikaler Fähigkeiten, die sich für ihn aus unterschiedlichen Technikbausteinen zusammensetzen und damit sportartspezifisch anzusiedeln sind. Als Beispiele einer ausgearbeiteten Systematik für ein solches Modulkonzept können die Arbeiten von Glasauer und Niebler (1999) für die Sportart Basketball und von Hossner und Kortmann (1997) für die Sportart Volleyball genannt werden. Neumaier et al. (2009, S. 11) betrachten „Koordination“ aus dem Blickwinkel der zu bewältigenden motorischen Aufgabenstellung. Sportartspezifisch werden daher mit Hilfe eines „Koordinations-Anforderungs-Reglers“ das koordinative Anforderungsprofil für die jeweilige Bewegung analysiert und daraus Angaben für das zugehörige Koordinationstraining abgeleitet (siehe Abbildung 5). Zunächst werden dazu sportartspezifische Situationen und Aktionen bezüglich ihrer Informationsanforderungen und Handlungsbedingungen untersucht, um anschließend die dargestellten Komponenten der beiden Kategorien auf einem Kontinuum zwischen niedrig und hoch einzustufen.

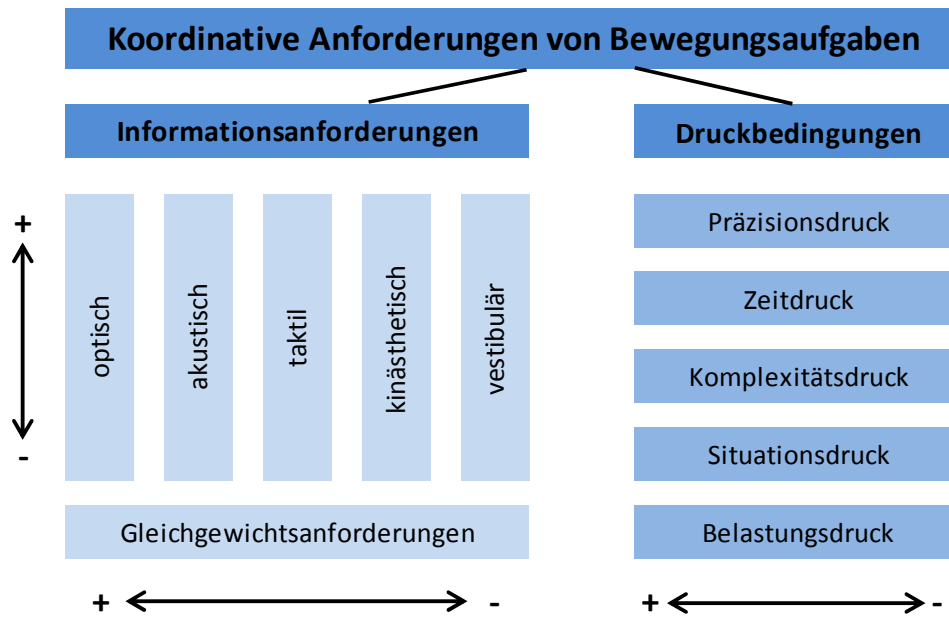


Abbildung 5: Darstellung koordinativer Anforderungsbedingungen: Informationsanforderungen und Druckbedingungen (nach Neumaier, 2003, S. 97).

Es gibt jedoch in der Literatur auch mehrere kritische Aussagen zum allgemeinen Konzept der Existenz koordinativer Fähigkeiten. So spricht Daug (1994) vom sogenannten „Generalitäts-Spezifitäts-Problem“, der Kluft zwischen der hohen Spezifität sportlicher Bewegungsmuster und den sehr allgemein und generell dargestellten koordinativen Fähigkeiten. Es wird bezweifelt, dass ein allgemeines Fähigkeitstraining im koordinativen Bereich einen positiven Transfer für die sportartspezifische Leistungssteigerung beinhaltet und ermöglicht. Weiner, Schneider und Beckmann (1991) sind der Meinung, dass gerade im Hochleistungssport der inhaltliche Anwendungsbereich sehr viel enger gezogen ist, als die traditionellen Fähigkeitskonzepte. Auch gibt es Zweifel an der generellen Existenz übergeordneter koordinativer Fähigkeiten, wie z. B. Koppelungs- und Umstellungsfähigkeit, da häufig relativ geringe Korrelationen zwischen den unterschiedlichen Ausprägungsformen einer koordinativen Fähigkeit gefunden werden (Schnabel et al., 2008).

In der Sportpraxis haben die koordinativen Fähigkeiten für verschiedene Sportarten unterschiedliche große Bedeutung. Im Bereich der Ausdauersportarten sorgen gut ausgebildete koordinative Fähigkeiten dafür, dass die Ermüdung des Organismus später einsetzt, da sie eine hohe Bewegungseffektivität sichern, bei schnelligkeitsorientierten Disziplinen gewährleisten sie die Wirksamkeit des vorhandenen energetischen Potentials in Form einer hohen Bewegungsfrequenz. Bei

Schnellkraftsportarten garantieren sie einen zeitlich möglichst genauen und maximalen Einsatz des vorhandenen Kraftpotentials. „In den technisch-kompositorischen Sportarten“ zu denen auch das Kunst- und Gerätturnen gehört, „unterstützen sie die Vielfalt und technische Perfektion der Bewegungsausführung, die Originalität, Virtuosität und ästhetische Ausstrahlung“ (Schnabel et al., 2008, S. 140). Die Bedeutung für Sportspiele und Kampfsportarten liegt in der schnellen und effektiven Bewältigung sich ständig ändernder Spiel- und Kampfsituationen (Schnabel et al., 2008). Nicht nur im sportlichen Bereich erweisen sich gut ausgebildete koordinative Fähigkeiten jedoch als vorteilhaft. Kambas, Antoniou, Xanthi, Heikenfeld, Taxildaris et al. (2004) untersuchten beispielsweise den Einfluss eines Programms zur Schulung koordinativer Fähigkeiten auf die Unfallhäufigkeit im Kindergarten. Sie konnten nachweisen, dass sich durch ein solches Interventionsprogramm der motorische Entwicklungsstand verbesserte, während gleichzeitig die Unfallquote sank.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sowohl die konditionellen, auf energetische Prozesse konzentrierten, als auch die koordinativen, die informationellen und qualitativen Bewegungsaspekte betreffenden Fähigkeiten einen entscheidenden Einflussfaktor für die Ausprägung sportlicher Leistungsfähigkeit darstellen. Nur durch feinmotorisch gut ausgebildete koordinative Fähigkeiten lassen sich die physiologischen Leistungsfaktoren im Sinne einer optimalen, also ökonomischen, harmonischen und präzisen Bewegungssteuerung bei sportlichen und Alltagsbewegungen voll ausschöpfen. Die koordinativen Prozesse bestimmen dabei sowohl die Art, als auch Umfang und Intensität des für die jeweilige Aktion erforderlichen Energieeinsatzes.

1.1.3 Motorische Fertigkeiten

Während durch die Ausbildung der motorischen Fähigkeiten die notwendigen Voraussetzungen für die Ausführung von vielfältigen sportlichen Bewegungen zur Verfügung gestellt werden, stellen motorische Fertigkeiten das Mittel zur Bewältigung verschiedenster motorischer Aufgaben dar. Im folgenden Punkt werden deshalb zunächst grundlegende Fakten zu den motorischen Fertigkeiten dargestellt, um im Anschluss daran kurz die für die später durchgeführten Experimente wichtigen Sportarten mit ihrer Fähigkeits- und Fertigungsstruktur zu erläutern.

1.1.3.1 Grundlagen und Begriffsbestimmung

Nach Roth und Roth (2009, S. 227) kennzeichnen motorische Fertigkeiten „inter- und intraindividuelle Differenzen im Niveau der internen Steuerungs- und Funktionsprozesse, die der Realisierung einer spezifischen Bewegungstechnik zugrunde liegen“. Dabei können verschiedene Fertigkeitstypen unterschieden werden. Burton und Miller (1998) differenzieren nach dem Kriterium der Komplexität zwischen „elementaren“ und „sportmotorischen Fertigkeiten“, wobei unter den elementaren Fähigkeiten fundamentale kulturübergreifende Bewegungsfertigkeiten wie Laufen und Werfen verstanden werden, während die sportmotorischen Fertigkeiten (z.B. Kugelstoßen, Skilaufen, Felgaufschwung) auf diesen Elementarformen aufbauen und nicht von allen Menschen erlernt werden. Ein zweites Einteilungskriterium bietet der Variabilitätsgrad der Situation. Fertigkeiten, die durch konstante Ausführungsbedingungen charakterisiert werden können, zählen zu den „geschlossenen Fertigkeiten“, während sich „offene Fertigkeiten“ durch variable Bewegungsabläufe und wechselnde situative Anforderungen auszeichnen (Roth & Roth, 2009). Ein dritter Differenzierungsaspekt orientiert sich an der jeweiligen Lernphase. Die Phasen des Neulernens und Überlernens einer Bewegungsfertigkeit werden als „Aneignung“ bezeichnet, Automatisierung und variable Anwendung fallen in den Bereich der „Optimierung“ einer Bewegungsfertigkeit.

Roth und Roth (2009, S. 231-237) halten außerdem die folgenden vier Phasen der Fertigkeitsentwicklung fest:

- (1) Phase der Aneignung und ersten Kombination elementarer motorischer Fertigkeiten (0 – 7 Jahre)
- (2) Phase der Optimierung und erweiterten Kombination elementarer Fertigkeiten sowie des Aufbaus eines allgemeinen sportmotorischen Fertigniveaus (7 – 11/12 Jahre)
- (3) Phase der Spezialisierung und der Ausdifferenzierung sportmotorischer Fertigkeiten (11/12 – 30 Jahre)
- (4) Phase der relativen Bewahrung und Verschlechterung sportmotorischer Fertigkeiten (ab 30 Jahren)

In der Literatur noch nicht völlig geklärt ist bisher, ob die vorpubertäre Phase tatsächlich eine dominante Stellung als „goldenes Lernalter“ zum Erlernen sportlicher Techniken darstellt, wie dies häufig angenommen wird. In Experimenten von Joch und Hasenberg (1991) sowie von Willimczik, Meierarend, Pollmann und Reckeweg (1999) konnten keine signifikanten Unterschiede in Lernqualität und –geschwindigkeit zwischen 10-12-Jährigen und älteren Jugendlichen gefunden werden. Auch zum positiven Einfluss eines qualitativ hochwertigen koordinativen Fähigkeitsniveaus auf die Schnelligkeit und Effektivität motorischer Lernprozesse gibt es widersprüchliche Aussagen. Während Wollny (2002) und Willimczik, Voelcker-Rehage und Wiertz (2006) keine oder nur marginale Zusammenhänge zwischen koordinativen Fähigkeiten und der motorischen Lernleistung fanden, kommen die Greifswalder Studien von Hirtz, Ludwig und Ahrens (2002) zu anderen Ergebnissen. Sie konnten in Längsschnitt- und Interventionsstudien nachweisen, dass eine verstärkte koordinative Schulung einen positiven Einfluss auf die motorische Lernleistung von Grundschulkindern hat.

1.1.3.2 Sportartspezifische motorische Fertigkeiten

Nach Mechling (1988) unterscheidet man bei der schematischen Einordnung von Sportarten in Technikgruppen vier Fertigkeitstypen. Zu den geschlossenen Fertigkeiten mit stabiler Ausführungsstruktur bei zyklischen oder azyklischen Bewegungsverläufen zählen Sportarten wie Gewichtheben und Hürdenlauf. Die Verbindung einzelner Teile zu einer Gesamtleistung bei gleichbleibend stabilen Umweltbedingungen erfüllen beispielweise die Sportarten Tanzen, Eiskunstlauf und Gerätturnen. Zur Kategorie der offenen Fertigkeiten, die jedoch sehr stabile Grundstrukturen unter nicht standardisierten Bedingungen aufweisen, zählen Skilanglauf und Skirennsport während die offenen Fertigkeitstypen, die auf isoliert beherrschten Fertigkeiten und Fertigkeitskombinationen beruhen, Kampfsportarten und Sportspiele einschließen.

Da in den später in dieser Arbeit durchgeführten Studien die mentale Rotationsleistung von Sportlerinnen und Sportlern verschiedener Sportarten sowie der Einfluss des Trainings von Sportarten auf die mentale Rotationsleistung getestet wird, werden im Folgenden die Charakteristika der verwendeten Sportarten Kunst- und Gerätturnen, Mittel- und Langstreckenlauf und Volleyball vorgestellt. Aufgrund

ihrer Trainingsinhalte und Bewegungsstrukturen eignen sie sich als repräsentative Vertreter einer koordinativ orientierten Einzel- bzw. Mannschaftssportart bzw. einer konditionell orientierten Einzelsportart.

1.1.3.2.1 Kunst- und Gerätturnen

Bei einer strukturellen Einordnung wird das Kunst- bzw. Gerätturnen den technisch-kompositorischen bzw. technisch-akrobatischen Sportarten zugeordnet (Schnabel & Thiess, 1993). Weitere Beispiele für Sportarten dieser Kategorie sind unter anderem Rhythmische Sportgymnastik, Sportakrobatik, Trampolinturnen, Eiskunstlauf und Wasserspringen. Die Begriffe Kunst- und Gerätturnen sind deshalb unterschiedlich zu behandeln, da trotz grundsätzlich gleicher Inhalte und Bewegungsstrukturen der Kunstturnbereich dem Leistungssport zuzuordnen ist, und daher auf Höchstleistung und Vergleich im Wettkampf ausgerichtet ist, während das Gerätturnen als Breitensportart betrachtet wird, der von jeglicher Altersgruppierung sowohl einzeln als auch gemeinsam mit und ohne Wettkampfteilnahme ausgeübt werden kann und somit eine andere Schwerpunktsetzung aufweist. Als entscheidende Komponenten der Leistungsstruktur dieser Sportart gelten Technik, Inhalt, Stabilität sowie Choreographie und Komposition der ausgeführten Elemente und Übungen. Unter Technik ist die optimale und effektive Ausführung der gewählten Übungsteile, sowie Tempo, Dynamik und Virtuosität der Darbietung zu verstehen, Stabilität drückt die Sicherheit der Ausführung besonders bei schwierigen Elementen und Verbindungen aus. Bewegungsfluss sowie räumliche, zeitliche und dynamische Abstimmung der Bewegungen und deren gestalterische Kombination sind die Grundvoraussetzungen für eine stimmige Komposition und Choreographie (Schlegel, 2008). Knoll, Knoll und Köthe (2000) führen außerdem ein vielfältiges Bewegungsrepertoire, den frühzeitigen Trainingsbeginn und einen längerfristigen Leistungsaufbau als weitere Kennzeichen einer technisch-kompositorischen Sportart an.

Die technische Vielfalt der Bewegungsstrukturen im Kunst- bzw. Gerätturnen ist unter anderem bedingt durch die sehr verschiedenartig konstruierten Wettkampfgeräte. Bei den Damen sind dies Sprungtisch, Stufenbarren, Schwebebalken und Boden, bei den Herren Sprungtisch, Parallelbarren, Ringe, Seitpferd, Boden und Reck. Im Bereich des Gerätturnens kommen noch weitere nicht wettkampfspezifische Geräte wie Kästen, Langbänke, Trampolin und ähnliches hinzu. Ebenso spiegelt sich die

Bandbreite unterschiedlicher Bewegungen bereits bei einer oberflächlichen Betrachtung grundlegender turnerischer Tätigkeiten wie Stützen, Schwingen, Hängen, Abdrücken, Fliegen, Drehen um verschiedene Achsen (Rollen, Überschlagen), Landen, Beugen und Strecken in den großen Körpergelenken sowie Fixieren von bestimmten Körperpositionen wider (Härtig & Buchmann, 2004). Dabei stellen vor allem raumorientierte Bewegungen, die in Rotationen um beliebige Achsen sowie Translationen in beliebige Richtungen zum Ausdruck kommen, eine sportartspezifische Besonderheit dar (Krainhöfner & Thielecke, 1990). Ausgehend von den Bewegungstechniken des Kunst- und Gerätturnens lassen sich alle turnerischen Elemente in die acht Strukturgruppen Roll, Sprung-, Kipp-, Felg-, Überschlag-, Stemm-, Beinschwung- sowie Auf- und Umschwungbewegungen einteilen (Knirsch & Minnich, 1997).

Da der gesamte Trainingsablauf in jeder Sportart auf das Hochleistungsalter hin konzipiert ist, so dass der sukzessive Leistungsanstieg seinen Höhepunkt zum Zeitpunkt des für die jeweilige Sportart typischen Leistungsmaximums erreicht, ergeben sich in der Leistungssportpraxis unterschiedliche Altersbereiche für den optimalen Trainingsbeginn (Herzberg, Hofmann, & Schneider, 1985). Im Vergleich zu anderen Sportarten gehört das Kunst- und Gerätturnen aufgrund seiner technisch-koordinativen Akzentuierung zu den Sportarten mit dem frühesten Trainingsbeginn, bedingt durch das frühzeitig erreichte Hochleistungsalter (Weineck, 2007). So findet die Aufnahme gezielter Trainingsmaßnahmen bereits im Vorschulalter statt, um besonders günstige Phasen motorischer Lernwirksamkeit auszunutzen, da der Beginn des kalendarischen Höchstleistungsalters zumindest bei den Frauen laut Thiess und Tschiene (1999) um das 13. Lebensjahr datiert wird. Unter anderem durch dieses frühe Erreichen der Höchstleistung kommt es jedoch im Kunstturnen gerade im weiblichen Bereich zu einer hohen Dropoutrate bei jugendlichen Turnerinnen. Feldmann, Kleinert, Steinbacher und Noe (2008) untersuchten hierzu den Einfluss psychosozialer Faktoren auf das Befinden von Hochleistungsturnerinnen, und konnten feststellen, dass neben dem eigenen Körperkonzept vor allem die soziale Beziehung zum Trainer, aber auch die zu Eltern und Mannschaftsmitgliedern einen entscheidenden Einfluss auf die psychische und körperliche Befindlichkeit der Athletinnen hat.

Betrachtet man den Einfluss konditioneller und koordinativer Fähigkeiten auf die turnerische Leistungsfähigkeit, so ist grundsätzlich zwar festzustellen, dass die erfolgreiche Ausführung turnerischer Bewegungen von der Entwicklung konditioneller Fähigkeiten, besonders von Kraft sowie auch von Schnelligkeit, Beweglichkeit und Ausdauer abhängig ist, mehr jedoch noch von der Ausbildung der koordinativen Fähigkeiten (Condovici & Dörrer, 1999). Dabei ist zu beachten, dass diese koordinative Orientierung bei Frauen noch deutlicher auftritt als bei Männern, bei denen durch die andersartige Beschaffenheit der jeweiligen Turngeräte verstärkt auch die Komponente „Kraft“ berücksichtigt werden muss. Für beide Geschlechter gilt dabei jedoch, dass das gegenseitige Ineinandergreifen und Zusammenwirken dieser beiden Leistungsfaktoren für die Bewegungsrealisierung unerlässlich ist und erst den Erwerb sportlicher Fertigkeiten ermöglicht (Weineck, 2007). Im Bereich der konditionellen Fähigkeit Kraft sind bei Turnerinnen und Turnern vor allem die Maximalkrafftähigkeit zur Ausführung langsamer bzw. statischer Bewegungsformen, die Schnellkrafftähigkeit für alle Schwünge und Sprünge, sowie die Kraftausdauerfähigkeit für das häufige Wiederholen von Übungsteilen und die Durchführung längerer Übungsreihen von Bedeutung. Im Einzelnen bedeutet dies eine grundlegende und vielseitige Ausbildung von Sprung-, Stütz-, Schub-, Zugkraft und Ganzkörperspannung (Härtig & Buchmann, 2004). Schnelligkeit tritt im Kunst- und Gerätturnen vor allem im Bereich der zyklischen Schnelligkeit bei Anläufen auf, azyklische Schnelligkeit wird bei der Ausführung aller Schwungelemente und Sprünge benötigt (Condovici & Dörrer, 1999). In Schulter- und Hüftgelenken und im gesamten Wirbelsäulenbereich ist zumindest im Kunstturnbereich eine extreme Beweglichkeit nötig, um eine optimale Realisierung verschiedener Übungsteile zu gewährleisten. Der konditionelle Bereich Ausdauer spielt im Kunst- und Gerätturnen eher eine untergeordnete Rolle und ist meist nur im Hinblick auf die häufig mehrstündige Dauer eines Trainings zu beachten und nicht so sehr die Ausführungsqualität einzelner Übungen betreffend.

Betrachtet man den koordinativen Bereich, so erscheint es aufgrund der Stabilität der Ausführungsbedingungen und der vorher bekannten Ausführungsfolge der Bewegungen sinnvoll für eine genauere Darstellung nicht die Schemata von Neumaier, Mechling und Strauss (2009) oder Roth (1999) zu verwenden, sondern die etwas vielschichtigere Einteilung der koordinativen Fähigkeiten nach Meinel und Schnabel (2007). Im Bereich der Differenzierungsfähigkeit werden im Kunst- und

Gerätturnen höchste Anforderungen an die Bewegungsgenauigkeit gestellt, weshalb die räumliche, zeitliche und dynamische Feinabstimmung von Bewegungen und der sie verursachenden Kräfteinsätze entscheidend ist. Bei der Entwicklung dieser Fähigkeit muss deshalb besonderer Wert darauf gelegt werden, dass die bewusste Steuerung von Muskelanspannung, Körperhaltung und Gelenkstellungen möglichst genau dosiert werden kann (Condovici & Dörrer, 1999). Durch die im Kunstturnen enthaltenen vielfältigen Bewegungsformen sind bei der Ausübung dieser Sportart ständige, technisch zweckmäßige Veränderungen der Arm-Rumpf- und der Bein-Rumpf-Winkel gleichzeitig oder nacheinander nötig. Dies setzt eine Vielzahl verschiedener Koppelungsmuster und somit ein hohes Niveau im Bereich der Koppelungsfähigkeit voraus, auch im Hinblick des Zusammenspiels von Armen und Beinen bei unterschiedlichen Kopf- und Rumpfhaltungen (Meinel & Schnabel, 2007). Orientierungsfähigkeit beschränkt sich im Kunst- und Gerätturnen zwar aufgrund der Gerätebeschaffenheit auf relativ kleinräumige Lageveränderungen, erschwerend ist hier allerdings, dass viele Bewegungen mit hoher Geschwindigkeit ausgeführt werden und gleichzeitig mit Drehungen um verschiedene Körperachsen verbunden sind. Bei allen Bewegungsfertigkeiten ist es stets erforderlich, die Lage des Körpers im Raum und in Bezug zu dem jeweiligen Turngerät genau zu kennen und bei Lageveränderungen, also allen translatorischen und/oder rotatorischen Bewegungen das dynamische Gleichgewicht aufrecht zu erhalten. Sehr deutlich ist dies bei Sprüngen, Überschlägen, Auf- und Umschwüngen und nach Abgängen und Landungen zu erkennen (Condovici & Dörrer, 1999).

Zusammenfassend lässt sich daher feststellen:

Der besondere Wert der Sportart leitet sich aus der Vielfalt der Bewegungsmöglichkeiten ab, wobei die Entwicklung der koordinativen Fähigkeiten insbesondere durch die Verlagerung des Körpers im Raum verbunden mit Drehungen um alle Körperachsen unterstützt wird. Die gegenüber den Alltagsbewegungen ungewohnten Körperlagen und Rotationsbewegungen zwingen zur Orientierung und lösen diesbezüglich Anpassungsprozesse aus. (Leirich, Bernstein, & Gwizdek, 2007, S. 13)

Bedingt durch die Übungsinhalte und Ausführungsbedingungen werden also die koordinativen Fähigkeiten im Kunst- und Gerätturnen in vielfältiger und umfassender Weise trainiert. Vor allem die vielgestaltigen Lageveränderungen an den Geräten

und im freien System, der ständige Wechsel des Gleichgewichtszustandes, die Nutzung unterschiedlicher Federeigenschaften der Geräte und die Vielfalt an neuen Elementen und Übungsverbindungen erfordern immer wieder ein Neulernen, Anpassen oder Vertiefen von Bewegungsmustern (Härtig & Buchmann, 2004).

1.1.3.2.2 Volleyball

Das Sportspiel Volleyball wird von Papageorgiou und Spitzley (2007, S. 10) als „Mannschaftsspiel mit Rückschlagspielcharakter“ bezeichnet, da es Merkmale beider Sportartengruppen aufweist, jedoch aufgrund der Variabilität der Interaktionen im Spiel eindeutig den Mannschaftssportarten zuzuordnen ist. Volleyball eignet sich als Sportspiel sowohl für den Breiten- als auch für den Leistungssport und kann durch geringfügige spiel- oder organisationstechnische Veränderungen an verschiedene Leistungsniveaus angepasst werden. Ziel des Spiels ist es, dass die jeweils sechs Spieler einer Mannschaft den Ball mit höchstens drei Ballberührungen über das Netz auf dem Boden des gegnerischen Spielfeldes platzieren oder den Angriffsaufbau der gegnerischen Mannschaft zu verhindern oder zu erschweren versuchen. Durch den ersten Ballkontakt erfolgt die Abwehr des vom Gegner geführten Angriffs und bei einer gelungenen Ballannahme gleichzeitig die Einleitung des Angriffsaufbaus, der zweite und dritte Ballkontakt dienen dem Zuspiel und der Durchführung des Angriffs (Papageorgiou & Spitzley, 2007). Durch zeitlich möglichst dicht ausgeführte Aktionen und komplexe Spielzüge wird versucht, dem Gegner „ein Übermaß an Informations-Overload“ aufzuzwingen, während es gleichzeitig das Ziel ist, durch gelungenes Informationsmanagement, die von der gegnerischen Mannschaft eingehenden Informationen zu reduzieren und zu kontrollieren (Voigt, 2006). Dadurch ergeben sich neben hohen vestibulären Anforderungen an die Informationsaufnahme durch die schnellen Bewegungen auf engem Raum in vertikaler und horizontaler Richtung auch besondere Anforderungen an die taktile und kinästhetische Informationsaufnahme und –verarbeitung, die aus den differenzierten Krafteinsätzen bei Annahme, Zuspiel, Angriff und Feldabwehr resultieren (Neumaier, 2003).

Die einzelnen Spielzüge umfassen in der Regel nicht mehr als sechs Ballberührungen und dauern im Schnitt 8 - 12 Sekunden, dazwischen ergeben sich durchschnittliche Pausenlängen von maximal 25 Sekunden bei Netzspielern und 44

Sekunden bei Rückraumspielern (Voigt & Richter, 1991). Aufgrund einer mittleren Spiellänge von etwa 106 Minuten und einem durchweg hohen Spieltempo, ist eine vielseitige physische Vorbereitung nötig. Die Spieler führen während der kurzen hochintensiven Belastungsphasen auf engem Bewegungsraum hauptsächlich schnell- und reaktivkraftbetonte Bewegungen der Bein- (Sprünge) und Armmuskulatur (Schmetterschläge) aus. Des Weiteren werden gute Grundlagen im Bereich der elementaren und komplexen Schnelligkeit (Reaktion, kurze Antritte und Sprints) und der Kraftausdauer (vor allem für Belastungen im Bereich der Rumpfmuskulatur) gefordert. Aufgrund der kurzen, maximalen Belastungsintervalle erfolgt die Energiebereitstellung für die schnellkräftigen Bewegungen (Sprünge, kurze Sprints etc.) während der Ballwechsel überwiegend anaerob alaktazid, die muskulären Energiespeicher werden während der Pausen zwischen den Spielzügen wieder aufgefüllt. Dies belegen Untersuchungen von Künstlinger (1987), der für verschiedene Wettkampfspiele in der ersten Bundesliga durchschnittliche Laktatwerte von 2.5 mmol/l ermittelte. Um über die komplette Spielzeit die Konzentration aufrechterhalten zu können und die kurz- und langfristige Regeneration während und im Anschluss an Spiel und Training zu verkürzen, sollte auch der Bereich der aeroben Ausdauer nicht vernachlässigt werden.

Mit den koordinativen Anforderungen des Volleyballspiels hat sich Voigt (2006) sehr differenziert auseinandergesetzt. Unter Koordination im Volleyball versteht er die Fähigkeit, „Präzisionsanforderungen nach schnellen Konfigurationsänderungen von Spielsituationen/Diagnosemerkmalen in Abstimmung mit Handlungsantrieben“ zu bewältigen (Voigt, 2006, S. 41). Um ihre volleyballspezifischen Fertigkeiten daher gezielt und sinnvoll einsetzen zu können, müssen die Spieler neben ganzheitlichem und scharfem Sehen (für die Erfassung kompletter Spielsituationen und einzelner Details) auch Blicksprünge und Tiefensehen, also die räumliche Orientierung in Bezug zu Ball und Gegner trainieren. Des Weiteren ist die Ausbildung eines ständigen visuellen Umschaltens mit Perspektiv- und Dimensionswechselln unter Zeitdruck wichtig. Aufgrund der Bedeutung der Koordination als Bewegungspräzision unter Zeitdruck eignet sich für das Sportspiel Volleyball die genauere Darlegung der koordinativen Fähigkeiten nach dem in Punkt 1.1.2.2 dargestellten Modell von Neumaier, Mechling und Strauss (2009). In Bezug auf die hier klassifizierten Druckbedingungen ergibt sich im Volleyball folgendes Bild: Der Volleyballspieler agiert in offenen Handlungssituationen wegen der hohen Bewegungs- und

Ballfluggeschwindigkeiten, der kleinen Handlungsräume und der Zielpräzisionsanforderungen bei Ballkontakt und Zuspiel unter extremem Präzisions- und Zeitdruck. Ein hoher Komplexitäts- und Situationsdruck ergibt sich durch die kurzen, schnell wechselnden Spielsequenzen mit den raschen Bewegungsfolgen aller Spieler, während der Variabilitätsdruck hauptsächlich aus dem kurzzeitigen Abruf taktischer Handlungsalternativen in Abwehr und Angriff resultiert. Weitere koordinative Kompetenzen wie exaktes Timing und Antizipation, die beim Volleyball zumeist im Komplex gefordert werden und ebenfalls durch einen sehr hohen Wahrnehmungsanteil bestimmt werden, sind in die gängigen Strukturschemata noch unzureichend eingeordnet, besitzen jedoch für die erfolgreiche Durchführung von Spielzügen eine hohe volleyballspezifische Relevanz (Voigt, 2006). Wichmann, Hohmann und Seidel (2004) konnten beispielsweise bei einer Untersuchung von Volleyballerinnen verschiedener Alters- und Leistungsklassen hinsichtlich ihrer Entscheidungsschnelligkeit in verschiedenen Spielsituationen feststellen, dass sich bei jugendlichen Spielerinnen zwischen 10 und 16 Jahren die Entscheidungsschnelligkeit mit zunehmendem Alter vergrößert und die Spielerinnen höherer Klassen bei gleichem Alter bessere Ergebnisse erzielen konnten. Bereits 1998 wiesen Pesce-Anzeneder und Bösel nach, dass Volleyballer in der Lage sind, schneller und flexibler auf Reize außerhalb und innerhalb des Spielfeldes reagieren als eine Vergleichsgruppe, da die Spieler in der Lage sind, unter Zeitdruck effektiver zwischen verschiedenen Aufmerksamkeitsrichtungen hin und her zu wechseln. Volleyballer weisen demnach schnellere Reaktionszeiten und eine höhere aufmerksamkeitsbedingte Hirnaktivität auf als Nichtsportler. Aktuelle Studien zum Volleyball beschäftigen sich beispielsweise auf psychologischer Ebene mit teambildenden Maßnahmen zur Verstärkung des Mannschaftsgefüges (Callanary & Durand-Bush, 2008). In trainingswissenschaftlicher Hinsicht untersuchte Busko (2009) die Veränderungen des Verhältnisses von Kraft und Schnelligkeit von Volleyballspielern im Verlauf eines Trainings- und Wettkampjahres.

1.1.3.2.3 Mittel- und Langstreckenlauf

Als Mittelstreckenläufe werden in der Leichtathletik Läufe mit Streckenlängen zwischen 800m und 3000m (einschließlich des 3000m-Hindernislaufes) bezeichnet, wobei die kürzeste Mittelstrecke, also der 800m-Lauf aus trainingsmethodischen

Gesichtspunkten teilweise noch als lange Sprintstrecke angesehen wird. Die Langstrecke beginnt bei 5000m und schließt Straßenläufe bis zu 100km Länge ein (Jonath, Krempel, Haag, & Müller, 1995). Im Breiten- und Gesundheitssport hat sich das „Laufen“ oder „Joggen“ während der letzten Jahre und Jahrzehnte zu einer der am häufigsten ausgeübten sogenannten „Volkssportarten“ entwickelt, in zahlreichen Studien wurde die gesundheitsfördernde Wirkung im physiologischen und psychologischen Bereich nachgewiesen (z.B. Lange, 1991; Muster & Zielinski, 2006; Sachs & Buffone, 1984).

„Laufen“ kann allgemein als eine mehrmalige Wiederholung einer zyklischen Bewegungsabfolge ohne zwischengeschaltete Pausen beschrieben werden. Zur genaueren Darstellung der Laufbewegung hat sich das Vier-Phasenmodell mit vorderer und hinterer Stütz- und Schwungphase von Bauersfeld und Schröter (1998) durchgesetzt. Als notwendige Leistungsvoraussetzungen für erfolgreiche Mittel- und Langstreckenläufer gelten ein stabiles athletisches Grundpotential, Grundlagenausdauer, Schnelligkeit, Kraft und Kraftausdauer, eine gut ausgebildete Lauftechnik und die Entwicklung allgemeiner und disziplinspezifischer Willensqualitäten. Im Leistungs- und Hochleistungssportbereich ist es das Ziel, diese Leistungsvoraussetzungen innerhalb eines hohen psycho-physischen Gesamtniveaus möglichst optimal auszubilden (Joch, 1992). Als limitierend für Höchstleistungen im Bereich der Mittel- und Langstrecken gelten spezifische aerobe und anaerobe Ausdauerfähigkeiten, eine ökonomische Lauftechnik, psychische Steuerungseigenschaften und (auf den Mittelstrecken) spezielle Schnelligkeitsfähigkeiten. Die letztendliche Leistung der Läufer wird also weitgehend durch die Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems und durch Stoffwechselprozesse im Muskel bestimmt (Jonath, Krempel, Haag, & Müller, 1995), wobei „eine hohe cardiocirculatorische Leistungsfähigkeit [...] nicht zwangsläufig mit einer gleich hohen metabolischen Leistungsfähigkeit einhergehen“ muss (Kindermann, 1981), da abhängig von Umfang, Intensität und Dauer des Trainings auf die einzelnen Teilbereiche des Organismus qualitativ und quantitativ unterschiedlich starke Reize ausgeübt werden können.

Bei Mittelstrecken steht die Entwicklung der Kurz- und Mittelzeitausdauerfähigkeit im Vordergrund. Im Teilbereich der Kurzzeitausdauer (KZA) müssen Geschwindigkeiten submaximaler Intensität möglichst lange aufrechterhalten und für Zwischen- und Endspurt noch gesteigert werden können, wobei die benötigte Energie hier vor allem

durch anaerobe Stoffwechselprozesse bereitgestellt wird. Bei Leistungen im Bereich der Mittelzeitausdauer (MZA) muss die aufgewendete Energie mindestens bis zur Hälfte der Strecke durch aerobe Stoffwechselprozesse abgedeckt werden. Auf der Langstrecke erfolgt eine weitere Untergliederung in vier Formen der Langzeitausdauer (LZA 1 - 4) (siehe Punkt 1.1.2.1), wobei jedoch in allen genannten Ausdauerbereichen die Energiebereitstellung durch den Kohlehydrat- und Fettstoffwechsel zur Verfügung gestellt wird (Bauersfeld & Schröter, 1998). Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Beanspruchung der Funktionssysteme bei Mittel- und Langstreckenläufen.

Tabelle 3: Beanspruchung der Funktionssysteme bei Laufwettkämpfen im Belastungsbereich von Kurz-, Mittel- und Langzeitausdauer (nach Hottenrott & Neumann, 2010, S. 41).

	KZA	MZA	LZA 1	LZA 2	LZA 3	LZA 4
	35s-2min	2-10min	10-30min	30-90min	90-360 min	>360min
Herzfrequenz	95-100	95-100	90-95	85-93	70-90	55-75
(% HF max)						
Sauerstoffaufnahme	95-100	97-100	88-96	85-93	60-85	50-65
(% VO ₂ max)						
Energiegewinnung						
% aerob	47-60	70-80	75-80	85-90	97-99	99
% anaerob	53-40	20-30	20-25	10-15	1-3	(1)
Energieverbrauch*						
kcal/min	59	45	34-38	24-27	18-23	14-17
kcal gesamt	50-100	100-350	400-800	850- 2200	3100- 6480	6800- 12000
Laktat (mmol/l)	18-25	16-22	8-14	8-12	1-3	1-2

* abhängig vom Körpergewicht

Hauptaufgabe im koordinativen und technischen Bereich ist die Ausbildung einer ökonomischen und rationellen Lauftechnik mit kräftesparenden Bewegungen, um eine Fortbewegung mit möglichst hoher Geschwindigkeit bei kleinstmöglichem Energieverbrauch zu realisieren und einer frühzeitigen Ermüdung entgegen zu wirken (Jonath, Krempel, Haag, & Müller, 1995; Simon & Kramer, 2004). Grundlegend gut ausgebildete allgemeine koordinative Fähigkeiten erhöhen den Wirkungsgrad der Bewegungsausführung, tragen zu deren Stabilisierung bei und

erweisen sich bei der situationsadäquaten Anwendung der individuellen Technik in Wettkampf und Training als sinnvoll (Hottenrott & Neumann, 2010). Eine Verfeinerung spezifischer koordinativer Fähigkeiten spielt im Mittel- und Langstreckenlauf nur eine untergeordnete Rolle, da die hauptsächlich zyklische und vorwärts ausgeführte Laufbewegung auf ebenem Untergrund (mit Ausnahme von Crosslauf und Straßenläufen) keine Drehungen um die Körperbreiten- und Tiefenachse und nur geringfügige und kontrollierte Drehungen um die Körperlängsachse für Richtungsänderungen beinhaltet. Ein gewisses Maß an Orientierungs- und Umstellungsfähigkeit in Bezug auf Gegner und Positionierung im Feld erscheint sinnvoll, eine spezielle Ausbildung räumlicher Fähigkeiten erfolgt jedoch nicht, da der Schwerpunkt aufgrund des Anforderungsprofils im Training definitiv im konditionellen Bereich anzusiedeln ist.

Aktuelle Forschungsfragen beschäftigen sich mit mentaler Stärke und Bewältigungsstrategien bei Ultradistanzläufen (Crust, Nesti, & Bond, 2010) sowie dem Sinn des Absolvierens von Ultradistanzläufen im Hinblick auf ihre gesundheitliche Wirkung im Amateursport (Nowak, 2011). Im sportphysiologischen Bereich untersuchten Wiest, Diefenthaler, Bolli Mota und Carpes (2011) die Stabilität der Körperhaltung nach anstrengenden Ausdauereinheiten im Lauf- und Radsportbereich, während sich Keller, Vollaard, Gustafsson, Gallagher, Sundberg, et al. (2011) mit den Auswirkungen von Ausdauertraining auf den Phänotyp von Skelettmuskeln auseinandersetzten. Mooren und Stein (2011) gingen der Frage nach, ob Marathonlaufen dem gastrointestinalen System schadet. Aus Sicht der Trainingswissenschaft untersuchten Oliveira, Tibanaa, Aguiara, Oliveira, Barros et al. (2011) die positiven Effekte hochintensiver Trainingsreize in Form von Intervalltraining auf gleichmäßiges Lauftraining an der Atemschwelle.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass sich die fähigkeitsorientierte Betrachtungsweise der sportwissenschaftlichen Motorikforschung als ein etabliertes, wenn auch nicht völlig widerspruchsfreies Mittel zur Darstellung des motorischen Systems erweist. Während die grundlegende Unterteilung in motorische Fähigkeiten und Fertigkeiten je nach Offenheit bzw. Geschlossenheit einer Bewegung und ihres Transferpotentials sowie unter Berücksichtigung des Ausmaßes der Bewegungsspezifität in der Literatur relativ einheitlich dargestellt wird, zeigen sich bei der Gliederung der motorischen Fähigkeiten in konditionelle und koordinative Fähigkeiten häufig

Schwierigkeiten bei der eindeutigen Zuordnung einzelner Teilbereiche (z. B. Schnelligkeit und Beweglichkeit) zu den jeweiligen Fähigkeitskomplexen. Auch bei der Definition und Verwendung der Begrifflichkeiten in einzelnen Unterkategorien (z. B. „Kraftausdauer“ bzw. „Ausdauerkraft“) liegen in der aktuellen Literatur unterschiedliche Meinungen vor. Obwohl in der Praxis bei sportlichen Bewegungen in der Regel keine Reinformen der genannten konditionellen und koordinativen Fähigkeiten, sondern meist Mischformen auftreten, erscheint die dargestellte Unterteilung im Sinne einer überblicksorientierten Kategorisierung dennoch sinnvoll. Die sportmotorischen Fähigkeiten finden ihre Ausprägung in unterschiedlichen sportlichen Fertigkeiten, die je nach Sportart verschiedene Schwerpunktsetzungen erfahren.

1.2 Grundlagen der Kognition

Im folgenden Abschnitt werden grundlegende Fakten zur Kognition und zu den räumlich-kognitiven Fähigkeiten erläutert, um die in Punkt 3 genauer betrachtete räumlich-kognitive Fähigkeit der mentalen Rotation zunächst in einen größeren Kontext einzubetten.

1.2.1 Facetten der Kognition

Psychologisch gesehen versteht man unter Kognition „the collection of mental processes and activities used in perceiving, learning, remembering, thinking, and understanding, and the act of using those processes“ (Ashcraft, 1998, S. 5). Für Gerrig und Zimbardo (2008, S. 276) ist Kognition „ein allgemeiner Begriff für alle Formen des Wissens“ und beinhaltet die Teilbereiche Intelligenz, Sprache, Denken und Problemlösen, Gedächtnis, Aufmerksamkeit und Wahrnehmung. Darin involviert sind beispielsweise Prozesse der Erkenntnis, Schlussfolgerung und Urteilsbildung, sowie der Erinnerung, des Lernens, der Rationalität und des Abstraktionsvermögens. Dabei unterscheiden Birbaumer und Schmidt (2006) zwischen kognitiven Inhalten (wie z. B. Fakten und Gedächtnisinhalten) und kognitiven Funktionen, die alle Vorgänge (bewusste und unbewusste) einschließen, die bei der Verarbeitung interner und externer Funktionen ablaufen (z. B. Vergleich und Verteilung von

Informationen, Kodierung und Problemlösen). Da der Teilaspekt der Wahrnehmung im Vergleich zu den anderen genannten Bereichen der kognitiven Psychologie für diese Arbeit von besonderer Bedeutung ist, wird er im Folgenden kurz genauer erläutert.

Unter Wahrnehmung versteht man „the acquisition and processing of sensory information in order to see, hear, taste or feel objects in the world“ (Sekuler & Blake, 2002, S. 621). Von Wahrnehmung wird bei genauer Betrachtung erst dann gesprochen, wenn die über die Sensorik aufgenommenen Reize bestimmte informationsverarbeitende Prozesse durchlaufen haben (Reiter, 2007). Wahrnehmungsorganisation beinhaltet demnach alle Abläufe, die sensorische Informationen integrieren, um Wahrnehmung erst zu ermöglichen. Dabei ist Wahrnehmung grundsätzlich als eine Eigenschaft des Menschen zu betrachten, die sich ausschließlich im Inneren abspielt, während im Gegensatz dazu Bewegungen von außen beobachtbar sind. Dabei gilt, dass Bewegungen als Reaktion auf wahrgenommene Informationen umso genauer und angepasster sind, je korrekter die Erfassung der Situation erfolgt ist (Balgo, 1998). Die Wahrnehmung der Bewegung von Objekten wird auf der Retina durch die Verschiebung eines Netzhautabbildes des sich bewegenden Objekts registriert, wobei das visuelle System erst durch die Extrahierung von Verhältnisvarianzen aus dem optischen Fluss die Bewegung von Objekten im dreidimensionalen Raum einordnen kann. Die erfolgreiche Klassifizierung als Bewegung durch den Wahrnehmungsapparat wird sowohl von der Betrachtungsdauer als auch von der Bewegungsgeschwindigkeit des betrachteten Objekts bestimmt. Dabei werden zwei Formen der Bewegungswahrnehmung unterschieden. Während sich der Betrachter bei Bewegungen des gesamten Gesichtsfeldes entweder selbst fortbewegt oder den Kopf dreht, werden bei lokalen Bewegungen innerhalb des Gesichtsfeldes Objektbewegungen, die Bewegung andere Personen oder der eigenen Gliedmaßen beobachtet (Johanson, 1986).

Obwohl bei der Kontrolle und Steuerung von Bewegungen nach Rockmann-Rüger (1991) die visuelle Wahrnehmung im Vordergrund steht, unterscheidet sich die Wahrnehmung der Eigenmotorik durch ihren stets multisensorischen Charakter klar von der rein visuellen Wahrnehmung bewegter Objekte. Hier müssen beispielsweise neben einer gezielten Steuerung des Aufmerksamkeitsfokus einzelne nacheinander ablaufende Bilder miteinander verglichen werden, wobei die Interpretation des zweidimensionalen Bildes der Netzhaut zu einem dreidimensionalen Endbild

aufgrund von Tiefenkriterien sowie durch die Erfahrung des Beobachters erfolgt (Gerrig & Zimbardo, 2008). Neben der Wahrnehmung von Objektbewegungen in der Außenwelt, die ebenfalls eine für jede sportliche Aktivität unverzichtbare Leistung ist, liefert die „Bewegung auf unserer Netzhaut [...] darüber hinaus Informationen über unsere eigene Bewegung und ergänzt in dieser Funktion das vestibuläre und propriozeptive System“ (Haarmeier, 2006). Während die vestibuläre Informationsaufnahme dabei hauptsächlich bei Bewegungsformen im Vordergrund steht, bei denen die Orientierung im Raum und die Erhaltung des eigenen Gleichgewichts gefordert wird, registriert das kinästhetische und propriozeptive System Bewegungsrichtung und –geschwindigkeit des Körpers und einzelner Körperteile sowie Winkelstellungen von Gelenken und Kräfte, die zur Einnahme und zum Erhalten verschiedener Positionen notwendig sind (Birklbauer, 2006; Zimmermann, 1987). Abbildung 6 gibt einen Überblick über den Ablauf der Prozesse der propriozeptiven Wahrnehmung:

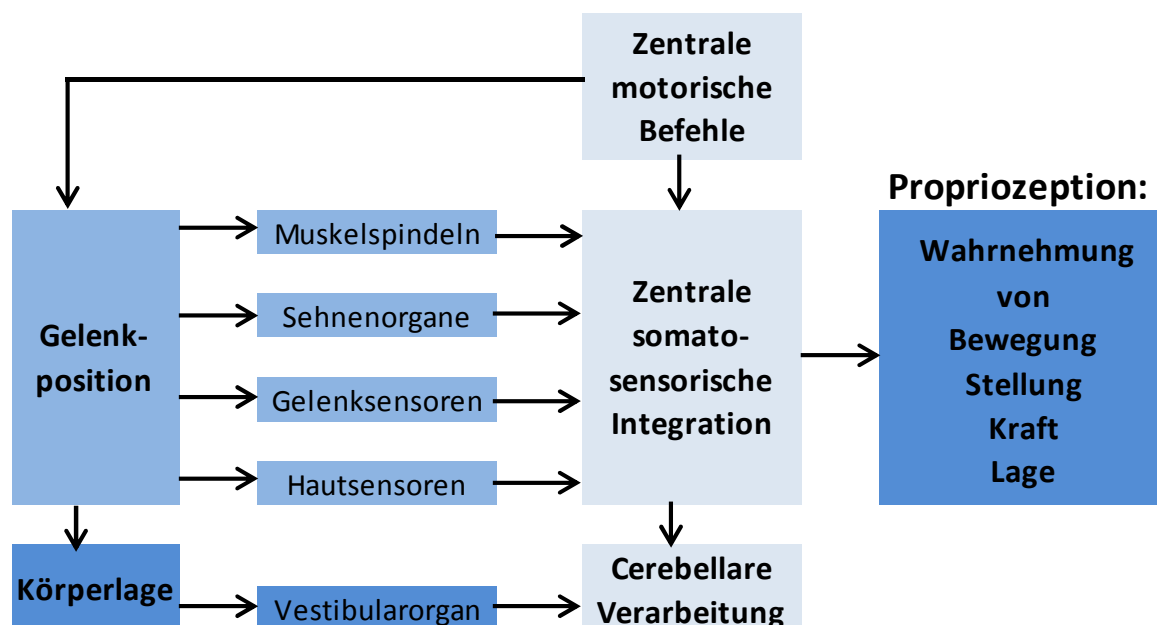


Abbildung 6: Überblick über den Ablauf der bei propriozeptiver Wahrnehmung auftretenden Prozesse (nach Zimmermann, 1987, S. 218).

Diese bewusste Wahrnehmung bewegungsrelevanter Informationen ermöglicht eine beeinflussbare Bewegungskontrolle, bei der in der Literatur häufig zwischen Open-Loop (feststehende Abfolge von motorischen Kommandos ohne Einfluss von Rückmeldungen) und Closed-Loop-Steuerung (Bewegungsregelung mit Feedback

und Ist-Sollwert-Vergleich) unterschieden wird. Während die motorische Kontrolle dabei hauptsächlich von zentralnervösen Anweisungen abhängt, benutzt die motorische Regelung die kontinuierlich eintreffenden Informationen sensorischer Rückmeldungen (Wollny, 2007).

Dabei ist die Wahrnehmung von eigenen Bewegungen nicht nur das Ergebnis automatisierter, häufig unbewusst ablaufender Prozesse, auch die Vorerfahrung spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Dies gilt nicht nur für Alltagsbewegungen, auch die Ausführung koordinativ anspruchsvoller sportmotorischer Fertigkeiten hängt von der Wahrnehmungsfähigkeit des Athleten und der Herstellung der richtigen Zusammenhänge zwischen eigener Handlung und wahrgenommenen Fakten ab (Goldstein, 2011). Bardy und Laurent (1998) untersuchten in diesem Zusammenhang, welche Auswirkung offene und geschlossene Augen auf die Qualität der Ausführung einer Saltobewegung haben. Sie fanden heraus, dass im Gegensatz zu Neulingen im Turnbereich, Experten in der Lage waren, bei offenen Augen noch während der nur 600 Millisekunden dauernden Saltobewegung Korrekturen auszuführen, was bei geschlossenen Augen nicht der Fall war. Die Experten haben also gelernt, sogar bei extrem komplizierten und schnell ablaufenden Techniken ihre Körperteilbewegungen aufgrund ihrer Wahrnehmung so zu koordinieren, dass sie genau auf die eingehenden perzeptuellen Informationen abgestimmt sind (Goldstein, 2011).

1.2.2 Räumlich-kognitive Fähigkeiten

Zur besseren Einordnung der mentalen Rotationsfähigkeit wird zunächst eine allgemeine Einführung in das Konstrukt der räumlich-kognitiven Fähigkeiten gegeben. Grundsätzlich kann unter räumlichen Fähigkeiten mentales Operieren im Raum mit unterschiedlichen Objekten verstanden werden (Pinkernell, 2002). Rost (1977, S. 121) spricht von räumlichem Vorstellungsvermögen als der „Fähigkeit, sich in zwei- und dreidimensionalen Strukturen (gedanklich) zu bewegen“. In der wissenschaftlichen Literatur wird der Komplex der räumlich-kognitiven Fähigkeiten häufig genauer definiert als die kognitive Leistung, die es ermöglicht, visuelle Bilder und symbolische Informationen zu generieren, zu speichern, abzurufen und zu transformieren (Linn & Petersen, 1985).

Die räumliche kognitiven Fähigkeiten sollten dabei jedoch nie isoliert betrachtet werden, da sie als eine wichtige und grundlegende Voraussetzung für die Fähigkeit zur Problemlösung (Geary, Saults, Liu, & Hoard, 2000), die Fähigkeit zu wissenschaftlichem Denken (Peters, Chisholm, & Laeng, 1995) sowie für die Entwicklung mathematischen Fähigkeiten (Hegarty & Kozhevnikov, 1999; Hegarty & Wallner, 2005) gelten und somit einen entscheidenden Beitrag für die erfolgreiche Bewältigung einer Vielzahl schulischer und beruflicher Anforderungen (Souvignier, 2000) darstellen. So fanden Aufgaben zu verschiedenen räumlichen Fähigkeiten auch Eingang in allgemeine Intelligenztests, wie den Wechsler-Intelligenz-Test für Erwachsene (WISC) von Wechsler (1956). Außerdem spielt eine gute Ausbildung der räumlich-kognitiven Fähigkeiten nicht nur im wissenschaftlichen Bereich, sondern auch im Alltag und bei sportlicher Bewegung eine bedeutende Rolle. Bei vielen Sportarten muss die Stellung des eigenen Körpers im Raum bei komplizierten technischen Bewegungen, die Position des Gegners oder Mitspielers sowie die Lage oder Bewegung bestimmter Hilfsmittel oder Spielgegenstände genau eingeschätzt werden können, um bestimmte Techniken oder Spielzüge erfolgreich durchführen zu können.

Ähnlich wie Lohman (1979) und McGee (1979) teilen Linn und Petersen (1985) in einer Metaanalyse die räumlich-kognitiven Fähigkeiten in drei Faktoren ein: räumliche Veranschaulichung (Spatial Visualisation), räumliche Orientierung (Spatial Perception) und mentale Rotation. Der Begriff „räumliche Veranschaulichung“ wird verwendet als „the label commonly associated with those spatial ability tasks that involve complicated, multistep manipulations of spatially presented information“ (Linn & Petersen, 1985, S. 1485). Während in Aufgaben zur räumlichen Veranschaulichung also die mehrschrittige Verarbeitung und Manipulation räumlicher Information notwendig ist, untersuchen Tests, die sich mit der räumlichen Orientierung beschäftigen, ob ein fundiertes Konzept von Vertikalität und Horizontalität vorliegt (Jansen & Pietsch, 2009). Für die räumliche Orientierungsfähigkeit gilt daher: „Subjects are required to determine spatial relationships with respect to the orientation of their own bodies, inspite of distracting information“ (Linn & Petersen, 1985, S. 1482). Klassische Aufgabe für die räumliche Veranschaulichung ist unter anderem laut Hegarty und Waller (2005) der Embedded Figur Test (Witkin, Oltman, Raskin, & Karp, 1971), bei dem in einem Suchbild eine geometrische Figur gefunden werden muss (siehe Abbildung 7, links). Die

Entwicklung der räumlichen Orientierungsfähigkeit kann beispielsweise mit der Wasserspiegel-Aufgabe von Piaget und Inhelder (1966) (Abbildung 7, rechts) oder dem Rod-and-Frame-Test (Witkin, Dyk, & Faterson, 1962) geprüft werden. Bei der Wasserspiegelaufgabe soll die Wasseroberfläche in ein gedreht abgebildetes Glasgefäß eingezeichnet werden, beim Rod-and-Frame-Test besteht die Aufgabe darin, eine Linie innerhalb eines gekippten Rahmens vertikal einzuzichnen.

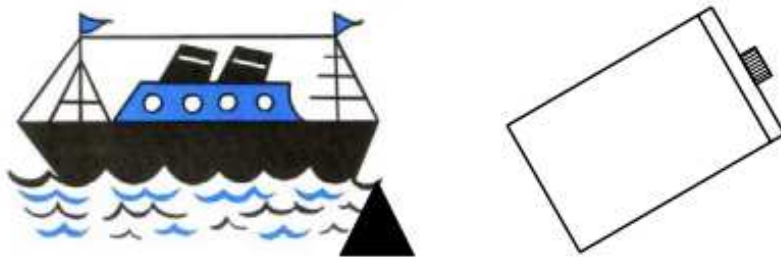


Abbildung 7: Aufgaben aus dem Embedded-Figure-Test (links) und dem Wasserspiegel-Test (rechts); (Lohaus, Schumann-Hengsteler, & Kessler; 1999).

Die mentale Rotationsfähigkeit scheint relativ unabhängig von den anderen räumlichen Fähigkeiten zu sein (z.B. Lohman, 1979; Wiedenbauer, 2006). Aufgrund dieser Tatsache und auch weil sie sich im Vergleich zu räumlicher Veranschaulichung und räumlicher Orientierung als klarer abgrenzbares Konstrukt erwiesen hat, gilt sie als die am häufigsten und besten untersuchte räumliche Fähigkeit. Aufgaben zur Erfassung der mentalen Rotationsfähigkeit beinhalten meist den Vergleich einer Standardfigur mit einer Zielfigur, die entweder gedreht oder gedreht und zusätzlich gespiegelt dargestellt wird (siehe Abbildung 8).



Abbildung 8: Aufgaben aus mentalen Rotationstests mit Tierfiguren (Jansen & Heil, 2010b) und Würfelfiguren (Wiedenbauer, 2006, S. 58).

Da die mentale Rotation Kernpunkt der in dieser Arbeit durchgeführten Experimente ist, wird diese räumliche Fähigkeit in Punkt 2 der Einführung noch ausführlicher dargestellt.

Laut Hegarty und Waller (2005) muss als weitere räumliche Fähigkeit das Verhalten im Umgebungsraum (Environmental oder Large-Scale Space) aufgeführt werden. Als Umgebungsraum wird dabei der Raum bezeichnet, der vom Beobachtungsstandpunkt des in den Raum integrierten Betrachters aus nicht vollständig eingesehen werden kann (siehe auch Quaiser-Pohl, Lehmann, & Eid, 2004). Die räumliche Repräsentation der Umgebung wird dabei nach und nach durch eine entsprechende Navigation aufgebaut. Da ein solches Verhalten im Umgebungsraum jedoch nicht mit Hilfe klassischer paper-pencil-Tests erfasst werden kann, wurde diese räumliche Fähigkeit bisher häufig vernachlässigt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die räumlichen Fähigkeiten die Prozesse der visuellen Wahrnehmung sowie des Analysierens und Vergleichens der mentalen Repräsentationen figuraler Darstellungen voraussetzen und beinhalten.

1.3 Zusammenhänge von Motorik und Kognition

Bereits die griechischen Philosophen stellten sich die Frage nach den Zusammenhängen von Motorik und Kognition. Dabei stand die Meinung, dass Körper und Geist voneinander getrennt zu sehen sind (Dualismus) der holistischen Sichtweise (Körper und Geist sind eine Einheit) gegenüber. Seit Piaget (1936) wird jedoch definitiv von einem Zusammenhang zwischen motorischen und kognitiven Fähigkeiten ausgegangen. Neue bildgebende Verfahren (fMRT) ermöglichen dabei seit einiger Zeit auch Einblicke in die Arbeitsweise des menschlichen Gehirns vor, während und nach körperlicher Aktivität (vgl. Hollmann, Strüder, & Tagarakis, 2003). Für eine grundlegende und ausführliche Beschreibung der Bewegungskontrolle durch das menschliche Gehirn sei an dieser Stelle auf das Lehrbuch von Bear, Connors & Paradiso (2009) verwiesen.

Die Forschungsergebnisse in Bezug auf den Zusammenhang zwischen motorischer und kognitiver Entwicklung ergeben bislang kein einheitliches Bild (Fleig, 2008). Einige Studien sprechen von positiven, jedoch nicht übermäßig hohen Korrelationen

(z. B. Ahnert, Bös, & Schneider, 2003), Kiphard und Schilling (1974) konnten bei ihrem Körperkoordinationstest (KTK) keine signifikanten Zusammenhänge nachweisen. Dabei wird jedoch von vielen Autoren angenommen, dass sich sowohl die Qualität als auch die Höhe des Zusammenhangs von motorischen und kognitiven Merkmalen im Verlauf der Entwicklung und des Alterungsprozesses mehrfach ändert (Ahnert, 2005; Schneider & Stefanek, 2004).

Im Folgenden wird ein Überblick der gewonnenen Ergebnisse hinsichtlich des Zusammenhangs motorischer und kognitiver Fähigkeiten im Allgemeinen und motorischer und visuell-räumlicher Fähigkeiten im Speziellen gegeben.

1.3.1 Zusammenhang von motorischen Fähigkeiten und allgemeinen kognitiven Fähigkeiten

Neben vielen Untersuchungen zum Einfluss von Bewegung auf die Reduzierung des Abbaus kognitiver Fähigkeiten im Alter (Colcombe, Kramer, McAuley, Erickson, & Scalf, 2004; Schäfer, Huxhold, & Lindenberger, 2006; Voelcker-Rehage & Alberts, 2007) gibt es auch verschiedenste Studien, die sich mit dem Einfluss von Bewegung auf die kognitiven Fähigkeiten von Kindern und Jugendlichen beschäftigen (Etnier, Nowell, Landers, & Sibley, 2006). Sie reichen von Korrelationsstudien (z.B. Graf et al., 2003), in welchen die Autoren eine positive Korrelation zwischen der Konzentrationsleistung und den gesamtkoordinativen Fähigkeiten zeigen konnten, bis hin zu experimentellen Studien zur Steigerung der Aufmerksamkeitsleistung von Schülern durch zusätzliche körperliche Aktivität (z.B. Dordel & Breithecker, 2003). Eindeutig nachgewiesen wurde der Zusammenhang zwischen kognitiver und motorischer Entwicklung bei Kleinkindern (Lange-Küttner & Chrichton, 1999; Smith, Thelen, Titzer, & McLin, 1999). Während frühere Studien auf diesem Gebiet oftmals methodische Mängel aufwiesen, so dass es nicht verwundert, dass in metaanalytischen Studien zunächst nur ein geringer Effekt eines Zusammenhanges zwischen motorischen und kognitiven Fähigkeiten festgestellt wurde (Kavale & Mattson, 1983), erbringt eine aktuellere Metaanalyse zum Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Kognitionsleistung zumindest bei Kindern eindeutig signifikant positive Ergebnisse (Sibley & Etnier, 2003). Einigkeit besteht auch darüber, dass dieser Zusammenhang im Verlauf der Kindheit geringer wird, wobei auch hier jedoch noch weitere Längsschnittstudien sinnvoll wären (Asendorpf &

Teubel, 2009). Auch Studien, die sich mit sportmotorischer Fitness und der Schulleistung auseinandersetzen, kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen (Dwyer, Sallis, Blizzard, Lazarus, & Dean, 2001; Lindner, 2002; Tremblay, Inman, & Willms, 2000). Die Ergebnisse im Erwachsenenalter sind ebenfalls nicht einheitlich, häufig lässt sich die Richtung des Zusammenhangs nicht eindeutig beantworten, d. h. die Frage, ob ein motorisches Training einen positiven Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit hat oder ob kognitiv fittere Personen einfach körperlich aktiver sind. Weitere Schwierigkeiten bei der Auswertung der Zusammenhänge zwischen Motorik und Kognition führen Burrmann und Stucke (2009) an:

Regelmäßige körperliche Aktivität scheint sich zwar positiv auf spezifische kognitive Funktionen (Koordination, Planung) und exekutive Gedächtnisleistungen auszuwirken, jedoch müssen weitere Variablen wie z. B. die Art der körperlichen Aktivität, der ursprüngliche Gesundheits- und Trainingszustand, gesundheitsriskante Verhaltensweisen (Alkohol, Rauchen) und sozialstrukturelle Merkmale (Alter, Geschlecht, Bildung) mit berücksichtigt und kontrolliert werden. (Burrmann & Stucke, 2009, S. 273)

Als erwiesen gilt, dass Funktionsstörungen im Bereich der motorischen Entwicklung mit Funktionsstörungen bei der kognitiven Entwicklung zusammenhängen können und umgekehrt. Spezielle Studien gibt es hier unter anderem zu den Krankheitsbildern Autismus (Leary, 1996), Hyperaktivität (ADHD) (Pitcher, Peik, & Hay, 2003) und Spina Bifida (Wiedenbauer & Jansen-Osmann, 2007). Wiedenbauer (2006) konnte beispielsweise belegen, dass Kinder mit Spina Bifida in den Bereichen räumliche Wahrnehmung, mentale Rotationsleistung und räumliches Arbeitsgedächtnisleistung schlechter abschneiden als motorisch normal begabte Kinder.

In neueren Arbeiten konzentriert man sich vor allem auf den Einfluss eines motorischen Trainings auf die sog. kognitiven Kontrollprozesse, die exekutiven Funktionen. Hillmann, Castelli und Buck (2005) konnten zeigen, dass physische Aktivität die exekutiven Funktionen sowohl von Kindern als auch von Erwachsenen steigert. Im Vorschulalter führt ein zusätzliches tägliches Bewegungsangebot zu signifikant größeren Zuwächsen in Motoriktests und bei Intelligenzleistungen (Zimmer, 1996). Verschiedene Studien mit Versuchspersonen im Schulalter kommen zu dem Ergebnis, dass eine größere Bewegungszeit positive Auswirkungen auf das

Aufmerksamkeitsverhalten der Schüler hat (Müller & Petzold, 2006; Wamser & Leyk, 2003). Eine Metaanalyse von Colcombe und Kramer (2003) zeigt, dass aerobe Trainingsprogramme auch bei älteren Menschen zwischen 55 und 80 Jahren einen positiven Einfluss auf die exekutiven Kontrollprozesse (Arbeitsgedächtnis, Inhibition und Aufmerksamkeitsprozesse) haben.

Grundsätzlich muss bei der Betrachtung aller Studien, die den Einfluss körperlicher Belastung auf die Kognitionsleistung untersuchen, darauf geachtet werden, ob die Intervention im konditionellen oder im koordinativen Bereich erfolgt und welche Trainingsintensitäten, -umfänge und -häufigkeiten gewählt wurden. Sehr häufig wird - wohl auch aufgrund der relativ problemlosen Durchführbarkeit und im Allgemeinen nicht gesundheitsschädigenden Wirkung - eine aerobe Ausdauerbelastung gewählt. Grundsätzlich hat ein solches moderat durchgeführtes aerobes Training eine positive Wirkung auf die allgemeine physische Gesundheit und das physische und psychische Wohlbefinden während des ganzen Lebens (Colcombe & Kramer, 2003; Taras, 2005). Konkret löst ein regelmäßig absolviertes Ausdauertraining im gemäßigten Intensitätsbereich nachweislich physiologische Veränderungen wie eine verbesserte Blutversorgung im Gehirn (u. a. Ainslie, Cotter, George, Lucas, Murrell et al., 2008) aus, die mit kognitiver Leistungsfähigkeit in Verbindung gebracht werden (Sohn, Goode, Stenger, Jung, Carter et al., 2005; Vaymnan, Ying, & Gomez-Pinilla, 2004). Zu wenig Bewegung dagegen führt zu den häufigsten modernen Zivilisationskrankheiten wie Krebs, Herzinfarkt, Arthritis, Diabetes, Depressionen (Mensink, 2003). Verschiedene Studien weisen spezifisch eine positive Veränderung der Kognitionsleistung durch ein ausdauerorientiertes und kardiovaskuläres Fitnessstraining nach (Etnier, Nowell, Landers, & Sibley, 2006). Untersuchungen zur Beziehung von Alter, aerober Ausdauerfähigkeit und kognitiven Funktionsleistungen bei körperlich fitten und unfitten vorpubertären Kindern und Erwachsenen ergaben positive Zusammenhänge zwischen der körperlichen Leistungsfähigkeit und den Leistungen von Arbeitsgedächtnis und Aufmerksamkeitsfähigkeit sowie der Antwortgeschwindigkeit bei Kindern. Altersunabhängig zeigte sich auch eine signifikant höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit (Hillmann, Castelli, & Buck, 2005). Kirk, Voss, Prakash, Basak, Szabo, et al. (2010) untersuchten den Einfluss von aerobem Training auf das Volumen des Hippocampus im späten Erwachsenenalter und konnten dabei eine Verbesserung der Versuchspersonen beim Lösen räumlicher Erinnerungsaufgaben als Folge der Intervention feststellen. Steiner, Murphy,

McClellan, Carmichael und Davis (2011) wiesen nach, dass ein achtwöchiges Ausdauertraining bei Mäusen neben dem Wachstum der Mitochondrien in der Muskulatur, das sich nachweislich positiv auf die Ermüdungswiderstandsfähigkeit und das gesundheitliche Wohlbefinden auswirkt, auch ein Wachstum der Mitochondrien im Gehirn bedingt. Dies könnte eine bedeutende positive Auswirkung von Bewegung auf Erkrankungen des zentralen Nervensystems und altersbedingte Erkrankungen wie Demenz bedeuten. Auch eine maximale körperliche Ausbelastung hat nach Covassin, Weiss, Powell und Womack (2007) Einfluss auf die kognitiven Funktionen. Sie fanden im Anschluss an eine derartige Intervention signifikante Effekte im Bereich des verbalen Erinnerungsvermögens und des Kurzzeitgedächtnisses, jedoch keine sichtbaren Veränderungen des visuellen Erinnerungsvermögens, der Reaktionszeit und der Verarbeitungsgeschwindigkeit.

Weitere Studien beschäftigen sich mit dem Einfluss koordinativer sportlicher Interventionen auf kognitive Leistungen. So untersuchten Budde, Voelcker-Rehage, Pietraßyk-Kendziorra, Ribeiro und Tidow (2008) den Einfluss von koordinativem Training auf die Aufmerksamkeitsleistung von 13-16jährigen Jugendlichen. Die Jugendlichen, die einen im Vergleich zum normalen Sportunterricht koordinativ anspruchsvollen Sportunterricht absolvierten, erbrachten im Anschluss an die Intervention bessere Aufmerksamkeitsleistungen im d2-Konzentrationstest. Die Autoren folgern daraus, dass koordinatives Training zur Voraktivierung von Teilen des Gehirns führen könnte, die für kognitive Prozesse wie Aufmerksamkeit verantwortlich sind. Graf, Koch, Klippel, Büttner, Coburger et al. (2003) beschäftigten sich im sogenannten „CHILT-Projekt“ mit dem Zusammenhang von Gesamtkörperkoordination und Ausdauer mit der Leistungsfähigkeit bei Tätigkeiten, die eine hohe Konzentration erfordern. Während Ausdauerleistung und Konzentrationsfähigkeit nicht korrelierten, zeigte sich ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen Koordinations- und Konzentrationsleistung, der auf gemeinsame zerebrale Steuerungs- und Lernprozesse zurückgeführt werden könnte. Einen Nachweis, dass sich die anatomische Struktur des Gehirns von Erwachsenen in Gehirnarealen, die mit der Verarbeitung und Speicherung von komplexen visuellen Bewegungen in Verbindung gebracht werden, durch das Erlernen koordinativ anspruchsvoller Jongliertechniken positiv verändern lässt, erbrachten Harding, Paul und Mendl (2004).

Seit längerer Zeit wird auch ein funktioneller Zusammenhang zwischen motorischem Vorstellungsvermögen und reeller Bewegungsausführung vermutet. So fanden Decety und Michel (1989) identische räumlich-zeitliche Aktivierungscharakteristika bei realen und vorgestellten Bewegungen und beide Formen gehorchen den gleichen Gesetzen der Bewegungskontrolle. Decety (1992) zeigte, dass Muskelkraft durch imaginäres Training gesteigert werden kann und dass die automatische Aktivierung verschiedener Gehirnregionen umso größer wird, je höher die simulierte physische Anstrengung der Versuchspersonen während ihrer imaginären motorischen Aktionen ausfällt. Auch Munzert, Lorey und Zentgraf (2009) sind der Meinung, dass kognitive motorische Prozesse wie motorisches Vorstellungsvermögen und die Beobachtung realer Bewegungen dieselben Repräsentationen teilen wie die motorische Ausführung von Bewegungen. Mittels fMRI- und TMS-Daten konnte nachgewiesen werden, dass motorische Areale im Gehirn eine wichtige Rolle bei motorischer Vorstellung spielen. Während zwischen visuellem Vorstellungsvermögen und motorischen Fertigkeiten keine Beziehung existiert, wird der Zusammenhang zwischen motorischem Vorstellungsvermögen und motorischen Fertigkeiten mit steigendem Alter immer größer, da die Entwicklung vieler Bewegungsfertigkeiten von einem Set komplexer neurokognitiver Prozesse unterstützt wird, die sich mit dem Erwachsenwerden entwickeln und zum Teil von Erfahrung geprägt werden (Caeyenberghs, Tsoupas, Wilson, & Smits-Engelsmann, 2009). Gerade auf hohem sportlichem Niveau und bei koordinativ anspruchsvollen Bewegungen kann die Ausprägung des motorischen Vorstellungsvermögens eine entscheidende Rolle für eine erfolgreiche Bewegungsausführung spielen. Im Umkehrschluss kann zur Auswahl der optimalen Bewegungssequenz durch die Antizipation des Bewegungsergebnisses vor der Ausführung der Bewegung motorisches Vorstellungsvermögen in das Visualisierungstraining von Sportlern integriert werden (Wolpert, 1997; Katschmarsky, Cairney, Maruff, Wilson, & Currie, 2001).

1.3.2 Zusammenhang zwischen motorischen und visuell-räumlichen Fähigkeiten

Neben dem Einfluss der motorischen Fähigkeiten auf die allgemeinen kognitiven Fähigkeiten wird insbesondere ein Zusammenhang zwischen motorischen und räumlich-kognitiven Fähigkeiten vermutet. Dass ein solcher Zusammenhang besteht,

gilt in der Fachliteratur als unumstritten. So stellten beispielsweise Tlauka, Williams, Williamson (2008) bei einer Untersuchung der räumlichen Fähigkeiten von Sportstudenten und Studenten anderer Fakultäten eindeutig fest, dass die längerfristige Teilnahme an sportlichem Training und die räumlich-visuelle Begabung miteinander in Verbindung stehen.

In unterschiedlicher methodischer Herangehensweise wurde von der Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Jansen der Zusammenhang zwischen motorischen und visuell-räumlichen Fähigkeiten untersucht. So konnte in einer korrelativen Untersuchung nachgewiesen werden, dass Kinder im Alter von 4-5 Jahren, die in einem motorischen Leistungstest (MOT 4-6, Zimmer & Volkamer, 1987) gut abschnitten, auch entsprechend überdurchschnittliche Leistungen in ihrer mentalen Rotationsfähigkeit zeigten (Jansen & Heil, 2010b). Aufbauend auf diese Studie ergab ein Folgeexperiment, dass übergewichtige Kinder in beiden Tests generell schlechter abschnitten (Jansen, Schmelter, Kasten, & Heil, 2011). Erste experimentelle Arbeiten haben außerdem gezeigt, dass die mentale Rotationsleistung sich durch motorisches Training, in diesem Fall ein Training durch manuelle Rotation, verbessern lässt (Wiedenbauer, Schmid, & Jansen-Osmann, 2007; Wiedenbauer & Jansen-Osmann, 2008). Zudem wurde der Einfluss des Jonglierens auf die mentale Rotationsleistung sowohl bei Erwachsenen (Jansen, Titze, & Heil, 2009) als auch bei Kindern (Jansen, Lange, & Heil, 2011) untersucht, wobei eine signifikant höhere Leistungsverbesserung in der Jongliergruppe im Vergleich zu einer Kontrollgruppe sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern festgestellt werden konnte. Ergänzend zu diesen Jonglierstudien ist anzumerken, dass durch Jongliertraining eine erhöhte Plastizität im intraparietalen Sulcus erreicht werden kann (Draganski, Gaser, Busch, Schuierer, Boghdan et al., 2004), also genau in der Region des Gehirns, die während der Bearbeitung mentaler Rotationsaufgaben aktiv ist (Jordan, Heinze, Lutz, Kanowski, & Jäncke, 2001).

Lehning und Leplow (2001) beschäftigten sich speziell mit dem Einfluss von aktiver Lokomotion auf die räumliche Orientierungsfähigkeit und konnten nachweisen, dass Kinder, die ein Labyrinth selbstständig durchliefen Vorteile gegenüber den Kindern aufwiesen, die auf einem Stuhl sitzend, die Versuchsleiterin per Laserpointer durch das Labyrinth dirigierten. Betrachtet man den speziellen Fall einer Intervention im aeroben Ausdauerbereich, so ist die Studie von Stroth, Hiller, Spitzer, und Reinhardt

(2009) aufzuführen, die zeigten, dass ein aerobes Ausdauerprogramm (3 * 30 min pro Woche) über sechs Wochen die Leistung in einem visuell-räumlichen Gedächtnistest und einem Stimmungstest, nicht aber in einem verbalen Gedächtnistest und einem Konzentrationstest verbessert. Die Studie von Covassin, Weiss, Powell und Womack (2007) auf die Auswirkungen einer maximalen körperlichen Ausbelastung auf die kognitiven Funktionen (siehe 1.3.1) könnte einen Hinweis darauf geben, dass maximale konditionelle Belastungen keinen positiven Einfluss auf die räumlich-kognitiven Fähigkeiten haben.

Lust, Geuze, Wijers, & Wilson (2006) nutzten die mentale Simulation der Rotation von Händen, die aufgrund von Daten aus der Verhaltensforschung (Shepard, Metzler 1971) und der Neurologie (Jeannerod 1995, Parsons 2001) als reliable Möglichkeit zur Einschätzung des motorischen Vorstellungsvermögens gilt, um Defizite beim Generieren einer genauen inneren Repräsentation einer beabsichtigten Bewegung bei Kindern mit koordinativer Entwicklungsstörung (developmental coordination disorder) zu messen. Da solche internen Modelle der Bewegungsvorstellung im Gegensatz zu intern ablaufenden Bewegungsplänen offen für bewusste Wahrnehmung ist, kann durch die Untersuchung des motorischen Vorstellungsvermögens die Struktur von Bewegungsrepräsentationen untersucht werden (Jeannerod 1995). Gesunde Kinder antworteten bei diesem Test signifikant schneller und machten signifikant weniger Fehler, die rechte Hand wurde besser erkannt als die linke Hand. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass zur Lösung räumlich-visueller Aufgabenstellungen zum Teil motorisches Vorstellungsvermögen und nicht räumlich-visuelle Fähigkeiten verwendet werden, da die Testergebnisse für die kranken Kinder dieselben Einschränkungen bei imaginären und realen Bewegungen aufwiesen.

Genauere Zusammenhänge zwischen Motorik und mentaler Rotationsfähigkeit werden in den Punkten 2.2.5 und 2.3.3 dieser Arbeit erläutert.

2. Mentale Rotation

Nach der bislang erfolgten Darstellung der grundlegenden Zusammenhänge zwischen Motorik und Kognition wird in diesem Punkt genauer auf die mentale Rotationsfähigkeit als eine der räumlich-kognitiven Fähigkeiten eingegangen. Dabei wird zunächst eine umfassende Einführung in die Begrifflichkeiten gegeben, um anschließend das Paradigma der mentalen Rotation von verschiedenen Seiten zu beleuchten. Nach einer Auflistung der bisher untersuchten Möglichkeiten zum Training der mentalen Rotation schließt der Punkt mit einer Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstandes.

2.1 Grundlagen der mentalen Rotation

Die mentale Rotationsfähigkeit gilt nicht nur als wichtiger kognitiver Prozess für die Wahrnehmung des aktuellen Umfeldes und eine sichere Orientierung und Bewegung in der umgebenden Umwelt, sondern auch als Grundlage für eine breite Palette von kognitiven Anforderungen, für die eine Visualisierung und Transformation verschiedener Gegenstände nötig ist (Carroll, 1993). Beim Betrachten der Umwelt erscheinen Objekte oft in ungewöhnlichen, nicht der Normalpräsentation entsprechenden Perspektiven. Ein solches außergewöhnliches Wahrnehmungsbild kann mit Hilfe von mentaler Rotation so transformiert werden, dass es mit einer bekannten, im Gedächtnis gespeicherten Repräsentation des Objekts übereinstimmt (Lloyd-Jones & Luckhurst, 2002).

Zu den in diesem Punkt beschriebenen Grundlagen zählen neben einer eindeutigen Definition und Begriffsbestimmung der mentalen Rotationsfähigkeit die Erläuterung der ablaufenden Prozessschritte und Verarbeitungsstrategien sowie eine kurze Darstellung der kortikalen Aktivität während der mentalen Rotation.

2.1.1 Definition und Begriffsbestimmung

Die Bestimmung der mentalen Rotationsleistung gilt als eine der klassischen Aufgaben zur Erfassung des visuell-räumlichen Vorstellungsvermögens. Shepard und Metzler (1971) verstehen dabei unter mentaler Rotation die Fähigkeit der mentalen Repräsentation und Drehung von Objekten, wobei diese nach Linn und Petersen (1985) klar von den Fähigkeiten der räumlichen Veranschaulichung und räumlichen Orientierung abzugrenzen ist (siehe 1.2.2). Mentale Rotation ist für sie „the ability to rotate a two or three dimensional figure rapidly and accurately“ (Linn & Peterson, 1985, S. 1483). Anderson (2007, S. 468) definiert mentale Rotation als „die kontinuierliche Transformation der Ausrichtung eines mentalen Bildes“. Zur Erfassung der mentalen Rotationsleistung werden in der Regel zweidimensionale (Buchstaben, Zahlen, Tiere) oder dreidimensionale, meist aus mehreren Würfeln zusammengesetzte Figuren verwendet, die miteinander verglichen werden müssen. Zu den ersten und einflussreichsten Experimenten zählen die von Shepard und Metzler (1971), bei denen Versuchspersonen jeweils Paare dreidimensionaler aus zehn Würfeln bestehender Figuren präsentiert wurden (siehe Abbildung 9), wobei die zweite Figur jeweils identisch zur Ausgangsfigur oder als gespiegelte Version und entweder in der Bildebene oder in der Bildtiefe gedreht auftrat (Knauff, 1997). Erfasst wurden dabei jeweils die Reaktionszeit bis zur Entscheidungsfindung und die Anzahl der Fehler.

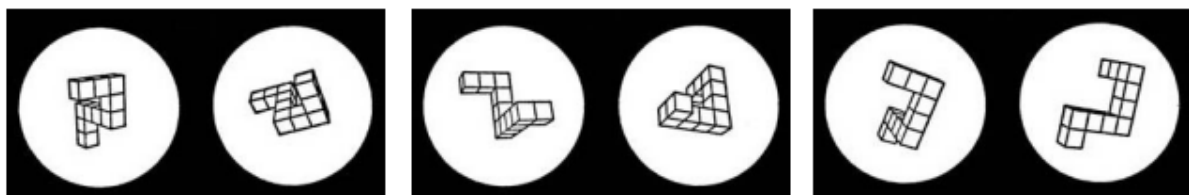


Abbildung 9: Würfelfiguren der Studie von Shepard und Metzler (1971). Die Figuren sind dabei entweder identisch und zeigen Unterschiede in der Bildebene (links), der Bildtiefe (Mitte) oder sie sind gespiegelt (rechts).

Einen beinahe linearen Zusammenhang zwischen Rotationswinkel und Reaktionszeit interpretierten Shepard und Metzler (1971) dahingehend, dass die imaginäre Rotation analog zu einer real durchgeführten Rotation erklärt werden kann. Dadurch treten Fragen auf, wie genau Personen diese Figuren vor ihrem geistigen Auge

rotieren lassen und wie dieser Prozess mit fundamentalen neurokognitiven Mechanismen erklärt werden kann (Peters & Battista, 2008).

Vandenberg und Kuse (1978) entwickelten aus den Figuren von Shepard und Metzler einen Paper-Pencil-Test, mit dem zumeist korrelative Untersuchungen mit größeren Versuchsgruppen durchgeführt werden können. Verschiedene Studien untersuchen beispielsweise mit Hilfe dieser oder ähnliche Tests Zusammenhänge zwischen der mentalen Rotationsleistung und mathematischen bzw. naturwissenschaftlichen Interessen (Casey, Nuttall, & Pezaris, 1997; Geary, Gilger, & Elliott-Miller, 1992; Peters, Lehmann, Takahira, Takeuchi, & Jordan, 2006) sowie bestimmten Berufsfeldern, wie zum Beispiel der Chirurgie (Anastakis, Hamstra, & Matsumoto, 2000; Brandt & Davies, 2006; Hedmann, Strom, Andersson, Kjellin, Wredmark et al. 2006). Nicht zuletzt gilt dieser Test als Prototyp für die Erfassung geschlechtsspezifischer Unterschiede des räumlichen Vorstellungsvermögens (Peters, 2008); eine Vielzahl von Studien (z.B. Quaiser-Pohl & Lehmann, 2002; Peters et al., 2006; Voyer, Voyer, & Bryden, 1995; Yang, Hooven, Boynes, Gray, & Pope, 2007) beschäftigt sich mit den möglichen Ursachen dieses Phänomens (siehe 2.2.2).

2.1.2 Prozessschritte der mentalen Rotation

Anhand der proportional linear zur Winkelgröße ansteigenden Reaktionsgeschwindigkeit nahmen Cooper und Shepard (1982) an, dass die Versuchspersonen bei ihren Experimenten die Figuren tatsächlich „mental rotiert“ hatten, um zu ihrer Entscheidung zu gelangen. Da ein solcher Ablauf die räumliche Drehung einer der beiden Figuren und einen Vergleich der beiden Stimuli voraussetzt, ging man davon aus, dass die mentale Rotation die internale Abbildung einer realen externalen Repräsentation darstellt. Aufgrund dieser Tatsache kamen sie zu der Ansicht, dass bei der Bearbeitung mentaler Rotationsaufgaben vier aufeinanderfolgende Prozesse ablaufen: Stimuluskodierung, mentale Rotation, Vergleich der Objekte und motorische Reaktion. Auch Heil (2002) spricht von einer Informationsübertragung bei folgenden nacheinander ausgeführten Prozessen: Wahrnehmungsvorarbeiten, Identifikation des Objekts und Identifizierung der Orientierung, Prozess der mentalen Rotation, Beurteilung der Gleichheit der Objekte, Auswahl und Ausführung der Antwort. Heil und Rolke (2002) konnten diesen

sequentiellen Ablauf mit Hilfe einer elektrophysiologischen Studie bestätigen. Während des Abschnitts der mentalen Rotation wird dabei das visuelle Bild des Objekts so lange gedreht, bis es zu einem bekannten oder gespeicherten Bild oder zum Zielobjekt passt (Cohen, Kosslyn, Breiter, & DiGeiolo, 1996; Gogos, Gavrilescu, Davison, Searle, Adams et al., 2010; Podzebenko, Egan, & Watson, 2002). Nach Booth, MacWhinney, Thulborn, Sacco, Voyvodic et al. (2001) muss im Anschluss an die mentale Drehung des Objekts noch dessen Speicherung im Arbeitsgedächtnis beachtet werden. Dieses Modell der zeitlich getrennten und nacheinander ablaufenden Prozesse wurde in der Literatur verstärkt diskutiert (Farah, 1995; Heil, Rauch, & Henninghausen, 1998; Kosslyn, Maljkovic, Hamilton, Horowitz, & Thompson, 1995). Ruthruff und Miller (1995) untersuchten, ob mentale Rotation beginnen kann, bevor der Wahrnehmungsprozess beendet ist. Sie fanden heraus, dass die Summe der Reaktionszeiten für die Identifikation des Objekts und die Identifikation der Orientierung die Gesamtreaktionszeit bei mentaler Rotation übersteigt, so dass sie vermuten, dass der Prozess der mentalen Rotation beginnt, bevor die Objektidentifikation abgeschlossen ist. Band und Miller (1997, S. 319) sprechen sich dafür aus, dass „apparently, some response preparation occurs before mental rotation finishes, but rotation interferes with response preparation“.

2.1.3 Holistische und analytische Verarbeitungsstrategien

Der Ablauf des oben genannten Teilprozesses der eigentlichen mentalen Rotation bedarf im Hinblick auf seinen detaillierten Ablauf einer genaueren Betrachtung. Generell werden zwei Klassen von mentalen Rotationsstrategien identifiziert (Robert & Cevriert, 2003). Während bei der holistischen Rotation der Stimulus als Ganzes rotiert wird, wird bei der analytischen Strategie das zu drehende Objekt in Teile zerlegt, die dann einzeln rotiert werden. Dabei beschreiben Versuchspersonen folgende Vorgehensweisen: bei der holistischen Rotation wird entweder das Objekt gedreht oder die Person dreht sich in ihrer Vorstellung selbst um das Objekt; bei der analytischen Rotation wird nach einer Schlüsselfigur am Objekt gesucht und diese anschließend am Zielobjekt überprüft. Eine dritte Gruppe innerhalb der Versuchspersonen gab an, keine dieser beiden Strategien verwendet zu haben, sondern das Ergebnis „einfach gewusst“ oder nicht gewusst und daher geraten zu haben (Robert & Cevriert, 2003).

Für die holistische Verarbeitung, also eine ganzheitliche Drehung eines mentalen Abbildes des zu drehenden Objekts, sprechen mehrere Studien. Cooper und Shepard äußern sich folgendermaßen dazu:

Mental rotation is an analog process with a serial structure bearing a one-to-one-relationship to the corresponding physical rotation. The time required (mentally) to rotate from an orientation A to an orientation C is just the sum of the times required to rotate from A to some intermediate orientation B, and to rotate from B to C. (Cooper & Shepard, 1982, S. 118)

Dagegen lieferten Yuille und Steiger (1982) und Pylyshyn (1979) mit ihren Experimenten Argumente für eine analytische Verarbeitungsstrategie. Bei Pylyshyn (1979) mussten die Versuchspersonen entscheiden, ob ein Teilstimulus, der in einem anderen Rotationswinkel präsentiert wurde als das Originalobjekt, wirklich einen Teil des Originalobjekts darstellt oder davon abweicht. Die gemessenen Reaktionszeiten waren dabei deutlich schneller, wenn das Teilstück mit einem Bereich des Originalobjekts übereinstimmt, was auf eine stückweise Verarbeitung der einzelnen Stimuli hinweist. Yuille und Steiger (1982) fanden heraus, dass es bei den Würfelfiguren von Shepard und Metzler (1971) in der Bildtiefe ausreicht, den unteren Teil der Figur zu betrachten, um eine Entscheidung zu treffen, ob die Figuren identisch oder gespiegelt sind. Nach der Aufklärung der Versuchspersonen über diese Tatsache, konnten diese deutlich schnellere Reaktionszeiten erzielen, was klar auf eine analytische Verarbeitungsstrategie hindeutet. Zudem konnten sie in weiteren Experimenten nachweisen, dass bei einer Manipulation der Würfelfiguren durch Hinzufügen weiterer Einzelwürfel und eine höhere Armanzahl die Rotationsgeschwindigkeit absank. Dies deuteten sie dahingehend, dass bei einer analytischen Strategie mehr Einzelabschnitte betrachtet werden müssen.

Diese uneinheitliche Forschungsmeinung könnte darauf hinweisen, dass einfachere Reize holistisch verarbeitet werden, während komplexere Stimuli Stück für Stück und damit analytisch gedreht werden, wobei mit zunehmender Komplexität der Objekte die Beteiligung visuell-räumlicher Kontroll – und Rekonstruktionsprozesse ansteigt (Wiedenbauer 2006). Einen Hinweis auf weitere unterschiedliche Verarbeitungsstrategien liefert eine Studie von Kosslyn, Thompson, Wraga und Alpert (2001), die im folgenden Punkt näher ausgeführt wird.

2.1.4 Kortikale Aktivität während der mentalen Rotation

Um die Entstehung und Funktion der einzelnen während der mentalen Rotation ablaufender Prozesse differenzierter betrachten zu können, beschäftigten sich viele Forschungsprojekte mit dem Auftreten kortikaler Aktivitäten während des Lösens von Rotationsaufgaben. Verschiedene fMRI- (Cohen et al., 1996; Tagaris, Strupp, Andersen, Ugurbil, Georgopoulos et al., 1997; Tagaris, Richter, Kim, Pellizer, Andersen et al., 1998) und PET-Studien (Alivisatos & Petrides, 1997) konnten die generelle Beteiligung einer großen Anzahl von Gehirnarealen bei mentalen Rotationsprozessen nachweisen. Speziell haben unter anderem Roberts und Bell (2002), Seurnick et al. (2004), Culham und Kanwisher (2001), Jagaroo (2004) sowie Save und Poucet (2000) eine verstärkte Aktivierung der Parietallappen festgestellt. Diese Aktivität in den Parietallappen ist laut Gogos et al. (2010) umso höher, je größer der Rotationswinkel des zu vergleichenden Stimulus gegenüber dem Original ist. Ditunno und Mann (1990) fanden Hinweise dafür, dass die rechte Hemisphäre bei mentalen Rotationsleistungen eine dominante Stellung einnehmen könnte. Dagegen vermuten Milivojevic, Hamm und Corballis (2009), dass der Seitigkeitseffekt der Hemisphären hauptsächlich aufgrund der unterschiedlichen Zeitspanne der Aktivierung der beiden Hemisphären zustande kommt und nicht so sehr durch deren Ausmaß. Kucian, von Alster, Loennecker, Dietrich, Mast et al. (2007) zeigten bei einer fMRI-Untersuchung mit 20 Kindern und 20 Erwachsenen, dass die Aktivierungsmuster der Gehirnaktivität bei beiden Versuchsgruppen sehr ähnlich ausfielen, die erwachsenen Versuchspersonen wiesen jedoch eine größere Aktivität im linken intraparietalen Sulcus auf. Dies lässt vermuten, dass im Verlauf der Entwicklung eine Verschiebung von einer dominanten Aktivierung des rechten Parietallappens bei Kindern hin zu einer bilateralen Aktivierung bei Erwachsenen stattfindet, wodurch ein schnelleres und effektiveres mentales Rotieren möglich wird.

Relativ aktuell beschäftigten sich Beste, Heil und Konrad (2010) in einer ERP-Studie mit den unterschiedlichen Aktivierungsmustern von Versuchspersonen, die bei einem mentalen Rotationstest entweder besonders gut oder besonders schlecht abschnitten. Dabei stellten sie fest, dass die Personen mit den schlechteren Testergebnissen entsprechend der Idee neuraler Effizienz wesentliche höhere Aktivierungsamplituden aufwiesen als die Experten, bei denen stattdessen größere parietale Netzwerke involviert waren. Interessanterweise trat hier übereinstimmend

mit der oben erwähnten Studie von Kucian et al. (2007), die die Rotationsleistung von Kindern und Erwachsenen verglichen, bei den Experten eine verstärkte Aktivierung des linken Parietallappens auf, während bei den Versuchspersonen, die bei dem mentalen Rotationstest schlechter abgeschnitten hatten, verstärkt der rechte Parietallappen aktiv war.

Jordan, Wuestenberg, Heinze, Peters und Jaencke (2002) konnten Geschlechtsunterschiede in den Aktivierungsmustern des Gehirns von Männern und Frauen während der Lösung mentaler Rotationsaufgaben nachweisen, obwohl die Testergebnisse bei Männern und Frauen ähnlich waren und schließen daraus, dass Männer und Frauen beim Lösen der Aufgaben unterschiedliche Strategien verwenden könnten. In einem aktuelleren Experiment wiesen Christova, Lewis, Tagaris, Ugurbil und Georgopoulos (2008) nach, dass bei gleicher mentaler Rotationsleistung das fMRI-Signal bei Männern in der rechten Hemisphäre, vor allem im Frontallappen, sehr viel höhere Anstiege als bei Frauen aufwies, was darauf hindeuten könnte, dass Frauen bestimmte Informationen wesentlich effektiver verarbeiten als Männer und so auch die kleinere Gehirngröße kaschieren. Dagegen sprechen sich Kosciak, O'Leary, Moser, Andreasen und Nopoulos (2009) sowie Collins & Kimura (1997) dafür aus, dass die größere Parietallappen-Oberfläche von Männern durchaus als Vorteil während der mentalen Rotation angesehen werden muss.

Die funktionelle Rolle des Motorkortex bei der mentalen Rotation scheint noch nicht völlig geklärt. In einem Experiment von Bode, Koeneke und Jäncke (2007) wurden 22 Versuchspersonen mit einem standardisierten mentalen Rotationstest getestet, wobei spezifische Stimuli verwendet wurden, um entweder eine interne (Bilder von Händen oder Werkzeugen) oder eine externe (Bilder von Häusern oder abstrakte Figuren) Rotationsstrategie bei den Versuchspersonen auszulösen. Die Hypothese, dass eine Aktivierung des Motorkortex nur bei einer internen Lösungsstrategie (also der Vorstellung, das Objekt zu fassen und selbst zu drehen) erfolgt, erwies sich als nicht haltbar, es konnte kein Zusammenhang zwischen der Art der Stimuli und der kortikospinalen Reaktion auf die Reize festgestellt werden. Dies lässt vermuten, dass die Beteiligung des Motorkortex nicht mit einer bestimmten Lösungsstrategie verknüpft ist, sondern mit dem eigentlichen Prozess der mentalen Rotation. Einen weiteren Hinweis zur Lösung dieser Frage liefert die Studie von Kosslyn, Thompson, Wraga und Alpert (2001). Die Versuchspersonen ihres Experiments sahen zuerst

dabei zu, wie ein Elektromotor eine Figur rotierte oder sie führten die identische Aufgabe manuell aus. Bei dem anschließend durchgeführten mentalen Rotationstest sollten sich die Versuchspersonen vorstellen, dass das Objekt, das sie sahen, entweder mit Hilfe des Elektromotors oder mit Hilfe ihrer Hände rotiert wurde. Ausschließlich bei der Vorstellung manueller Aktivität konnte eine Aktivierung des Motorkortex festgestellt werden. Diese Tatsache lässt darauf schließen, dass es mindestens zwei verschiedene Strategien gibt, um Objekte mental zu rotieren und dass diese Strategien selbsttätig ausgewählt werden können. Eine Literaturübersicht zur weiteren Vertiefung von kortikaler Aktivität während der mentalen Rotation gibt Heil (2002).

2.2 Das Paradigma der mentalen Rotation

In den folgenden Unterpunkten wird eine Zusammenfassung und Einordnung wichtiger Fragestellungen ausgeführt, die sich aus den Ergebnissen der grundlegenden Untersuchungen von Shepard und Metzler weiterführend ergeben haben. Verschiedenste Studien haben sich bisher mit dem Paradigma der mentalen Rotationsfähigkeit auf unterschiedlichen Ebenen - wie z.B. den zugrunde liegenden Repräsentationen oder den strukturellen Prozessen - beschäftigt, weitere Arbeiten setzen sich mit entwicklungsbedingten Aspekten auseinander. Wann tritt die Fähigkeit mental zu rotieren zum ersten Mal auf, wie ändert sie sich mit Alter und Übung, welchen Zusammenhang gibt es zu motorischen und sensorischen Fähigkeiten?

Zunächst wird der Einfluss von Alter und Geschlecht auf die mentale Rotationsfähigkeit betrachtet, da diese beiden Faktoren für die spätere Auswahl der Versuchspersonengruppen von großer Bedeutung sind. Anschließend werden Studien zu unterschiedlichen Stimulusmaterialien und zum Zusammenhang zwischen perzeptueller und mentaler Rotation angeführt. Die Darlegung der Beteiligung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation dient als Grundlage für die Auswahl des im Experimententeil durchgeführten motorischen Trainings.

2.2.1 Entwicklungspsychologische Aspekte

Der Beginn der Entwicklung mentaler Rotationsfähigkeit wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Zunächst nahmen Piaget und Inhelder (1975) an, dass sich kleine Kinder ihrer mentalen Aktivität noch nicht bewusst sind und mentale Rotation erst ab sieben bis acht Jahren präsent ist. Sie entdeckten, dass Kinder dieses Alters in der Lage sind, einfache geometrische Figuren mental zu rotieren. Einige Jahre später konnte Marmor (1975) nachweisen, dass vier- bis fünfjährigen Kinder beurteilen können, ob zwei in verschiedenen Winkelstellungen präsentierte Stimuli (z. B. Pandabären mit jeweils einem erhobenen Arm) identisch oder gespiegelt sind. Dagegen vertraten Dean und Harvey (1979) die Meinung, dass die meisten Kinder unter sieben Jahren noch nicht zu mentaler Rotation in der Lage sind. Nach neueren Forschungen von Moore und Johnson (2008) können bereits fünf Monate alte männliche Babys bekannte Figuren in unterschiedlichen unbekanntem Winkelstellungen von ihrem Spiegelbild unterscheiden, wofür die Grundlagen mentaler Rotationsprozesse vorhanden sein müssen.

Einen Hinweis in Bezug auf die zeitliche Entwicklung der mentalen Rotationsfähigkeit gibt die Studie von Estes (1998). In seinem Experiment lösten Vierjährige, Sechsjährige und Erwachsene mentale Rotationsaufgaben, ohne dass in den Anweisungen Instruktionen zum mentalen Rotieren gegeben wurden. Im Anschluss an die Lösung der Aufgaben sollten die Versuchspersonen die von ihnen verwendete Strategie erklären. Während sich bei den sechsjährigen und den erwachsenen Testpersonen ähnliche Ergebnisse im Hinblick auf die Bewusstheit der Verwendung von mentaler Rotation und in Bezug auf Reaktionszeiten und Fehlerraten ergaben, zeigten sich bei den vierjährigen Testpersonen deutliche Unterschiede. Nur bei denjenigen Kindern, die in der Lage waren, eine mentale Rotationsstrategie zu verwenden und zu beschreiben und die nicht nach dem Zufallsprinzip antworteten, stimmten die Reaktionszeiten und Fehlerraten mit denen der anderen Versuchspersonen überein.

Diese zum Teil widersprüchlichen Resultate bei der Erforschung der Entwicklung der mentalen Rotationsfähigkeit führen Perucci, Agnoli und Albiero (2008) auf methodologische Differenzen zurück, da laut ihrer Aussage verschiedene mentale Rotationstests unterschiedliche kognitive Fähigkeiten ansprechen. Um nachzuweisen, dass Kinder zwei Stimuli unterschiedlicher Orientierung auch ohne mentale Rotation

vergleichen können, verwendeten sie daher in ihrem Experiment sowohl gespiegelte als auch ausrichtungsfreie Figuren. Sie benutzten als Stimuli identische und gespiegelte Pandabären, sowie identische, gespiegelte und nicht gespiegelte vom Original unterscheidbare Eistüten mit drei verschiedenfarbigen Kugeln. Bei beiden Stimuli stieg die Reaktionszeit bei den identischen und gespiegelten Varianten linear an, während dies bei den nicht gespiegelten Eistüten nicht der Fall war. Dies deutet darauf hin, dass bereits sechsjährige Kinder ausrichtungsfreie Stimuli erkennen können und deshalb in der Lage sind, bestimmte Rotationsaufgaben zu bearbeiten, ohne dabei mentale Rotation zu verwenden.

Betrachtet man die Geschwindigkeit der mentalen Rotation im Verlauf der Entwicklung, so rotieren laut Kail (1986) Kinder langsamer als Erwachsene, die Reaktionszeit kann aber durch entsprechendes Üben verringert werden. Dies ist jedoch bei Kindern nicht auf andere Stimuli übertragbar, was bedeutet, dass die Versuchspersonen nach einer bestimmten Übungszeit nicht mehr wirklich mental rotieren, um zu antworten, sondern sich die Stimuluspositionen eingeprägt haben. Daraus würde folgen, dass die mentale Rotationsgeschwindigkeit an sich bei Kindern nicht durch kognitives Üben gesteigert werden kann. Dagegen fanden Wiedenbauer und Jansen-Osmann (2008) heraus, dass 10- und 11jährige Kinder durch manuelles Rotationstraining ihre Rotationsgeschwindigkeit bei mentaler Rotation auch bei sich von den Übungsstimuli unterscheidenden Figuren verbessern konnten, weshalb sie annehmen, dass ein Zusammenhang zwischen motorischen und mentalen Rotationsprozessen besteht. Kucian et al. (2007) führt die bessere mentale Rotationsfähigkeit und die schnelleren Reaktionszeiten von Erwachsenen gegenüber Kindern aufgrund einer fMRI-Untersuchung auf die während der sensorischen und motorischen Entwicklung stattfindende Verschiebung von einer zunächst schwerpunktmäßigen Aktivierung des rechten Parietallappens hin zu einer bilateralen Aktivierung zurück.

Auch zunehmendes Alter bei Erwachsenen hat einen Einfluss auf die Fähigkeit des mentalen Rotierens. So ergab sich laut Berg, Hertzog und Hunt (1982), die an vier Tagen hintereinander bei vier verschiedenen Altersgruppen (20-70) einen mentalen Rotationstest durchführten, kein Unterschied bezüglich der Irrtumsraten, jedoch signifikante Unterschiede im Hinblick auf die Reaktionszeit, die mit zunehmendem Alter deutlich länger wurde. Der Übungseffekt durch die Durchführung an den vier aufeinanderfolgenden Tagen reduzierte zwar die Unterschiede innerhalb aller

Gruppen, nicht jedoch die generellen Differenzen zwischen den Altersgruppen. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Jansen und Heil (2010a), so dass festgehalten werden kann, dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit von räumlichen Informationen im Laufe der Entwicklung zunächst zunimmt, ab einem bestimmten Alter jedoch wieder abnimmt.

2.2.2 Differentiell-psychologische Aspekte

Generell lässt sich festhalten, dass visuell-räumliche Leistungen zu den kognitiven Leistungen zu zählen sind, bei welchen sehr häufig Geschlechtsunterschiede zugunsten der Männer gefunden werden, insbesondere dann, wenn Verfahren verwendet werden, bei denen die Versuchspersonen Aufgaben auf dem Papier lösen müssen. Da die mentale Rotation eindeutig den räumlichen Fähigkeiten zuzuordnen ist, eignet sie sich nach Peters, Laeng, Latham, und Jackson (1995) besonders gut, um stellvertretend das Phänomen des Geschlechtseffekts näher zu untersuchen.

Die unterschiedlichen Leistungen von Männern und Frauen bei mentalen Rotationstests werden häufig mit räumlichen Vorerfahrungen und vermehrter Übung (z.B. Alington, Leaf, & Monaghan, 1992; Baenninger & Newcombe, 1989; Terlecki & Newcombe, 2005; Voyer, Nolan, & Voyer, 2000) in Verbindung gebracht. Auch soziale und kognitive Einflüsse (Feingold, 1993; Quaiser-Pohl & Lehmann, 2002; Richardson, 1994), psychosoziale Aspekte (Moé & Pazzaglia, 2006; Shih, Pittinsky, & Ambady, 1999), genetische und hormonelle Faktoren (Yang, Hooven, Boynes, Gray, & Pope, 2007) sowie biologisch-neuronale Grundlagen (Hausmann, Slabbekoorn, Van Goozen, Cohen-Kettenis, & Gunturkun, 2000; Imperato-McGinley, Pichardo, Gautier, Voyer, & Bryden, 1991) scheinen eine Rolle zu spielen. Außerdem wurde der Einfluss einer unterschiedlichen kortikalen Aktivierung (z.B. Roberts & Bell, 2000) und des Alters der Versuchspersonen (z.B. Lizarraga & Ganuza, 2003; Titze, Jansen & Heil, 2010) nachgewiesen. Entgegen der Annahme von Baenninger und Newcombe (1989), dass dieser Effekt bei visuell-räumlichen Leistungen in heutiger Zeit ebenso nachlässt wie andere geschlechtsspezifische Phänomene, scheint durch multikulturelle Vergleiche (Peters et al., 2006) geklärt, dass der Geschlechtsunterschied in Bezug auf die mentale Rotationsleistung zeitlich konstant in unterschiedlichen Kulturkreisen auftritt. Masters und Sanders (1993) zeigten dies für westliche Volksgruppen für einen Zeitraum von über 20 Jahren, Amponsah (2000)

und Li, Nuttal und Zhu (1999) für afrikanische und asiatische Populationen.

Auch der Einfluss unterschiedlicher Ausführungsbedingungen oder die Art der Stimuli auf den Geschlechtsunterschied erscheint in der Literatur nicht völlig geklärt. Die meisten Autoren (z.B. Voyer, 2011; Jansen-Osmann & Heil, 2007a) stimmen darin überein, dass zumindest bei Paper-Pencil-Test-Varianten die Geschlechtsunterschiede signifikant höher ausfallen, wenn zeitliche Einschränkungen vorliegen. Dieses Phänomen könnte laut Robert und Cevriert (2003) dadurch zustande kommen, dass Männer zum einen effektivere Antwortstrategien anwenden und zum anderen mit weniger Vorsicht antworten als Frauen. Anders sieht dies Masters (1998), der in seinem Experiment mentale Rotationstests auf drei verschiedene Arten bewertete und diese sowohl mit Zeitlimit als auch mit beliebig viel Zeit zur Bearbeitung durchführen ließ, dabei jedoch keine Veränderung des Leistungsverhältnisses von Männern und Frauen feststellen konnte.

Betrachtet man den Einfluss der Verwendung unterschiedlicher Stimuli, so konnten Bryden, George und Inch (1990) zeigen, dass deren Komplexität keinen Einfluss auf die Rotationsleistung von Männern und Frauen hat, während Collins und Kimura (1997) Hinweise darauf fanden, dass die Geschlechtseffekte umso stärker sind, je komplexer die gestellte Rotationsaufgabe ist. Jansen-Osmann und Heil (2007a) konnten bei der Durchführung eines chronometrischen Rotationstests mit 360 Versuchspersonen nur bei Polygonen einen substantiellen Unterschied in der Reaktionsgeschwindigkeit und ihm Drehaufwand bei Männern und Frauen erkennen. Die allgemeingültige Aussage der Paper-Pencil-Tests, dass Männer generell schneller reagieren, konnte in diesem computergestützten Experiment nicht bestätigt werden.

Uneinigkeit besteht auch bei der Auswirkung der Anzahl verwendeter Testfiguren auf den Geschlechtsunterschied. Eine Reduzierung des Komplexitätsgrades bei typischen mentalen Rotationstests von vier auf zwei Figuren, womit nur noch die Entscheidung zu treffen ist, ob zwei Objekte gleich oder gespiegelt sind, hat laut Titze, Heil und Jansen (2010) sowie Titze, Jansen und Heil (2010a) weder einen Einfluss auf die Reaktionszeit noch auf die Zahl der richtigen Antworten bei Männern und Frauen. Zu einem anderen Ergebnis bei einer Reduzierung der angebotenen Stimuli kommen Peters und Battista (2008). Sie belegten mit ihrer Studie, dass der Geschlechtsunterschied bei dem ursprünglichen Rotationstest von Shepard und

Metzler (1971), bei dem nur zwei Figuren verglichen werden, wesentlich geringer ist als bei dem Test von Vandenberg und Kuse (1978), bei welchem zwei aus vier Figuren ausgewählt werden müssen. Eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen wäre, dass die Augen für den Vergleich von fünf Figuren einen weiteren Weg zurücklegen müssen und die Versuchspersonen schnell zwischen mehreren verschiedenen Figuren hin und her wechseln müssen. Außerdem könnte auch die unterschiedliche Zeitmessung eine Rolle spielen. Während bei Shepard und Metzler die Reaktionszeit für jede einzelne Aufgabe gemessen wird, wird bei Vandenberg und Kuse eine feste, sehr knappe Gesamtzeit zur Bearbeitung der Aufgaben zur Verfügung gestellt. Einfluss auf die längere Reaktionszeit von Frauen könnte auch haben, dass diese beim Betrachten der einzelnen Figuren mehr auf visuelle Details achten als Männer. Daher steigt die Reaktionszeit bei Vandenberg und Kuse aufgrund der größeren Anzahl der angebotenen Stimuli (Peters & Battista, 2008).

Zwischen zweidimensionalen Präsentationen dreidimensionaler Objekte und der Präsentation von dreidimensionalen Objekten in virtuellen Realitäten unterscheiden Neubauer, Bergner und Schatz (2010). Während die Wahl der Präsentation und das Training beider Formen allgemein einen signifikanten Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit hatte, konnte hier jedoch kein Unterschied zwischen Männern und Frauen festgestellt werden. Ein anderes Bild ergab sich bei der Zahl der richtigen Antworten. Bei den dreidimensionalen Objekten in der virtuellen Realität fand man keinen Unterschied zwischen Männern und Frauen, während die Männer bei der zweidimensionalen Version deutlich öfter richtig antworteten. Dieser Effekt konnte jedoch durch Training verringert werden. Auch eine Studie von McWilliams, Hamilton und Muncer (1997) zeigte bereits, dass der Vorteil der Männer komplett verschwindet, wenn die Rotationsaufgabe in Form eines wirklichen dreidimensionalen Modells gestellt wird und nicht als ein zweidimensionales Bild einer eigentlich dreidimensionalen Figur. Auch in virtuellen Umgebungen konnte kein Geschlechtseffekt gefunden werden (Larson, Rizzo, Buckwalter, Van Rooyen, Kratz et al., 1999; Parsons, Larson, Kratz, Thieboux, Bluestein et al. 2004). Dies führt zu der Vermutung, dass der Nachteil der Frauen nicht im Prozess der mentalen Rotation an sich liegt, sondern in der Herleitung einer dreidimensionalen Repräsentation aus einem zweidimensionalen Bild.

Robert und Cevriert (2003) führten neben einem gängigen Rotationstest einen Test mit haptischen Konditionen durch, bei dem die dreidimensionalen Repliken des Stimulus nur gefühlt werden konnten. Unabhängig von den Ausführungsbedingungen konnten er in beiden Tests schnellere Reaktionszeiten bei den männlichen Versuchsteilnehmern, jedoch wie auch andere Autoren bei den gängigen Rotationstests (Goldstein, Haldane, & Mitchell, 1990; Voyer, 2011) keine Unterschiede bei der Anzahl der richtig beantworteten Aufgaben feststellen. Im Gegensatz dazu konnten Masters (1998) und Resnick (1993) in ihren Experimenten deutlich mehr prozentual richtige Antworten bei den männlichen Versuchsteilnehmern nachweisen.

Laut Halpern und Wright (1996) kommt die unterschiedliche Leistungsfähigkeit im Bereich der mentalen Rotation durch verschiedene zugrunde liegende kognitive Prozesse zustande. Männer können besser mit Aufgaben umgehen, die neue Strategien erfordern, Frauen eher mit solchen, die bereits vorhandenes Wissen erfordern. Einen Hinweis darauf, dass Männer und Frauen bei der Bearbeitung mentaler Rotationsaufgaben unterschiedliche Strategien verwenden geben Jordan et al. (2002), die in ihrem Experiment bei gleichen Ergebnissen im mentalen Rotationstest Geschlechtsunterschiede in den aktivierten Gehirnstrukturen finden. Parsons et al. (2004) vermuten, dass Männer bei der Bearbeitung von mentalen Rotationsaufgaben im Vergleich zu Frauen verstärkt die linke Hemisphäre verwenden. Dagegen fanden Hahn, Jansen und Heil (2010a; 2010b) bei mentalen Rotationsaufgaben mit fünfjährigen Jungen und Mädchen keinen Unterschied bei der Reaktionsgeschwindigkeit und der Zahl der richtigen Antworten, jedoch eine bilaterale Gehirnaktivität bei Jungen, während Mädchen verstärkt die linke Hemisphäre aktivierten.

Auch die Diskussion um den Einfluss hormoneller Gegebenheiten kommt zu keinem völlig einheitlichen Ergebnis. Baenninger und Newcombe (1989) vertreten die Meinung, dass es definitiv einen Umwelteinfluss gibt, sie schließen jedoch nicht aus, dass eine biologische Prädisposition existiert, die im Lauf der Entwicklung verstärkt wird. Für die Annahme des Einflusses hormoneller Faktoren auf die Rotationsleistung sprechen Studien, in denen jüngere Kinder geringe bis keine Geschlechtsunterschiede in der mentalen Rotationsfähigkeit aufweisen, diese sich aber mit beginnender Pubertät ausbilden (Newcombe, Bandura, & Tayler, 1983;

Sanders & Soares, 1986). Ein weiteres Argument für die Auswirkung des Hormonlevels auf die mentale Rotationsleistung liefern Untersuchungen des Einflusses von pränatalem Testosteron bei rein weiblichen und gemischten Zwillingspaaren (Heil, Kavsek, Rolke, Beste, & Jansen, 2011) und siebenjährigen Jungen und Mädchen (Grimshaw, Sitarenios, & Finegan, 1995). Während Hooven, Chabris, Ellison und Kosslyn (2004) Zusammenhänge zwischen dem Abschneiden von Frauen und Männern bei mentalen Rotationstests und dem Testosteronlevel in der Speicheldrüse nachwiesen, konnten Puts, Cárdenas, Bailey, Burriss, Jordan et al. (2010) hier keine Zusammenhänge finden.

Quaiser-Pohl und Lehmann (2002) stellten die Frage, welchen Einfluss Erfahrung, Einstellung und stereotype Geschlechterrollen von Frauen in verschiedenen akademischen Gruppen auf die Unterschiede in der mentalen Rotationsleistung von Männern und Frauen haben. Deshalb testeten sie Studentinnen und Studenten unterschiedlicher Fachrichtungen (Kunst, Sozialpädagogik, Sport, Psychologie und Informatik) und erfassten deren Selbsteinschätzung in Bezug auf ihre Nähe zum Umgang mit informatik- und mathematikspezifischen Themen sowie ihre räumlichen Fähigkeiten. Den größten geschlechtsspezifischen Unterschied im mentalen Rotationstest fanden sie bei Studentinnen und Studenten der Fächer Kunst- und Sozialpädagogik, den kleinsten bei Informatikstudentinnen und -studenten. Eine signifikante Korrelation ergab sich außerdem bei den weiblichen Versuchspersonen zwischen der Leistung im mentalen Rotationstest und der angegebenen Erfahrung im Umgang mit Computern. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Geary et al. (2000) und Tlauka, Williams und Williamson (2008), die in ihrer Studie eine Korrelation zwischen räumlichen Fähigkeiten und einem Sportstudium nachweisen konnten. Ginn und Pickens (2005) vertreten die Hypothese, dass Frauen, die Erfahrung mit räumlich-visuellen Aufgabenbereichen haben, bei mentalen Rotationstests besser abschneiden. Sie konnten überdurchschnittliche Ergebnisse bei Kunst-, Musik- und Sportstudentinnen im Vergleich zu anderen Studienfächern feststellen sowie bessere Leistungen bei Frauen, die langjährige Erfahrung mit dreidimensionalen Videospiele aufweisen konnten. Daraus kann geschlossen werden, dass räumliche Fähigkeiten anfällig für Einflüsse sind, die durch unterschiedliche Einstellungen der Gesellschaft und Vorlieben gegenüber bestimmten Themenbereichen zustande kommen und dass der Geschlechterunterschied eventuell durch entsprechende Interventionsprogramme verringert werden könnte.

Auch bei Kindern ist die Forschungslage bezüglich des Geschlechtereffekts nicht ganz eindeutig. Kerns und Berenbaum (1991) haben Geschlechtsunterschiede von 4-6 Standardabweichungen bei zwei Testgruppen in drei von vier Tests gefunden. Titze, Jansen und Heil (2010b) stellten die Frage, ob der Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Versuchspersonen erst ab einem gewissen Alter auftritt. Ausgehend von der These, dass Johnson und Meade (1987) das kritische Alter, bei dem erstmals der Geschlechtseffekt erkennbar ist bei 10 Jahren ansetzen, testeten Titze, Jansen und Heil (2010b) Kinder mit einem Alter von durchschnittlich 9,3 bzw. 10,3 Jahren und Erwachsene. Während bei den älteren Kindern und den Erwachsenen die bekannten Geschlechtsunterschiede messbar waren, zeigte sich bei den jüngeren Kindern ein kleiner bis mittlerer, jedoch kein signifikanter Effekt. Interessant bei diesem Experiment ist, dass sich bei den Testergebnissen zwischen den drei Altersgruppen bei den weiblichen Versuchspersonen kein signifikanter Unterschied feststellen ließ, dieser trat nur bei den älteren Jungen und Männer gegenüber den jüngeren Jungen auf. Ein früheres Alter für die Entwicklung der räumlich-visuellen Leistungsfähigkeit setzen dagegen Levine, Huttenlocher, Taylor und Langrock (1999) an. Bereits ab dem Alter von 4 ½ Jahren zeigte sich bei ihrem Experiment in einem psychometrischen Rotationstest eine bessere Leistung für Jungen, wobei es keine Differenzen in der allgemeinen Intelligenz bei Jungen und Mädchen gab. Quinn und Liben (2008) fanden sogar bereits bei Säuglingen erste Resultate. Laut ihrer Aussage schenkten 3-4 Monate alte männliche Säuglinge nach der Gewöhnung an die Nummer eins in sieben verschiedenen Positionen zwischen 0° und 360° den dargebotenen gespiegelten Nummern tendenziell mehr bzw. länger Aufmerksamkeit als die weiblichen Säuglinge (Quinn & Liben, 2008). Zu demselben Ergebnis kommen Moore und Johnson (2008) bei fünf Monate alten Babys.

Interessant ist auch die geschlechtsspezifische Entwicklung der mentalen Rotationsfähigkeit im Erwachsenenalter. Jansen und Heil (2010) führten sowohl einen Paper-Pencil-Test als auch einen chronometrischen mentalen Rotationstest mit Erwachsenen verschiedener Altersgruppen (20-30, 40-50, 60-70) durch. Dabei stellten sie fest, dass die Männer in allen Altersgruppen besser abschnitten als die Frauen und die mentale Rotationsfähigkeit allgemein mit steigendem Alter abnimmt. Bei der Überprüfung mittels eines Paper-Pencil-Tests wurde jedoch der Unterschied zwischen Männern und Frauen mit zunehmendem Alter geringer, während die Fehlerrate bei dem am Computer durchgeführten Test gleich blieb.

Die insgesamt nicht eindeutige Forschungslage bietet Raum für weitere interessante Studien und Experimente auf dem Gebiet der differenziell-psychologischen Aspekte der räumlich-visuellen Leistungsfähigkeit.

2.2.3 Einfluss unterschiedlichen Stimulusmaterials

Seit Beginn der Forschung im Bereich der mentalen Rotation wurden sehr viele unterschiedliche Stimuli eingesetzt. Während Shepard und Metzler (1971) in der klassischen Studie dreidimensionale Würfelfiguren verwendeten, untersuchte Lynn Cooper das Phänomen mit zweidimensionalen Stimulusmaterialien. Sie verwendete alphanumerische Zeichen (Cooper & Shepard, 1973) und abstrakte Polygone (Cooper, 1975). Zunächst wurde den Versuchspersonen ein einzelnes alphanumerisches Zeichen präsentiert und es musste entschieden werden, ob es sich um das Originalzeichen oder um eine gespiegelte Version handelt. Diese Einzelpräsentation führte dazu, dass der gezeigte Stimulus mit einer im Langzeitgedächtnis gespeicherten Version verglichen werden musste. Mit ansteigender Winkelgröße zeigte sich bei diesem Experiment ein linearer Anstieg der Reaktionsgeschwindigkeit. Zu demselben Ergebnis führten auch mentale Rotationstest mit abstrakten Polygonen (Cooper, 1975), wobei kein Einfluss der Komplexität der gezeigten Polygone auf die Geschwindigkeit der mentalen Rotation nachgewiesen werden konnte. Nicht alle Studien kommen in diesem Punkt zu demselben Ergebnis (Jolicoeur & Cavnagh, 1992; Kail, Pellegrino, & Carter, 1980; Marmor, 1975; Roberts & Bell, 2000). Mehrere Untersuchungen zeigen jedoch, dass die mentale Rotation von bekannten Symbolen wie Zahlen und Buchstaben im Vergleich zu der von abstrakten und komplexen Stimuli wesentlich schneller abläuft (Cooper & Shepard, 1982; Jordan, Wuestenberg, Heinze, Peters & Jaencke, 2002; Kail et al., 1980).

Bezüglich der Reaktionszeit bei der Verwendung von zwei- bzw. dreidimensionalen Stimuli konnten Shepard und Metzler (1988) keinen Unterschied feststellen, jedoch wiesen Steiger und Yuille (1983) nach, dass die Rotationsgeschwindigkeit dreimal höher war, wenn nur ein Stimulus und nicht zwei Stimuli gleichzeitig gezeigt wurden. Auch die Anzahl der richtigen Antworten war bei zwei gezeigten Stimuli deutlich geringer. Dies legt den Schluss nahe, dass es wesentlich einfacher ist, ein gezeigtes

Objekt mit einer internalen Repräsentation zu vergleichen als mit einem zweiten external präsentierten Objekt (Wiedenbauer, 2006). Bei der Untersuchung unterschiedlicher Stimuli bei chronometrischen Rotationstests konnten Jansen-Osmann und Heil (2007a) nur bei Polygonen einen substantiellen Unterschied in der Reaktionsgeschwindigkeit und ihm Drehaufwand feststellen.

Ausgehend von den Experimenten von Shepard und Metzler (1971) festigte sich durch weitere Studien die Ansicht, dass bei mentaler Rotation die Reaktionszeit mit steigender Winkelgröße linear ansteigt. Studien wie die von Georgopoulos und Massey (1987), die eine solche direkte Proportionalität von Reaktionsgeschwindigkeit und Winkeldisparität für die Winkel 5° , 10° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90° , 105° und 120° feststellen konnten, unterstützen diese Meinung. Dieser These widersprechen Neely und Heath (2009), die nachwiesen, dass Versuchspersonen bei Stimuli, die im Vergleich zum Original um 180° gedreht waren, signifikant schnellere Reaktionszeiten aufwiesen als bei um 90° gedrehten Stimuli. Um auszuschließen, dass dieses Ergebnis aufgrund der visuellen Erfahrung mit den Hauptachsen (vertikal und horizontal) zustande kam, führten Neely und Heath (2010b) das selbe Experiment mit um 45° gedrehten Ausgangsstimuli durch. Durch den zur ersten Studie identischen Ausgang des Experiments untermauerten Neely und Heath ihre Argumentation, dass die Reaktionsgeschwindigkeit bei mentalen Rotationstests nicht von der Winkelgröße, sondern von Latenzzeiten abhängt, die aufgrund unterschiedlicher Berechnungskomplexität entstehen:

Moreover, the present results provide convergent evidence that reaction time is not determined by the angle of rotation; instead, they indicate that response latencies reflect computational differences in the complexity of response mapping. (Neely & Heath, 2010a, S. 593)

In den letzten Jahren stieg auch das Interesse am Zusammenhang von bildlicher Vorstellung und Emotionen. Mamarella (2011) untersuchte beispielsweise, ob unbewusste Emotionen die visuelle Wahrnehmung beeinflussen. Dazu wurden Versuchspersonen vor der Durchführung eines mentalen Rotationstests unterschwellig traurige, neutrale und fröhlichen Ausdrücke gezeigt. Es konnte eindeutig ein Anstieg der mentalen Rotationsfähigkeit nach der unbewussten Aufbereitung von emotionalen Expressionen festgehalten werden, womit erste Hinweise auf Zusammenhänge zwischen Vorstellung und Emotion nachgewiesen werden konnten.

2.2.4 Zusammenhang zwischen perzeptueller und mentaler Rotation

Ein weiterer Forschungsaspekt stellt den Zusammenhang zwischen mentaler Rotation und der Wahrnehmung realer Rotationsbewegungen in den Vordergrund. Jolicoeur und Cavanagh (1992) verwendeten zur Untersuchung dieser Fragestellung Stimuli, die sich während des mentalen Rotationstests bewegten. Stimmt die Drehrichtung des Objekts mit der Drehrichtung der mentalen Rotation überein, so benötigten die Versuchspersonen zur Lösung der Aufgabe weniger Zeit als bei einem unbewegten Stimulus, bei entgegengesetzter Drehung verlängerte sich die Reaktionszeit. Eine Drehung des Hintergrundes löste keinen solchen Effekt aus. Corballis und McLaren (1982) sowie Heil, Bajric, Rösler und Hennighausen (1997) verwendeten eine sich drehende Scheibe, die die Versuchspersonen direkt vor einem mentalen Rotationstest betrachteten. Durch diese vorgeschaltete Intervention schienen sich die zur mentalen Rotation angebotenen Buchstaben entgegen der Richtung der Scheibendrehung zu drehen. War diese Drehrichtung nicht identisch mit der durchzuführenden mentalen Rotation, so wurde eine längere Reaktionszeit gemessen, was zu der Vermutung führt, dass perzeptuelle und vorgestellte Bewegungen interferieren (Wiedenbauer, 2006).

Zusammenhänge zwischen mentaler Rotation und perzeptueller Wahrnehmung auf kortikaler Ebene konnten Podzebenko, Egan und Watson (2005) nachweisen. Die Versuchspersonen betrachteten hier entweder die Rotation von Buchstaben auf einem Bildschirm oder sie sollten diese selbst mental rotieren. Bei beiden Aufgabenstellungen fanden die Autoren die gleichen parietalen Aktivierungsmuster. Der dargestellte Einfluss der Bewegungsrichtung von Objekten auf die mentale Rotationsgeschwindigkeit legt den Schluss nahe, dass auch motorische Prozesse bei der Lösung von mentalen Rotationsaufgaben beteiligt sein könnten. Im folgenden Punkt werden daher Studien vorgestellt, die sich mit dem Zusammenhang von motorischen Handlungen und mentaler Rotation beschäftigen.

2.2.5 Beteiligung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation

In den letzten Jahren hat sich der Fokus von einem einfachen Demonstrieren der Existenz von Bewegungsvorstellung hin zu einem tieferen Verständnis des Phänomens bewegt. Im Rahmen dieser Forschungsarbeiten entstand auch die Annahme, dass mentale Rotation nicht nur ein „rein mentales“ Konstrukt ist, sondern dass sie von der Repräsentation des eigenen, sich bewegenden Körpers abhängt (Funk, Brugger, & Wilkening, 2005). Der Prozess der mentalen Rotation scheint dabei von motorischen Prozessen geleitet zu werden, wobei das motorische System in diesem Fall eher der Antrieb für die Ausführung kognitiver Operationen ist als nur das ausführende Organ, wie durch mentale Rotationstests mit Körperteilen nachzuweisen versucht wird. Dabei werden motorische Bewegungen jedoch laut Funk et al. (2005) nur durch eine internale Rotationsstrategie vorbereitet, bei der die Versuchsperson antizipiert, was sie sieht, wenn sie die Rotation durch physische Manipulation selbst hervorruft, nicht aber durch eine externale Strategie, bei der man sich die Konsequenzen einer von einer externen Kraft produzierten Bewegung vorstellt. Kosslyn et al. (2001) kamen entsprechend dieser Annahme zu dem Ergebnis, dass der Motorkortex nur im Fall internaler Rotation aktiviert wird. Dieser Meinung widersprechen Bode, Koeneke und Jäncke (2007), die in ihrer Studie ebenfalls die funktionelle Rolle des primären Motorkortex bei mentaler Rotation untersuchten. Sie fanden bei ihrer Messung von Motor Evoked Potentials in der rechten Hand während mentaler Rotation keinen Zusammenhang zwischen der Art der Rotationsstrategie und der zugehörigen kortikospinalen Erregung. Dies lässt sie darauf schließen, dass die Beteiligung des Motorkortex bei der Lösung mentaler Rotationsaufgaben nichts mit der Anwendung einer internalen Rotationsstrategie zu tun hat, sondern direkt mit dem Prozess der mentalen Rotation verbunden ist.

Da das interne Modell der Bewegungsvorstellung im Gegensatz zu intern ablaufenden Bewegungsplänen offen für bewusste Wahrnehmung ist, kann mit Hilfe motorischer Vorstellung die Struktur von Bewegungsrepräsentationen untersucht werden (Jeannerod, 1995). Wilson, Maruff, Butson, Williams, Lum et al. (2004) sind sogar der Meinung, dass das motorische Vorstellungsvermögen eine efferente Kopie der auszuführenden Bewegung ist, die bewusst wahrgenommen werden kann, auch wenn die aktuell beabsichtigte Bewegung verhindert wird. Diese Vermutung würde auch erklären, warum das motorische Vorstellungsvermögen von der realen

motorischen Erfahrung beschränkt wird. Weitere Nachweise biomechanischer Einflüsse auf das motorische Vorstellungsvermögen liefern Crammond (1997) und Parsons (2001).

Daten aus der Verhaltensforschung (Shepard & Metzler, 1971), neurologische Untersuchungen (Jeannerod, 1995; Parsons, 2001) und bildgebende Verfahren (Crammond, 1997; Parsons, 2001) lassen vermuten, dass die Rotation von Händen eine valide und reliable Möglichkeit darstellt, das motorische Vorstellungsvermögen, also das Vermögen, die Bewegung von Gliedmaßen mental zu simulieren zu erfassen. Daher wurden in vielen Studien, die den Zusammenhang zwischen Motorik und mentaler Rotation untersuchen, solche Abbildungen von Händen als Stimuli verwendet, wobei Dietrich (2008) bemängelt, dass derartige Studien nicht repräsentativ für die komplexen Koordinationsabläufe der meisten Bewegungen sind, bei denen größere Muskelgruppen verwendet werden oder der ganze Körper beteiligt ist. Bei Funk et al. (2005) sollten fünfjährige Kinder und Erwachsene bei der Präsentation von Händen in vier Winkelstellungen, bei denen entweder die Handfläche oder der Handrücken in Richtung des Betrachters wies, entscheiden, ob eine rechte oder linke Hand gezeigt wird. Dabei mussten die Versuchspersonen ihre eigenen Hände entweder mit der Handfläche oder dem Handrücken nach oben legen. Signifikant erwies sich sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern, dass die Reaktionszeit umso länger war, je länger es dauerte, die eigene Hand in die abgebildete Position zu bringen, was darauf hindeutet, dass bereits die Bewegungsvorstellung von Kindern von motorischen Prozessen geleitet wird.

Saimpont, Pozzo und Papaxanthis (2009) führten einen mentalen Rotationstest mit Handstimuli bei jungen (Durchschnittsalter 23,9 Jahre) und älteren Erwachsenen (Durchschnittsalter 78,3 Jahre) durch. Korrelierend mit den in Punkt 3.2.1 aufgeführten Studien zeigte sich auch hier, dass die älteren Versuchspersonen (vor allem bei größeren Winkelstellungen) durchgehend schlechtere Ergebnisse erzielten als die jüngeren. Zusätzlich konnte jedoch nachgewiesen werden, dass die Ergebnisse sich bei der nicht dominanten Hand erheblich mehr unterschieden als bei der dominanten Hand. Die lebenslange bevorzugte Aktivität mit der dominanten Hand könnte also dazu führen, dass die Fähigkeit der mentalen Rotation mit zunehmendem Alter länger erhalten bleibt. Dies würde bedeuten, dass spezielles Training einen positiven Einfluss auf eine lebenslang bestmöglichen Ausprägung der mentalen Rotationsfähigkeit hat. Ob neben der Erhaltung auch eine aktive

Verbesserung der mentalen Rotationsfähigkeit durch Training möglich ist, wird in Punkt 3.3.3 dieser Arbeit dargestellt. Auch Wexler, Kosslyn und Berthoz (1998) verwendeten in ihrem Experiment Handstimuli und untersuchten den Einfluss einer motorischen Rotation mit vorgegebener Richtung und vorher eingeübter Geschwindigkeit auf die mentale Rotationsleistung. Bei übereinstimmender Drehrichtung von manueller und mentaler Rotation maßen sie eine erheblich schnellere Reaktionsgeschwindigkeit. Außerdem unterliefen den Versuchspersonen weniger Fehler als bei nicht kompatiblen Drehrichtungen.

Petit und Harris (2005) versuchten herauszufinden, ob mögliche und unmögliche Körperhaltungen einen Einfluss auf den Prozess der mentalen Rotation haben. In einem ersten Experiment wurden den Versuchspersonen jeweils zwei Stimuli (in möglichen und unmöglichen Körperhaltungen) parallel präsentiert. Beide Stimuliformen lösten mentale Rotation aus, die Reaktionszeit bei den unmöglichen Körperhaltungen war jedoch deutlich langsamer. Im zweiten Experiment wurde nur ein Mensch gezeigt und die Versuchspersonen mussten entscheiden, ob die Körperhaltung einer real möglichen Haltung entspricht oder nicht. Hier trat die typische lineare Reaktionsfunktion nur bei realen Anordnungen von Körperteilen auf. Dies führt die Autoren zu der Annahme, dass physisch unmögliche Stimuli über lokale Repräsentationen ihrer Einzelteile rotiert werden, während für anatomisch korrekte Figuren eine ganzheitliche Repräsentation zur Rotation eingesetzt wird. Steggemann, Matitschka, und Weigelt (2011) nahmen an, dass Versuchspersonen solche menschlichen Figuren schneller rotieren, die in ihren Proportionen mit der subjektiven Wahrnehmung des eigenen Körpers übereinstimmen. Es zeigte sich wie in vielen anderen Arbeiten ein linearer Anstieg der Reaktionszeit mit zunehmender Winkelabweichung, jedoch ergab sich kein Einfluss von Gewicht, Geschlecht und Körperproportionen der gezeigten Figuren. Dies deutet darauf hin, dass nicht die Ausmaße des eigenen Körpers, sondern seine Fähigkeiten (z.B. Bewegungserfahrungen mit den damit verbundenen Bewegungsrepräsentationen) Einfluss auf die mentale Rotation von Figuren nehmen.

Derartige motorische Vorstellungsaufgaben können auch benutzt werden, um Defizite beim Generieren einer genauen inneren Repräsentation einer beabsichtigten Bewegung, zum Beispiel bei Menschen mit koordinativen Störungen, einem unzureichend ausgebildeten Körperschema oder Menschen mit Behinderungen zu messen. Lust, Geuze, Wijers und Wilson (2006) verwendeten die Darstellungen

rechter und linker Hände zur Untersuchung der mentalen Rotationsfähigkeit von Kindern mit koordinativen Entwicklungsstörungen. Dabei stellten sie fest, dass gesunde Kinder in der Lage waren, die Aufgaben schneller und mit weniger Fehlern zu lösen, wobei sie bei Abbildungen der rechten Hand in der Regel bessere Ergebnisse erzielten als bei der linken Hand. Der Rotationswinkel hatte dabei auch hier linear Einfluss auf die Reaktionszeit. Bei Drehungen im Uhrzeigersinn ergaben sich bei linken Händen schnellere Reaktionszeiten als bei Drehungen gegen den Uhrzeigersinn, bei der rechten Hand verhielt sich dies genau gegengleich. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass in diesem Experiment motorisches und nicht visuelles Vorstellungsvermögen zur Lösung der Aufgaben benutzt wurde, da dieselben Einschränkungen wie bei realen Bewegungen auftraten.

Wiedenbauer und Jansen-Osmann (2006a; 2006b; 2007) wiesen bei einer umfassenden Untersuchung der kognitiven und räumlichen Fähigkeiten von Kindern mit Spina bifida nach, dass diese „sowohl in den räumlich-kognitiven Faktoren räumliche Veranschaulichung, räumliche Orientierung und mentale Rotation als auch in einer räumlichen Kurzzeitgedächtnisaufgabe signifikant schlechter abschnitten“ (Wiedenbauer & Jansen-Osmann, 2006b; S. 149). Die in diesem Zusammenhang festgestellte Korrelation zwischen den räumlichen Fähigkeiten und dem Laufalter der Kinder liefert einen weiteren Zusammenhang des Einflusses der motorischen Entwicklung auf die mentale Rotationsleistung. Curtze, Otten und Postema (2010) beschäftigten sich mit dem Einfluss von körperlicher Behinderung auf die Leistungsfähigkeit im Bereich der mentalen Rotation. In ihrer Studie zeigten sie 18 Beinamputierte und 18 körperlich unversehrte Versuchspersonen rechte und linke Beine in unterschiedlichen Winkelstellungen. Die Versuchspersonen sollten möglichst schnell erkennen, um welches Bein es sich handelt. Die beinamputierten Versuchspersonen zeigten keine Unterschiede bei der Identifikation von rechten und linken Extremitäten, während sich bei den unversehrten Personen ein deutlicher Seitigkeitseffekt ergab.

Mit dem Zusammenhang zwischen motorischen Fähigkeiten und mentaler Rotation bei Kindern beschäftigten sich Jansen und Heil (2010b) und Jansen, Schmelter, Kasten und Heil (2011). Sie konnten nachweisen, dass Intelligenz und gut ausgeprägte motorische Fähigkeiten mit der mentalen Rotationsleistung in Zusammenhang stehen (Jansen & Heil, 2010b). Dazu führten sie mit fünf- bis sechsjährigen Kindern unter anderem den standardisierten motorischen Test

MOT 4-6 (Zimmer & Volkamer, 1987) und einen Paper-Pencil-Test zur Überprüfung der mentalen Rotationsfähigkeit durch. Der Motoriktest beinhaltete dabei überwiegend Übungen zur Feststellung der koordinativen Leistungsfähigkeit (z.B. Zielspringen und –werfen, Balancieren und Drehungen um verschiedene Körperachsen). Positive Zusammenhänge gab es speziell zwischen der mentalen Rotationsleistung und den Teilbereichen Gewandtheit, feinmotorische Fähigkeiten, Balance, Schnellkraft und motorische Kontrolle. Spezifische Tests zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Ausdauer- bzw. Kraftfähigkeiten und mentaler Rotation waren in diesem Test nicht enthalten. Den Einfluss eingeschränkter motorischer Fähigkeiten übergewichtiger Kinder auf die visuell-räumliche Leistungsfähigkeit konnten Jansen et al. (2011) nachweisen. Die Ergebnisse eines Motoriktests und eines mentalen Rotationstests zeigten schlechtere Leistungen der übergewichtigen Kinder (Durchschnittsalter 10 Jahre) sowohl bei den motorischen Aufgaben als auch bei der Anzahl der Fehler, die beim Lösen der mentalen Rotationsaufgaben gemacht wurden.

Steggemann, Engbert und Weigelt (2011) stellten sich die Frage, welchen Einfluss allgemeine sportliche Betätigung und motorische Übung auf die mentale Rotationsfähigkeit haben. Sie fanden heraus, dass bei einem mentalen Rotationstest mit menschlichen Figuren die Versuchspersonen mit sportlicher Erfahrung bessere Ergebnisse erzielten, wenn die Figuren in ungewöhnlichen Positionen, beispielsweise mit dem Kopf nach unten gezeigt wurden. Allerdings kam dieses Ergebnis nur bei Rechts-Links-Entscheidungen zustande, bei der Entscheidung, ob die Figur gespiegelt oder identisch dargeboten wurde, konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Auch Ozel, Larue und Molinaro (2002, 2004) vermuteten, dass bei mentaler Rotation motorische Prozesse beteiligt sind, die bei sportlichen Aktivitäten stark involviert sind. Sie fanden in einem ersten Experiment heraus, dass Sportler bei mentalen Rotationsaufgaben wesentlich kürzere Reaktionszeiten haben, als Versuchspersonen, die keinen Sport betreiben. Die Vermutung, dass Athleten, die Sportarten betreiben, bei denen sie häufig schnell auf sich ständig verändernde Umstände reagieren müssen (wie z.B. in Zweikampf- oder Ballsportarten), sich bei mentalen Rotationsaufgaben schneller entscheiden als solche, die konstante Umweltbedingungen haben, konnte jedoch nicht bestätigt werden. Daraus folgern sie, dass zwar eine Verbindung zwischen Sport und mentaler Rotationsfähigkeit existiert, diese aber nicht zwangsläufig von der Art des betriebenen Sports abhängt.

Dabei wurde zwar der Aspekt der sich verändernden Umweltbedingungen beachtet, nicht jedoch die Tatsache, dass die Anzahl der Drehungen um die Körperachsen, die die Athleten während der Ausführung ihres Sports ausführen, je nach Sportart sehr unterschiedlich ist, was möglicherweise ebenfalls Einfluss auf die Entwicklung der mentalen Rotationsfähigkeit haben könnte. Die Hypothese, dass Experten in Sportarten, deren Ausübung mentale Manipulationen beinhaltet, bei mentalen Rotationsaufgaben besser abschneiden als Sportanfänger und Experten in Sportarten, die keine besonderen räumlichen Fähigkeiten erfordern, untersuchten Moreau, Mansy-Dannay, Clerk und Guerrién (2011). Sie verglichen die mentale Rotationsleistung von hochklassigen Kampfsportlern (Fechten, Judo und Ringen), da diese bei der Ausübung ihrer Sportarten beständig räumlich-visuelle und kinästhetische Prozesse verbinden müssen, mit der von sehr guten Läufern, deren Schwerpunkt im Training auf der kardiovaskulären Fitnesskomponente liegt und fanden eindeutige Ergebnisse zugunsten der mentalen Rotationsleistung der Kampfsportler. Dieses positive Ergebnis deuten die Autoren auch dahin gehend:

If shaping mental representations via sports practice also implies changes in more neutral tasks (i. e. tasks that are not sport-specific), it will mean that the particular representations involved in sports practice, or the processes and strategies required to manipulate them, can be transferred to solving other problems. (Moreau, Mansy-Dannay, Clerk, & Guerrién, 2011, S. 530)

2.3 Das Training der mentalen Rotation

Dieser Abschnitt der Arbeit beschäftigt sich mit verschiedenen Möglichkeiten des Trainings der mentalen Rotation. Dazu werden zunächst Studien zu einem räumlich-kognitiven, anschließend zu einem rein manuellen Training und zuletzt zu motorischen Trainingsmöglichkeiten betrachtet. Generell versteht Klauer (2001, S. 4) unter Training „eine wiederholt ausgeführte Tätigkeit, die die Ausführung der Tätigkeit faktisch verbessert, oder [...] eine Handlung, die darauf ausgerichtet ist, die Fertigkeit oder Fähigkeit zur Ausübung der Tätigkeit zu verbessern“. Dies bedeutet, dass nur Interventionen, die speziell mit der Absicht einer Verbesserung durchgeführt werden, unter dem Trainingsbegriff anzusiedeln sind, während es sich bei einer Verbesserung durch wiederholtes Ausführen einer Aufgabe während eines Tests eher um einen Übungseffekt handelt.

2.3.1 Räumlich-kognitives Training

Als unumstrittene Tatsache gilt, dass die Fähigkeit mental zu rotieren durch Training verbessert werden kann (Berg, Hertzog, & Hunt, 1982; Bethell-Fox & Shepard, 1988; Lohmann & Nichols, 1990; Voyer, 1995). In den meisten Studien setzt sich ein solches Training aus der wiederholten Lösung mentaler Rotationsaufgaben in unterschiedlichen Intensitäten und Umfängen zusammen. Wurden die Würfelfiguren von Shepard und Metzler verwendet, so traten meist signifikante Effekte bezüglich der Reaktionszeit auf, in einigen Experimenten wurden zusätzlich positive Auswirkungen auf die Fehlerrate nachgewiesen (z.B. Heil et al., 1998; Wallance & Hofelich, 1992).

Kail (1986) zeigte dies unter anderem mit 9-, 13- und 20jährigen Versuchspersonen, denen in 3840 Versuchen jeweils zwei Buchstaben präsentiert wurden, von denen einer in Originalstellung zu sehen war und der andere gedreht bzw. gedreht und gespiegelt erschien. Die Reaktionszeit stieg bei allen Altersgruppen linear mit wachsender Winkelgröße an und wurde zudem bei allen Altersgruppen mit steigender Anzahl der Versuche geringer. Die Altersunterschiede verschwanden nach etwa 1500 Versuchen. In einer Folgestudie konnten Kail und Park (1990) diese Vermutungen festigen. Im Laufe der Präsentation von 3360 Buchstaben, bei denen die Versuchspersonen ebenfalls entscheiden mussten, ob der Buchstabe in Normalform oder gespiegelt dargeboten wurde, kam es sowohl bei den Erwachsenen als auch bei den Kindern zu wesentlichen Verkürzungen der Reaktionszeit, wobei sich die zunächst langsameren Reaktionszeiten der Kinder immer mehr denen der Erwachsenen annäherten: „Age differences are reduced and eventually eliminated when both groups have sufficient stored representations so that virtually all trials are based on retrieval of a correct answer“ (Kail & Park, 1990, S. 243). Die Reaktionszeiten bei einer anschließend durchgeführten Transferaufgabe, bei der buchstabenähnliche Figuren mental rotiert werden sollten, wiesen jedoch darauf hin, dass die geübte Fähigkeit nicht generell für andere Stimuli angewendet werden kann. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Leone, Taine und Droulez (1993), die den Einfluss einer längerfristigen Intervention (12-15 Übungseinheiten in 6 Wochen) untersuchten. Auch hier konnte eine beständige Erhöhung der Rotationsgeschwindigkeit nachgewiesen werden, wobei die Rotationsfunktion trotzdem weiterhin linear blieb. Eine Verringerung der Fehlerrate ergab sich nicht.

Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse von Wan, Chen, Wu, Qian (2011), die nach drei Experimenten mit zweidimensionalem Stimuli behaupten, dass die Verbesserung in mentalen Rotationsaufgaben durch Übung und Wiederholung unabhängig vom verwendeten Stimulusmaterial ist. Dazu veränderten sie zum einen das Ausmaß der Wiederholungen der Rotationsrichtung und zum anderen die Bedingungen der wiederholten Darbietung der Stimuli. Zunächst wurden in zwei aufeinanderfolgenden Tests unterschiedliche Buchstaben angeboten, anschließend zunächst europäische dann chinesische Buchstaben verwendet und zuletzt wurde zusätzlich die gewünschte Rotationsrichtung vorgegeben. Aus den Verbesserungen der Versuchspersonen bei allen drei Experimenten schlossen sie, dass der positive Trainingseffekt unabhängig von der Wiederholung bestimmter vorgegebener Stimuli ist und durch eine gesteigerte Effizienz bei der Ausführung mentaler Rotation an sich zustande kommt. Es ist dabei jedoch noch nicht wirklich geklärt, welche kognitiven Prozesse bei wiederholter Übung von mentalen Rotationsaufgaben trainiert werden. Tarr und Pinker (1989) sind der Meinung, dass die Verbesserung der Reaktionszeit auf gedächtnisbasierten Prozessen beruht, weil der Ablauf mentaler Rotationsprozesse bei zunehmender Übung immer mehr durch das Abrufen von in verschiedenen Winkelstellungen erlernten Figuren aus dem Gedächtnis erfolgt.

Geng, Zhang und Zhang (2011) untersuchten den Einfluss unterschiedlicher Lernstrategien auf die Reaktionszeit bei mentalen Rotationstests. Nach einem Eingangstest wurden die Versuchspersonen zwei Gruppen zugeordnet, von denen die eine Gruppe einen Text auswendig lernen sollte, ohne ihn zu hinterfragen, während die andere Gruppe nach dem Konzept des aufmerksamen und bewussten Lernens („mindful learning“ nach Langer, 2009) arbeitete. Die Reaktionszeiten der zweiten Gruppe waren nach der Intervention signifikant schneller, was auch als wertvoller Hinweis für sinnvolle und effektive Lernstrategien an Bildungseinrichtungen gewertet werden kann. Ebenfalls unterschiedliche Interventionsstrategien verwendeten Tzuril und Egozi (2010). Sechsjährige Kinder nahmen dabei für einen Zeitraum von drei Monaten an einem Programm zum Training von Repräsentation und Transformation räumlich-visueller Informationen teil, während die Kontrollgruppe in derselben Zeit feinmotorische und künstlerische Aufgaben bearbeitete. Bei der Kontrollgruppe wurde beim Posttest ein leichter Übungseffekt festgestellt, die Verbesserung der Interventionsgruppe war im Vergleich dazu jedoch signifikant. Bemerkenswert an dieser Studie ist außerdem, dass der anfängliche

Geschlechtsunterschied in der mentalen Rotationsleistung durch die Durchführung des Interventionsprogramms signifikant verringert werden konnte. In Bezug auf die im Allgemeinen bessere mentale Rotationsfähigkeit von Männern wiesen auch Kass, Ahlers und Dugger (1998) nach, dass durch ein mentales Rotationstraining die Leistungsfähigkeit von Frauen auf das Level von Männern angehoben werden konnte und diese Verbesserung auch nach einem weiteren Test drei Wochen nach Beendigung des Trainings noch vorhanden war.

Trainingsstudien mit Computerspielen, die mit mentaler Rotation verwandte Inhalte aufwiesen (Tetris, Blockout und verschiedene Action-Videospiele), ergaben ebenfalls einen Trainingseffekt bezüglich der Steigerung der Leistungsfähigkeit im mentalen Rotationsbereich (De Lisi & Cammarano, 1996; Feng, Spence, & Pratt, 2007; Okagaki & Frensch, 1994). Neubauer, Bergner und Schatz (2010) untersuchten speziell den Einfluss eines dreidimensionalen und eines zweidimensionalen Computertrainings mit den Würfelfiguren von Shepard und Metzler (1971). Bei beiden Formen des Trainings konnte die Reaktionszeit signifikant verkürzt werden, der zunächst auftretende Geschlechtseffekt mit besseren Leistungen der Männer im Bereich der Anzahl der richtigen Antworten bei der zweidimensionalen Variante verschwand durch das Training.

Lorey, Kreh, Häuser, Munzert und Zentgraf (2011) testeten bei Parkinsonpatienten die Wirkung eines Bewegungsvorstellungstrainings (4 Wochen á drei Termine) mit menschlichen Körpern im Vergleich zu einem Entspannungs- und Gedächtnistraining. Sie kamen zu dem Schluss, dass Parkinsonpatienten nach einem Bewegungsvorstellungstraining bessere Leistungen im Bereich der mentalen Rotation erbrachten als die Entspannungsgruppe. Als Grund geben sie an, dass ein Einfluss des Trainings auf die eigenen motorischen Repräsentationen angenommen werden kann, wobei die Studie aufgrund ihrer geringen Teilnehmerzahl nur einen ersten Hinweis auf Ergebnisse in dieser Richtung widerspiegelt.

Die Gesamtheit der aufgeführten Studien zeigt, dass mentale Rotation definitiv mit Hilfe räumlich-kognitiver Aufgaben trainierbar ist. Die Befunde der Studien sind jedoch insofern nicht einheitlich, dass nicht völlig geklärt werden konnte, ob die Verbesserung durch wiederholtes Üben auf gedächtnisbasierten Prozessen beruht oder ob der mentale Rotationsprozess an sich trainiert wird. In den folgenden Punkten werden daher weitere Möglichkeiten, die mentale Rotationsfähigkeit zu

verbessern untersucht. Einen Ansatzpunkt, dass manuelles und motorisches Training hier sinnvolle Interventionsmöglichkeiten darstellen könnten, bietet die in Punkt 2.2.5 dargestellte Beteiligung motorischer Prozesse bei mentaler Rotation.

2.3.2 Manuelles Training

Die ersten Nachweise einer positiven Auswirkung von manuellem Training auf die mentale Rotationsfähigkeit erbrachten neben Wohlschläger und Wohlschläger (1998) unter anderem Rizzo, Buckwalter, Neumann, Chua, Van Rooyen et al. (1999), Rizzo, Buckwalter, Bowerly, McGee, Van Rooyen et al. (2001) und Larson et al. (1999), die ein manuelles Rotationstraining in virtuellen Realitäten schufen. Die Versuchspersonen sollten mit Hilfe eines Eingabegerätes jeweils eine dreidimensionale Würfelfigur so lange rotieren, bis sie mit der Standardfigur übereinstimmte. Während des Lösens von insgesamt 140 Aufgaben verbesserten sich sowohl die Reaktionszeit als auch die Fehlerrate signifikant. Vor und nach dem manuellen Training wurde ein mentaler Rotationstest durchgeführt, der jedoch keine signifikante Verbesserung im Bereich der mentalen Rotation erkennen ließ. Somit ergab diese Studie keinen Hinweis auf die Möglichkeit einer Verbesserung der mentalen Rotationsleistung durch manuelles Training. Parsons et al. (2004) untersuchten in dieser Studie auftretende Geschlechtsunterschiede und kamen zu dem Schluss, dass der im Ausgangstest auftretende Vorteil auf Seiten der männlichen Versuchspersonen nach einem manuellen Rotationstraining nicht mehr vorhanden war, bei den manuellen Rotationsaufgaben konnten weder bei der Geschwindigkeit noch bei der Genauigkeit Unterschiede zwischen Männern und Frauen festgestellt werden. Es scheint also keinen Geschlechtsunterschied zu geben, wenn eine Rotation visualisiert wird, anstatt sie mental durchzuführen. Wiedenbauer (2006) führt mehrere Gründe an, warum diese Studie kein positives Ergebnis erbrachte. Zum einen nennt er den Wechsel von einer virtuellen Realität im Training hin zu einem Paper-Pencil-Test, was bedeutet, dass die Figuren im Training „realen dreidimensionalen Charakter [haben], die Würfelfiguren im MRT [...] einfache Strichzeichnungen“ (Wiedenbauer, 2006, S. 52) sind. Außerdem werden während des Trainings nur jeweils zwei Figuren betrachtet, während bei dem verwendeten Rotationstest jeweils vier Vergleichsfiguren zu bearbeiten sind. Auch der beim MRT bestehende Zeitdruck fehlt bei dem durchgeführten manuellen Rotationstraining.

Diese Verbesserungen versuchten Wiedenbauer, Schmid und Jansen-Osmann in ihrer Studie von 2007 mit einzubringen. Zunächst entwickelten sie einen eigenen virtuellen mentalen Rotationstest (VMRT) und wiesen in einem ersten Experiment eine Korrelation zwischen dem mentalen Rotationstest von Vandenberg und Kuse (1978) und dem VMRT nach. In einem zweiten Experiment untersuchten sie den Einfluss eines virtuellen manuellen Rotationstrainings auf die mentale Rotationsleistung. Sowohl bei dem mittels des VMRT durchgeführten Prätest als auch im Posttest fand sich eine linear ansteigende Funktion bei der Messung der Reaktionszeiten bei wachsender Winkeldisparität. Des Weiteren konnte durch die im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikante Verbesserung der Reaktionszeiten der Testgruppe, die positive Wirkung des manuellen Trainings auf die mentale Rotationsfähigkeit erwachsener Versuchspersonen nachgewiesen werden. Allerdings geben Wiedenbauer et al. (2007) an: „However, the RT difference scores differed only for „old“ objects between the experimental and the control group, which suggests that the training effect is limited to objects learned in the training.“

Entsprechend der Annahme von Frick, Daum, Walser und Mast (2005) und Funk et al. (2005), dass im Kindesalter aufgrund der engen Zusammenhänge von mentalen und motorischen Prozessen die Erfolge eines manuellen Trainings bei Kindern nicht nur an gelernte Objekte gebunden sind, sondern der Rotationsprozess an sich verbessert werden kann, fanden Wiedenbauer und Jansen-Osmann (2008, S. 30) als Ergebnis des Einflusses eines manuellen Rotationstrainings auf die mentale Rotationsfähigkeit von Kindern ein zur vorhergehenden Studie abweichendes Ergebnis. Sie stellen fest:

The manual training we developed indeed ameliorated mental rotation and the training effect was not limited to learned stimuli. While boys outperformed girls in the mental rotation test before the manual rotation training, we found no gender differences in the results of the manual rotation task. (Wiedenbauer & Jansen-Osmann, 2008, S. 30)

Auch Wohlschläger und Wohlschläger (1998) sind sich aufgrund der Ergebnisse ihrer Studien einig, dass die mentale und die manuelle Rotation von Objekten einen gemeinsamen Prozess beinhalten, von dem angenommen wird, dass er die Dynamik sowohl der reellen als auch der imaginären Rotation von Objekten steuert. Da trotz nicht immer vollständig übereinstimmender Ergebnisse doch eindeutig erste Erfolge eines manuellen Trainings in Bezug auf die mentale Rotationsfähigkeit erzielt werden

konnten, erscheint es interessant zu hinterfragen, in wie weit sich körperliche Aktivität, die sich nicht nur auf das Rotieren virtueller Objekte beschränkt, sondern den ganzen Körper mit einbezieht, auf die mentale Rotationsfähigkeit auswirkt.

2.3.3 Motorisches Training

Bereits in Punkt 2.2.5 dieser Arbeit wurde dargelegt, dass bei der Lösung mentaler Rotationsaufgaben definitiv motorische Prozesse beteiligt sind (z.B. Wexler, Kosslyn, & Berthoz, 1998; Wohlschläger & Wohlschläger, 1998). Naito (1994) und Ozel, Larue und Molinaro (2004) vermuten sogar, dass eine Verbindung zwischen der Ausprägung motorischer Fähigkeiten und der mentalen Rotationsfähigkeit besteht, da in ihren Studien Sportler eine bessere mentale Rotationsfähigkeit aufwiesen als unsportliche Versuchspersonen. Steggeman et al. (2011) und Steggemann, Matitschka und Weigelt (2011) nahmen zunächst an, dass Versuchspersonen solche menschlichen Figuren schneller mental rotieren, die in ihren Proportionen mit der subjektiven Wahrnehmung des eigenen Körpers übereinstimmen. In ihren Studien kamen sie jedoch zu dem Schluss, „dass nicht die Ausmaße des eigenen Körpers, sondern seine Fähigkeiten, z. B. Bewegungserfahrungen mit den damit verbundenen Bewegungsrepräsentationen, Einfluss auf die mentale Figurenrotation nehmen.“ (Steggemann, Matitschka, & Weigelt, 2011, S. 135).

Dass bereits eine kurze körperliche Aktivität die mentale Rotationsleistung (wenn auch nicht dauerhaft) verbessert, zeigten Demougeot und Papaxanthis (2011). Sie untersuchten in ihrem Experiment, inwieweit muskuläre Ermüdung Einfluss auf die mentale Vorstellung von Bewegung hat. Die Versuchspersonen führten vor und nach einem ermüdenden Übungsprogramm für den rechten Arm mental und in der Realität eine Reihe vertikaler Armbewegungen (Rotation um die Schulterachse) durch. Dabei ergab sich vor der Ermüdung eine ähnliche Dauer der Bewegungen bei mentaler und reeller Rotation. Nach dem Übungsprogramm änderte sich dieses Bild deutlich: die mit dem ermüdeten rechten Arm ausgeführten Bewegungen waren deutlich langsamer, während die imaginären Rotationen signifikant schneller durchgeführt wurden als vor der Intervention. Bemerkenswert war außerdem, dass für die realen Bewegungen nach der Belastung eine sehr schnelle Rückkehr zur Ausgangsgeschwindigkeit erfolgte, während der positive Effekt bei der mentalen

Rotation deutlich länger nachweisbar war. Die Bewegungsgeschwindigkeit des linken Armes, mit dem keine Intervention durchgeführt wurde, wurde weder mental noch bei realer Ausführung der Bewegung beeinflusst. Diese Ergebnisse unterstreichen die Verflechtung von motorischen und kognitiven Aktivitäten und lassen vermuten, dass mentale Aktionen den jeweils aktuellen Aktivierungszustand des motorischen Systems mit einbinden. Auch Jansen und Pietsch (2009) konnten ähnliche Ergebnisse in Bezug auf eine kurzfristige Steigerung der mentalen Rotationsleistung nach sportlicher Betätigung nachweisen. Dazu absolvierten zwei Gruppen von Lehramtsstudenten jeweils ein 45minütiges sportliches bzw. rein kognitives Interventionsprogramm. Während die Ergebnisse eines mentalen Rotationstests mit dreidimensionalen Würfelfiguren sich vor Beginn der Intervention nicht unterschieden, zeigte sich danach eine klare Verbesserung auf Seiten der sportlich aktiven Gruppe, während sich die nur geistig aktive Gruppe nicht steigern konnte.

Mit der speziellen Auswirkung eines Wurftrainings auf die Lateralitätsbeurteilung von menschlichen Figuren beschäftigten sich Meier und Zentgraf (2011). Nach 50 Würfeln aus verschiedenen Körperpositionen heraus konnte eine signifikante Verbesserung der Rotationsgeschwindigkeit und eine Abnahme der Fehlerrate festgestellt werden. Ob diese Verbesserung jedoch auf den kurzfristigen Effekten eines Training beruht, das Körperrotationen beinhaltet oder durch Wiederholungseffekte oder den Anstieg der neuronalen Aktivität nach Belastung (Demougeot & Papaxanthis, 2011) zustande kommt, bleibt bei diesem Experiment ungeklärt. Die dargestellten Ergebnisse lassen insgesamt darauf schließen, dass durch sportliche Intervention kurzfristig eine Verbesserung der mentalen Rotationsleistung erbracht wird, wodurch diese allerdings hervorgerufen wird, schein noch nicht ganz geklärt. Weiter bleibt auch zu untersuchen, in wie weit und durch welche motorischen bzw. sportlichen Maßnahmen eine dauerhafte Verbesserung erreicht werden könnte.

Mit dem Einfluss einer längerfristigen sportlichen Tätigkeit beschäftigten sich Tlauka, Williams und Williamson (2008). Sie testeten die mentale Rotationsfähigkeit von Sportstudenten und Studenten anderer Fakultäten und kamen zu dem Ergebnis, dass aufgrund der im Vergleich zu ihren Kommilitonen besseren Leistungen der männlichen und weiblichen Sportstudenten ein Zusammenhang zwischen räumlichen und motorischen Fähigkeiten und Fertigkeiten, die über längere Zeit verstärkt ausgeübt werden, bestehen muss. Auch Ginn und Pickens (2005) sind der Ansicht, dass physische Aktivität die mentale Rotationsleistung positiv beeinflussen kann.

Allerdings kamen sie bei Männern und Frauen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Während Musik-, Kunst- und Sportstudentinnen bei einem mentalen Rotationstest besser abschnitten als Studentinnen, die keine Erfahrung in diesen Bereichen hatten, erbrachten die männlichen Studenten dieser drei Fächer schlechtere Leistungen als die Kontrollgruppe. Bei den Frauen zeigte sich außerdem, dass die Ergebnisse umso besser waren, je vielseitiger die Erfahrungen in den genannten Bereichen waren.

Diese Studien deuten darauf hin, dass nicht nur durch eine zeitnah durchgeführte sportliche Aktivität die mentale Rotationsleistung positiv beeinflusst wird, sondern dass durch kontinuierliche körperliche Betätigung eine längerfristige Verbesserung erreicht werden kann. Zu diesem Ergebnis kamen auch Ozel et al. (2004), sie unternahmen jedoch einen ersten konkreten Versuch festzustellen, ob sich bestimmte Sportarten besonders für das Training mentaler Rotation eignen. Sie vermuteten in ihrer Studie, dass Sportler, die in der von ihnen ausgeübten Sportart häufig schnell auf sich ständig verändernde Umstände reagieren müssen (z.B. Ballsport, Kampfsport) schnellere Reaktionsgeschwindigkeiten bei der Lösung mentaler Rotationsaufgaben aufweisen, als die Athleten solcher Sportarten, die beständig konstante Umweltbedingungen und keine unvorhersehbaren Situationsänderungen aufweisen (z. B. Leichtathletik, Kunstturnen). Wie auch in den oben aufgeführten Studien kamen sie zu dem Ergebnis, dass Sportler insgesamt signifikant bessere Ergebnisse aufwiesen als Nicht-Sportler, ihre These konnten sie jedoch nicht belegen, weshalb sie zwar weiterhin die Ansicht vertreten, dass es eine Verbindung zwischen Sport und mentaler Rotationsfähigkeit gibt, diese jedoch unabhängig von sportartspezifischen Bedingungen ist.

Trotz erster Forschungsergebnisse auf dem Gebiet des motorischen Trainings der mentalen Rotationsfähigkeit bleiben viele weitere Einteilungsmöglichkeiten unbeachtet, beispielweise die Unterscheidung nach Mannschafts- und Einzelsportarten oder auch nach konditionell und koordinativ orientierten Sportarten. Außerdem fehlen weiterführende Studien zu konkreten sportartbezogenen Trainingsinterventionen. Bisher wurde meist nur die allgemein erhöhte sportliche Aktivität von Sportstudenten oder Sportlern im Vergleich zu Nicht-Sportlern untersucht, nicht aber der konkrete Einfluss bestimmter Sportarten. Erste Vorstöße in diese Richtung gelangen Jansen und Heil (2010b) sowie Jansen, Lange und Heil (2011). Aufbauend auf den Ergebnissen von Harding, Paul und Mendl (2004), die den Nachweis erbrachten, dass durch das Erlernen der Dreiballjonglage ein

deutliches Anwachsen der grauen Substanz und damit von Gehirnarealen, die mit der Verarbeitung und Speicherung von komplexen visuellen Bewegungen in Verbindung gebracht werden, möglich ist, führten sie bei einer Gruppe von 6-14jährigen Mädchen entweder ein dreimonatiges Jongliertraining durch oder ein leichtes Kräftigungstraining mit dem Theraband. Die Jongliergruppe zeigte nach Ablauf der Intervention signifikant schnellere Reaktionszeiten bei allen von 0° verschiedenen Winkelstellungen. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die mentale Rotationsfähigkeit durch koordinativ anspruchsvolle Sportarten, die eine gute Auge-Hand-Koordination erfordern, gefördert werden könnte.

Mit dem Einfluss eines allgemeinen koordinativen Trainings beschäftigte sich Blüchel (2011). Sie führte mit 8-10jährigen Kindern für zwei Wochen täglich ein 20minütiges koordinatives Training durch, während eine Kontrollgruppe kein zusätzliches sportliches Training erhielt. In beiden Gruppen waren nach Ablauf der zwei Wochen Fortschritte erkennbar, was durch den Lerneffekt aufgrund des kurzen Testabstands erklärbar ist, die Zuwächse bei der Gruppe, die ein koordinatives Training erhielt, waren jedoch signifikant höher. Auch fünf Monate nach Ende der Intervention konnte noch ein erhöhtes Niveau der Interventionsgruppe festgestellt werden. Erste aktuelle Studien beschäftigen sich auch mit der wie bereits erwähnten bisher eher vernachlässigten Wirkung des Trainings spezieller Sportarten auf die mentale Rotationsleistung. Moreau, Clerc, Mansy-Dannay und Guerrien (2012) konnten hier erstmals eine sportartgebundene Verbesserung der mentalen Rotationsfähigkeit durch motorisches Training nachweisen. Sie untersuchten die Entwicklung der mentalen Rotationsleistung durch ein 10monatiges Training von Studenten in den Sportarten Ringen bzw. Laufen und ermittelten bei vergleichbaren Werten im Prätest eine signifikant bessere Leistung der Ringer im Posttest.

Dass eine Beeinflussung der mentalen Rotationsleistung durch sportliches Training möglich ist, scheint nach Darlegung der aufgeführten Studien unbestreitbar. Es bleibt jedoch zu untersuchen, ob die nachgewiesene bessere mentale Rotationsfähigkeit von Sportlern allgemein durch die vermehrte körperliche Betätigung zustande kommt oder ob sie von der Ausübung und den Merkmalen bestimmter Sportarten oder von Umfang und Intensität abhängt, mit der der jeweilige Sport betrieben wird.

2.4 Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstandes

Die mentale Rotation gilt innerhalb der räumlichen Fähigkeiten als ein sehr häufig und vielseitig untersuchtes Konstrukt. Erstmals nachweisen konnten das Phänomen des mentalen Rotierens Shepard und Metzler (1971) mit ihrer Studie zum Vergleich zweier identischer oder gespiegelter im Raum gedrehter Objekte. Im Laufe der Jahre wurden neben der Verwendung unterschiedlicher zwei- und dreidimensionaler Stimuli in Form von Papier-Pencil-Tests auch computergestützte chronometrische Verfahren, vor allem zur Messung der Reaktionszeit bei der Lösung mentaler Rotationsaufgaben entwickelt. Die einzelnen Prozessschritte, die während der Durchführung einer mentalen Rotation auftreten, wurde mehrfach bestätigt, jedoch erscheint noch nicht ganz geklärt, ob das Modell zeitlich getrennter nacheinander ablaufender Teilprozesse zugunsten einer Überlappung einzelner Schritte verworfen werden muss. Auch fand man unterschiedliche Lösungsstrategien (holistisch und analytisch, internal und external) mit denen mentale Rotationsprobleme bearbeitet werden können. Mit Hilfe bildgebender Verfahren konnten die während der mentalen Rotation aktiven Gehirnareale lokalisiert werden. Als unbestritten gilt die verstärkte Beteiligung der Parietallappen, wobei sich die Meinungen unterscheiden, ob der rechte oder linke intraparietale Sulcus mehr involviert ist. Die funktionelle Rolle des Motorkortex wurde in diesem Zusammenhang noch nicht völlig geklärt. Einigkeit besteht darin, dass Kinder und Erwachsene grundsätzlich ein ähnliches Aktivierungsmuster aufweisen.

Viele Autoren beschäftigten sich mit entwicklungspsychologischen Aspekten der mentalen Rotation. So konnten bereits bei fünf Monate alten Säuglingen erste Anzeichen für das Vorhandensein dieser speziellen räumlichen Fähigkeit nachgewiesen werden. Einen Entwicklungssprung scheint es im Alter zwischen vier und sechs Jahren zu geben. Zu diesem Zeitpunkt sind Kinder erstmals wirklich in der Lage, mentale Rotationsstrategien zu verwenden und zu beschreiben. Als gesichert gilt jedoch, dass die Reaktionszeiten von Kindern bis zu einem Alter von mindestens 13 Jahren generell langsamer sind als die von Erwachsenen, wobei sie durch Training signifikant verbessert werden können. Mit zunehmendem Alter im Erwachsenenbereich nimmt die Reaktionsgeschwindigkeit bei gleichbleibenden Irrtumswahrscheinlichkeiten wieder ab. Einigkeit besteht in der Forschung (zumindest im Bereich der Paper-Pencil-Tests) über die Tatsache, dass die mentale Rotationsfähigkeit als

klassisches Beispiel einer räumlichen Aufgabe gilt, bei der Männer besser abschneiden als Frauen, wobei die verschiedensten Gründe für diesen Leistungsunterschied angeführt werden. Auch der Einfluss der Anzahl, Form und Darstellung der verwendeten Stimuli auf die mentale Rotationsgeschwindigkeit wurde in der Literatur kontrovers diskutiert, wobei die meisten Studien zum dem Schluss kommen, dass bekannte Symbole schneller rotiert werden als abstrakte und komplexe Stimuli, während zwischen zwei- und dreidimensionalen Figuren kein Unterschied festgestellt wurde.

Die Beteiligung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation wurde häufig durch die Verwendung von Körperteilen, vor allem von Händen als Stimuli nachzuweisen versucht. Auch der Einfluss der Verwendung von Figuren mit realen und physisch unmöglichen Körperhaltungen auf den Rotationsprozess war Inhalt verschiedener Studien und Experimente. Neuere Forschungen beschäftigen sich zum einen mit dem Einfluss körperlicher Behinderungen auf die Ausprägung der mentalen Rotationsleistung, zum anderen mit dem Zusammenhang von motorischer Leistungsfähigkeit und mentaler Rotationsfähigkeit. Dabei rückt immer mehr die Bedeutung sportlicher Aktivität in den Vordergrund.

Auch das Training der mentalen Rotation stellt ein wichtiges Forschungsgebiet im Rahmen dieses Kontextes dar. Dass die Fähigkeit der mentalen Rotation durch Training verbessert werden kann, gilt in der Literatur als unumstrittene Tatsache. Eine Vielzahl von Studien behandelt den positiven Einfluss eines Trainings mit bestimmten Stimuli auf die Reaktionsgeschwindigkeit beim Lösen entsprechender Rotationsaufgaben, wobei noch nicht völlig geklärt erscheint, ob ein Transfer hin zu anderen Stimuli erfolgreich durchgeführt werden kann. Auch der Einfluss unterschiedlicher Lernstrategien und ein Training mit Hilfe von dreidimensionalen Computerspielen waren Inhalt verschiedener Studien. Erste Nachweise der positiven Wirkung von manuellem Training auf die mentale Rotationsfähigkeit wurden erbracht. In einem weiteren Schritt konnte nachgewiesen werden, dass eine Verbindung zwischen der Ausprägung der motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsleistung besteht, da in mehreren Studien eine bessere mentale Rotationsleistung von Sportlern im Vergleich zu sportlich nicht aktiven Personen auftrat. Auch wurde eine kurzfristige Verbesserung der mentalen Rotation direkt nach Beendigung der Ausübung körperlicher Aktivität gefunden, wobei der letztendliche Grund für diesen Anstieg sowie der dauerhafter Bestand dieses Effekts noch nicht

geklärt sind. Erste aktuelle Studien beschäftigen sich mit einer genaueren Untersuchung, welche motorischen Fähigkeiten und Fertigkeiten Einfluss auf die mentale Rotationsfähigkeit haben könnten.

Abschließend lässt sich feststellen, dass der Stand der Forschung zeigt, dass ein enger Zusammenhang zwischen motorischen und visuell-räumlichen Fähigkeiten, speziell der mentalen Rotationsfähigkeit, angenommen werden kann. Viele Einzelheiten sind jedoch bisher noch ungeklärt, z.B. welche der motorischen Fähigkeiten und Fertigkeiten positiven Einfluss auf die Entwicklung der mentalen Rotationsleistung haben. Es wird angenommen, dass die koordinativen Fähigkeiten als informationsorientierte Fähigkeiten hier eine bedeutende Rolle spielen. In welchen Sportarten und bei welchen Trainingsformen (Umfang, Inhalte, Dauer, Dichte, Trainingsmittel) jedoch die größten Erfolge in dieser Hinsicht erzielt werden können, wurde bislang noch nicht hinreichend erforscht.

B. Empirische Untersuchung

3. Messmethoden

Da es Ziel dieser Arbeit ist, den in Teil A dargelegten allgemeinen Zusammenhang zwischen mentaler Rotationsleistung und Motorik für einzelne motorische Fähigkeiten und Fertigkeiten genauer zu untersuchen, werden im folgenden Abschnitt zunächst die für die vier geplanten Studien verwendeten Tests im Detail dargestellt.

3.1 Tests zur Erfassung der Mentalen Rotationsfähigkeit

Zur Erfassung der mentalen Rotationsfähigkeit wurden zwei verschiedene Tests verwendet. Als grundlegender Test für die ersten drei Studien fand der MRT von Peters, Chisholm und Laeng (1995) Verwendung, für das abschließende Experiment wurde ein computerbasierter chronometrischer mentaler Rotationstest (CMR) von Wiedenbauer (2006) als Testinstrument gewählt, um zusätzlich noch die Reaktionszeiten der Versuchsteilnehmer auswerten zu können.

3.1.1 Mentaler Rotationstest von Peters, Chisholm und Laeng (1995)

Eine Möglichkeit zur Erfassung der mentalen Rotationsfähigkeit stellt der Paper-Pencil-Test von Peters, Chisholm und Laeng (1995), der sogenannte MRT (Version A) dar. Die Originalversion dieses Tests wurde von Vandenberg und Kuse (1978) entwickelt, die dabei die von Shepard und Metzler (1971) eingeführten Würfelfiguren verwendeten.

Beim MRT gibt es insgesamt 24 zu lösende Aufgaben, die in jeweils zwei Sets zu 12 Aufgaben unterteilt sind. Die Bearbeitungszeit pro Set beträgt drei Minuten, für den Gesamttest ohne einführende Erklärung und Übungsphase werden somit sechs Minuten benötigt. Jede der 24 Einzelaufgaben besteht aus fünf Würfelfiguren, die in einer Reihe nebeneinander präsentiert werden. Auf der linken Seite wird ein Standardobjekt dargeboten, auf der rechten Seite vier Vergleichsobjekte (siehe Abbildung 10). Zwei der vier Vergleichsobjekte sind zum Standardobjekt identische

Figuren, die jedoch räumlich gedreht präsentiert werden, die anderen beiden Figuren können nicht durch Rotation in die Ausgangsfigur übergeführt werden. Die Versuchspersonen sollen jeweils die beiden zum Standardobjekt identischen Figuren benennen.

1.a

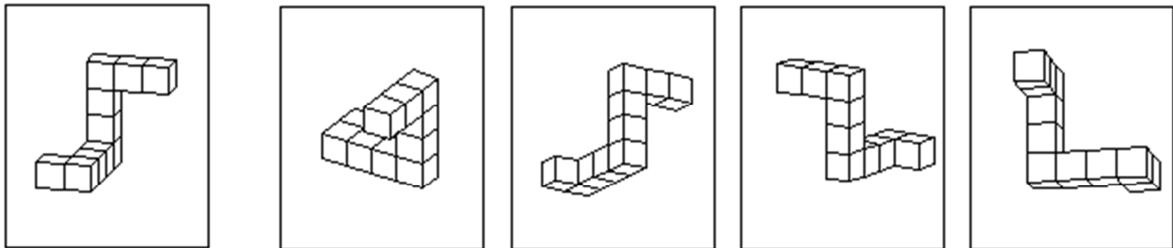


Abbildung 10: Items des psychometrischen mentalen Rotationstests (Peters, Chisholm, & Laeng, 1995).

Auf jeder DIN A4-Seite sind sechs Einzelaufgaben abgebildet. Die Instruktionen zur Bearbeitung des Tests erfolgen in schriftlicher Form, anschließend werden von den Versuchspersonen drei Übungsaufgaben bearbeitet. Die richtige Lösung dieser Übungsaufgaben steht den Versuchspersonen am Seitenende zur Verfügung. Nach dieser Trainingsphase werden die Versuchsteilnehmer angewiesen, für möglichst alle 12 Teilaufgaben der ersten Serie in den folgenden drei Minuten die richtige Lösung zu finden. Nach einer Pause von 30 Sekunden gilt die identische Anweisung auch für die nächsten 12 Teilaufgaben.

Registriert wird die Anzahl der gelösten Aufgaben. Eine Aufgabe gilt nur dann als gelöst, wenn jeweils beide richtigen Antwortmöglichkeiten markiert wurden. Es können daher bei diesem Test maximal 24 Punkte erreicht werden. Der psychometrische Rotationstest dauert pro Versuchsperson bzw. pro Versuchsgruppe ca. 15-20 Minuten.

3.1.2 Computerbasierter mentaler Rotationstest (CMR)

Aufgabe der Testpersonen bei dem von Wiedenbauer (2006) entwickelten und evaluierten computerbasierten mentalen Rotationstest (CMR) ist es, so schnell und fehlerfrei wie möglich zu entscheiden, ob jeweils zwei auf einem Bildschirm sichtbare Würfelfiguren gespiegelt oder identisch sind. Als Stimuli werden Würfelfiguren, die denen des Paper-Pencil-Tests von Shepard und Metzler (1971) ähnlich sind, verwendet. Jede der 18 verschiedenen Figuren besteht dabei aus 10 einzelnen Würfeln, die dreidimensional rotiert dargestellt werden. Jede Würfelfigur hat dabei eine maximale Größe von 4x4cm auf dem Bildschirm, der Abstand zwischen den Figuren beträgt 10cm (siehe Abbildung 11). Die Teilnehmer wählen selbst den für sie angenehmsten Abstand zum Bildschirm, sie müssen jedoch mindestens einen halben Meter entfernt sein. Auf der linken Bildschirmseite wird jeweils eine Standardfigur gezeigt, die auf der rechten Seite zeitgleich eingeblendete Vergleichsfigur ist in 50% der Durchgänge identisch und in 50% gespiegelt. Die beiden Figuren werden in der Mitte des Bildschirms durch einen kleinen schwarzen Stern getrennt.

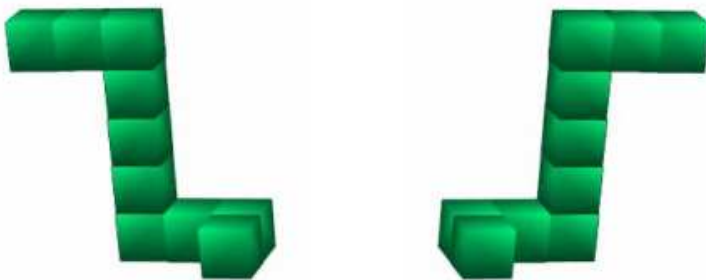


Abbildung 11: Würfelfiguren aus dem CMR. Die Vergleichsfigur (rechts) ist hier eine zur Standardfigur (links) gespiegelte Version (Wiedenbauer, 2006, S. 58).

Während die Standardfigur immer aufrecht steht (0°), wird die Vergleichsfigur in unterschiedlichen Winkelstellungen (0° , 90° , 180° , 270°) präsentiert (siehe Abbildung 12).

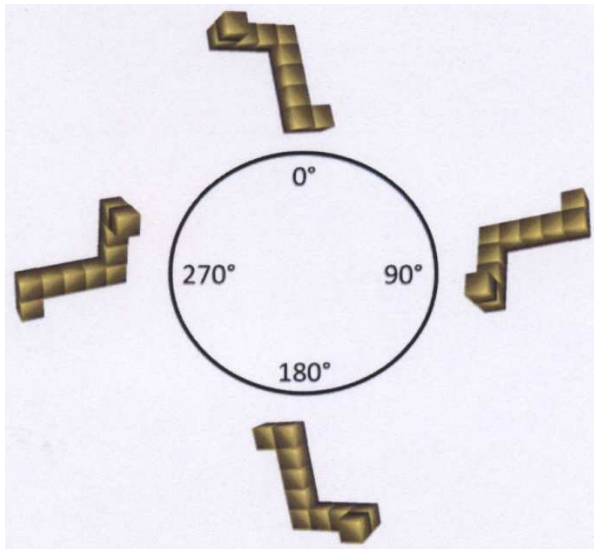


Abbildung 12: Mögliche Winkelkonstellationen (0°, 90°, 180°, 270°) der Vergleichsfigur im CMR (Vetter, 2010, S. 72).

Jede der 12 Vergleichsfiguren wird jeweils einmal als identische und einmal als gespiegelte Figur präsentiert, wobei zwei gleiche Figuren oder zwei gleiche Winkelstellungen nicht unmittelbar aufeinander folgen. Der CMR beginnt mit einer Übungsphase, die aus zwei Durchgängen mit jeweils 27 Einzelentscheidungen (identisch/gespiegelt) besteht. Die in der Übungsphase verwendeten Würfelkörper werden in der Testphase nicht erneut gezeigt. Die 324 Einzelentscheidungen der Experimentalphase sind in drei Blöcke mit jeweils 108 identischen Trials in zufälliger Reihenfolge eingeteilt, die in 12 Serien mit jeweils 27 Entscheidungen abgefragt werden. Nach 27 Entscheidungen legt die Testperson jeweils eine vom Versuchsleiter kontrollierte Pause von 20 Sekunden ein. Jeder Durchgang startet mit einer 500ms dauernden Präsentation eines schwarzen Sterns in der Mitte des Bildschirms. Direkt danach erscheinen die beiden Würfelkörper.

Das Experiment wird an einem Computer mit 17"-Monitor durchgeführt. Als Eingabegerät für die Probanden wird eine Computermaus mit zwei Tasten verwendet, wobei die linke Taste grün („die Figuren sind identisch“) und die rechte Taste rot („die Figuren sind gespiegelt“) markiert ist. Nach jedem Versuch erfolgt für den Teilnehmer für 500ms eine visuelle Rückmeldung, ob seine Entscheidung richtig („+“) oder falsch („-“) war. Die nächsten Würfelkörper werden jeweils nach 1500ms eingeblendet. Das Programm erfasst die Anzahl der korrekten Antworten der

Probanden und die Reaktionszeit für die einzelnen Aufgaben mit einer Genauigkeit von +/-0.1ms.

3.2 Test zur Kontrolle der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit

Bei dem von Oswald und Roth (1987) entwickelten Zahlenverbindungstest (ZVT), der sich in vielen Punkten am „Trail Making Test“ von Reitan (1956) orientiert, handelt es sich um einen sprachunabhängigen Test zur Feststellung der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit. Der Test besteht aus vier DIN A4-Blättern, auf denen jeweils die Zahlen von 1 - 90 auf einem Blatt ungeordnet in Form von Zahlenmatrizen abgebildet sind. Diese Zahlen müssen von den Versuchspersonen so schnell wie möglich nach aufsteigender Größe mit Strichen verbunden werden. Die nächste Ziffer befindet sich dabei immer in unmittelbarer Nachbarschaft zu ihrem Vorgänger und ist durch einen gerade oder schräg verlaufenden Strich zu erreichen. Striche können sich dabei überkreuzen. Zum Kennenlernen und Üben des Testablaufs werden zunächst zwei Übungsaufgaben mit jeweils 20 Zahlen auf einem gesonderten Blatt durchgeführt. Der Test dauert insgesamt 10 Minuten und kann grundsätzlich als Einzel- oder Gruppentest bearbeitet werden. Wird der ZVT als Einzeltest durchgeführt, so wird jeweils die Zeit notiert, die die Versuchsperson zum Verbinden aller 90 Zahlen benötigt. Im Gruppentest stehen den Versuchspersonen pro Zahlenmatrize 30 Sekunden zum Verbinden der Zahlen zur Verfügung. Ein Beispiel für ein komplettes Blatt des Zahlenverbindungstests befindet sich in Anhang A dieser Arbeit.

Die Daten dieses Tests werden bei allen Studien und Experimenten dieser Arbeit erhoben, um mögliche Unterschiede in der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit zwischen den einzelnen Versuchsgruppen ausschließen zu können. Die im Test erreichten Zahlenwerte bzw. Zeitwerte jeder Matrize werden zunächst mit Hilfe von Normwerttabellen in die durchschnittliche Leistung in bit/sec umgewandelt. Diese Rohwerte werden anschließend addiert und durch vier dividiert, da vier Testblätter ausgefüllt werden. Die Punktwerte des Zahlenverbindungstests werden für Einzeltests mittels Normwerttabellen in IQ-Werte umgewandelt. Die Korrelation zwischen ZVT und Standard-IQ-Tests beträgt dabei zwischen $r = .60$ und $.80$ (Vernon & Weese, 1993).

3.3 Motorisch – koordinativer Test zur Überprüfung der Ausprägung der komplexen koordinativen Fähigkeiten unter Zeitdruck

Als motorisch-koordinativer Test wurde der Kasten-Bumerang-Lauf durchgeführt (Bös, 2001). Er gilt als sportmotorischer Test zur Überprüfung der Ausprägung der komplexen koordinativen Fähigkeiten unter Zeitdruck von Kindern und Erwachsenen, wobei die Testdurchführung keine spezifischen Bewegungsfertigkeiten erfordert. Ziel dieses Tests ist es, die Einzelgeräte innerhalb eines Hindernisparcours nach streng vorgegebenem Lösungsweg in möglichst kurzer Zeit zu bewältigen. Zunächst erfolgen Erklärung und Demonstration durch den Versuchsleiter und ein Vorversuch durch die Versuchsteilnehmer. Die Versuchsperson startet auf Kommando an der Start- und Ziellinie, die sich einen Meter von einer Turnmatte entfernt befindet, es folgt eine Rolle vorwärts auf der Matte. Anschließend läuft die Versuchsperson links an der in der Mitte aufgestellten Markierung vorbei, um nach einer 90°-Drehung über das von der Startlinie aus gesehen rechts quer aufgestellte Kastenteil 1 zu springen und anschließend so schnell wie möglich durch dieses Kastenteil zu kriechen. Der gleiche Ablauf folgt im Weiteren mit den Kastenteilen 2 und 3. Nach einem letzten Umlaufen der Mittelmarkierung wird beim Überqueren der Ziellinie die benötigte Zeit in Zehntel-Sekunden genommen (siehe Skizze in Abbildung 13).

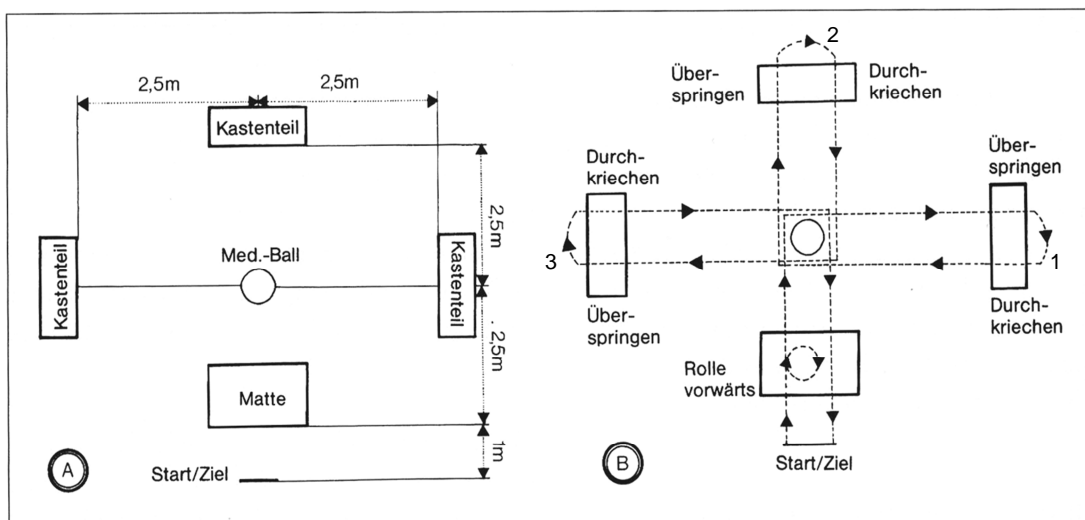


Abbildung 13: Aufbau und Ablauf des Kasten – Bumerang – Laufes (Weineck, 2007, S. 816).

Die Objektivität dieses Tests liegt bei .96, die Reliabilität bei .86, Expertenratings zur inhaltlich logischen Validität liegen vor. Eine signifikant positive Korrelation mit weiteren Koordinationsläufen (z. B. Haro-Fitness-Test, HGT) ist gegeben, Normwerte existieren jedoch nur für die Klassenstufen von 1 – 12 (Bös, 2001).

4. Studie 1

Da nach der Darlegung der theoretischen Vorüberlegungen von einem grundsätzlichen Zusammenhang zwischen motorischer und räumlich – visueller Leistungsfähigkeit ausgegangen werden kann, wurde in dieser Studie zunächst untersucht, ob eine Verknüpfung von vermehrt stattfindender sportlicher Betätigung und mentaler Rotationsleistung existiert. Es wurde angenommen, dass Versuchspersonen, die seit längerer Zeit überdurchschnittlich viel und regelmäßig Sport treiben, eine besser ausgeprägte mentale Rotationsfähigkeit besitzen als Versuchspersonen, die nur in geringem Maß Sport treiben (siehe z.B. Tlauka et al., 2008). Darüber hinaus wurde, da es sich bei dem verwendeten mentalen Rotationstest um einen Paper-Pencil-Test handelt, ein geschlechtsspezifischer Leistungsunterschied erwartet (siehe z.B. Masters & Sanders, 1993; Jansen-Osmann & Heil, 2007a). Außerdem wurde vermutet, dass aus der Teilgruppe der aktiv Sport treibenden Pädagogikstudenten diejenigen eine bessere mentale Rotationsleistung aufweisen, die eine koordinativ orientierte Sportart im Vergleich zu einer konditionell orientierten Sportart betreiben (Blüchel, 2011; Jansen, Lange, & Heil, 2011). Die Ergebnisse dieser Studie wurden mit einer dritten zusätzlichen Versuchsgruppe von Musikstudenten 2012 veröffentlicht (Pietsch & Jansen, 2012).

4.1 Methode

4.1.1 Stichprobe

An dieser Studie nahmen 87 Studenten im Alter von 19 bis 25 Jahren teil. Verwendet wurden die Daten von 80 Versuchspersonen (Durchschnittsalter $M = 21.94$ Jahre, $SD = 1.88$), davon 40 Studenten (20 männlich (m)/20 weiblich (w)) mit Hauptfach Sport, die seit mehr als zwei Jahren mindestens sechs Stunden Sport pro Woche treiben und 40 Studenten (20m/20w) mit Hauptfach Pädagogik ohne bzw. mit deutlich niedrigerer durchschnittlicher sportlicher Bewegungszeit pro Woche. Die Datensätze von sieben Versuchspersonen konnten nicht verwendet werden, darunter die von vier Pädagogikstudenten, die seit mehr als zwei Jahren mehr als acht Stunden Sport pro Woche betreiben sowie die von drei Sportstudentinnen, die erst seit weniger als zwei Jahren mindestens sechs Stunden Sport pro Woche treiben.

4.1.2 Versuchsaufbau

Fragebogen:

Mittels eines Fragebogens wurden Geschlecht, Alter und Studienfach erfasst. Zusätzlich wurden folgende Daten bezüglich der sportlichen Aktivität der Probanden erhoben: Durchschnittliche Anzahl der Sportstunden pro Woche, regelmäßig ausgeübte Sportarten und Beginn der Aktivität in diesen Sportarten.

Test der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit:

Die kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit wurde als Gruppentest durch den Zahlenverbindungstest (Oswald & Roth, 1987) festgestellt. Eine ausführliche Erläuterung zu diesem Test findet sich in Punkt 3.2 dieser Arbeit.

Test der mentalen Rotationsfähigkeit:

Die mentale Rotationsfähigkeit wurde als Gruppentest durch den Mental Rotation Test (MRT, überarbeitete Version von Peters et al., 1995; Vandenberg & Kuse, 1978) erfasst. Zur genaueren Beschreibung des Tests wird auf Punkt 3.1.1 dieser Arbeit verwiesen.

4.1.3 Versuchsdurchführung

Der Versuch dauerte etwa 30 Minuten und wurde in zwei Hörsälen der Universität Regensburg (Fachbereich Sport und Fachbereich Pädagogik) als Gruppentest durchgeführt. Um Ablenkungen zu vermeiden, wurde ein Abstand von jeweils mindestens einem Sitzplatz eingehalten. Die Daten wurden im Rahmen von Einführungsvorlesungen von Studenten des ersten bis dritten Semesters erhoben. Nach dem Ausfüllen des Fragebogens wurde zunächst der ZVT zur Erfassung der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit durchgeführt, nach einer Pause von zwei Minuten im Anschluss daran der MRT zur Feststellung der mentalen Rotationsfähigkeit. Die Versuchspersonen wurden nach der festgelegten Übungsphase instruiert, den MRT möglichst schnell und fehlerfrei zu bearbeiten (siehe 3.1.1).

4.1.4 Design und statistische Analyse

Fragebogen:

Die Fragebogendaten wurden über alle Versuchspersonen gemittelt. Außerdem wurde jeweils eine univariate Varianzanalyse mit dem abhängigen Variablen „Sportstunden“ (Anzahl der Sportstunden pro Woche) bzw. „Sportjahre“ (Anzahl der Jahre, in denen aktiv Sport betrieben wurde) und den unabhängigen Variablen „Geschlecht“ (männlich/weiblich) und „Gruppe“ (Sport/kein Sport) durchgeführt.

ZVT:

Für jede Versuchsperson wurde die Leistung der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit in bit/sec pro erreichter Ziffer in 30 Sekunden (Oswald & Roth, 1987) berechnet. Anschließend wurde eine univariate Varianzanalyse mit dem abhängigen Faktor „Leistung im ZVT“ und den unabhängigen Variablen „Geschlecht“ und „Gruppe“ (Sport/kein Sport) durchgeführt.

MRT:

Zunächst wurde für jede Versuchsperson die erreichte Gesamtpunktzahl berechnet (0 - 24 Punkte). Anschließend wurde eine Varianzanalyse mit der abhängigen Variablen „Punktwert im MRT“ (Anzahl der richtig gelösten Aufgaben im MRT) und mit den beiden unabhängigen Variablen „Geschlecht“ und „Gruppe“ durchgeführt.

Für eine weitere Varianzanalyse mit den unabhängigen Variablen „Sportart“ (konditionell/koordinativ) und „Geschlecht“ und der Kovariate „Sportstunden“ wurden als Versuchsgruppe nur die Pädagogikstudenten gewählt, die entweder eine konditionelle oder eine koordinative Sportart betrieben. Diejenigen, die gar keinen Sport ausüben und alle Sportstudenten wurden von dieser Varianzanalyse ausgeschlossen.

4.2 Ergebnisse

Fragebogen:

In der Gruppe der Sportstudenten betreiben 29 Personen (72,5%, davon 19 männlich, 10 weiblich) eine Ballsportart als Hauptsportart, die restlichen 11 Sportstudenten (1m/10w) verteilen sich fast gleichmäßig auf die Sportarten Laufen, Radfahren und Fitnessstraining. Bei den Pädagogikstudenten geben 12 Studenten (8m/4w) eine Ballsportart als Hauptsportart an, 19 Personen (9m/10w) üben die Sportarten Laufen, Radfahren, Schwimmen und Fitness aus, 2 Frauen sind im Pferdesport aktiv, 7 Pädagogen (3m/4w) treiben gar keinen Sport.

Unterteilt man die Sportarten nach ihrem jeweiligen sportlichen Anforderungsprofil in konditionell und koordinativ orientierte Sportarten, so zeigt sich, dass 33 Versuchsteilnehmer sich eher konditionell betätigen, währende 40 Versuchspersonen in schwerpunktmäßig koordinativen Sportarten aktiv sind. Betrachtet man hierbei nur die Sport treibenden Pädagogen, so entfallen 15 Versuchsteilnehmer (8m/7w) auf koordinative, 18 Versuchsteilnehmer (9m/9w) auf konditionelle Sportarten.

Die Anzahl der wöchentlich absolvierten Sportstunden (siehe Abbildung 14) beträgt bei den Pädagogikstudenten im Schnitt 3.56 Stunden/Woche (SD = 1.94), bei den Sportstudenten 11.34 Stunden/Woche (SD = 6.23), die weiblichen Versuchspersonen treiben durchschnittlich 7.00 Stunden Sport pro Woche (SD = 5.54), die männlichen Versuchsteilnehmer 7.90 Stunden (SD = 6.51). Eine Varianzanalyse mit der abhängigen Variablen „Sportstunden pro Woche“ zeigt, dass es einen signifikanten Effekt bezüglich der unabhängigen Variablen „Gruppe“ (Sport/kein Sport) gibt ($F(1, 79) = 56.04$, $p < .001$, $\eta^2 = .42$), die Sportstudenten treiben entscheidend mehr Sport pro Woche als die Pädagogikstudenten. Jedoch lässt sich keine signifikante Einfluss bezüglich des Faktors „Geschlecht“ ($F(1, 79) = .75$, n.s.) und auch keine Interaktion dieser beiden Faktoren feststellen ($F(1, 79) = .21$, n.s.).

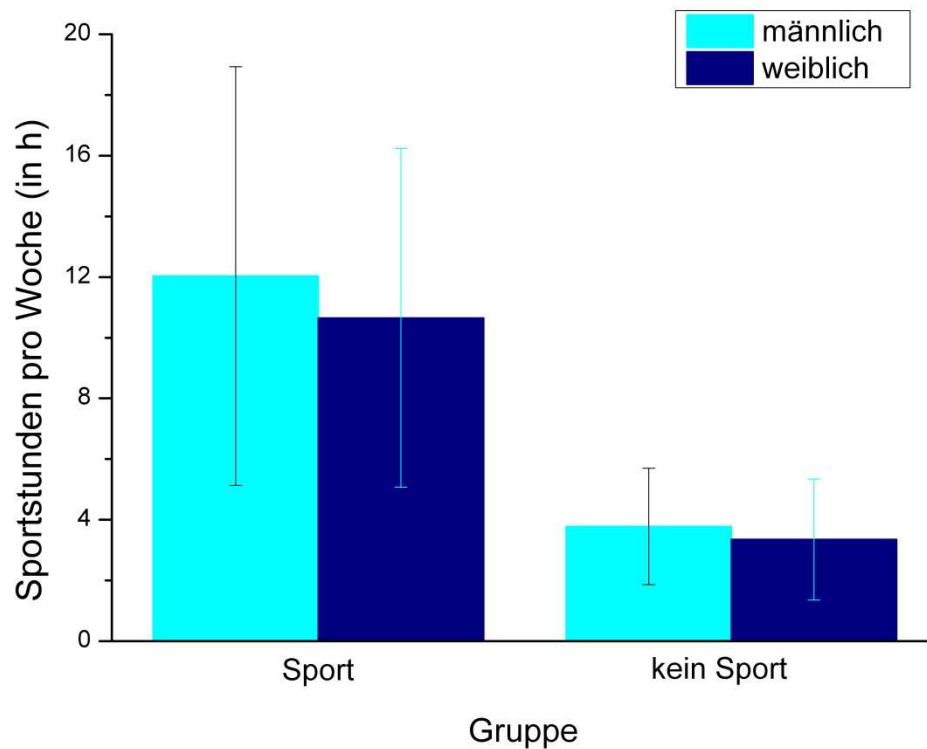


Abbildung 14: Anzahl der pro Woche absolvierten Sportstunden von Sportstudenten und Kontrollgruppe. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Betrachtet man die Anzahl der Jahre sportlicher Aktivität (siehe Abbildung 15), so zeigt sich, dass die Pädagogikstudenten im Schnitt seit 7.41 Jahren ($SD = 5.59$), die Sportstudenten seit 14.07 Jahren ($SD = 5.30$) ihre Sportart betreiben. Frauen weisen dabei einen Mittelwert von 8.25 Jahren ($SD = 5.46$) auf, Männer von 13.24 Jahren ($SD = 6.30$). Damit ergibt eine Varianzanalyse mit der abhängigen Variablen „Anzahl der Sportjahre“ und den unabhängigen Variablen „Gruppe“ (Sport/kein Sport) und „Geschlecht“ sowohl einen signifikanten Effekt bezüglich des Faktors „Gruppe“ ($F(1, 79) = 38.67, p < .001, \eta^2 = .34$) als auch einen signifikanten Effekt bezüglich des Faktors „Geschlecht“ ($F(1, 79) = 21.72, p < .001, \eta^2 = .22$), die Sportstudenten treiben signifikant länger Sport als die Pädagogikstudenten, Männer signifikant länger als Frauen. Jedoch zeigt sich keine Interaktion der beiden Faktoren ($F(1, 79) = 3.36, n.s.$).

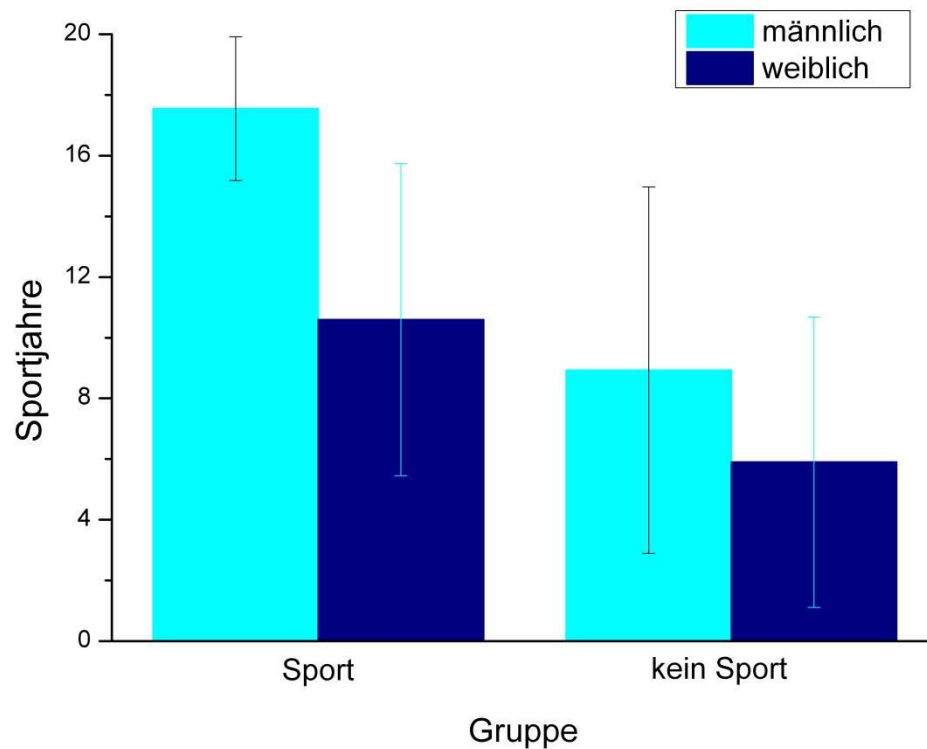


Abbildung 15: Anzahl der aktiven Sportjahre von Sportstudenten und Kontrollgruppe. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

ZVT:

Die mittlere Leistung aller Versuchsteilnehmer im ZVT lag bei 2.94 (SD = .42), getrennt nach Geschlecht zeigten sich etwas höhere Ergebnisse bei den männlichen Versuchsteilnehmern (M = 3.01, SD = .46) im Vergleich zu den weiblichen Probanden (M = 2.88, SD = .36). Betrachtet man die Ergebnisse bezüglich des Faktors „Gruppe“ (Sport/kein Sport), so ergibt sich für die Sportstudenten ein Mittelwert von 3.00 (SD = .36), für die Pädagogikstudenten 2.88 (SD = .49). Eine univariate Varianzanalyse mit dem abhängigen Faktor „Leistung im ZVT“ und den unabhängigen Faktoren „Geschlecht“ ($F(1, 79) = 1.95$, n.s.) und „Gruppe“ (Sport/kein Sport) ($F(1, 79) = 1.48$, n.s.) weist jedoch keine signifikanten Unterschiede auf, auch eine signifikante Interaktion beider Faktoren existiert nicht ($F(1, 79) = .47$, n.s.).

MRT:

Die Ergebnisse der Varianzanalyse mit der abhängigen Variablen „Punktwert im MRT“ zeigen einen signifikanten Effekt bezüglich der Faktoren „Gruppe“, ($F(1, 79) = 10.57, p < .005, \eta^2 = .12$) und „Geschlecht“ ($F(1, 79) = 14.50, p < .005, \eta^2 = .16$), aber keinen signifikanten Effekt bezüglich der Interaktion der beiden Faktoren ($F(1, 79) = .09, n.s.$). Sportler ($M = 13.25, SD = 4,31$) zeigen eine bessere Leistung als Pädagogen ($M = 10.33, SD = 4.36$), die männlichen Versuchsteilnehmer ($M = 13.50; SD = 4.63$) erreichen höhere Punktzahlen als die weiblichen ($M = 10.08, SD = 3.81$) (siehe Abbildung 16).

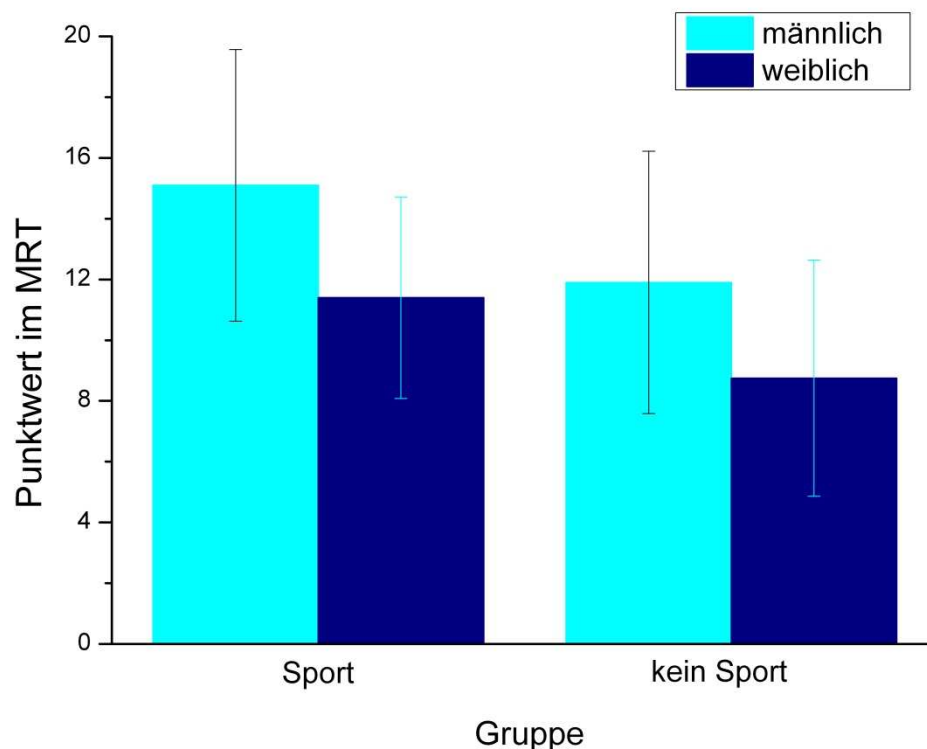


Abbildung 16: Ergebnisse des mentalen Rotationstests (MRT) bei Sport- und Kontrollgruppe. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Betrachtet man als Gruppe der Versuchspersonen nun nur noch die Pädagogen, die entweder konditionell oder koordinativ orientierte Sportarten betreiben, so ergibt sich bei einer weiteren Varianzanalyse mit der abhängigen Variablen „Punktwert im MRT“, den unabhängigen Variablen „Geschlecht“ und „Sportart“ (konditionell/koordinativ)

und der Kovariablen „Anzahl der Sportstunden pro Woche“ erneut ein signifikanter Effekt bezüglich des Geschlechts ($F(1, 79) = 6.74, p < .05, \eta^2 = .19$) und außerdem ebenfalls ein signifikanter Effekt in Bezug auf die gewählte Sportart ($F(1, 79) = 5.04, p < .05, \eta^2 = .15$), jedoch keine Interaktion der beiden Variablen ($F(1, 79) = .17, n.s.$). Die männlichen Versuchspersonen ($M = 12.47, SD = 4.45$) weisen bessere Werte auf als die weiblichen Versuchsteilnehmer ($M = 8.56, SD = 4.20$), die koordinativ orientierten Sportler ($M = 12.40, SD = 4.37$) besitzen eine bessere mentale Rotationsfähigkeit als die konditionell orientierten Sportler ($M = 9.06, SD = 4.52$).

4.3 Diskussion

Die Auswertung des Fragebogens ergibt deutlich die vermehrte und längerfristige sportliche Aktivität der Sportstudenten im Vergleich zu den Pädagogikstudenten. Dies gilt sowohl für die Männer als auch für die Frauen, so dass die Annahme bestätigt werden konnte, dass die Sportstudenten in dieser Studie klar als „sportliche Experten“ im Vergleich zu Kontrollgruppe der Pädagogikstudenten betrachtet werden können. Auffällig ist, dass die männlichen Studenten im Vergleich zu ihren weiblichen Kolleginnen früher mit ihrer jeweiligen Sportart begonnen haben. Dies könnte sich dadurch erklären lassen, dass viele der männlichen Versuchsteilnehmer (sowohl Sportler als auch Pädagogen) in einer Ballsportart aktiv sind und das Eintrittsalter in einen Verein hier oft im Gegensatz zu anderen Sportarten relativ niedrig anzusiedeln ist (Bisanz & Gerisch, 2008). Dies gilt vor allem für die Sportart Fußball, die als häufigste Sportart genannt wurde. Die weiblichen Versuchsteilnehmer entschieden sich vermehrt für Einzelsportarten bzw. ab einem gewissen Alter ganz bewusst für das Betreiben einer Sportart unter dem Fitnessaspekt und als Gesundheitsprophylaxe (Weineck, 2007).

Bei der Betrachtung der aufgestellten Hypothesen, ergibt sich zunächst, dass in dieser Studie der bereits mehrfach (u.a. Collins & Kimura, 1997) für die mentale Rotationsfähigkeit nachgewiesene Geschlechtereffekt sowohl in der Gesamtversuchsgruppe als auch bei den Sport treibenden Pädagogen auftritt. Es konnte also die Annahme bestätigt werden, dass Männer in einem als Paper-Pencil-Test durchgeführten mentalen Rotationstest bessere Leistungen zeigen als Frauen (u.a. Jansen-Osmann & Heil 2007a; Voyer, 2011).

Die Studie belegt außerdem, dass Sportstudenten eine signifikant besser ausgebildete mentale Rotationsfähigkeit besitzen als Pädagogikstudenten. Es wurde ausgeschlossen, dass dieses Ergebnis durch unterschiedliches Alter der Testgruppen, durch Umweltbedingungen oder durch Unterschiede in der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit zustande kommen kann. Somit kann die Aussage verschiedener Autoren (u.a. Ginn & Pickens, 2005; Tlauka et al., 2008) bestätigt werden, dass eine mehrjährige kontinuierliche sportliche Betätigung sowohl bei Männern als auch bei Frauen zu einer Verbesserung der mentalen Rotationsleistung beiträgt.

Eine mögliche Ursache hierfür wäre, dass die Sportstudenten im Vergleich zu den Pädagogikstudenten durch das regelmäßige Ausüben einer oder mehrerer Sportarten eine verstärkte Beschäftigung mit bewegungsintensiven Inhalten aufweisen und damit eine höhere motorische Kompetenz im konditionellen und koordinativen Bereich besitzen, deren spezifische Ausprägung von der jeweiligen Hauptsportart sowie der Art und Weise ihrer Ausführung abhängig ist. Grundsätzlich führt die durch regelmäßiges Training eintretende Verbesserung der sportlichen Leistung zu positiven Anpassungserscheinungen im Bereich der Handlungs- und Bewegungsregulation, sowie zu morphologisch-funktionellen Anpassungserscheinungen (Schnabel et al., 2008). Dies bedeutet neben energetischen Vorteilen bezüglich des Herz-Kreislauf-Systems unter anderem eine verstärkt ausgebildete Orientierungsfähigkeit bezüglich der Stellung und Lage des eigenen Körpers im Raum und in Bezug auf weitere bewegte und unbewegte Personen und Objekte sowie auch eine effektive Nutzung der sensiblen Lernphasen während der motorischen und kognitiven Entwicklung in Bezug auf motorische Komponenten der Handlungsregulation.

Neurophysiologische Mechanismen der Informationsorganisation im Rahmen der Ziel- und Handlungsmotorik im Sport werden häufig als „kompliziertes wechselseitiges Zusammenwirken von assoziativen und motorischen Großhirnrindenarealen mit Basalganglien, Kleinhirn und Thalamus“ (Beyer & Pöhlmann, 1994) erklärt. Als neurophysiologische Erklärung könnte daher für das Ergebnis dieser Studie auch eine spezifische Entwicklung verschiedener Gehirnareale durch verstärkte sportliche Aktivität angeführt werden. Da der Motorkortex auch bei der Lösung mentaler Rotationsaufgaben eine Rolle spielt

(Kosslyn et al., 2001) und bei derartigen Aufgaben unbestreitbar motorische Prozesse beteiligt sind (Ozel et al., 2002; 2004; Steggemann, Engbert, & Weigelt, 2011), könnte sich eine solche verstärkte Aktivierung bestimmter Gehirnareale durch sportliche Betätigung auch übergreifend positiv auf die mentale Rotationsleistung auswirken.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass regelmäßiges und kontinuierliches Sporttreiben einen positiven Einfluss auf die mentale Rotationsleistung sowohl von Männern als auch von Frauen hat. Bisher gibt es jedoch noch sehr wenige Studien, die sich mit dem Einfluss eines speziellen motorischen Trainings auf die mentale Rotationsfähigkeit beschäftigen. Eine davon (Jansen et al., 2009) konnte den positiven Einfluss eines dreimonatigen Jongliertrainings im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne ein solches Training nachweisen. Meist wurde bisher jedoch eher die unmittelbare Auswirkung einer kurzfristigen und einmaligen Intervention untersucht (Demougeot & Papaxanthis, 2011; Jansen & Pietsch, 2009), nicht jedoch die Beständigkeit einer solchen Verbesserung oder die Wirksamkeit eines längerfristigen Trainings. Aufgrund der positiven Ergebnisse dieses ersten Experiments ergeben sich weitere Fragen im Hinblick auf die Art und Weise einer sinnvollen und möglichst effektiven längerfristigen sportlichen Intervention. Es bleibt zu zeigen, ob es hierbei qualitative und quantitative Unterschiede bezüglich des Einflusses verschiedener Sportarten gibt.

Einen ersten Hinweis darauf, welche Sportarten sich als besonders sinnvoll und effektiv erweisen könnten, gibt die abschließend in dieser Studie durchgeführte Varianzanalyse, die die mentale Rotationsleistung der Sport treibenden Pädagogen untersucht. Die Sportstudenten wurden von diesem Telexperiment ausgenommen, da sie aufgrund ihres Sportstudiums sowohl eine fundierte Ausbildung in mehreren koordinativ wie auch konditionell orientierten Sportarten erhalten haben, so dass ein Einfluss des Sportstudiums zusätzlich zu ihrer Hauptsportart nicht ausgeschlossen werden kann. Des Weiteren wurden alle Pädagogen, die gar keinen Sport betreiben ausgeschlossen, so dass die verbleibenden Versuchspersonen einzig aufgrund des Schwerpunkts im Anforderungsprofil (konditionell/koordinativ) der von ihnen ausgeübten Hauptsportart beurteilt werden können. Dabei ist zu beachten, dass wie in Punkt 1.1.2 bereits dargelegt, konditionelle Fähigkeiten vor allem durch energetische Prozesse bestimmt werden, während koordinative Fähigkeiten von der Qualität der Bewegungssteuerung und -regelung beeinflusst werden. Die Ergebnisse

weisen auf eine Überlegenheit der Versuchspersonen hin, die eine schwerpunktmäßig koordinativ orientierte Sportart betreiben. Dabei können als erste Orientierungsgröße für eine dauerhafte signifikante Verbesserung der mentalen Rotationsfähigkeit die erhobenen Daten von einer durchschnittlich siebenjährigen sportlichen Betätigung mit ca. 3,5 Stunden pro Woche angenommen werden. Ob der festgestellte Effekt jedoch auch schon bei weniger langem Sporttreiben bzw. einer geringeren Aktivitätszeit pro Woche auftreten würde, bleibt zunächst offen. Unklar ist auch, welche Trainingsumfänge und -intensitäten in verschiedenen sportlichen Bereichen nötig sind, um entsprechende Anpassungserscheinungen nicht nur temporär, sondern auch dauerhaft auszulösen.

5. Studie 2

Aufbauend auf den Ergebnissen von Studie 1, die unter anderem auch darauf hindeuten, dass es Zusammenhänge zwischen speziellen Formen sportlicher Bewegung und der mentalen Rotationsleistung gibt, sollte in der zweiten Studie der Untersuchungsreihe gezeigt werden, dass bestimmte Teilbereiche der motorischen Fähigkeiten und die Ausprägung der mentalen Rotationsleistung miteinander in Verbindung stehen. Bevor in der daran anschließenden Studie konkret der Zusammenhang mit einzelnen Sportarten untersucht wurde, sollte zunächst ein übergreifender Zusammenhang zwischen mentaler Rotationsleistung und koordinativer Leistungsfähigkeit untersucht werden. Da die mentale Rotationsfähigkeit den kognitiven, also informationsorientierten Fähigkeiten zugeordnet wird, wurde vermutet, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der Ausprägung der koordinativen Leistungsfähigkeit und der mentalen Rotationsleistung existiert (siehe auch Blüchel, 2011).

5.1 Methode

5.1.1 Stichprobe

An dieser Korrelationsstudie nahmen 95 Studierende (50m/45w) hauptsächlich aus dem Studiengang Sport aber auch aus den Bereichen Jura, Wirtschaft, Medizin, Physik und Germanistik teil. Keine der Versuchspersonen hatte an Studie 1 teilgenommen. Bei den Sportstudenten wurde darauf geachtet, dass sie sich noch am Anfang ihres Studiums (erstes bzw. zweites Fachsemester) befanden, damit keine verfälschenden Effekte aufgrund der vermehrten koordinativen Ausbildung während ihres Studiums auftraten. Elf Teilnehmer wurden aus der Datenanalyse ausgeschlossen, da sie entweder aufgrund einer Verletzung den Koordinationstest nicht uneingeschränkt durchführen konnten oder bei der Absolvierung des Koordinationstests ein Kastenteil von seinem ursprünglichen Standort verschoben, weshalb der Test als ungültig gewertet wurde. Die Ergebnisse basieren daher auf 84 Versuchspersonen, 42 davon männlich ($M= 23.12$ Jahre, $SD= 2.23$), 42 weiblich ($M= 21.93$ Jahre, $SD= 1.93$).

5.1.2 Versuchsaufbau

Fragebogen:

Mittels eines Fragebogens wurden Alter und Geschlecht erfasst. Des Weiteren wurden folgende Daten erhoben: ausgeübte Sportart(en), durchschnittliche Anzahl der Sportstunden pro Woche, Beginn der Aktivität in dieser Sportart/diesen Sportarten.

Test der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit:

Wie in Studie 1 wurde die kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit durch den ZVT in Form eines Gruppentests (Oswald & Roth, 1987) erfasst (vgl. 3.2).

Test der mentalen Rotationsfähigkeit:

Die mentale Rotationsfähigkeit wurde ebenfalls wie in Studie 1 als Gruppentest durch den Mental Rotation Test (MRT, überarbeitete Version von Peters et al., 1995; Vandenberg & Kuse, 1978) bewertet (vgl. 3.1.1).

Kasten-Bumerang-Lauf:

Als motorisch-koordinativer Test zur Überprüfung der Ausprägung der komplexen koordinativen Fähigkeiten unter Zeitdruck wurde der Kasten-Bumerang-Lauf durchgeführt (Bös, 2001). Der genaue Ablauf der Testdurchführung wird in Punkt 3.3 dieser Arbeit dargestellt.

5.1.3 Versuchsdurchführung

Die Korrelationsstudie wurde in sechs Gruppen im Juni 2010 jeweils zwischen 10 und 12 Uhr in der Turnhalle des Sportzentrums der Universität Regensburg absolviert und dauerte pro Gruppe ca. 45 Minuten. Die Versuchspersonen führten nach dem Ausfüllen des Fragebogens zunächst den ZVT, dann den MRT als Gruppentest durch. Nach der Erklärung des Laufweges beim Kasten-Bumerang-Lauf und einer Demonstration durch den Versuchsleiter mit der Anweisung, die Übung so schnell wie möglich in der angegebenen Reihenfolge auszuführen, ohne dabei die Versuchsanordnung zu verändern, absolvierte jeder Teilnehmer einen Probeversuch. Anschließend erfolgte für jede Person der bewertete Durchgang mit Start auf Kommando an der Start- und Ziellinie, bei dem jeweils nach erfolgreichem Durchlaufen des Parcours die benötigte Zeit in Zehntel-Sekunden notiert wurde.

5.1.4 Design und statistische Analyse

Fragebogen:

Die Daten des Fragebogens wurden über alle Versuchspersonen gemittelt bzw. wurden die entsprechenden Häufigkeiten errechnet. Zusätzlich wurden univariate Varianzanalysen mit den abhängigen Variablen „Sportstunden“ (Anzahl der ausgeübten Sportstunden pro Woche) und „Sportjahre“ (Anzahl der Jahre, seit denen aktiv Sport getrieben wird) und den unabhängigen Variablen „Geschlecht“ (männlich/weiblich) und „Gruppe“ (konditionell/koordinativ) durchgeführt.

ZVT:

Die Leistung der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit in bit/sec pro erreichter Ziffer in 30 Sekunden (Oswald & Roth, 1987) wurde für jede Testperson berechnet. Außerdem wurde eine univariate Varianzanalyse mit der abhängigen Variablen „Ergebnis im ZVT“, der unabhängigen Variablen „Geschlecht“ und „Gruppe“ und den Kovariaten „Sportstunden“ und „Sportjahre“ durchgeführt.

MRT:

Für jede Versuchsperson wurde zunächst die erreichte Gesamtpunktzahl berechnet (0 - 24 Punkte). Anschließend wurde eine Varianzanalyse mit der abhängigen Variablen „Ergebnis im MRT“ (erreichte Gesamtpunktzahl im MRT), den unabhängigen Variablen „Geschlecht“ (männlich/weiblich) und „Gruppe“ (konditionell/koordinativ) und den Kovariaten „Sportstunden“ und „Sportjahre“ durchgeführt.

Kasten-Bumerang-Lauf:

Die erbrachte Leistung wurde für jede Versuchsperson in Sekunden auf Zehntel genau erfasst. Außerdem wurde eine Varianzanalyse mit der abhängigen Variablen „Zeit im KBL“, mit den unabhängigen Variablen Geschlecht (männlich/weiblich) und „Gruppe“ und den Kovariaten „Sportstunden“ und „Sportjahre“ durchgeführt.

Abschließend wurde die Leistung im MRT und im Kasten-Bumerang-Lauf korreliert.

5.2 Ergebnisse

Fragebogen:

Alle 84 Versuchspersonen waren Studenten, von allen Teilnehmern betrieben 58 Sport in einem Verein und 26 Sport in ihrer Freizeit ohne Vereinszugehörigkeit, wobei sich folgende Verteilung feststellen ließ: 39 Versuchspersonen gaben an, eine Ballsportart zu betreiben, 32 Personen betätigten sich im Fitnessbereich (Kraft- und Ausdauersportarten wie Laufen, Radfahren, Schwimmen, Fitnessstudio), acht Personen waren im Bereich Wintersport aktiv und fünf Versuchspersonen tanzten. Nach der Zuordnung gemäß des sportlichen Anforderungsprofils ergibt sich somit, dass 47 Versuchspersonen (23m/24w) einer eher koordinativ orientierten Sportart und 37 (19m/18w) einer eher konditionell orientierten Sportart zugeordnet werden können. Etwas mehr als die Hälfte der Versuchsteilnehmer (56%) war also regelmäßig eine Sportart mit koordinativem Schwerpunkt aktiv.

Die Versuchspersonen treiben im Schnitt 11.02 (SD = 5.81) Stunden Sport pro Woche, davon entfallen auf die Männer 8.24 (SD = 5.68) Stunden, auf die Frauen 13.81 (SD = 4.49) Stunden. In Bezug auf die Sportart widmen koordinativ orientierte Sportler durchschnittlich 12.17 Stunden pro Woche ihrer Sportart (SD = 6.14), konditionell orientierte Sportler 9.57 Stunden pro Woche (SD = 5.07) (siehe Abbildung 17). Die univariate Varianzanalyse mit dem abhängigen Faktor „Sportstunden pro Woche“ und den unabhängigen Faktoren „Geschlecht“ und „Gruppe“ (konditionell/koordinativ) ergibt daher, dass die weiblichen Versuchsteilnehmer signifikant mehr Sport pro Woche ($F(1, 83) = 24.73, p < .001, \eta^2 = .23$) treiben als die männlichen und die koordinativ orientierten Sportler signifikant mehr Sport als die konditionell orientierten Sportler ($F(1, 83) = 4.99, p < .05, \eta^2 = 0.06$). Eine Interaktion der beiden Faktoren existiert nicht ($F(1, 83) = .01, n.s.$).

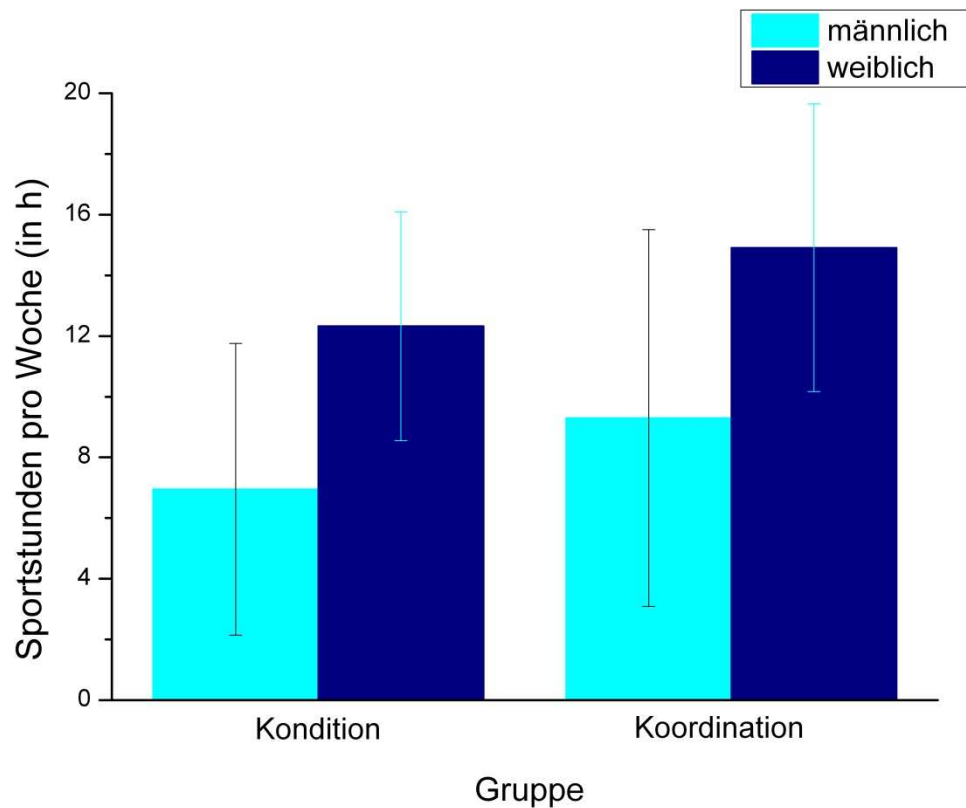


Abbildung 17: Anzahl der pro Woche absolvierten Sportstunden der Versuchsteilnehmer in Abhängigkeit von Geschlecht und Sportart. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Betrachtet man die Anzahl der Jahre, seit denen die Versuchspersonen aktiv Sport betreiben ($M = 9.96$ Jahre, $SD = 4.77$) (siehe Abbildung 18), so ergibt sich auch hier, dass die weiblichen Versuchspersonen ($M = 11.23$ Jahre, $SD = 4.15$) signifikant länger Sport treiben ($F(1, 83) = 6.91$, $p < .01$, $\eta^2 = .08$) als ihre männlichen Kollegen ($M = 8.69$ Jahre, $SD = 5.05$) und koordinativ orientierte Sportler mit einem Schnitt von 11.34 Jahren ($SD = 4.61$) signifikant länger als konditionell orientierte Sportler ($M = 8.21$ Jahre, $SD = 4.44$), ($F(1, 83) = 9.99$, $p < .005$, $\eta^2 = .11$). Auch hier existiert keine Interaktion zwischen den beiden Faktoren ($F(1, 83) = .39$, n.s.).

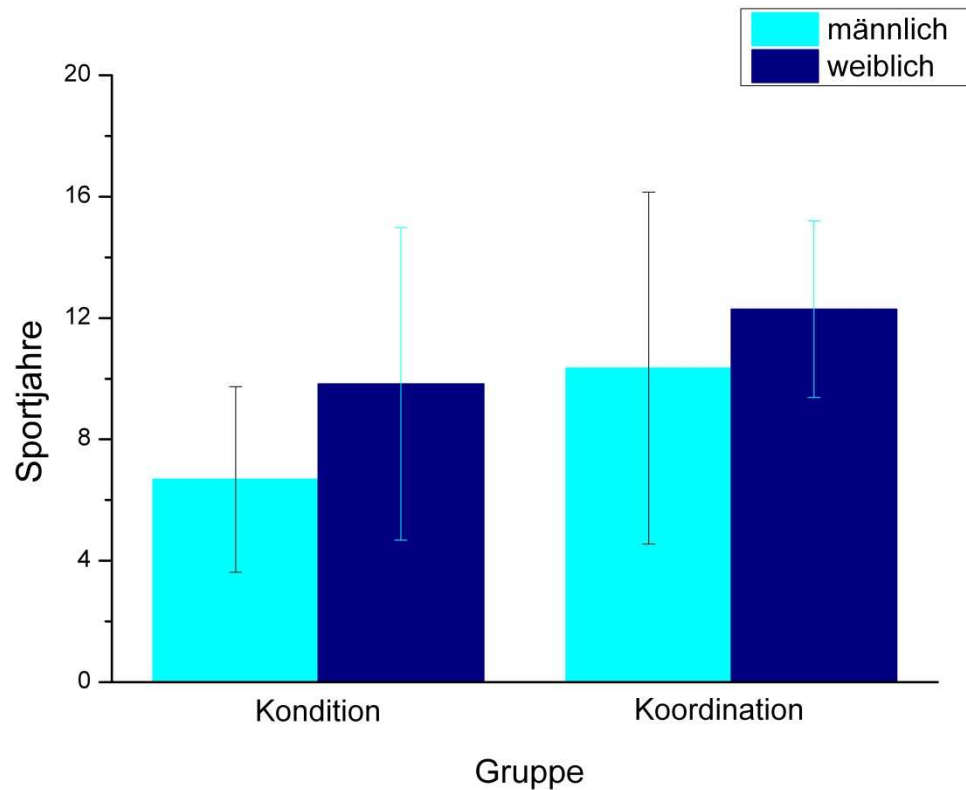


Abbildung 18: Anzahl der Sportjahre in Abhängigkeit von Geschlecht und Gruppe. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

ZVT:

Der Schnitt der Leistung aller Versuchsteilnehmer im ZVT liegt bei 2.99 (SD = .52), getrennt nach Geschlecht zeigen die männlichen Versuchsteilnehmer (M = 2.90, SD = .53) im Vergleich zu den weiblichen Probanden (M = 3.06, SD = .50) etwas niedrigere Werte, koordinativ orientierte Sportler erreichen durchschnittlich 3.07 (SD = .52), konditionell orientierte Sportler 2.87 (SD = .50). Diese Punktwerte unterscheiden sich bei einer Varianzanalyse mit den unabhängigen Variablen „Geschlecht“ und „Gruppe“ und den Kovariaten „Sportjahre“ und „Sportstunden“ weder bezüglich des Geschlechts ($F(1, 83) = .19$, n.s.) noch bezüglich der Sportart ($F(1, 83) = .82$, n.s.) signifikant, es besteht jedoch eine Interaktion der beiden Faktoren ($F(1, 83) = 6.01$, $p < .05$, $\eta^2 = .07$). Die Mittelwerte zeigen, dass die männlichen Versuchsteilnehmer, die konditionelle Sportarten betreiben, einen signifikant niedrigeren Wert erreichten (M = 2.65, SD = .35) als die anderen drei Gruppen (siehe Tabelle 4):

Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Leistung im ZVT in Abhängigkeit von den Variablen „Gruppe“ und „Geschlecht“.

	männlich	weiblich	Gesamt
Konditionelle	2.65	3.10	2.87
Sportart	(SD = .35)	(SD = .53)	(SD = .50)
Koordinative	3.12	3.03	3.07
Sportart	(SD = .56)	(SD = .48)	(SD = .52)
Gesamt	2.90	3.06	2.99
	(SD = .53)	(SD = .50)	(SD = .52)

MRT:

Die Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse mit den unabhängigen Faktoren „Geschlecht“ und „Gruppe“ und den Kovariaten „Sportstunden“ und „Sportjahre“ zeigen wie bereits in Studie 1 einen signifikanten Effekt ($F(1, 99) = 25.16, p < .001, \eta^2 = .24$) bezüglich des Faktors „Geschlecht“. Die männlichen Versuchsteilnehmer ($M = 14.11; SD = 4.40$) weisen auch in dieser Studie eine bessere Leistung auf als die Frauen ($M = 9.83, SD = 3.78$).

Betrachtet man den Faktor „Gruppe“, so zeigen diejenigen Versuchsteilnehmer, die eine koordinativ orientierte Sportart betreiben, höhere Werte ($M = 12.83, SD = 4.57$) als diejenigen, die eine konditionell orientierte Sportart bevorzugen ($M = 10.89, SD = 4.49$), der Unterschied ist jedoch knapp nicht signifikant ($F(1, 83) = 3.40, n.s.$). Eine Interaktion der beiden Faktoren „Geschlecht“ und „Sportart“ existiert nicht ($F(1, 83) = 2.10, n.s.$).

Kasten – Bumerang – Lauf:

Die Varianzanalyse mit dem abhängigen Faktor „Zeit im KBL“, den unabhängigen Faktoren „Geschlecht“ und „Gruppe“ und den Kovariaten „Sportstunden“ und „Sportjahre“ ergibt folgende Daten: die erzielten Zeiten im Kasten-Bumerang-Lauf liegen bei den männlichen Versuchsteilnehmern im Schnitt bei $M = 18.39 \text{ sec}$ ($SD = 2.98$), bei den weiblichen Versuchsteilnehmern bei $M = 19.14 \text{ sec}$ ($SD = 1.70$), dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant ($F(1, 83) = 3.80, n.s.$). Die koordinativ orientierten Sportler benötigen für den Kasten-Bumerang-Lauf im Schnitt eine Zeit von 18.28 sec ($SD = 2.25$), die konditionell orientierten Sportler 19.39 sec

(SD = 2.56), auch dieser Unterschied ist knapp nicht signifikant ($F(1, 83) = 1.39$, n.s.) Eine Varianzanalyse mit dem unabhängigen Faktor „Ergebnis im ZVT“ zeigt außerdem, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit und der koordinativen Leistung im Kasten-Bumerang-Lauf besteht ($F(1, 83) = 1.14$, n.s.).

Korrelationen:

Tabelle 5 gibt die Korrelationen zwischen den Variablen „Ergebnis im MRT“, „Ergebnis im ZVT“, „Ergebnis im KBL“, „Sportjahre“ und „Sportstunden“ wieder:

Tabelle 5: Korrelationskoeffizienten für die Variablen „Ergebnis im MRT“, „Ergebnis im ZVT“, „Ergebnis im Kasten-Bumerang-Lauf“, „Sportjahre“ und „Sportstunden“.

	Summe MRT	ZVT	KB-Lauf	Sportjahre	Sportstunden
Summe MRT	1	.04	-.382**	.014	-.088
ZVT		1	-.088	.340*	.303*
KB-Lauf			1	-.304	-.103
Sportjahre				1	.590**
Sportstunden					1

Die Resultate des Tests zeigen eine negative Korrelation ($r = -.38$; $p < .01$) zwischen den erreichten Werten im MRT und der gemessenen Zeit im Kasten-Bumerang-Lauf (siehe Abbildung 19).

Eine für weibliche und männliche Versuchspersonen getrennt durchgeführte Berechnung zeigt, dass sich die Korrelation zwischen der Leistung im mentalen Rotationstest und der Leistung im Koordinationstest für Männer ($r = -.41$, $p < .01$) und Frauen ($r = -.27$, $p = .08$) nicht signifikant unterscheidet (Z-Wert = -0.674 , n.s.).

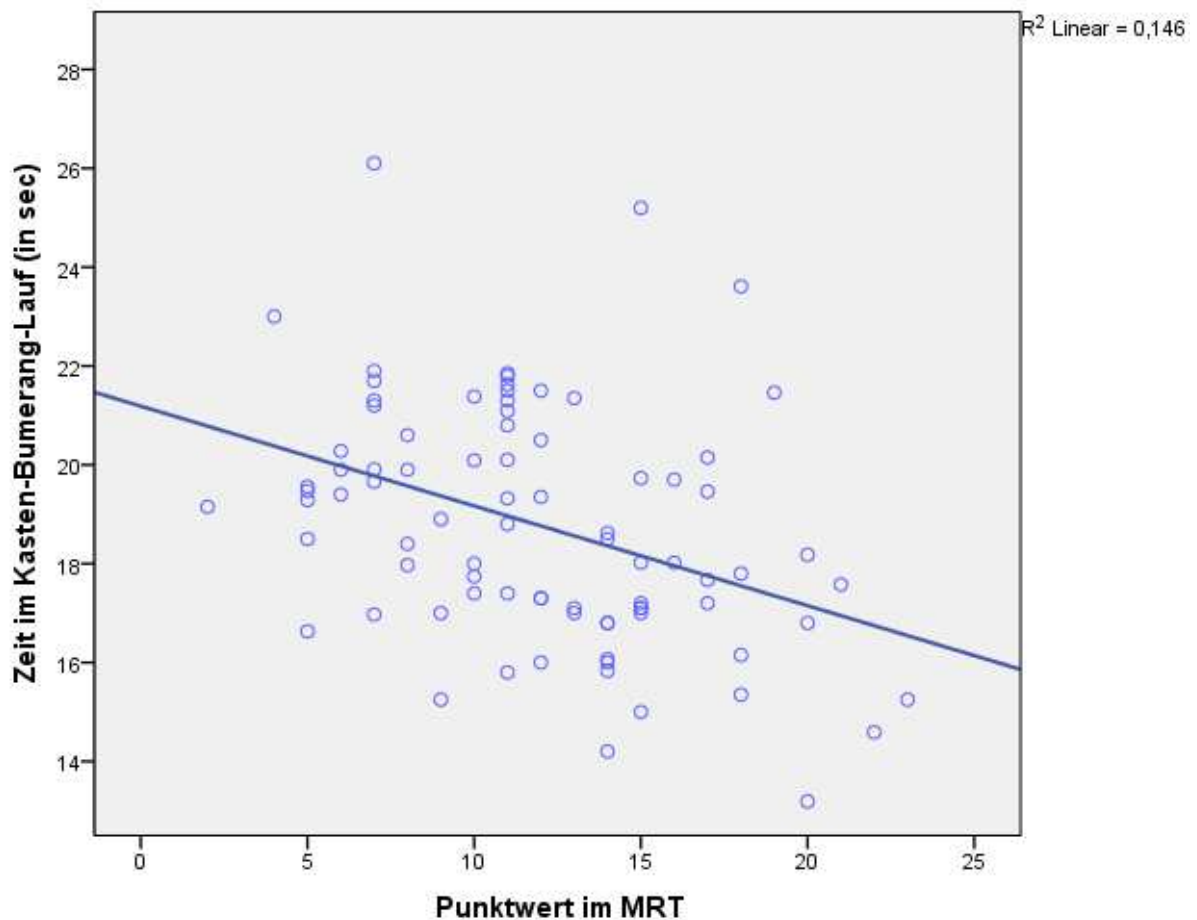


Abbildung 19: Korrelation und Regressionsgerade für die Variablen „Leistung im MRT“ und „Leistung im Kasten-Bumerang-Lauf“.

5.3 Diskussion

Wendet man sich wie in dieser Studie der Untersuchung des Zusammenhangs von mentaler Rotation und motorischen Fähigkeiten zu, so kann aufgrund der Ergebnisse verschiedener anderer vorliegender Studien (u. a. Naito, 1994; Ozel et al., 2004) grundsätzlich angenommen werden, dass Sportler im Allgemeinen bessere mentale Rotationsleistungen erbringen als Nicht-Sportler. Wiedenbauer & Jansen-Osmann (2008) belegten außerdem durch ein manuelles Rotationstraining ausgelöste verbesserte Ergebnisse im Bereich der mentalen Rotation bei Kindern. Dies deutet zwar darauf hin, dass es im Laufe der motorischen Entwicklung möglich ist, durch vermehrte sportliche Aktivität die mentale Rotationsleistung zu verbessern, bisher ist

jedoch nur wenig darüber bekannt, worin die Ursachen für derartige Ergebnisse liegen könnten und welche Umfänge, Intensitäten und welche Dauer bei den jeweiligen sportlichen Aktivitäten besonders effektiv für eine solche positive Entwicklung der mentalen Rotationsfähigkeit sind. Da an dieser Studie jedoch nur sportlich aktive Versuchspersonen teilnahmen, kann dieser spezielle Aspekt hier nicht weiter untersucht werden.

Zunächst gilt es bei der Diskussion dieser Studie einige auftretende Besonderheiten genauer zu betrachten. Zum einen war die Reihenfolge der Tests für alle Versuchsteilnehmer gleich, um einen Einfluss des Aktivierungszustandes des motorischen Systems auf die mentale Rotationsfähigkeit zu vermeiden, da unter anderem Demougeot und Papaxanthis (2011) nachweisen konnten, dass durch ein körperliches Übungsprogramm die Ergebnisse eines unmittelbar darauf folgenden mentalen Rotationstests besser ausfielen, als die einer Vergleichsgruppe ohne körperliche Betätigung. Deshalb wurde in allen Gruppen zunächst der MRT und im Anschluss daran der Kasten-Bumerang-Lauf durchgeführt.

Weiter müssen auch einige Fakten, die bei der Auswertung der Fragebogendaten auftraten, kurz erläutert werden. Die signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Anzahl der Sportstunden pro Woche und die Anzahl der Jahre, seit denen aktiv Sport betrieben wird, lässt sich bezüglich des Geschlechts dadurch erklären, dass als weibliche Versuchspersonen nur Sportstudentinnen an dem Versuch teilnahmen; diese haben aufgrund ihres Studiums eine Affinität zum Fach Sport und besuchen bedingt durch ihre Ausbildung auch wesentlich mehr Sportkurse pro Woche, während bei den männlichen Versuchsteilnehmern auch einige Personen aus anderen Studienrichtungen getestet wurden, wodurch der Schnitt der Sportstunden und Sportjahre bei den männlichen Versuchspersonen deutlich gesenkt wird. Die Verschiebung der Anzahl der Sportjahre zugunsten der koordinativ orientierten Sportler ergibt sich durch das für koordinative Sportarten tendenziell niedrigere Einstiegsalter. Schwerpunktmäßig konditionell orientierte Sportarten weisen aufgrund der für ein sinnvolles und effektives Training notwendigen körperlichen und hormonellen Entwicklung generell ein späteres Einstiegsalter auf, während bei koordinativen Sportarten der Trainingsbeginn möglichst früh, zum Teil bereits im Kindesalter (3-5 Jahre) gewählt wird (Hollmann & Strüder, 2009; Martin et al., 2001; Schnabel et al., 2008; Weineck, 2007). Die Tatsache, dass die koordinativ orientierten Sportler mehr Stunden pro Woche für ihre Sportarten aufwenden, ergibt

sich durch die meist festgelegten Trainingszeiten, die für derartige Sportarten notwendig sind, im Vergleich zu den häufig eher in der Freizeit ohne Vereinszugehörigkeit betriebenen konditionellen Sportarten, die der Steigerung der eigenen Fitness dienen und keine feste Stundenanzahl pro Woche benötigen. Während Dauer und Umfang des Sporttreibens der Versuchspersonen also in der weiteren Diskussion berücksichtigt werden müssen, zeigt sich, dass durch die leichten Unterschiede in der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit (ZVT) keinen signifikanten Einfluss auf die Leistungen in MRT und Kasten-Bumerang-Lauf zu erwarten ist. Einzig die Gruppe der männlichen konditionsorientierten Versuchsteilnehmer fällt dabei etwas nach unten ab.

Die Ergebnisse des mentalen Rotationstests betreffend findet man auch hier wie bereits in Studie 1 den mehrfach (u. a. Peters et al., 2006; Voyer, 2011) nachgewiesenen Geschlechtereffekt; es konnte erneut die Annahme bestätigt werden, dass Männer in einem als Paper-Pencil-Test durchgeführten mentalen Rotationstest bessere Leistungen als Frauen aufweisen.

Der Kasten – Bumerang – Lauf wurde für diese Studie als Koordinationstest ausgewählt, da er aufgrund seiner vielfältigen koordinativen Anforderungen bei nur geringem Einfluss der konditionellen Fähigkeiten als besonders geeignet für die Untersuchung einer Verbindung von koordinativer und räumlich-visueller Leistungsfähigkeit erscheint. Bei der Durchführung dieses Laufes sind die Probanden gezwungen, zum Teil isoliert und zum Teil kombiniert um ihre Körperachsen zu rotieren. So erfolgt bei der Rolle vorwärts eine Rotation um 360° um die Körperbreitenachse, bei der Richtungsorientierung am Medizinball eine Rotation um 90° um die Körperlängsachse und während des Überspringens und Durchkriechens des Kastenteils werden gleichzeitige Rotationen um Körperlängs-, Körperbreiten- und Körpertiefenachse durchgeführt. Dies erfordert verstärkt die koordinativen Fähigkeiten zur präzisen Bewegungsregulation, zur Koordination unter Zeitdruck und zur situationsadäquaten motorischen Umstellung und Anpassung nach der Systematik von Roth (1999). Verwendet man die nach Meinung verschiedener Autoren (u.a. Hirtz, 1995; Martin et al., 1999) grundlegende Einteilung in sieben koordinative Fähigkeiten (siehe 1.1.2.2), so lässt sich feststellen, dass für eine erfolgreiche und schnelle Absolvierung des Kasten-Bumerang-Laufs eine gute Ausbildung all dieser Fähigkeiten von Vorteil ist. Der Test beginnt zunächst mit der schnellen Reaktion auf ein akustisches Signal. Anschließend werden

Differenzierungs- und Koppelungsfähigkeit benötigt, um die Körper- und Teilkörperbewegungen beim Überspringen und Durchkriechen der Kastenteile möglichst genau aufeinander abzustimmen und so eine Kollision bzw. zu weite Entfernung vom Kasten (und damit automatisch einen Zeitverlust) zu vermeiden. Zur Bestimmung der Position des Körpers im Raum nach der Rolle vorwärts sowie zur Verarbeitung der ständig nötigen richtig zu absolvierenden Drehungen um den Medizinball ist eine gut ausgebildete Orientierungsfähigkeit vonnöten, das Gleichgewicht muss beim Laufen erhalten und nach den Rotationen um die verschiedenen Körperachsen zur Rückkehr in die aufrechte Position wieder hergestellt werden. Auch Rhythmusfähigkeit ist von Nutzen, da dadurch das dreimal wiederkehrende Bewegungsmuster der 90°Drehung mit anschließenden Laufschritten und das Überspringen und Durchkriechen der Kastenteile optimiert ausgeführt werden kann. Insgesamt wird also deutlich, dass gut ausgeprägte koordinative Fähigkeiten bei der erfolgreichen Bewältigung dieses Tests unter Zeitdruck von Vorteil sind.

Betrachtet man die erbrachten Leistungen im Kasten-Bumerang-Lauf bei Männern und Frauen, so erscheint zunächst eventuell das Fehlen signifikanter Zeitunterschiede verwunderlich, da die männlichen Versuchsteilnehmer aufgrund ihrer hormonell bedingten besseren Schnelligkeits- und Kraftwerte (u. a. Martin et al., 2001; Schnabel et al., 2008; Weineck, 2007) einen Vorteil beim Durchlaufen eines solchen Parcours aufweisen sollten. Dies könnte jedoch dadurch ausgeglichen worden sein, dass die weiblichen Versuchspersonen aufgrund ihrer im Schnitt geringeren Körpergröße und des niedrigeren Gewichts weniger Probleme beim „Durchkriechen“ der quer gestellten Kastenteile hatten. Bös (2001) spricht bei seiner Testbeschreibung unter anderem von „signifikante[r] Korrelation mit Körpermerkmalen“ (Bös, 2001, S. 117/118). Für einen rechnerischen Nachweis müssten in einem weiteren Versuch bei allen Testpersonen Daten zu Größe, Gewicht und maximaler Schnelligkeit, z.B. durch einen Test der maximalen elementaren Sprintgeschwindigkeit über eine Strecke von 10-20m fliegend erhoben werden.

Etwas überraschend erscheint die Tatsache, dass im Unterschied zu Studie 1 kein signifikanter Vorteil der koordinativ orientierten Sportler in der mentalen Rotationsleistung existiert. Da jedoch ein Großteil der Probanden Sportstudenten waren, könnte eine allgemein gute koordinative Ausbildung durch jahrelange sporliche Aktivität in verschiedenen Sportarten diesen Effekt überlagern.

Die negative Korrelation zwischen den erbrachten Leistungen in MRT und Kasten-Bumerang-Lauf in dieser Studie deutet darauf hin, dass die Probanden mit einer stärker ausgeprägten koordinativen Leistungsfähigkeit auch ein besseres räumliches Verständnis besitzen, da sie bei einer schnelleren Endzeit im Kasten-Bumerang-Lauf eine höhere Punktzahl im MRT erzielen konnten. Zusammen mit den Ergebnissen aus Studie 1, die besagen, dass Versuchspersonen, die eine koordinativ orientierte Sportart ausüben im Vergleich zu den Versuchspersonen mit Sportarten mit konditionellem Schwerpunkt ebenfalls bessere Ergebnisse im mentalen Rotationstest erbracht haben, liegt der Schluss nahe, dass Personen, die für längere Zeit eine „koordinative Sportart“ betreiben, ihr Entwicklungspotential in diesem Bereich besser ausschöpfen können. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass neben der Wahl der Sportart und damit einer konditionellen bzw. koordinativen Orientierung auch genetische und hormonelle Einflüsse eine Rolle spielen könnten, wie unter anderem Baenninger und Newcombe (1995) in Bezug auf die Ausprägung der mentalen Rotationsleistung vermuten. So wäre es durchaus denkbar, dass Personen, die über ein grundsätzlich höheres koordinatives Ausgangsniveau verfügen, verstärkt zu Sportarten tendieren, die vor allem koordinative Anforderungen stellen und diese auch konsequent und dauerhaft ausüben, da sie im Vergleich zu eher konditionell veranlagten Personen dort größere Erfolge erzielen.

Generell kann aufgrund der Ergebnisse dieser Studie jedoch ein erster Zusammenhang zwischen der Fähigkeit der erfolgreichen, schnellen und präzisen Rotation des eigenen Körpers und der Ausprägung der mentalen Rotationsleistung vermutet werden. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass es bei der Unterteilung in koordinative und konditionelle Sportarten in Abgrenzung zu dem Experiment von Ozel et al. (2004), der sich auf die Unterscheidung zwischen Sportarten mit fortwährenden schnell nötigen Reaktionen auf sich ständig ändernde Umweltbedingungen bezieht, rein um die Unterteilung in hauptsächlich kognitive bzw. energetische Steuerung der motorischen Aktionen geht. Auch wenn konditionell orientierte Sportarten (wie Laufen, Schwimmen, Radfahren) zunächst den Anschein erwecken, dass sie auf meist gleichbleibende Bewegungsmuster in beständiger Umgebung zurückgreifen können während koordinativ orientierte Sportarten (z.B. Ballsport) häufig eine schnelle Reaktion erfordern, gibt es jedoch Vielzahl von Gegenbeispielen. Kunstturnen und leichtathletische Sprung- und Wurfdisziplinen, die zweifelsfrei zu den koordinativ anspruchsvolleren Sportarten zu zählen sind, können

auf relativ konstante Umweltbedingungen zurückgreifen und versuchen, möglichst perfekt erlernte Bewegungsmuster abzurufen, während beispielsweise Skirennläufer in der Abfahrt trotz einer vorwiegend konditionellen Leistung stets in Sekundenbruchteilen auf eine Veränderung reagieren müssen.

Gerade wegen der Vielfalt der unterschiedlichen sportlichen Anforderungen im jeweiligen Leistungsprofil erscheint es sinnvoll, den Zusammenhang einzelner Sportarten mit besonderen Merkmalskombinationen und der mentalen Rotationsleistung gesondert zu überprüfen.

6. Studie 3

Da in Studie 1 ein Zusammenhang zwischen der Art des ausgeübten Sports (konditionell/koordinativ) und der mentalen Rotationsleistung und in Studie 2 eine Verbindung von mentaler Rotationsfähigkeit und koordinativer Leistung festgestellt werden konnte, soll nun die naheliegende Vermutung untersucht werden, dass nicht nur das koordinative Grundniveau ausschlaggebend für die mentale Rotationsleistung ist, sondern dass diese durch eine gezielte Anhebung der koordinativen Leistungsfähigkeit verbessert werden kann.

Jansen und Heil (2010) konnten mit Hilfe des MOT 4-6 von Zimmer und Volkamer (1987) nachweisen, dass bereits bei Kindern Zusammenhänge zwischen gut ausgeprägten (vor allem koordinativen) motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsleistung bestehen. Außerdem gilt als erwiesen, dass durch entsprechendes Training die koordinative Leistungsfähigkeit bereits im vorpubertären Alter aber auch im Jugendalter enorm verbessert werden kann (Hirtz et al., 2002; Schott & Munzert, 2010). Durch eine Steigerung des Niveaus der koordinativen Fähigkeiten mit Hilfe eines gezielten motorischen Trainings könnte aufgrund der Ergebnisse der Studien 1 und 2 und der Aussagen der im Theorieteil aufgearbeiteten Literatur zum Zusammenhang zwischen motorischen und kognitiven Fähigkeiten (siehe 1.3), ein parallel zu einem motorischen Training ablaufender Anstieg der mentalen Rotationsleistung durchaus als realistisch angesehen werden.

Deshalb wurden in dieser Studie das Niveau der mentalen Rotationsfähigkeit junger Erwachsener einer jeweils typischen koordinativ und konditionell orientierter Sportart untersucht. Es wird davon ausgegangen, dass Sportlerinnen und Sportler, die seit mehreren Jahren die Sportart „Kunstturnen“ regelmäßig und auf einem hohen Niveau ausüben, im Vergleich zu Mittel- und Langstreckenläuferinnen und –läufern und einer Kontrollgruppe ohne nennenswerte sportliche Betätigung höhere Werte in ihrer mentalen Rotationsleistung aufweisen. Grund für diese Annahme ist, dass das Kunst- und Gerätturnen wie in Punkt 1.1.3.2.1 erläutert, als eine der koordinativ und damit kognitiv anspruchsvollsten Sportarten angesehen wird, während die leichtathletischen Laufdisziplinen eindeutig ein konditionell orientiertes Anforderungsprofil besitzen (siehe 1.1.3.2.3). Eine um die Sportart Fußball erweiterte Version dieses Experiments wurde 2011 veröffentlicht (Pietsch & Jansen, 2011).

6.1 Methode

6.1.1 Stichprobe

An diesem Versuch nahmen 120 Versuchspersonen teil, 60 davon weiblich ($M = 19.27$ Jahre, $SD = 3.38$) und 60 männlich ($M = 19.35$ Jahre, $SD = 2.62$). Jeweils 40 (20m/20w) kamen aus den Sportarten Kunstturnen ($M = 19.40$ Jahre, $SD = 3.27$) und Mittel-/Langstreckenlauf ($M = 19.90$ Jahre, $SD = 3.77$), 40 weitere Versuchspersonen (20m/20w, $M = 18.63$ Jahre, $SD = 1.39$) trieben keinen bzw. weniger als sechs Stunden Sport pro Woche. Die Rekrutierung der Sportler erfolgte über mehrere leistungssportlich orientierte Turn- und Leichtathletikvereine. Die Sport treibenden Versuchspersonen unterschieden sich nicht bezüglich Niveau, Trainingsumfang und -intensität und der Dauer der sportlichen Betätigung und waren in ihrer Sportart durchweg als ausgewiesene Experten einzustufen.

6.1.2 Versuchsaufbau

Fragebogen:

Mittels eines Fragebogens wurden Daten zu Alter, Schule/Studium/Beruf und Geschlecht erhoben. Zusätzlich wurde nach betriebenen Sportarten im Verein, dem Beginn und der Dauer der jeweiligen sportlichen Tätigkeit, dem Leistungsniveau (Kreis-, Bezirks-, Landes-, Bundesebene, international) und der durchschnittlichen Dauer des Trainings pro Woche in der jeweiligen Sportart gefragt.

Test der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit:

Wie in den Studien 1 und 2 wurde zur Feststellung der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit der Zahlenverbindungstest (Oswald & Roth, 1987) als Gruppentest durchgeführt (vgl. Punkt 3.2 dieser Arbeit).

Test der mentalen Rotationsfähigkeit:

Mit Hilfe des Mental Rotation Test (MRT, überarbeitete Version von Peters et al., 1995; Vandenberg & Kuse, 1978), der bereits in den Studien 1 und 2 verwendet wurde, wurde in Form eines Gruppentests die mentale Rotationsfähigkeit erfasst (vgl. Punkt 3.1.1 dieser Arbeit).

6.1.3 Versuchsdurchführung

Die Durchführungszeit lag bei jeweils ca. 30 Minuten und wurde in mehreren Kleingruppen vereins-, klassenweise bzw. in Trainingsgruppen vor Beginn des Trainings zwischen 17.00 und 18.00Uhr durchgeführt. Dabei stand bei jedem Test ein ruhiger Raum mit jeweils freien Plätzen zwischen den Probanden zur Verfügung, um Ablenkungen zu vermeiden. Nach der Bearbeitung des Fragebogens wurde zunächst der ZVT zur Kontrolle der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit durchgeführt, im Anschluss daran der MRT zur Feststellung der mentalen Rotationsfähigkeit.

6.1.4 Design und statistische Analyse

Fragebogen:

Die Mittelwerte bzw. entsprechenden Häufigkeiten der Daten des Fragebogens wurden für alle Versuchspersonen errechnet. Zusätzlich wurden Varianzanalysen mit den abhängigen Variablen „Sportstunden“ (Anzahl der Sportstunden pro Woche) und „Sportjahre“ (Anzahl der Jahre, seit denen die Versuchsperson in ihrer Sportart aktiv ist) und den unabhängigen Variablen „Geschlecht“ (männlich/weiblich) und „Sportart“ (Turnen/Lauf/kein Sport) durchgeführt. Außerdem wurde ein Mann-Whitney-Test bezüglich des Niveaus der betriebenen Sportart berechnet.

ZVT:

Für jede Versuchsperson wurde die kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit in bit/sec pro erreichter Ziffer in 30 Sekunden (Oswald & Roth, 1987) errechnet. Außerdem wurde eine univariate Varianzanalyse mit der abhängigen Variablen „Leistung im ZVT“ und den unabhängigen Variablen „Geschlecht“ und „Sportart“ gerechnet. Zur Überprüfung der ZVT-Werte auf den verschiedenen Wettkampfniveaus wurde ein Kruskal-Wallis-Test durchgeführt.

MRT:

Zunächst wurde die erreichte Gesamtpunktzahl jeder Testperson berechnet (0 - 24 Punkte). Anschließend wurde eine Varianzanalyse mit der abhängigen Variablen „Leistung im MRT“ (Anzahl der richtig gelösten Aufgaben), mit den unabhängigen Variablen „Geschlecht“ (männlich/weiblich) und „Sportart“ sowie den Kovariaten „Leistung im ZVT“ und „Sportstunden“ durchgeführt.

6.2 Ergebnisse

Fragebogen:

Von den 120 Versuchspersonen waren 71 Schüler und 39 Studenten, 10 Teilnehmer (4 Turner und 6 Läufer) übten bereits einen Beruf aus. Alle Versuchspersonen der Sportarten Kunstturnen und Lauf betrieben ihre Sportart aktiv im Verein, die Teilnehmer der Kontrollgruppe gaben an, nur Freizeitsport ohne Verein oder gar keinen Sport zu betreiben.

Das Niveau, auf dem die jeweilige Sportart betrieben wurde, verteilte sich wie folgt (siehe Tabelle 6):

Tabelle 6: Leistungsniveau (Bundes-, Landes-, Bezirkes-, Kreisebene) der Testteilnehmer in Abhängigkeit von der Variablen „Gruppe“.

	Bund	Land	Bezirk	Kreis	Kein Niveau
Kunstturnen	13 (8m/5w)	21 (12m/9w)	6 (0m/6w)	0	0
Lauf	14 (7m/7w)	23 (10m/13w)	3 (3m/0w)	0	0
Kontrollgruppe	0	0	0	0	40 (20m/20w)

Eine Überprüfung mittels des Mann-Whitney-Tests ergab keinen signifikanten Unterschied im sportlichen Niveau der männlichen und weiblichen Versuchsteilnehmer ($Z = -.51$, n.s.), sowie im Niveau der Sport (Turnen/Lauf) treibenden Versuchsteilnehmer ($Z = -.62$, n.s.), das Level der sportlich aktiven Teilnehmer der Kontrollgruppe befindet sich unterhalb des Kreisniveaus.

Die Turner erreichten eine Stundenzahl von $M = 10.87$ Trainingsstunden pro Woche ($SD = 4.20$; männlich: $M = 10.30$, $SD = 3.88$, weiblich: $M = 11.45$, $SD = 4.51$), die Läufer trainierten im Schnitt 13.05 Stunden ($SD = 3.92$), davon die männlichen Testpersonen 13.55 Stunden ($SD = 4.12$), die weiblichen 12.55 Stunden ($SD = 3.73$), während sich die Teilnehmer der Kontrollgruppe im Mittel 3.98 Stunden pro Woche ($SD = 3.66$, männlich: $M = 4.85$, $SD = 4.56$, weiblich: $M = 3.10$, $SD = 2.27$) sportlich betätigten. Die bevorzugten Sportarten der Kontrollgruppe waren dabei konditionell orientierte Sportarten (Laufen, Radfahren, Schwimmen, Fitness) und Fußball.

Eine univariate Varianzanalyse mit dem abhängigen Faktor „Sportstunden“ und dem unabhängigen Faktoren „Geschlecht“ und „Sportart“ ergab keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Faktors „Geschlecht“ ($F(1, 119) = .55$, n.s.), jedoch einen signifikanten Effekt des Faktors „Sportart“ ($F(1, 119) = 58.38$, $p < .001$, $\eta^2 = .51$). Im Bonferroni post hoc Test ($p = .05$) zeigte sich, dass ein signifikanter Unterschied zwischen Läufern und Kontrollgruppe ($p < .001$) und Turnern und Kontrollgruppe ($p < .001$) besteht. Des Weiteren ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Versuchspersonen der beiden Sportgruppen Kunstturnen und Lauf ($p < .05$). Das bedeutet zum einen, die Versuchsteilnehmer der Sportarten „Kunstturnen“ und „Lauf“ wiesen deutlich mehr Sportstunden pro Woche auf als die Kontrollgruppe, zum anderen investierten die Läufer jedoch noch einmal signifikant mehr Stunden pro Woche in ihr Training als die Turner (siehe Abbildung 20).

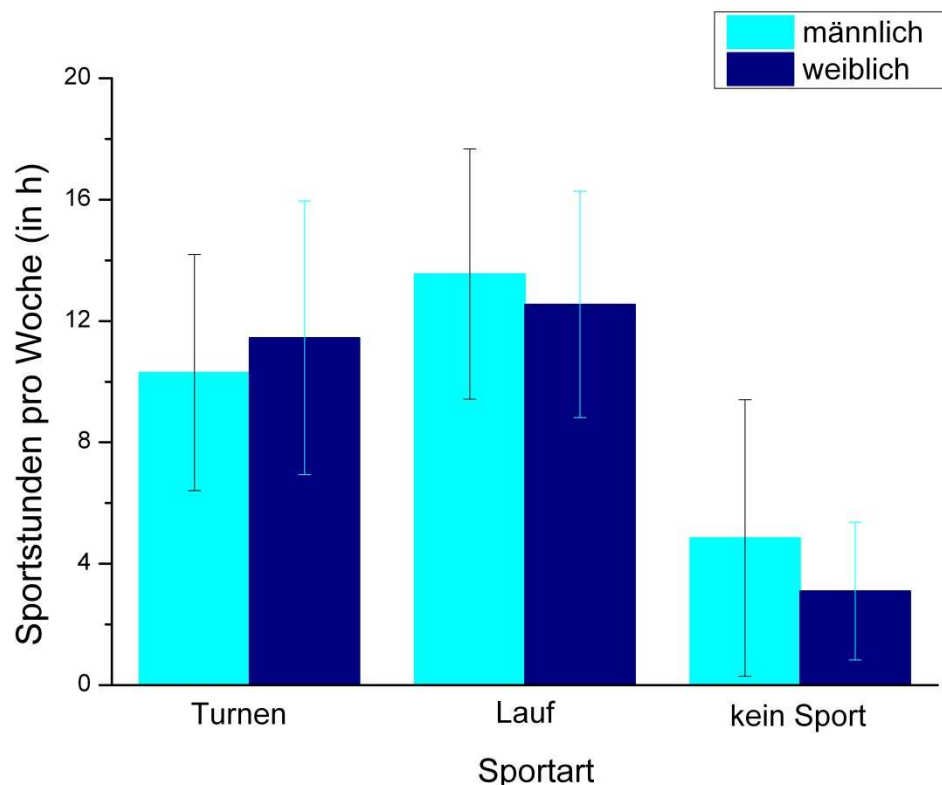


Abbildung 20: Anzahl der wöchentlich absolvierten Sportstunden der Versuchsteilnehmer in Abhängigkeit von Sportart und Geschlecht. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

In Bezug auf die Anzahl der Jahre, seit denen die jeweilige Sportart aktiv betrieben wird, kann leider nur ein Vergleich zwischen den Turnern und den Läufern gezogen werden, da die Daten der Kontrollgruppe hier nicht vollständig vorhanden sind. Es ergibt sich ein signifikanter Unterschied bezüglich der Anzahl der Sportjahre, $F(1, 79) = 23.98$, $p < .001$, $\eta^2 = .24$, die Turner beginnen tendenziell früher damit, ihren Sport auszuüben ($M = 12.93$ Jahre, $SD = 4.09$) als die Läufer ($M = 8.65$ Jahre, $SD = 3.66$).

ZVT:

In Bezug auf die Sportarten ergab sich folgende Verteilung (siehe Abbildung 21): Turner ($M = 2.98$, $SD = .43$), Läufer ($M = 2.85$, $SD = .41$), Kontrollgruppe ($M = 2.76$, $SD = .44$). Es lagen damit bezüglich des Faktors „Sportart“ keine signifikanten Unterschiede in der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit ($F(1, 119) = 2.66$, n.s.), jedoch trat ein signifikanter Effekt bezüglich des Faktors „Geschlecht“ auf ($F(1, 119) = 4.03$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$). Die weiblichen Versuchsteilnehmer erbrachten mit 2.94 ($SD = .42$) ein signifikant besseres Ergebnis als die männlichen Teilnehmer 2.79 ($SD = .42$). Eine Interaktion der beiden Faktoren ($F(2, 119) = .13$, n.s.) existiert nicht.

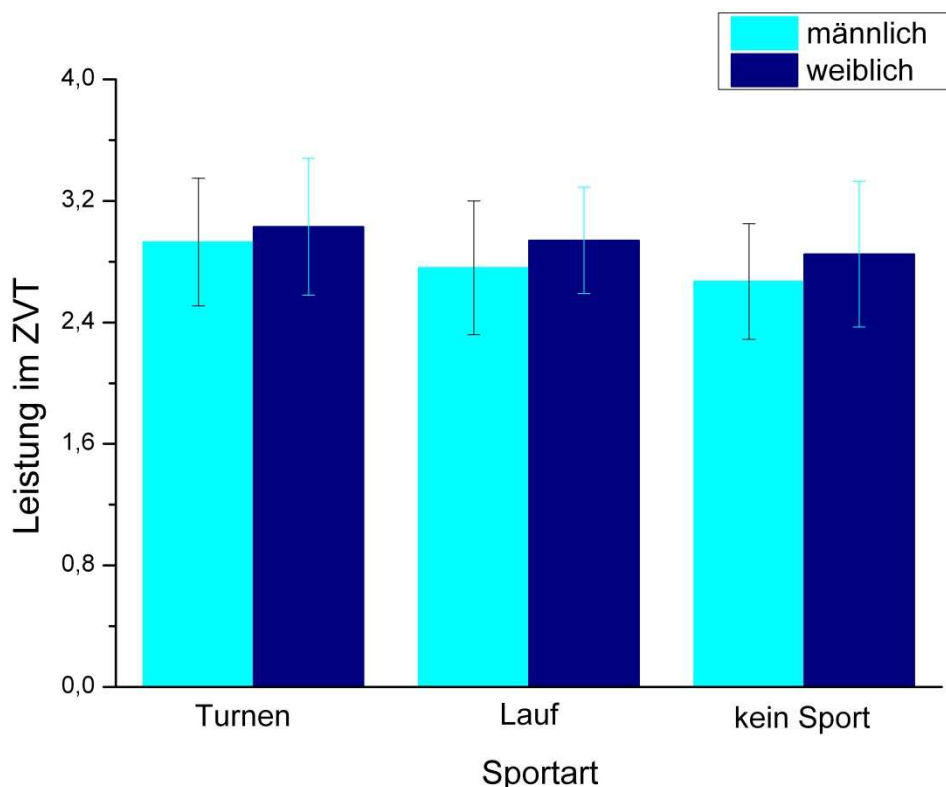


Abbildung 21: Leistung der Versuchsteilnehmer im Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT) in Abhängigkeit von Sportart und Geschlecht. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Eine Überprüfung mit dem Kruskal-Wallis-Test zeigt, dass die Verteilung des ZVT-Schnitts über die verschiedenen Kategorien des Wettkampfniveaus gleich ist (Signifikanzniveau .90).

MRT:

Eine Varianzanalyse mit den unabhängigen Variablen „Geschlecht“ und „Sportart“ und den Kovariaten „Leistung im ZVT“ und „Sportstunden“ weist auch in dieser Studie wieder wie in den beiden vorhergegangenen Studien einen signifikanten Effekt bezüglich des Faktors „Geschlecht“ ($F(1, 119) = 61.86, p < .001, \eta^2 = .36$) auf, Männer ($M = 15,00$ Punkte, $SD = 3.99$) erbringen bessere Werte auf als Frauen ($M = 9.73$ Punkte, $SD = 4.36$).

Betrachtet man die einzelnen Punktwerte von Männern und Frauen, so ergibt sich wie in Tabelle 7 dargestellt, folgende Verteilung:

Tabelle 7: Leistung der Versuchsteilnehmer im mentalen Rotationstest (MRT) in Abhängigkeit von Geschlecht und Sportart.

	Turnen	Lauf	Kein Sport	Gesamt
Männlich	16.20 (SD = 3.00)	14.10 (SD = 4.00)	14.70 (SD = 4.68)	15.00 (SD = 3.99)
weiblich	11.95 (SD = 4.35)	8.80 (SD = 4.94)	8.45 (SD = 2.84)	9.73 (SD = 4.36)
Gesamt	14.08 (SD = 4.27)	11.45 (SD = 5.18)	11.58 (SD = 4.96)	12.92 (SD = 4.64)

Auch bezüglich des Faktors „Sportart“ (Kunstturnen/Lauf/kein Sport) sind signifikante Ergebnisse erkennbar ($F(1, 119) = 5.05, p < .01, \eta^2 = .08$). Ein Bonferroni post hoc Test ($p = .05$) weist nach, dass die Turner ($M = 14.08$ Punkte, $SD = 4.27$) signifikant höhere Werte ($p < .05$) aufweisen auf als Läufer ($M = 11.45$ Punkte, $SD = 5.18$) und auch signifikant höhere Werte ($p < .05$) als die Kontrollgruppe ($M = 11.58$ Punkte,

SD = 4.96). Kontrollgruppe und Läufer unterscheiden sich nicht (siehe Abbildung 22). Eine Interaktion der beiden Faktoren besteht nicht ($F(1, 119) = 1.14, n.s.$).

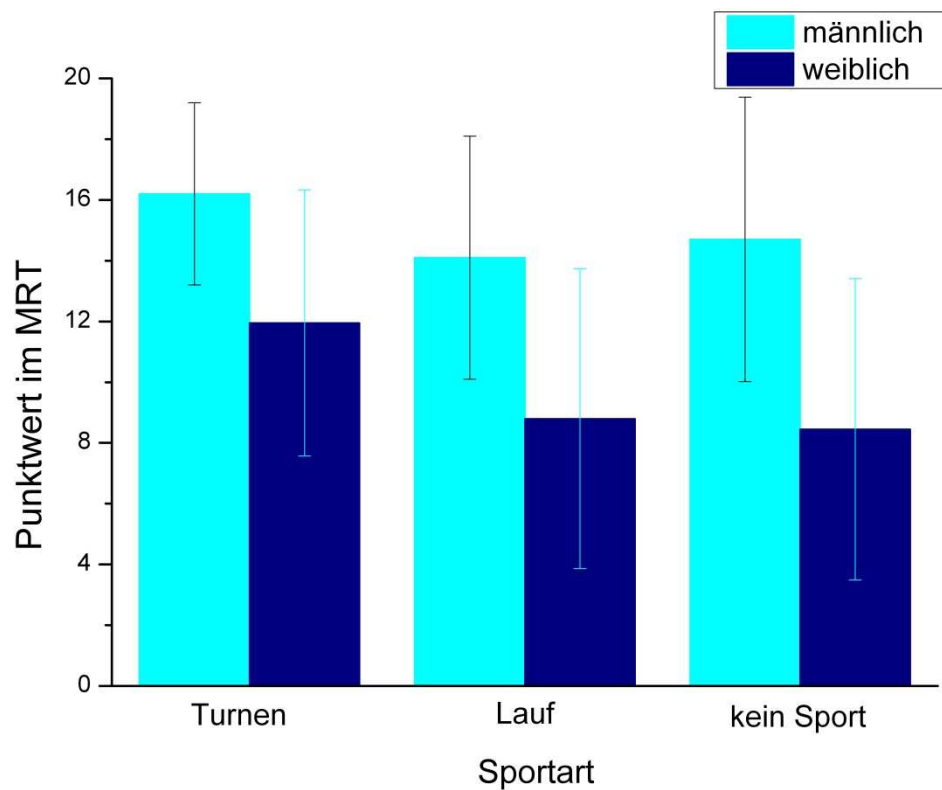


Abbildung 22: Leistung der Versuchsteilnehmer im mentalen Rotationstest (MRT) in Abhängigkeit von Geschlecht und Gruppe. Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

6.3 Diskussion

Betrachtet man die gewonnenen Ergebnisse dieser Studie in Bezug auf die mentale Rotationsleistung, so zeigt sich neben dem schon aus den ersten Studien bekannten Geschlechtereffekt – Männer zeigen deutlich bessere Leistungen als Frauen (u.a. Robert & Cevriert, 2003; Jansen-Osmann & Heil, 2007a) – dass die Turnerinnen und Turner allen anderen Versuchsteilnehmern im Hinblick auf die Leistungen im MRT signifikant überlegen sind, während die Läuferinnen und Läufer ähnliche Leistungen aufweisen wie die Kontrollgruppe, die keinen oder nur sehr wenig Sport betreibt. Dabei lässt sich ausschließen, dass dieses Ergebnis aufgrund eines unterschiedlichen Leistungsniveaus der Sportler zustande kommt, da nachgewiesen wurde, dass Läufer und Turner ihre Sportart auf einer gleich hohen, annähernd

professionellen Ebene betreiben. Interessant ist auch, dass der Unterschied zwischen den Turnerinnen und der Lauf- und Kontrollgruppe mit durchschnittlich drei Punkten mehr im MRT deutlich höher liegt als dies bei den Turnern (maximal zwei Punkte mehr im MRT) im Vergleich zu Läufern und Kontrollgruppe der Fall ist. Dafür ist der Unterschied zwischen Männern und Frauen bei der Turngruppe mit 4.25 Punkten geringer als der bei Läufern (5.30 Punkte) und Kontrollgruppe (6.25 Punkte). Diese Tatsache unterstützt die Forschungsergebnisse von Neubauer et al. (2010), die darauf hinweisen, dass durch spezielles Training der Geschlechterunterschied verringert werden kann, wobei sie nicht den Sonderfall eines sportlichen Trainings, sondern ein computergestütztes Training verwendeten.

Gleichzeitig liefert diese Studie damit jedoch ein zu den Untersuchungen von Moreau et al. (2011) gegensätzliches Ergebnis. Sie fanden bei professionellen Kampfsportlern größere Unterschiede in der mentalen Rotationsleistung von Männern und Frauen zugunsten der männlichen Sportler, als bei ihrer Vergleichsgruppe mit Anfängern in der jeweiligen Sportart und schließen deshalb, „that the effect of level in combat sport is stronger for males than females“ (Moreau et al. 2011, 534). Der geringere Unterschied zwischen Turnerinnen und Turnern im Vergleich zu den Kampfsportlern könnte dadurch zustande kommen, dass aufgrund der unterschiedlichen Gerätegestaltung Frauen im Vergleich zu den Männern noch mehr koordinative Anforderungen erfüllen müssen, während bei den Männern unter anderem vermehrt auch krafttechnische Elemente auftreten (siehe 1.1.3.2.1).

Generell könnten die signifikant besseren Leistungen der Turnerinnen und Turner als Indiz dafür angesehen werden, dass sich, wie schon durch die Auswertung der beiden ersten Studien vermutet wurde, durch eine längerfristige intensive sportlich-koordinative Betätigung eine Verbesserung im Bereich der mentalen Rotationsleistung erzielen lässt. Auch wird ebenso wie bei der von Moreau et al. (2012) durchgeführten Studie zum Vergleich von Ringern und Läufern deutlich, dass die gewählte Sportart dabei eine entscheidende Rolle spielt. Der Mittel- und Langstreckenlauf wird eindeutig den konditionell orientierten Sportarten zugeordnet (siehe 1.1.3.2.3), sein Anforderungsprofil lässt eine deutliche Fokussierung der Trainingsinhalte auf die sportmotorische Fähigkeit „Ausdauer“ hin erkennen (Joch, 1992; Jonath et al., 1995). Die Bewegungsrichtung im Mittel- und Langstreckenlauf ist geradlinig vorwärts, Rotationen um die Körperlängsachse sowie Richtungswechsel im Laufverhalten (seitwärts, rückwärts) werden im Training nur

sehr selten, im Wettkampf in der Regel gar nicht ausgeführt, Rotationen um Körperbreiten und –tiefenachse fehlen praktisch völlig. Damit unterscheiden sich die Läufer in dieser Hinsicht nicht von den Teilnehmern der Kontrollgruppe, da die eben erwähnten Bewegungsmuster auch den im alltäglichen Verhalten ausgeführten Bewegungen entsprechen. Im Unterschied dazu weisen turnerische Trainingsinhalte einen hohen Anteil an „besonderen“, nur selten im Alltag vorkommenden Bewegungsformen auf. Betrachtet man die im Kunst- und Gerätturnen nach acht Strukturgruppen aufgeteilten Elemente (Knirsch & Minnich, 1997), so wird deutlich, dass beinahe jede turnerische Bewegung eine Rotation um eine der Körperachsen enthält. Außerdem werden die entsprechenden Elemente häufig in verschiedene Bewegungsrichtungen geturnt, z.B. Rolle vorwärts, rückwärts und seitwärts, so dass zusätzlich noch Körperachsendrehungen mit Bewegungsrichtungen in unterschiedlicher Art und Weise kombiniert werden. Berücksichtigt man dazu noch die sich je nach Ausführungsvariante ständig ändernden Arm- und Beinhaltungen (Härtig & Buchmann, 2004), so wird die koordinativ geprägte turnerische Bewegungsvielfalt besonders deutlich. Geht man wie Bethell-Fox und Shepard (1988) von einer holistischen Verarbeitung bei der mentalen Rotation aus, so könnten sich durch entsprechend häufiges Üben physikalischer Rotationen Zusammenhänge zwischen den real wahrgenommenen und durchgeführten Drehbewegungen und mentalen Rotationen ergeben.

Obwohl die Turner ihre Sportart signifikant länger betreiben als die Läufer (im Schnitt vier Jahre), sollte dies keinen Einfluss auf die gewonnenen Ergebnisse haben, da sowohl Turner als auch Läufer jeweils vor Beginn der Pubertät mit ihrer Sportart begonnen haben. Dies bedeutet, dass die Läufer aufgrund des Anforderungsprofils trotz ihres späteren Beginns alle für die Entwicklung einer konditionellen Sportart wichtigen Phasen durchlaufen haben (Martin et al., 1999). Der frühere Trainingsbeginn der Turner im Vergleich zu den Läufern und die damit einhergehende höhere Anzahl an Trainingsjahren ergibt sich ebenfalls aufgrund der sportartspezifischen Besonderheiten (siehe Punkt 1.1.3.2.1 und 1.1.3.2.3). Um alle „sensiblen Phasen“ für eine optimale Entwicklung der koordinativen und motorischen Fähigkeiten im Kunstturnen zu nutzen, ist es sinnvoll, möglichst früh mit einer breit angelegten turnerischen Ausbildung zu beginnen (Thiess & Tschiene, 1999; Weineck, 2007), während bei Läuferinnen und Läufern zunächst eine allgemeine und vielseitige Grundausbildung (auch außerhalb der Sportart Leichtathletik) im

Vordergrund stehen sollte, da aufgrund der körperlichen Entwicklung vor allem im Bereich der Energiebereitstellung ein effektives Spezialtraining erst ab einem Alter von 12-14 Jahren sinnvoll ist (Martin et al., 1999). Es ist nicht zu erwarten, dass bei Läufern, die ihre Sportart seit acht Jahren intensiv betreiben, bei annähernd gleichbleibenden Trainingsinhalten noch weitere Anpassungserscheinungen in Bezug auf die mentale Rotationsfähigkeit auftreten. Dies könnte eher bei den Turnern trotz einer durchschnittlich 12jährigen Ausübung ihrer Sportart der Fall sein, da sind im Verlauf ihres Trainings immer mit neuen und komplizierteren Elementen und Bewegungsfolgen und damit immer höherwertigen koordinativen Reizen konfrontiert werden.

Die deutlich höhere Anzahl der Trainingsstunden pro Woche bei den Läufern ergibt sich aus den extrem hohen Trainingsumfängen, die im Bereich der Mittel- und Langstrecke absolviert werden. Diese im Vergleich zu den Trainingsstunden der Turner höhere Stundenzahl bringt jedoch für die Läufer keine neuen bzw. zusätzlichen Trainingsinhalte, sondern dient nur der bei steigendem Niveau immer intensiveren Ausbildung der konditionellen Fähigkeit Ausdauer, die bei Mittel- und Langzeitausdauerbeanspruchungen entsprechende Trainingsumfänge von bis zu vier Stunden pro Trainingseinheit erfordern (Martin et al., 2001).

Es bleibt jedoch die Frage, ob die Turnerinnen und Turner dieses Experiments den überdurchschnittlichen Erfolg in ihrer Sportart erreichten, weil sie über ein ausgeprägtes sportmotorisches Talent, die richtigen konstitutionellen Voraussetzungen, den nötigen Trainingseifer und weitere entsprechende Ausbildungsvoraussetzungen verfügten und sich durch das jahrelange intensive Training ihre mentale Rotationsleistung verbesserte oder ob im Umkehrschluss eine bereits zu Beginn ihrer sportlichen Laufbahn überdurchschnittlich gut ausgeprägte mentale Rotationsfähigkeit ihre erfolgreiche Karriere in dieser Sportart begünstigte. Um in diesem Bereich weitere Forschungsergebnisse zu erzielen, wäre es sinnvoll Längsschnittstudien durchzuführen, die Kinder zu Beginn ihres Eintritts in einen Turnverein und die anschließende Entwicklung ihrer mentalen Rotationsleistung im Vergleich zum Fortschritt ihrer turnerischen Ausbildung (Leistungsniveau, Trainingshäufigkeit usw.) untersuchen. Um erste Hinweise darauf zu erhalten, dass nicht die in einem bestimmten Alter vorhandene mentale Rotationsleistung den Ausschlag für sportlichen Erfolg im Bereich Kunst- und Gerätturnen gibt, erscheint es sinnvoll, mit Jugendlichen ohne Bezug zu dieser Sportart ein mehrwöchiges

Interventionsprogramm in Form eines Turntrainings durchzuführen und mögliche Änderungen im Bereich der mentalen Rotationsfähigkeit zu beobachten. Außerdem könnten in anschließenden Studien weitere konditionell und koordinativ orientierte Sportarten sowie entsprechende Mischformen untersucht werden.

7. Studie 4

Da die Experten in der koordinativ orientierten Sportart Kunstturnen laut der Ergebnisse aus Studie 3 eine bessere mentale Rotationsleistung aufweisen als die konditionell orientierten Läufer und die keinen Sport treibende Kontrollgruppe, bleibt zu untersuchen, ob die mentale Rotationsfähigkeit durch ein verstärktes Ausüben koordinativ orientierter Sportarten gesteigert werden kann. In diesem Experiment wurde daher der Effekt eines Trainings in einer laut ihres jeweiligen Anforderungsprofils schwerpunktmäßig der informationsverarbeitenden motorischen Fähigkeit Koordination zugeordneten Sportarten auf die mentale Rotationsleistung im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne besondere sportliche Betätigung untersucht. Es wurde angenommen, dass sich durch ein 10wöchiges spezielles Training in den Sportarten Gerätturnen und Volleyball bei bis zu diesem Zeitpunkt sportartspezifisch nicht speziell ausgebildeten Versuchspersonen die mentale Rotationsleistung im Vergleich zu einer Gruppe, die kein Training erhält, steigert.

7.1 Methode

7.1.1 Stichprobe

An diesem Experiment nahmen 84 Schüler (40m/ 44w) im Alter zwischen 17 und 20 Jahren ($M = 17.80$, $SD = 0.90$) von Gymnasien in Regensburg und Pfarrkirchen teil. 46 Schüler (25m/21w) erhielten von April bis Juni 2011 ein 10wöchiges jeweils 90minütiges gerätturnspezifisches bzw. volleyballspezifisches Training im Rahmen des Grundfaches Sport in der Oberstufe, 38 Schüler (15m/23w) bildeten die Kontrollgruppe und absolvierten keine sportliche Intervention. Für die Kontrollgruppe wurde zwischen Prä- und Posttest der Zeitraum von Juli bis Oktober 2011 (ebenfalls 10 Wochen) gewählt, da in dieser Zeit aufgrund der Ferien kein zusätzlicher und spezieller Sportunterricht stattfand. An diesem Experiment nahmen im Unterschied zu den vorhergehenden Studien Schüler der gymnasialen Oberstufe und keine Studenten teil, da die entsprechenden Schulen ihren Sportunterricht für die Dauer der Intervention zur Verfügung stellten. Es wurde bei der Auswahl der Versuchsteilnehmer darauf geachtet, dass kein Experte in den Sportarten Gerätturnen und Volleyball an dem Experiment teilnahm.

Aus der Versuchsgruppe wurden 16 Schüler (10m/6w) ausgeschlossen, da sie im Verlauf des Experiments an weniger als 8 der Übungseinheiten teilnahmen oder zusätzlich zum Interventionsprogramm für mehr als acht Stunden pro Woche bzw. länger als 8 Jahre in einer koordinativ orientierten Sportart aktiv waren. Für die Interventionsgruppe (15m/15w) ergab sich damit ein Alter von 18.30 Jahren (SD = .79). Aus der Kontrollgruppe wurden 8 Schüler ausgeschlossen, die sich in ihrer Freizeit für mehr als 8 Stunden pro Woche mit koordinativ orientierten Sportarten beschäftigten oder während des Versuchszeitraums der Ferien zu wenig Arbeitszeit (weniger als 20 Stunden) für schulische Belange aufwendeten. Die Teilnehmer dieser Gruppe (15m/15w) hatten damit ein durchschnittliches Alter von 17.30 Jahren (SD = .70).

7.1.2 Versuchsaufbau

Fragebogen Prätest:

Auf einem Fragebogen wurden zunächst für alle Testteilnehmer Daten zu Alter, Geschlecht, Jahrgangsstufe, Leistungskursfächern/Seminarfächern, betriebenen Sportarten mit Beginn der sportlichen Tätigkeit und Anzahl der Sportstunden pro Woche erhoben.

Fragebogen Posttest:

Auf diesem Fragebogen wurde zu Beginn des Posttests für die Kontrollgruppe die Art, Häufigkeit und Dauer des Sporttreibens sowie die Art und Dauer der Beschäftigung mit schulischen Themen während der Interventionsphase erfasst.

Test der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit:

Zur Feststellung der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit wurde der Zahlenverbindungstest (Oswald & Roth, 1987) als Einzeltest durchgeführt (vgl. 3.2).

Computerbasierter mentaler Rotationstest (CMR):

Die mentale Rotationsfähigkeit wurde mit Hilfe des CMR (Jansen-Osmann & Heil, 2007b) ermittelt. Zur genauen Beschreibung dieses Tests wird auf Punkt 3.1.2 dieser Arbeit verwiesen.

7.1.3 Versuchsdurchführung

Der Versuch dauerte pro Person in Prä- und Posttest jeweils ca. 60 Minuten und wurde in ruhigen, kleinen Räumen des jeweiligen Schulgebäudes (Regensburg, Pfarrkirchen) abgehalten, in denen nur der Versuchsleiter und die Testperson anwesend waren. Prä- und Posttest jedes Probanden wurden dabei jeweils zur selben Uhrzeit am gleichen Wochentag absolviert. Nach dem Ausfüllen des Fragebogens wurde im Prätest zunächst der ZVT zur Erhebung der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit als Einzeltest durchgeführt, anschließend erfolgte der CMR. Im Posttest wurde kein ZVT verwendet, der CMR begann nach dem Ausfüllen des Fragebogens. Der CMR startete dabei bei Prä- und Posttest mit einer Übungsphase, die aus zwei Durchgängen mit jeweils 27 Einzelentscheidungen (identisch/gespiegelt) bestand. Die Versuchspersonen wurden angewiesen, sich so schnell und fehlerfrei wie möglich dafür zu entscheiden, ob die Vergleichsfigur zur Standardfigur identisch (grüne Maustaste) oder gespiegelt (rote Maustaste) dargestellt war.

Im Anschluss an den Prätest erfolgte für die Interventionsgruppe eine 10wöchige Trainingsphase in der die Versuchsgruppe einmal pro Woche für 90 Minuten Trainingseinheiten in den Sportarten Gerätturnen bzw. Volleyball absolvierte. Der Schwerpunkt lag dabei jeweils auf dem Erlernen und Üben von turnerischen bzw. volleyballtechnischen und –taktischen Elementen, bei denen die Versuchspersonen möglichst häufig um ihre verschiedenen Körperachsen rotieren mussten bzw. verstärkt koordinative Anforderungen an die Probanden gestellt wurden. Eine genauere Darstellung der Übungseinheiten ist in Anhang B zu finden. Für die Kontrollgruppe fand während des Interventionszeitraums kein Schulsport statt. Im Anschluss an den 10wöchigen Versuchszeitraum füllten beide Gruppen erneut einen Fragebogen aus und unterzogen sich wiederum dem CMR bei gleichem Ablauf wie im Prätest.

7.1.4 Design und statistische Analyse

Fragebogen:

Die Fragebogendaten wurden über alle Versuchspersonen gemittelt bzw. wurden entsprechende Häufigkeiten errechnet. Des Weiteren wurden Varianzanalysen mit den unabhängigen Variablen „Geschlecht“ und „Gruppe“ (Training/kein Training) und den abhängigen Variablen „Sportstunden“ (pro Woche absolvierte Sportstunden) und „Sportjahre“ (Jahre aktiven Sporttreibens) gerechnet.

ZVT:

Für die Bestimmung des Intelligenzquotienten der Versuchspersonen wurde die errechnete kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit mittels Normwerttabellen in IQ-Werte umgewandelt. Anschließend wurde eine univariate Varianzanalyse mit den unabhängigen Variablen „Geschlecht“, „Gruppe“ und den Kovariablen „Sportstunden pro Woche“ und „Sportjahre“ durchgeführt. Als abhängige Variable diente der IQ – Wert.

CMR:

Zur Analyse der Daten wurden mehrfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung gewählt. Als Zwischensubjektfaktoren wurden „Geschlecht“ und „Gruppe“ (Training/kein Training) verwendet, als messwiederholte Faktoren wurden „Winkeldisparität“ (0°, 90°, 180°) und „Zeitpunkt“ (Prä-/Posttest) gewählt, die abhängigen Variablen waren „Reaktionszeit“ (Zeit bis zur Antwort durch Tastendruck) und „Fehlerrate“ (prozentualer Anteil richtiger Antworten), als Kontrollvariable wurde die Anzahl der „Sportjahre“ mit einberechnet. Es wurden hierbei nur die Werte der identischen Stimuli verwendet, da für gespiegelte Stimuli keine Referenzdaten vorhanden sind (Jolicoeur, Regehr, Smith, & Smith, 1985). Für jede Versuchsperson wurden zunächst getrennt die Mittelwerte für die Winkeldisparitäten 0°, 90° und 180° berechnet. Als Ausreißer gewertet und von der statistischen Analyse ausgeschlossen wurden dabei für jede Versuchsperson innerhalb jeder Winkeldisparität sowohl Reaktionszeiten unterhalb von 500ms als auch Reaktionszeiten, die über zwei Standardabweichungen über dem Mittelwert lagen (Wiedenbauer, 2006). Alle Signifikanzniveaus der in diesem Zusammenhang durchgeführten Varianzanalysen wurden nach der Greenhouse-Geisser-Methode korrigiert.

7.2 Ergebnisse

Fragebogen:

Interventions- und Kontrollgruppe setzten sich aus je 30 Schülern (15 männlich/15 weiblich) zusammen, wobei sich folgende Verteilung auf die beiden Gymnasien ergab (siehe Tabelle 8):

Tabelle 8: Zusammensetzung von Interventions- und Kontrollgruppe unter Berücksichtigung des Geschlechts und des Schulortes.

		männlich	weiblich	Gesamt
Interventionsgruppe	Pfarrkirchen	7	7	14
	Regensburg	8	8	16
Kontrollgruppe	Pfarrkirchen	7	8	15
	Regensburg	8	7	15

Acht Teilnehmer der Interventionsgruppe gaben an, koordinative Sportarten und 22 Personen konditionelle Sportarten zu betreiben, 14 Teilnehmer der Kontrollgruppe betätigten sich in eher koordinativ orientierten Sportarten, 16 in eher konditionell orientierten Sportarten, jedoch in beiden Gruppen jeweils nicht mehr als 7 Stunden pro Woche oder länger als 6 Jahre. Keiner der Teilnehmer galt als ausgewiesener Experte (Landesniveau oder höher) in seiner bevorzugt betriebenen Sportart.

Interventionsgruppe ($M = 3.00$ h/Woche, $SD = 3.26$) und Kontrollgruppe ($M = 3.03$ h/Woche, $SD = 3.10$) unterschieden sich dabei nicht signifikant in der Anzahl der Sportstunden pro Woche, die sie während des Experiments absolvierten, wobei die männlichen Versuchsteilnehmer ($M = 4.80$ h/Woche, $SD = 3.80$) scheinbar, jedoch nicht signifikant ($F(1, 59) = 3.97$, n.s.) mehr Sport trieben, als die weiblichen Versuchspersonen ($M = 3.23$ h/Woche, $SD = 2.58$). Betrachtet man die Anzahl der Jahre, seit denen die Versuchspersonen Sport betreiben, so zeigte sich, wie in Tabelle 9 dargestellt, folgendes Ergebnis:

Tabelle 9: Anzahl der Sportjahre bei Interventions- und Kontrollgruppe unter Berücksichtigung der Variable „Geschlecht“.

	männlich	weiblich	Gesamt
Interventionsgruppe	2.27 (SD = 3.04)	2.40 (SD = 3.02)	2.33 (SD = 2.98)
Kontrollgruppe	9.14 (SD = 3.78)	3.63 (SD = 3.05)	6.20 (SD = 4.37)
Gesamt	5.50 (SD = 4.78)	3.03 (SD = 3.10)	4.27 (SD = 4.19)

Die Kontrollgruppe war in ihrer Sportart also signifikant länger aktiv als die Interventionsgruppe ($F(1, 59) = 20.36, p < .001, \eta^2 = .27$), die männlichen Versuchsteilnehmer dabei signifikant länger als die Frauen ($F(1, 59) = 8.29, p < .01, \eta^2 = .13$). Außerdem zeigte sich eine Interaktion der beiden Faktoren ($F(1, 59) = 9.21, p < .01, \eta^2 = .14$), die männlichen Versuchsteilnehmer der Kontrollgruppe wiesen eine signifikant höhere Anzahl an Sportjahren ($M = 9.14, SD = 3.78$) auf als die anderen Versuchsteilnehmer. Die Kontrollgruppe beschäftigte sich während der schulfreien Zeit im Schnitt 35,40 Stunden ($SD = 22.70$) mit schulischen Themen (Facharbeit, Sprachaufenthalt, Vorbereitung auf das neue Schuljahr, Nachhilfe).

ZVT:

Eine Varianzanalyse mit dem abhängigen Faktor „Leistung im ZVT“ (IQ – Wert), den unabhängigen Faktoren „Gruppe“ und „Geschlecht“ und den Kovariaten „Sportjahre“ und „Sportstunden“ ergab bezüglich des Intelligenzquotienten weder einen signifikanten Unterschied ($F(1, 59) = .30, n.s.$) zwischen Interventionsgruppe ($M = 114.30, SD = 17.72$) und Kontrollgruppe ($M = 109.47, SD = 16.12$) noch zwischen männlichen ($M = 110.07, SD = 17.69$) und weiblichen ($M = 113.70, SD = 16.32$) Versuchsteilnehmern ($F(1, 59) = .57, n.s.$), eine Interaktion der beiden Faktoren existiert nicht ($F(1, 59) = 1.75, n.s.$).

CMR (Reaktionszeiten):

Bei der mehrfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung mit der abhängigen Variablen „Reaktionszeit“ und der Kontrollvariablen „Sportjahre“ bei der als messwiederholte Faktoren „Winkeldisparität“ (0°, 90°, 180°) und „Zeitpunkt“ (Prä-/Posttest) und als Zwischensubjektfaktoren „Gruppe“ und „Geschlecht“ verwendet wurden, ergaben sich signifikante Einflüsse bezüglich der Winkeldisparität ($F(2, 110) = 167.78, p < .001, \eta^2 = .75$) und bezüglich des Zeitpunktes ($F(1, 55) = 17.43, p < .001, \eta^2 = .24$). Die Teilnehmer benötigten zum einen für die Beantwortung bei 90° ($M = 2603.15, SD = 661.28$) und 180° ($M = 2641.55, SD = 333.27$) signifikant mehr Zeit als bei 0° ($M = 1159.89, SD = 208.05$), zum anderen antworteten die Versuchspersonen im Posttest ($M = 1961.19, SD = 491.70$) signifikant schneller als im Prätest ($M = 2308.54, SD = 500.03$). Auch die Interaktion der beiden Faktoren „Winkeldisparität“ und „Zeitpunkt“ erwies sich als signifikant ($F(2, 110) = 7.98, p < .005, \eta^2 = .13$). Dabei zeigte sich, dass die Reaktionszeiten für die Winkel 0° ($F(1, 55) = 13.64, p < .001, \eta^2 = .20$), 90° ($F(1, 55) = 14.03, p < .001, \eta^2 = .20$) und 180° ($F(1, 55) = 14.36, p < .001, \eta^2 = .20$) sich signifikant vom Prä- zum Posttest unterschieden, wie Tabelle 10 zu entnehmen ist. Jedoch war die Stärke des Effektes für 90° ($d = .8$) höher als für 0° ($d = .59$) und 180° ($d = .64$).

Tabelle 10: Reaktionszeitender Versuchsteilnehmer bei Prä- und Posttest in Abhängigkeit von der Variablen „Winkeldisparität“.

	0°	90°	180°
Reaktionszeit	1221.25	2866.88	2837.48
Prätest	(SD = 219.16)	(SD = 645.98)	(SD = 634.95)
Reaktionszeit	1098.52	2339.42	2445.62
Posttest	(SD = 196.94)	(SD = 645.98)	(SD = 634.95)

Abbildung 23 zeigt die Reaktionszeiten der Versuchspersonen bei den Winkelstellungen 0°, 90° und 180° in Prä- und Posttest:

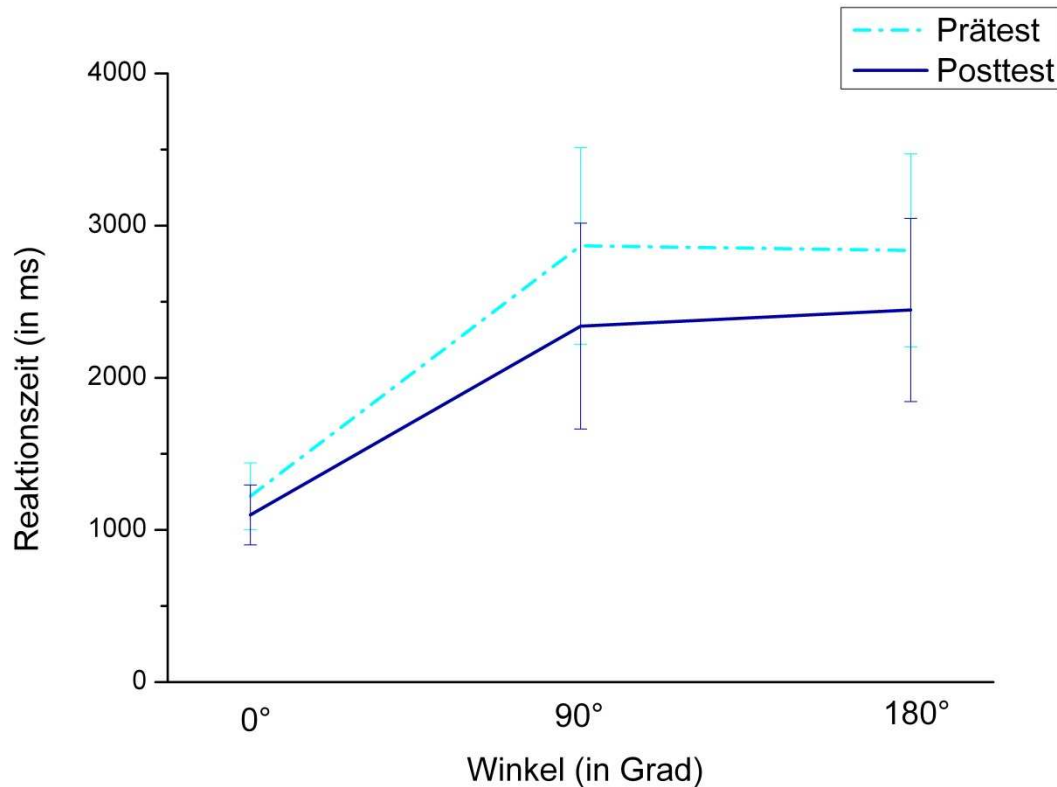


Abbildung 23: Reaktionszeit im CMR in Abhängigkeit von den Variablen „Winkeldisparität“ und „Zeitpunkt“ (Prä-/Posttest). Fehlerbalken repräsentieren Standardfehler des Mittelwerts.

Es war außerdem eine signifikante Interaktion der beiden Faktoren „Winkeldisparität“ und „Geschlecht“ ($F(2, 110) = 5.32, p < .05, \eta^2 = .88$) nachweisbar.

Tabelle 11: Mittelwerte und Standardabweichungen der Reaktionszeiten von männlichen und weiblichen Versuchsteilnehmern in Abhängigkeit von der Variablen „Winkeldisparität“.

	0°	90°	180°
Reaktionszeit weiblich	1160.53 (SD = 200.17)	2746.22 (SD = 595.55)	2749.36 (SD = 616.01)
Reaktionszeit männlich	1141.04 (SD = 221.43)	2460.08 (SD = 668.58)	2533.77 (SD = 611.72)

Tabelle 11 ist zu entnehmen, dass die Reaktionszeiten der männlichen Versuchsteilnehmer für 90° ($F(1, 58) = 4.06, p < .05, \eta^2 = .06$) schneller waren als die der weiblichen Probanden, jedoch für 180° ($F(1, 58) = 2.45, n.s.$) und 0° ($F(1, 58) = .01, n.s.$) kein Unterschied zu erkennen war.

Eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren „Zeitpunkt“ und „Gruppe“ konnte nicht nachgewiesen werden ($F(1, 55) = .56, n.s.$). Auch alle weiteren Haupteffekte und Interaktionen waren nicht signifikant.

CMR (Fehlerrate):

Wie für die Reaktionszeit so ergab sich auch für die Fehlerrate ein signifikanter Effekt bezüglich des Faktors „Winkeldisparität“ ($F(2, 110) = 47.27, p < .001, \eta^2 = .46$), bei 0° gaben die Testpersonen deutlich mehr richtige Antworten ($M = 98.06, SD = 3.03$) als bei 90° ($M = 71.19, SD = 22.22$) und 180° ($M = 74.31, SD = 19.76$), (siehe Tabelle 12). Auch bei dieser Varianzanalyse wurden alle Signifikanzniveaus nach der Greenhouse-Geissler-Methode korrigiert. Ebenso zeigte sich ein signifikanter Effekt bei der Interaktion der Faktoren „Winkeldisparität“ und „Gruppe“ ($F(2, 110) = 5.23, p < .05, \eta^2 = .78$), Tabelle 10 verdeutlicht, dass die Interventionsgruppe bei 180° ($F(1, 58) = 5.49, p < .05, \eta^2 = .086$) deutlich mehr Aufgaben richtig beantwortet als die Kontrollgruppe, bei 0° ($F(1, 58) = 1.76, n.s.$) und bei 90° ($F(1, 58) = 3.49, n.s.$) ergeben sich keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 12: Prozentual richtige Antworten von Interventions- und Kontrollgruppe in Abhängigkeit von der Variablen „Winkeldisparität“.

	0°	90°	180°
Interventionsgruppe	98.40 (SD = 2.46)	76.30 (SD = 19.39)	77.07 (SD = 17.66)
Kontrollgruppe	97.72 (SD = 3.62)	76.30 (SD = 19.39)	77.07 (SD = 17.66)

Ebenfalls signifikant war die Interaktion der Faktoren „Zeitpunkt“ und „Geschlecht“ ($F(1, 55) = 7.85, p < .01, \eta^2 = .13$). Während sich die Geschlechter im Posttest (männlich: $M = 80.62, SD = 18.57$; weiblich: $M = 80.31, SD = 13.13$) nicht unterschieden ($d = .002$), zeigte sich im Prätest (männlich: $M = 81.85, SD = 15.63$; weiblich: $M = 78.27, SD = 12.04$) ein Unterschied ($d = .028$).

Eine weitere signifikante Interaktion ließ sich zwischen den Faktoren „Winkeldisparität“ und „Zeitpunkt“ nachweisen ($F(3, 60) = 7.85, p < .01, \eta^2 = .13$). Letztlich trat außerdem eine dreifache Interaktion zwischen den Faktoren „Winkeldisparität“, „Zeitpunkt“ und „Geschlecht“ ($F(3, 60) = 3.81, p < .05, \eta^2 = .07$) auf. Zur Verdeutlichung der Interaktion dienen die Daten in Tabelle 13. Die Interaktion wird nicht vertieft ausgewertet, da keine Erkenntnisse für die Fragestellung zu erwarten sind.

Tabelle 13: Prozentual richtige Antworten bei Prä- und Posttest in Abhängigkeit von den Variablen „Winkeldisparität“ und „Geschlecht“.

		0°	90°	180°
Prätest	Männlich	98.09 (SD = 3.72)	71.67 (SD = 24.18)	75.80 (SD = 19.00)
	Weiblich	98.15 (SD = 2.43)	65.99 (SD = 16.75)	70.68 (SD = 16.94)
Posttest	Männlich	98.21 (SD = 2.64)	74.57 (SD = 28.44)	69.07 (SD = 24.64)
	weiblich	97.78 (SD = 3.24)	72.53 (SD = 17.97)	70.62 (SD = 18.18)

7.3 Diskussion

Die Ergebnisse von Studie 4 zeigen einen ansteigenden Zusammenhang zwischen Reaktionszeit und Winkeldisparität. Je größer der Rotationswinkel, desto länger benötigten die Versuchspersonen für ihre Antwort. Dies entspricht auch den Ergebnissen von Wiedenbauer (2006) bei dem von ihm durchgeführten computerbasierten mentalen Rotationstest und lässt zusammen mit weiteren Befunden (z.B. der klassischen Studie von Shepard und Metzler (1971)) darauf schließen, dass die Probanden zur Lösung der gestellten Aufgaben mental rotierten.

Betrachtet man die Ergebnisse von Prä- und Posttest, ergibt sich zunächst ein signifikanter Unterschied bezüglich der Reaktionszeiten. Eine deutliche Verbesserung im Posttest für die Winkelgröße 180° deutet auf einen Lerneffekt hin. Zu beachten ist hierbei, dass sich dieser Effekt nicht auf Aufgaben mit den Winkelgrößen 0° und 90° auswirkt, was dadurch erklärt werden könnte, dass Aufgaben mit einem Drehwinkel von 180° vergleichsweise schwieriger zu lösen sind. Das heißt, die Reaktionszeit der Versuchspersonen verbessert sich nur für Figuren, bei denen tatsächlich mental rotiert wird, jedoch nicht bei identisch angeordneten Figuren (0°), hier scheint die maximal mögliche Reaktionsgeschwindigkeit erreicht.

Im Gegensatz zu den vorangegangenen Studien ergibt sich jedoch kein signifikanter Einfluss des Faktors „Geschlecht“ auf die mentale Rotationsleistung. Dies entspricht den uneinheitlichen Befunden verschiedener Studien, die sich mit Paper-Pencil-Tests sowie chronometrischen Tests im Bereich der mentalen Rotation beschäftigen. So wurden in einigen Studien mit dem Shepard-Metzler-Paradigma (z.B. Parsons et al., 2004; Voyer, Rodgers & McCormick, 2004) Geschlechterunterschiede gefunden, in anderen (z.B. Jordan et al. 2002) nicht. Bei chronometrischen Tests konnten dagegen nur Bryden et al. (1990) eine langsamere mentale Rotationsgeschwindigkeit bei Frauen nachweisen. Besonders interessant ist daher die bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse auftretende Interaktion der Faktoren „Winkeldisparität“ und „Geschlecht“, während sich ohne den Einfluss des Faktors „Winkeldisparität“ kein Unterschied bezüglich des Geschlechts zeigt. Bei identischen Figuren ohne Rotation (0°) ergibt sich noch kein Unterschied in der Reaktionsgeschwindigkeit bei Männern und Frauen, jedoch entscheiden sich die weiblichen Versuchsteilnehmer bei 90° signifikant langsamer als die männlichen.

Parallel zu den Ergebnissen bei den Reaktionszeiten verhält sich die Anzahl der prozentual richtigen Antworten auch in Bezug auf die Winkeldisparität. So antworteten die Versuchspersonen bei 0° nicht nur schneller, sondern auch deutlich öfter richtig als bei 90° und 180°. Außerdem fällt eine signifikante Interaktion der Faktoren „Winkeldisparität“ und „Gruppe“ ins Auge: Die Interventionsgruppe entscheidet sich bei 180° (nicht jedoch bei 0° und 90°) signifikant öfter für die richtige Antwort als die Kontrollgruppe, was sich jedoch nicht als abhängig vom Testzeitpunkt erweist. So könnte ein besseres Ausgangsniveau der Interventionsgruppe in der mentalen Rotationsfähigkeit im Hinblick auf die Anzahl der richtigen Antworten das Testergebnis dieser Gruppe bezüglich einer möglichen Verbesserung durch sportliches Training negativ beeinflussen.

Obwohl keine signifikanten Ergebnisse bezüglich der Reaktionszeit und der prozentualen Richtigkeit der Antworten der beiden Versuchsgruppen im Hinblick auf den Testzeitpunkt nachweisbar waren und sich die Hypothese, dass ein 10wöchiges koordinationspezifisches Training die mentale Rotationsleistung signifikant steigert, somit nicht nachweisen lässt, zeigen die Ergebnisse dennoch eine tendenziell größere Verbesserung der Reaktionszeiten der Interventionsgruppe für 90° und 180° im Vergleich zur Kontrollgruppe. Dies könnte dafür sprechen, dass bei der Optimierung verschiedener Ausgangsbedingungen und Durchführungsmentalitäten durchaus positive Ergebnisse erzielt werden könnten. Betrachtet man den Testzeitraum von Interventions- und Kontrollgruppe, so wäre es sinnvoll, beide Gruppen zu Schul- bzw. Ferienzeiten zu testen, um jeden möglichen Einfluss einer kognitiv unterschiedlichen Beanspruchung ausschließen zu können. Des Weiteren müssen Dauer, Häufigkeit und Art der Intervention noch einmal genauer hinterfragt werden. Aus organisatorischen Gründen war es nicht möglich, dass die beiden Interventionsgruppen exakt dieselben Unterrichtseinheiten absolvierten, sie konnten nur beide in koordinativ orientierten Sportarten ausgebildet werden. Da jedoch bei beiden Sportarten (Volleyball und Turnen) aufgrund des sportartspezifischen Anforderungsprofils neben den koordinativ-technischen Inhalten auch immer konditionelle Aufgaben wie Kraft-, Schnelligkeits- und Ausdauertraining (Härtig & Buchmann, 2004; Künstlinger 1987) absolviert werden müssen, konnte nicht die gesamte Trainingszeit optimal darauf ausgerichtet werden, die koordinative Leistungsfähigkeit zu steigern. Es könnte sich daher als sinnvoll erweisen, bei einem Folgeexperiment mit der Interventionsgruppe zunächst ein sportartunabhängiges,

rein koordinatives Training durchzuführen, um die Interventionszeit optimal auszunutzen. Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit wäre die Aufteilung bzw. Erhöhung der Trainingszeiten. Aufgrund der bei koordinativem Training je nach Ausbildung und Trainingszustand nach ca. 20-40 Minuten nachlassenden Aufmerksamkeits- und Konzentrationsfähigkeit konnten die gesetzten koordinativen Trainingsreize nicht während der gesamten Interventionszeit ihre optimale Wirkung entfalten. Außerdem erweist sich laut Martin et al. (2001) sowie Schnabel et al. (2008) aufgrund trainingstheoretischer Gesetzmäßigkeiten ein dreimaliges kürzeres Training von beispielsweise 3x30 Minuten pro Woche als effektiver als ein einmaliges Training von 90 Minuten pro Woche. Auch die Dauer der gesamten Intervention muss im Zuge einer Optimierung des Experiments hinterfragt werden. Zwar konnte Blüchel (2011) bei Grundschulkindern bereits nach einwöchiger täglicher koordinativ orientierter Intervention signifikante Verbesserungen in der mentalen Rotationsleistung feststellen und zudem zeigte der Einfluss eines wöchentlichen Jongliertrainings (das ebenfalls einen nahezu nur koordinativ fundierten Bewegungsablauf aufweist) auf die mentale Rotationsleistung sowohl bei Erwachsenen (Jansen et al., 2009) als auch bei Kindern (Jansen et al., 2011) eine signifikant höhere Leistungsverbesserung in der Jongliergruppe im Vergleich zu einer Kontrollgruppe; jedoch bleibt fraglich, ob ein einmal pro Woche stattfindendes Training bereits nach zehn Wochen effektive Erfolge erzielen kann, wenn zusätzlich zu bedenken ist, dass der Großteil der Probanden nicht an allen zehn Einheiten (mindestens jedoch an acht) teilgenommen hat. Um bei einem rein koordinativen Training der Interventionsgruppe eindeutige Fortschritte nachweisen zu können, wäre es zudem positiv, zusätzlich zur passiven Kontrollgruppe ohne Training noch eine weitere Kontrollgruppe mit rein konditionellem Training in ein Folgeexperiment aufzunehmen, um gänzlich ausschließen zu können, dass eine Steigerung der mentalen Rotationsleistung auch durch körperliche Betätigung ohne koordinativen Anteil zustande kommen kann.

8. Abschlussdiskussion

Im abschließenden Teil dieser Arbeit werden die Ergebnisse der durchgeführten Studien und Experimente, die einen ersten Ansatz bieten, um den Zusammenhang zwischen sportlicher Bewegung und den visuell – räumlichen Fähigkeiten zu hinterfragen, zusammengefasst und diskutiert. In den ersten drei Studien konnte nachgewiesen werden, dass längerfristige sportliche Betätigung und vor allem die Beschäftigung mit speziellen, schwerpunktmäßig koordinativen Sportarten die mentale Rotationsleistung verbessert, während in Experiment 4 der Einfluss einer speziellen, zeitlich begrenzten sportlichen Intervention untersucht wurde. Die vorliegenden Ergebnisse werden deshalb zum einen unter dem Blickwinkel spezieller Zusammenhänge und Verbindungen von Motorik und Kognition und zum anderen vor allem unter dem sportspezifischen Anwendungsbezug vertieft betrachtet. Zusätzlich wird ein Ausblick auf mögliche weiterführende experimentelle Fragestellungen und Forschungsvorhaben gegeben.

8.1 Allgemeine Einflussfaktoren auf die mentale Rotationsleistung

Zunächst werden kurz die allgemeinen Ergebnisse in Bezug auf die mentale Rotationsleistung diskutiert und mögliche Erweiterungen und Verbesserungen der Studien dargestellt, anschließend werden gesondert differentiell-psychologische und motorisch-kognitive Einflussfaktoren betrachtet.

8.1.1 Testspezifische Aspekte

Zu Beginn dieser Diskussion ist festzustellen, dass die in Studie 1 gewonnenen Erkenntnisse, dass Sportler bessere Leistungen im Bereich der mentalen Rotationsfähigkeit aufweisen als Nicht-Sportler, mit Ergebnissen aus der aktuellen Literatur (Ginn & Pickens, 2005; Tlauka et al., 2008) übereinstimmen und somit einen weiteren Beleg für die These liefern, dass eine mehrjährige kontinuierliche sportliche Betätigung positive Auswirkungen auf die mentale Rotationsleistung hat. Erste Vermutungen, durch welche Faktoren diese erhöhte Rotationsleistung zustande kommt, liefern die Studien 2 und 3, in denen eine Verbindung zu schwerpunktmäßig

koordinativen Betätigungen und speziell zur Sportart Kunst-/Gerätturnen nachgewiesen werden konnte. Eine genaue Untersuchung der Gründe für die Ergebnisse der Studien 2 und 3 müsste unter anderem neurophysiologische Untersuchungen in Bezug auf eine unterschiedliche Entwicklung verschiedener Gehirnareale durch kontinuierliches sportliches Training mit einschließen.

Um die Ergebnisse der in dieser Arbeit durchgeführten Studien und Experimente noch weiter abzusichern, erscheint es außerdem sinnvoll, die Hypothesen mit weiteren, anders gestalteten mentalen Rotationstests zu überprüfen. So könnten beispielsweise die Studien 1 – 3 unter Verwendung des chronometrischen Rotationstests aus Experiment 4 erneut durchgeführt werden, da laut Wiedenbauer (2006, S. 116) der MRT „nur schwach mit der mentalen Rotationsgeschwindigkeit im computerbasierten mentalen Rotationstest korreliert“. Dies führt er darauf zurück, dass auf die Ergebnisse im MRT zum Teil andere kognitive Prozesse Einfluss nehmen, als bei chronometrischen Rotationstests. Als Beispiel hierfür führt Wiedenbauer (2006) die Anzahl der Vergleichsfiguren auf die ablaufenden Enkodierungs- und Vergleichsprozesse an. Es erscheint deshalb nicht ausgeschlossen, dass unter Einbeziehung der Rotationsgeschwindigkeit andere Ergebnisse auftreten könnten als bei Verwendung des Paper-pencil-Tests. Außerdem könnten weitere Rotationstests mit unterschiedlichen Stimuli, z. B. Abbildungen von Körperteilen, menschlichen Körpern oder Fotos der jeweiligen Testperson sowohl zwei- als auch dreidimensional durchgeführt werden, da auch hier unterschiedliche Ergebnisse möglich erscheinen (u. a. Amorim, Isableu, & Jarraya, 2006; Corballis, 1997; Jolicoeur & Cavnagh, 1992; Roberts & Bell, 2000). Erste interessante Ergebnisse in Bezug auf die Verwendung verschiedener Stimuli und eine damit verbundene egozentrische bzw. exozentrische Objektrotation liefert eine Reihe von Untersuchungen von Steggemann et al. (2011) mit Turnern und Nicht-Sportlern. Sie stellten in einem ersten Experiment fest, dass es bei mentalen Rotationstests, bei denen die Versuchsteilnehmer entscheiden mussten, ob zwei Objekte (entweder Buchstaben oder menschliche Körper mit einem ausgestreckten Arm) identisch oder gespiegelt dargestellt wurden, keine Leistungsunterschiede zwischen den Versuchsgruppen gab. In einem zweiten Experiment sollten die Versuchspersonen angeben, ob bei den präsentierten Stimuli in Form eines Frauenkörpers, der rechte oder der linke Arm ausgestreckt war. Hier ergab sich ein Vorteil auf Seiten der Turner, der mit zunehmendem Drehwinkel immer deutlicher zu

Tage trat, weshalb Steggemann et al. schließen, dass die Turner nur bei egozentrischer Objektrotation in der Lage sind, „their movement specific knowledge (e. g., expertisespecific body representations in space) gathered through kinesthetic experiences in unusual body orientations“ (Steggemann et al., 2011, S. 8) zu nutzen.

Zu beachten bleibt definitiv auch der Einfluss des Ausgangsniveaus der mentalen Rotationsfähigkeit auf die weitere Entwicklung durch Trainingseffekte. Im Bereich der kognitiven Trainingsforschung nennt Klauer (2001) zwei mögliche Effekte eines Trainings. So gehen zum Beispiel Rizzo et. al (2001) und Sacuzzo, Craig, Johnson, und Larson (1996) davon aus, dass aufgrund der Kompensation vorhandener Lücken Versuchspersonen mit einer schwächeren anfänglichen Rotationsleistung mehr von einem Training profitieren als bereits zu Beginn stärkere mentale Rotierer, während laut des „Matthäus-Effekts“ die Vorteile auf Seiten der bereits zu Beginn besseren Versuchspersonen liegen. Während Souvignier (1999) größere Trainingseffekte bei besseren Kindern feststellen konnte, fanden Rizzo et al. (2001) bei einem in einer virtuellen Realität durchgeführten manuellen Rotationstraining Trainingseffekte nur bei ursprünglich schlechten mentalen Rotierern.

8.1.2 Differentiell-psychologische Aspekte

Der in den Studien 1 – 3 auftretende Geschlechtseffekt zugunsten der männlichen Versuchsteilnehmer findet sein Äquivalent in verschiedensten Experimenten und Studien (z. B. Jansen-Osmann & Heil, 2007b; Robert & Cevriert, 2003), bei denen ein Paper-Pencil-Test zur Überprüfung der mentalen Rotationsfähigkeit verwendet wurde, während ein derartiger Effekt in Studie 4 unter Verwendung des chronometrischen Rotationstests wie auch bei Untersuchungen von Jordan et al. (2002) nicht auftritt.

Einen möglichen Grund für die generell längere Reaktionszeit der weiblichen Versuchspersonen und die damit einhergehenden schlechteren Ergebnisse im Paper-Pencil-Test beruht nach Peters und Battista (2008) darin, dass diese beim Betrachten der einzelnen Figuren mehr auf visuelle Details achten als Männer, was durch eine steigende Anzahl an dargebotenen Stimuli noch begünstigt wird. Diese These würde auch den fehlenden signifikanten Unterschied im chronometrischen Rotationstest von Experiment 4 erklären, da hier nur zwei Stimuli gleichzeitig

betrachtet werden müssen. Um eindeutig feststellen zu können, ob die vorhandenen Unterschiede durch Differenzen während des Prozesses der mentalen Rotation an sich oder durch die Herleitung einer dreidimensionalen Repräsentation aus einem zweidimensionalen Bild zustande kommen, wäre eine Testdurchführung mit tatsächlichen dreidimensionalen Modellen oder die Verwendung einer virtuellen Umgebung sinnvoll. Bei beiden Varianten zeigen verschiedene Studien das völlige Fehlen eines Geschlechtereffekts (z.B. Larson et al., 1999; McWilliams et al., 1997; Parsons et al., 2004).

Neben der Verwendung unterschiedlicher Testvarianten muss auch untersucht werden, ob die Ausübung spezieller Sportarten Einfluss auf den Geschlechtereffekt hat. Gibt es Sportarten, durch deren Training Frauen in Bezug auf die Entwicklung der mentalen Rotationsleistung mehr profitieren als Männer oder umgekehrt? Hierbei ist zunächst festzustellen, dass sich bei den beiden in Studie 3 getesteten Sportarten Kunst-/Gerätturnen und Mittel-/Langstreckenlauf die für den in der Paper-Pencil-Test-Variante durchgeführten MRT in der Literatur gängigen Geschlechtsunterschiede ergaben (u.a. Jansen-Osmann & Heil, 2007a; Voyer, 2011). Eine Erweiterung dieser Studie um eine Versuchspersonengruppe mit Fußballexpertinnen und -experten bringt jedoch überraschende Ergebnisse (Pietsch & Jansen, 2011): Deskriptiv zeigt sich, dass die Fußballer ein ähnliches Niveau aufweisen wie die Läufer und Nicht-Sportler, während die Fußballerinnen in ihrer mentalen Rotationsleistung deutlich bessere Werte ähnlich denen der Turnerinnen aufwiesen. Diese „scheinbare“ Interaktion zwischen Sportart und Geschlecht erwies sich jedoch nicht als signifikant. Trotzdem erscheint es sinnvoll, zu dieser Fragestellung weitere Studien mit größeren Versuchspersonengruppen durchzuführen. Die Sportart „Fußball“ wurde als weiteres Versuchsgruppenmerkmal gewählt, da diese sich aufgrund ihres Spielcharakters als Mannschaftssportart mit zusätzlichem Spielgerät, hoher Mannschaftsstärke und großem Spielfeld in vielerlei Hinsicht (auch in Bezug auf die räumliche Orientierungsfähigkeit) deutlich von den beiden anderen gewählten Einzelsportarten unterscheidet.

Dieses Ergebnis wirft die Frage auf, ob das Training einiger Sportarten unterschiedlichen Einfluss auf die Entwicklung der geschlechtsspezifischen Leistungsfähigkeit im Bereich der mentalen Rotation hat. Ist Fußballtraining dazu geeignet, das grundsätzlich niedrigere Leistungsniveau von Frauen zu steigern, während es auf das männliche Leistungsvermögen keinen Einfluss hat? Oder sind

die Gründe für die Ergebnisse dieser Studie eher im hormonellen (z.B. Baenninger & Newcombe, 1995) oder soziologischen Bereich (z.B. Quaiser-Pohl & Lehmann, 2002) zu finden? Der grundsätzliche Einfluss von stereotypen Geschlechterrollen, sowie von Einstellung und Erfahrung auf die mentale Rotationsleistung konnte bereits von mehreren Autoren (u.a. Geary et al., 2000; Tlauka et al., 2008) nachgewiesen werden. Die getesteten Fußballerinnen wiesen bei der Angabe ihrer Berufe bzw. ihres Studienfaches im Vergleich zu den Turnerinnen, Läuferinnen und den weiblichen Mitgliedern der Kontrollgruppe einen auffällig hohen Anteil an mathematischen und naturwissenschaftlichen Betätigungsfeldern auf, weshalb man auf eine größere Nähe zu räumlich-visuellen Aufgabenbereichen und eine eher „männliche“ Denkweise schließen könnte. Damit würde man der These von Halpern und Wright (1996) sowie Stumpf (1993) folgen, die den Grund für die unterschiedliche Leistungen von Männern und Frauen im Bereich der mentalen Rotationsfähigkeit in verschiedene zugrundeliegenden mentale Prozessen sehen. Auch Jordan et al. (2002) sind der Meinung, dass Männer und Frauen bei der Bearbeitung mentaler Rotationsaufgaben unterschiedliche Strategien verwenden, da sie bei gleichen Ergebnissen im mentalen Rotationstest Geschlechtsunterschiede in den aktivierten Gehirnstrukturen finden. Auch Parsons et al. (2004) vermerkten bei Männern eine im Vergleich zu Frauen verstärkte Aktivierung der linken Hemisphäre.

Gibt es also typisch „männliche“ (z.B. Fußball, Rugby, Boxen) oder „weibliche“ (z.B. Tanz, Gymnastik, Eiskunstlauf) Sportarten? Weitere Untersuchungen in dieser Richtung müssten bei der Erfassung der mentalen Rotationsleistung unterschiedlicher Sportarten gleichzeitig auch immer Aspekte wie die berufliche Tätigkeit, das mathematisch-naturwissenschaftliche Vermögen, die Erfahrung mit räumlich-visuellen Aufgabenstellungen und auch die Selbsteinschätzung der Versuchspersonen mit einbeziehen. Bei Sportarten, deren Geschlechtseffekt im Bereich der mentalen Rotationsleistung deutlich von dem im Regelfall vorliegenden Punktunterschied abweicht, erscheint eine Untersuchung von Unterschieden und Gemeinsamkeiten der kortikalen Aktivität von Männern und Frauen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ebenso interessant wie eine weitere Vertiefung der Diskussion des Einflusses hormoneller Gegebenheiten. Beispielsweise könnte das Experiment von Hooven et al. (2004), das erste Zusammenhänge zwischen dem Testosteronlevel der Speicheldrüse und dem Abschneiden männlicher und weiblicher Versuchspersonen bei mentalen Rotationstests nachweisen konnte dahingehend

erweitert werden, dass speziell die Rotationsleistungen und Testosteronwerte der Athletinnen und Athleten verschiedener der oben genannten Sportarten näher beleuchtet werden.

8.2 Motorisch – kognitive Einflussfaktoren auf die mentale Rotationsleistung

Nach der Betrachtung allgemeiner Aspekte liegt der Fokus der Diskussion in diesem Punkt auf denjenigen Einflussfaktoren auf die mentale Rotationsleistung, die durch ein Zusammenspiel motorischer und kognitiver Faktoren entstehen. Dabei werden zunächst Gemeinsamkeiten motorischer Prozesse und mentaler Rotationsprozesse sowie das motorische Vorstellungsvermögen und das motorische Gedächtnis einer näheren Betrachtung unterzogen, um daran anschließend die Zusammenhänge zwischen motorischer Leistungsfähigkeit und dem Niveau der mentalen Rotationsleistung zu betrachten.

8.2.1 Zusammenhang motorischer Prozesse und mentaler Rotationsprozesse

Lloyd-Jones und Luckhurst (2002) geben an, dass mentale Rotation eine gängige und geeignete Methode dafür ist Objekte, die für den Betrachter in ungewöhnlichen, nicht der Normalpräsentation entsprechenden Perspektiven erscheinen, so zu transformieren, dass sie mit im Gedächtnis des Beobachters gespeicherten Repräsentation des Objekts übereinstimmen. Die dabei ablaufenden Prozessschritte werden von Heil (2002) mit den Oberbegriffen

- (1) Wahrnehmungsvorarbeiten
- (2) Identifikation des Objekts und Identifizierung der Orientierung
- (3) Prozess der mentalen Rotation
- (4) Beurteilung der Gleichheit der Objekte und
- (5) Auswahl und Ausführung der Antwort

bezeichnet (siehe 2.1.2). Vergleicht man diese bei der mentalen Rotation ablaufenden Prozesse mit denjenigen der Bewegungskoordination (siehe 1.1.2.2) für eine Rotationsbewegung des eigenen Körpers im Raum, so ergeben sich auffällige Übereinstimmungen. Nach der Informationsaufnahme und –aufbereitung

(Meinel & Schnabel, 2007), die man auch als „Wahrnehmungsvorarbeiten“ bezeichnen könnte, erfolgt eine Programmierung des Bewegungsablaufes durch das Abfragen des motorischen Speichers. Dies bedeutet, dass nach Prüfung der eingehenden Informationen eine erlernte Bewegungsfertigkeit ausgewählt wird, die eine Rotationsbewegung des Körpers zum sicheren Stand ermöglicht, was durchaus mit der Identifikation eines Objekts und seiner Orientierung in Zusammenhang gebracht werden kann. Während der eigentliche Prozess der mentalen Rotation rein kognitiv abläuft, geht der Prozess der tatsächlichen Bewegungsausführung mit Hilfe des Bewegungsapparats von statten, wobei die Skelettmuskulatur hier das steuernde Organ darstellt (Meinel & Schnabel, 2007). Dabei werden auf der einen Seite die enkodierten Stimuli rotiert, wobei der Rotationsprozess durch einen Vergleichsprozess beendet wird, sobald die angestrebte Winkelstellung erreicht ist, während bei der realen Bewegungsausführung vestibuläre und propriozeptive Wahrnehmungen dazu beitragen, die Rotationsbewegung zum richtigen Zeitpunkt zu beenden. Anschließend erfolgt anhand eines Vergleichs von eingehenden Sollwerten mit gespeicherten Istwerten eine Bewertung der abgelaufenen Bewegung, was mit der „Beurteilung der Gleichheit der Objekte“ gleichgesetzt werden kann. War die Ausführung einer Bewegung erfolgreich, so stimmen Soll- und Istwerte überein und es erfolgt eine positive Rückmeldung, ist ein Objekt nur gedreht und nicht gespiegelt, kommt es zu einer positiven Antwort. Dies steht im Einklang zu der Arbeit von Wohlschläger und Wohlschläger (1998), die angeben, dass ein gemeinsamer Prozess die mentale und motorische Rotation kontrolliert, während Wexler et al. (1998) davon ausgehen, dass jede mentale Rotation eine verdeckte motorische Rotation ist. Auch Wiedenbauer (2006) kommt zu der Annahme, „dass bei der Ausführung einer manuellen Rotation dieselben Prozesse beteiligt sind wie bei der Ausführung einer mentalen“ (Wiedenbauer, 2006, S. 118).

Verschiedene Studien (u. a. Grèzes, Armony, Rowe, & Passingham, 2003; Jeannrod, 2001) weisen speziell darauf hin, dass bestimmte Gehirnareale nicht nur die Ausführung, sondern auch die Beobachtung von Bewegungen unterstützen. Calvo-Merino et al. (2005) konnten in einer fMRI-Studie nachweisen, dass Tänzer unterschiedlicher Tanzdisziplinen (Ballett und Capoeira) eine größere Aktivität im Bereich der prämotorischen Areale sowie des parietalen Kortex aufwiesen, wenn sie typische Bewegungssequenzen ihrer eigenen Tanzrichtung beobachteten. Diese Zusammenhänge lassen darauf schließen, dass der Motorkortex definitiv auch bei

der Lösung mentaler Rotationsaufgaben beteiligt ist, weshalb ein Einfluss erlernter motorischer Fertigkeiten, die den Drehprozessen beim mentalen Rotieren ähneln, durchaus denkbar wäre.

8.2.2 Motorisches Vorstellungsvermögen und motorisches Gedächtnis

Aufgrund des funktionellen Zusammenhangs zwischen motorischen Vorstellungsvermögen und reeller Bewegungskonzeption (Decety & Michel, 1989; Munzert et al., 2009) wird vermutet, dass bei kognitiven motorischen Prozessen wie beispielsweise dem motorischen Vorstellungsvermögen oder der Beobachtung realer Bewegungen dieselben Repräsentationen verwendet werden, wie bei der motorischen Ausführung von Bewegungen. Dabei verfestigt sich im Verlauf der Entwicklung vor allem der Zusammenhang zwischen motorischem Vorstellungsvermögen und den erworbenen motorischen Fertigkeiten (Caeyenberghs et al., 2009). Wilson et al. (2004) vertreten die Meinung, dass das motorische Vorstellungsvermögen eine efferente Kopie der auszuführenden Bewegung ist, die bewusst wahrgenommen werden kann, und vermuten daher, dass das motorische Vorstellungsvermögen von der realen motorischen Erfahrung beschränkt wird. Dies legt wiederum den Schluss nahe, dass durch sportliches Training mit vielfältigen motorischen Erfahrungen und einer damit einhergehenden Verbesserung des motorischen Vorstellungsvermögens auch eine Steigerung der mentalen Rotationsleistung möglich sein könnte. Gleiche Effekte könnten eine intensive Beobachtung komplizierter rotatorischer Bewegungsmuster oder deren verstärkte mentale Vorstellung bewirken.

Von praktischer Relevanz scheint zu sein, ob das motorische Vorstellungsvermögen auch durch Computerspiele mit sportlichen Inhalten oder interaktive Spielekonsolen geschult werden kann und so ein ähnlicher Trainingseffekt hervorgerufen wird wie der bereits nachgewiesene durch solche Computerspiele, die mit mentaler Rotation verwandte Inhalte aufweisen (u. a. De Lisi & Cammarano, 1996; Feng et al., 2007). Bei positiven Untersuchungsergebnissen könnten sich sportartähnliche Simulationen im sportlichen Hochleistungsbereich gerade in Verletzungsphasen oder als zusätzliche kognitive Trainingsmaßnahme als sinnvoll erweisen.

Ergänzend zu der vielfach vertretenen Meinung, dass Abbildungen von Händen eine valide und reliable Möglichkeit darstellen, das motorische Vorstellungsvermögen zu simulieren (Crammond, 1997; Jeannerod, 2001; Parsons 2001), weshalb in vielen Studien, die den Zusammenhang zwischen Motorik und mentaler Rotation untersuchen, derartige Abbildungen verwendet werden, ist anzumerken, dass bei den meisten komplexen sportlichen Bewegungsabläufen immer der ganze Körper und nicht nur einzelne Körperteile beteiligt sind (Dietrich, 2008). Hier müssten genauere Vergleiche der Leistungen von Sportlern mit schwerpunktmäßiger Auge-Hand-Koordination (wie z.B. Tennis, Tischtennis, Golf), Auge-Fuß-Koordination (z.B. Fußball) oder hauptsächlich ganzkörperlichen koordinativen Aufgabenstellungen (Kunstturnen, Wasserspringen, Tanzen) in Bezug auf unterschiedliche verwendete Stimuli (Körperteile und ganze Körper) angestellt werden. Steggemann, Matitschka, und Weigelt (2011) fanden hier bereits erste Hinweise darauf, dass nicht die Proportionen des eigenen Körpers, sondern die erlernten Fähigkeiten der Versuchspersonen in Bezug auf ihre Bewegungserfahrungen und die damit verbundenen Bewegungsrepräsentationen Einfluss auf die mentale Rotationsleistung zumindest bei Verwendung menschlicher Figuren als Stimulusmaterial aufweisen.

Betrachtet man den Zusammenhang von motorischem Gedächtnis und mentaler Rotationsleistung, so muss auch hier der Einfluss unterschiedlicher Sportarten näher untersucht werden. Während Ozel et al. (2002, 2004) keinen Zusammenhang zwischen schnellerer Reaktionszeit im mentalen Rotationstest und der Ausübung von Sportarten fanden, bei denen die Sportler häufig und schnell auf sich verändernde Umstände reagieren müssen, könnte die von Tarr und Pinker (1989) aufgestellte These, dass eine Verbesserung der Reaktionszeit in mentalen Rotationstests auf gedächtnisbasierten Prozessen beruht, durchaus eine mögliche Erklärung für das bessere Abschneiden der schwerpunktmäßig koordinativ ausgebildeten Sportler (siehe Studien 1-3 dieser Arbeit) liefern. Sie stellten fest, dass der Ablauf mentaler Rotationsprozesse bei zunehmender Übung immer mehr durch das Abrufen von in verschiedenen Winkelstellungen erlernten Figuren aus dem Gedächtnis erfolgt. Durch die im motorischen Gedächtnis gespeicherten erlernten Bewegungen, die wie im Kunstturnen häufig viele ungewöhnliche Körperpositionen beinhalten, wäre es daher durchaus möglich, dass bei der Betrachtung der zu rotierenden Stimuli durch die Sportler mehr Winkelstellungen als „bekannt“ eingeordnet werden und dadurch schneller bearbeitet werden können als bei Nicht-Sportlern.

Auch die Ergebnisse von Petit und Harris (2005), die besagen, dass bei der Verwendung von Stimuli in real möglichen und unmöglichen Körperhaltungen die Reaktion bei unmöglichen Körperhaltungen deutlich langsamer erfolgt, weshalb sie schließen, dass physisch unmögliche Stimuli über lokale Repräsentationen ihrer Einzelteile rotiert werden, während ansonsten eine ganzheitliche Repräsentation zur Rotation eingesetzt wird, müsste in diesem Zusammenhang erneut überprüft werden, da bestimmte Körperpositionen, die für Nicht-Sportler als unmöglich gelten, eine für bestimmte Sportarten völlig alltägliche Körperhaltung darstellen könnten.

8.2.3 Ausprägung von motorischer Leistungsfähigkeit und mentaler Rotationsleistung

Wichtig ist eine weitere grundlegende Ursachenforschung für die nachgewiesene bessere mentale Rotationsleistung von Sportlern im Vergleich zu Nicht-Sportlern (z.B. Pietsch & Jansen, 2012; Tlauka et al., 2008). Zunächst muss hier die Richtung des Zusammenhangs von sportlicher Leistungsfähigkeit und mentaler Rotationsleistung eindeutig bestimmt werden. Besitzen die in dieser Arbeit getesteten Turner im Vergleich zu den Nicht-Sportlern eine durch jahrelanges Training in dieser Sportart bessere mentale Rotationsfähigkeit oder wurden sie erst aufgrund einer bereits zu Beginn des Turntrainings höheren Ausgangslage im Bereich der mentalen Rotationsleistung zu Turnexperten, da sie die komplizierten Drehbewegungen leichter erlernen konnten und deshalb größere Erfolge in ihrer Sportart erreichten? Der erwiesene Zusammenhang zwischen kognitiver und motorischer Entwicklung bei Kleinkindern (z.B. Lange-Küttner & Chrichton, 1999; Smith et al., 1999) sowie die Verbindung von Funktionsstörungen im Bereich der motorischen Entwicklung und solchen im Bereich der kognitiven Entwicklung (Leary, 1996; Pitcher et al., 2003; Wiedenbauer & Jansen-Osmann, 2007) könnten im Umkehrschluss auch bei überdurchschnittlichen Leistungen auf eine unmittelbare Verbindung der beiden genannten Bereiche hindeuten.

Neben der Erkenntnis, dass eine aktuelle muskuläre Ausbelastung einen kurzzeitigen positiven Effekt auf die mentale Rotationsleistung hat (Demougeot & Papaxanthis, 2011), gibt auch die Studie von Durny und Gillot (1994) einen Einblick in den Zusammenhang zwischen körperlicher Ermüdung und psychomotorischen

Fähigkeiten. Bei der mehrmaligen Überprüfung der Reaktions- und Entscheidungsfähigkeit von Turnprofis während eines simulierten Wettkampfs konnten sie feststellen, dass sich die einfachen Reaktions- und Entscheidungszeiten kurz nach dem Ende der körperlichen Übung verbessern, weshalb sie annehmen, dass „Personen auf hohem Könnensniveau während eines sportlichen Trainings ihre psychomotorische Leistungsfähigkeit leichter aufrecht erhalten oder noch verbessern können“ (Durny & Gillot, 1994, S. 228). Dies führen sie vor allem auf eine Veränderung der peripheren sensorischen Rezeptoren zurück. Mehrere andere Studien weisen darauf hin, dass durch sportliches Training neben einer allgemeinen körperlichen Leistungssteigerung vor allem die Aufmerksamkeits- und Konzentrationsfähigkeit gefördert wird. So zeigt beispielsweise das CHILT-Projekt von Graf et al. (2003) eine signifikante Korrelation zwischen Koordinations- und Konzentrationsleistung, was auf gemeinsame zerebrale Steuerungs- und Lernprozesse hinweisen könnte, während Dordel und Breithecker (2003) eine Steigerung der Aufmerksamkeitsleistung von Schülern durch zusätzliche körperliche Aktivität nachweisen konnten. Ein möglicher Grund für das im Allgemeinen höhere Leistungslevel von Sportlern bei mentalen Rotationstests könnte deshalb unter anderem in einer im Vergleich zu Nicht-Sportlern besseren Aufmerksamkeits- und Konzentrationsfähigkeit beim Lösen anspruchsvoller Aufgaben vermutet werden.

Um einen zweifelsfreien Zusammenhang zwischen der Entwicklung sportlicher Leistung und der Verbesserung der mentalen Rotationsfähigkeit nachweisen zu können, ist es zunächst wichtig herauszufinden, welche Mechanismen für die Verbesserung der mentalen Rotationsfähigkeit verantwortlich sind und wie sie einander beeinflussen. Grundsätzlich ist anzunehmen, dass Sportler im Hinblick auf die Verbesserung der mentalen Rotationsfähigkeit mehr von der Übung von sportlichen Aktivitäten profitieren, die Körperbewegungen im dreidimensionalen Raum erfordern als von solchen, die geradlinig und in Blickrichtung erfolgen. Zu diesem Ergebnis kamen auch Moreau et al. (2012), die nach einer längerfristigen Intervention mit ungeübten Personen in den Sportarten Ringen und Laufen eindeutige Vorteile in der Entwicklung der mentalen Rotationsfähigkeit bei den Versuchspersonen feststellen konnten, die am Ringer-Training teilnahmen, weshalb sie annehmen, dass die spezifischen kognitiven Prozesse, die in die sportmotorische Übung involviert waren, auf eine andere Aufgabe hin transferiert wurden: „It is therefore plausible, that athletes practicing wrestling recoded nonbody objects into

body shapes“ (Moreau et al., 2012. S. 86). Verallgemeinert auf ein koordinativ orientiertes Training das den Erwerb komplizierter räumlicher Bewegungsmuster mit involvierten Rotationsbewegungen - wie auch beim Kunstturnen – beinhaltet, würde dies bedeuten, dass aufgrund der großen Anzahl der durch Training erworbenen motorischen Repräsentationen solche Sportler in der Lage sind, spezifische kognitive Prozeduren anzuwenden, auch wenn gerade keine konkrete motorische Aufgabe vorliegt.

Legt man die Studie von Wraga, Thomposon, Alpert und Kosslyn (2003) zugrunde, die aussagt, dass ein impliziter Transfer von erlernten motorischen Strategien auf mentale Rotationsaufgaben stattfindet und berücksichtigt außerdem, dass die Visualisierung von Rotationen wie bei verschiedenen Studien mit Computerspielen nachgewiesen werden konnte, eine ausschlaggebende Komponente für Trainingseffekte darstellen können (z.B. Souvignier, 2000), so müsste ein Training in der Sportart „Kunst-/Gerätturnen“ sowohl durch die Ausführung von Bewegungen mit Drehungen um alle Körperachsen als auch durch die ständige Beobachtung solcher Bewegungen bei anderen Turnern einen positiven Entwicklung im Bereich der mentalen Rotationsleistung begünstigen. Durch eine solche ständige ganzheitliche Veranschaulichung von Rotationen, bei denen die Stimuli durch reele Turner „ersetzt“ werden, könnte zudem bei Athleten dieser Sportart eine holistische Verarbeitungsstrategie bevorzugt werden. Jedoch lässt dies noch nicht eindeutig auf einen effektiven Transfer im Hinblick auf mentale Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren schließen, da es in der Literatur vermehrt Hinweise darauf gibt, dass einfachere und übersichtliche Reize eher holistisch verarbeitet werden, während komplexere Stimuli mit Hilfe analytischer Prozesse gedreht werden (Robert & Cevriert, 2003; Yuille & Steiger, 1982) und verbesserte holistische Verarbeitungsmechanismen nicht automatisch auch ein höheres Niveau der analytischen Prozesse bedingen. Einen anderen Ansatzpunkt in Bezug auf die Erforschung der mentalen Rotationsleistung in Abhängigkeit von der Rotationsperspektive bietet die von Steggemann et al. (2011) in ihren Experimenten verwendete Einteilung in egozentrische und exozentrische Objektrotation.

Interessant wäre in diesem Zusammenhang eine längerfristig ausgelegte Studie zur Entwicklung der mentalen Rotationsfähigkeit von Versuchspersonen, die aktiv ein Turntraining absolvieren im Vergleich zu solchen, die regelmäßig Turner bei ihren Übungen beobachten ohne selbst aktiv am Training teilzunehmen. Außerdem müsste

im Umkehrschluss die Wirkungskomponente eines mentalen Rotationstrainings auf die Leistung von Turnern bei Rotationsbewegungen unter Verwendung unterschiedlicher Stimuli untersucht werden. In diesem Zusammenhang darf auch die Wirkung eines mentalen Trainings, also der mentalen Vorstellung von Turnübungen mit Rotationsanteil, nicht außer Acht gelassen werden, wobei auch hier zwischen internen und externen Beobachtungsstrategien differenziert werden müsste.

Wexler et al. (1998) konnten in einem Experiment nachweisen, dass bei der Verwendung von Handstimuli bei übereinstimmender Drehrichtung von manueller und mentaler Rotation (kongruente Bedingung) die Reaktionsgeschwindigkeit erheblich schneller war und die Versuchspersonen weniger Fehler machten als bei inkongruenten Drehrichtungen. Auf motorischer Ebene muss jedoch beachtet werden, dass jede Person eine bevorzugte Drehrichtung vor allem bei Drehungen um die Körperlängs- und Körpertiefenachse aufweist. So wird beispielsweise ein Rad oder eine ganze Drehung im Gerät-/Kunstturnen sowohl von Anfängern als auch von Profis nicht beliebig ausgeführt, sondern bei freier Wahl immer die persönlich bevorzugte spezifische Drehrichtung gewählt. Dies gilt auch für alle anderen Sportarten, in denen eine Bewegung nicht beidbeinig bzw. beidarmig ausgeführt wird (z.B. Schwimmen, Radfahren), beispielsweise bei der Auswahl einer Bewegungsausführung mit rechten oder linken Extremitäten, die dann auch einen Einfluss auf die weitere Bewegungsausführung und eventuell auftretende Drehungen hat (z.B. Flop beim Hochsprung, Diskuswurf). Während sich die Qualität der ausgeführten Bewegung je nach Richtung der Drehung jedoch bei ungeübten Sportlern extrem unterscheidet, sind gut trainierte Athleten in der Lage, eine Bewegung in beide möglichen Richtungen qualitativ fast gleichwertig auszuführen. Dies könnte darauf hinweisen, dass Sportler mit einer durch einen hohen koordinativen Trainingsanteil beidseitig guten Ausbildung motorischer Fertigkeiten in der Lage sind, ein gedreht dargestelltes Objekt unabhängig von positiver oder negativer Drehrichtung optimal schnell in den Ausgangszustand zurückzuführen, während Nicht-Sportler hier unterschiedliche Reaktionszeiten aufweisen.

Ergänzend dazu lässt sie die Studie von Wohlschläger und Wohlschläger (1998) anführen, die anhand ihrer motorischen Rotationsdaten nachwiesen, dass Versuchspersonen nicht immer den effektivsten Rotationsweg wählten. Je näher der zu bewältigende Rotationswinkel an 180° liegt, desto häufiger wurde die falsche und damit längere Drehrichtung ausgewählt. Ein weiterer möglicher Grund für die bessere

mentale Rotationsfähigkeit von Sportlern, die wie Kunstturner in ihrer Sportart häufig Rotationen um die eigenen Körperachsen durchführen, könnte daher sein, dass diese sich aufgrund ihrer größeren Rotationserfahrung eher und schneller für den richtigen, kürzeren Rotationsweg entscheiden als andere Versuchspersonen.

Zudem erscheint die Durchführung verschiedener Längsschnittstudien sinnvoll. Ergeben sich unterschiedliche Endleistungen im Bereich der mentalen Rotationsfähigkeit, wenn das sportliche Training (z.B. in der Sportart Kunstturnen) in unterschiedlichem Alter und damit zu unterschiedlichen Zeitpunkten in der motorischen und kognitiven Entwicklung aufgenommen wird oder ist das endgültige Leistungslevel nur von der Anzahl der absolvierten Trainingsstunden oder der Qualität des Trainings abhängig? Bei solchen Studien darf auch der generell sportartabhängige unterschiedliche Trainingsbeginn für verschiedene Sportarten nicht außer Acht gelassen werden. Außerdem wäre es interessant zu untersuchen, ob die Entwicklung der mentalen Rotationsfähigkeit mit steigendem Trainingsalter bei Kindern bzw. Erwachsenen linear verläuft oder ob hier Leistungssprünge (bedingt z.B. durch die alterstypische Entwicklung von Fähigkeiten oder aber auch nach dem Erlernen einer neuen komplizierten Bewegungsfertigkeit) auftreten. Die Überprüfung der Entwicklung der mentalen Rotationsfähigkeit nach Beendigung der aktiven sportlichen Karriere wäre ein weiterer zu erforschender Aspekt. Bleibt die mentale Rotationsleistung nach dem Ende der aktiven Ausübung einer Sportart auf demselben erhöhten Level erhalten oder passt sie sich im Laufe der Zeit wieder der von Nicht-Sportlern an bzw. inwiefern ist diese Leistungserhaltung abhängig von der Sportart und von Dauer, Umfang und Niveau des durchgeführten Trainings?

8.3 Darstellung motorischer Erweiterungsmöglichkeiten

Auch aus bewegungs- und trainingswissenschaftlicher Sicht ergeben sich durch die in dieser Arbeit gewonnen Erkenntnisse viele Ansatzpunkte für weiterführende Untersuchungen. Neben der Wahl einer bestimmten motorischen Betrachtungsweise außer der in dieser Arbeit verwendeten fähigkeitsorientierten Sichtweise, können unter anderem die einzelnen konditionellen Fähigkeiten und ihr Zusammenhang zur mentalen Rotationsleistung genauer untersucht werden. Auch der Einfluss weiterer im Leistungsprofil unterschiedlicher Sportarten auf die mentale Rotationsfähigkeit sollte bei zukünftigen Experimenten und Studien berücksichtigt werden.

8.3.1 Diskussion des motorischen Konzepts

Die in dieser Arbeit herausgearbeiteten Ergebnisse bringen einen ersten Einblick, welche motorischen Bewegungsformen sich als besonders geeignet im Hinblick auf eine positive Entwicklung der mentalen Rotationsleistung erweisen, wobei jedoch noch viele Fragen offen bleiben. Betrachtet man beispielsweise speziell die Unterscheidung in bewegungsungebundene motorische Fähigkeiten und offene und geschlossene motorische Fertigkeiten mit geringer bis hoher Transferwirkung (Roth & Willimczik, 1999), so stellt sich grundsätzlich die Frage, ob ein allgemeines sportartübergreifendes und damit in der Hauptsache bewegungsungebundenes Fähigkeitstraining (z. B. eine möglichst qualitativ hochwertige Ausbildung der koordinativen Fähigkeiten, ohne Wert auf die Ausbildung konditioneller Fähigkeiten oder bestimmter Technikformen zu legen oder umgekehrt) oder ein sportartspezifisches Training eng gefasster spezieller Bewegungsfertigkeiten (wie im Kunstturnen) im Hinblick auf die Verbesserung der mentalen Rotationsleistung einen größeren Erfolg erzielen würde. Interessant wäre es in diesem Zusammenhang außerdem festzustellen, ob dabei alters- bzw. geschlechtsspezifische Besonderheiten auftreten würden.

Dass eine gute Ausbildung koordinativer Fähigkeiten im Vergleich zu den konditionellen Fähigkeiten in engerem Zusammenhang zur mentalen Rotationsleistung steht, konnte in dieser Arbeit nachgewiesen werden. Ein weiterführender Schritt wäre hier, die Bedeutung der einzelnen konditionellen und koordinativen Fähigkeiten im Hinblick auf ihre Wirkung einer genaueren Betrachtung zu unterziehen. Während Studie 3 dieser Arbeit und die Untersuchungen von Moreau et al. (2012) darauf hinweisen, dass kein Zusammenhang zwischen einer gut ausgebildeten Ausdauerfähigkeit und der mentalen Rotationsleistung besteht, gibt es noch keine wissenschaftlich fundierten Aussagen zu den Fähigkeiten Kraft, Schnelligkeit und Beweglichkeit. Besonderes Augenmerk bei weiteren Forschungsarbeiten in dieser Richtung sollte man auf die sportmotorische Schnelligkeit legen, die in der neueren Literatur häufig als gemischt konditionell-koordinative Komponente bezeichnet wird (u. a. Martin et al., 2001; Schnabel et al., 2008), da zentralnervöse Steuerungs- und Regelungsprozesse einen hohen Anteil an der effektiven Ausführung maximal schneller Bewegungen haben. Gerade die Verbesserung der komplexen Schnelligkeitsformen durch Training erscheint nahezu

unbegrenzt (Grosser & Renner, 2007) und könnte durch die Ausbildung sportartspezifischer schneller Zeitprogramme einen positiven Einfluss unter anderem auf die Antwortgeschwindigkeit bei mentalen Rotationsaufgaben haben.

Bezüglich des koordinativen Fähigkeitskomplexes, insbesondere bei einer näheren Betrachtung der Bedeutung der einzelnen koordinativen Fähigkeiten auf der Grundlage des „Arbeitsmodells der Leipziger Koordinationsforscher für den Nachwuchsleistungssport“ (u. a. Bös & Mechling, 1983; Martin et al., 1999) könnten durch Verwendung spezifischer Einzeltests (z.B. Bös, 2001) mit Sicherheit unterschiedlich starke Zusammenhänge mit der mentalen Rotationsleistung gefunden werden, wobei auch hier wieder Entwicklungsprozesse bei der Wahl der Altersgruppen nicht außer Acht gelassen werden dürfen (Roth & Roth, 2009). Stellt man jedoch die Untersuchung der Ausbildung spezifischer sportlicher Fertigkeiten im Hinblick auf ihren Zusammenhang mit der mentalen Rotationsleistung in der Vordergrund, so darf auch hier der Einfluss gut ausgebildeter koordinativer Fähigkeiten nicht unterschätzt werden, die dazu beitragen, dass neue sporttechnische Fertigkeiten effektiver erlernt und optimal angewendet werden können (Schnabel et al., 2008).

Entscheidet man sich für eine andere als die fähigkeitsorientierte Betrachtungsweise der Motorik, so müssten von Grund auf andere Testverfahren verwendet werden. Aus biomechanischer Sichtweise könnten Begründungen für die Unterschiede zwischen Sportarten beispielsweise durch kinematische und dynamische Beobachtungen, sowie durch mechanische Modellbildungen statt durch die für diese Arbeit gewählte Unterteilung in konditionelle und koordinative Fähigkeiten erfolgen (Roth & Willimczik, 1999). Funktionale Betrachtungsweisen würden sich in diesem Zusammenhang vor allem auf unterschiedliche Modelle des Bewegungshandelns sowie die Bedeutung motorischer Programme und des motorischen Gedächtnisses für verschiedene Bewegungsmuster berufen (Roth & Hossner, 1999).

Ein weiterer Aspekt der Motorikforschung, die mit der mentalen Rotationsleistung in Verbindung gebracht werden könnten, wäre die nähere Untersuchung des Zusammenhangs motorischer Veränderungsprozesse sowohl durch Entwicklungsprozesse wie auch durch spezifisches Training. Sinnvoll erscheint auch eine Analyse motorischer Leistungsdifferenzen entweder durch eine Betrachtung der unterschiedlichen guten Ausprägung leistungsbestimmender motorischer Fähigkeiten

bei Athleten der gleichen Sportart oder durch den sportartübergreifenden Vergleich des Leistungszustandes einer speziell ausgewählten Fähigkeit oder Fertigkeit.

8.3.2 Auswahl der Sportarten

Grundsätzlich wäre es sinnvoll, die in Studie 2 durchgeführte Überprüfung verschiedener Sportarten im Hinblick auf deren Einfluss auf die mentale Rotationsleistung zu erweitern, um die Hypothesen der Sportartabhängigkeit bzw. der konditionellen/koordinativen Orientierung auf ein breiteres Fundament zu stellen. Nach einer kurzen Begründung, warum gerade die Sportarten Kunst-/Gerätturnen, Mittel-/Langstreckenlauf und für Studie 4 zusätzlich Volleyball getestet wurden, soll deshalb an dieser Stelle diskutiert werden, welche weiteren Sportarten als geeignete und repräsentative Vertreter eines bestimmten Sportarttyps in Folgeexperimenten untersucht werden könnten.

Die Auswahl der in den Studien und Experimenten verwendeten Sportarten erfolgte nach der Einordnung ihres Anforderungsprofils in konditionell und koordinativ orientierte Sportarten. Dabei war die Auswahl des Mittel- und Langstreckenlaufs als repräsentative Konditionssportart relativ eindeutig zu treffen, da der Bewegungsablauf als zyklisch und geradlinig und im Wesentlichen ohne jegliche Drehungen um die Körperachsen zu kennzeichnen ist und die Hauptleistungsvoraussetzung eine gut entwickelte Ausdauerfähigkeit darstellt (Joch, 1992). Weitere typische Sportarten dieser Kategorie sind Schwimmen und Radfahren, wobei im Schwimmsport neben der im Vergleich zur „alltäglichen Fortbewegungsart Gehen“ ungewöhnlichen horizontalen Ausgangslage durch die dreidimensionale Bewegung im Wasser und die durchzuführenden Wenden und Startsprünge zusätzliche räumliche Aspekte hinzukommen, die beim Laufen vermieden werden können. Auch die Sportart Radfahren stellt an den Athleten durch die verstärkt geforderte Gleichgewichts- und Reaktionsfähigkeit und die räumlichen Komponenten beim Durchfahren von Kurven etwas höhere koordinative Anforderungen. Bei einer Trainingsstudie wäre eine denkbare und sinnvolle Alternative zum Ausdauertraining durch Mittel- und Langstreckenlauf ein Training auf dem Fahrradergometer, da hier die im Allgemeinen im Radsport geforderten koordinativen Fähigkeiten nicht oder nur in geringem Maße beansprucht werden und die Trainingsbelastung sehr genau gesteuert und kontrolliert werden kann.

Sucht man nach einer konditionellen Sportart, bei der die Kraftkomponente im Vordergrund steht, so erscheint eindeutig das Gewichtheben als beste Variante. Hier werden neben den Wettkampfübungen Umsetzen und Reißen im Training zwar vielgestaltige weitere Übungen durchgeführt, bei denen die vorgeschriebene Bewegungstechnik und damit die Bewegungsrichtung jedoch eindeutig festgelegt ist und keinen Spielraum für variable Gestaltung lässt. Alle Trainingsübungen werden in der Regel ohne deutliche Veränderungen der Drehachsen des Körpers und mit relativ hohen Wiederholungszahlen bei im Großen und Ganzen gleichbleibenden Übungen durchgeführt, so dass koordinative Elemente zwar durch das Erlernen der richtigen Technikformen im Training enthalten sind, die konditionellen Anteile jedoch eindeutig überwiegen (Zawieja, 2008). Ein Krafttraining an Geräten erscheint daher auch hier aufgrund der gut kontrollierbaren Belastung für Interventionsstudien als sinnvoll. Als weitere Sportarten, bei denen die Komponente Kraft eine leistungsentscheidende Rolle spielt, wären neben den leichtathletischen Würfeln körperbetonte Mannschaftssportarten wie Rugby oder American Football und die Gruppe der Kampfsportarten (z.B. Judo, Ringen) zu nennen, bei denen die Beteiligung weiterer konditioneller und vor allem koordinativer Komponenten jedoch wesentlich größer ist, als beim Gewichtheben und Kraftsport und somit nicht mehr isoliert auf die Kraftkomponente zurückgeschlossen werden kann.

Schwieriger erweist sich die Auswahl einer Sportart aus dem konditionell-koordinativen Mischbereich „Schnelligkeit“. Der meist als Paradebeispiel für eine Schnelligkeitsleistung aufgeführte 100m-Sprint erfordert neben den elementaren Schnelligkeitsformen Reaktions-, Frequenz-, Koordinations- und Aktionsschnelligkeit auch die komplexen Schnelligkeitsformen Beschleunigungsfähigkeit und der Schnelligkeitsausdauer, die stark von den anderen konditionellen Fähigkeiten abhängig sind (Grosser & Renner, 2007; Jonath et al., 1995). Rein elementare Formen der Schnelligkeit treten in der Regel nur als Teilbewegungen bei der Ausführung bestimmter Techniken auf (z.B. Speerabwurf, Tischtennisschlag, Volleyballschmeterschlag, Torschuss), sind jedoch nicht als allein bestimmendes Leistungsmerkmal einer Sportart aufzufinden. So müsste zur Durchführung eines sinnvollen Trainingsprogramms im Bereich der Schnelligkeit mit sportart-übergreifenden, möglichst einfachen Übungen trainiert werden, um den koordinativen Aspekt so gering wie möglich zu halten. Da die konditionelle Fähigkeit Beweglichkeit eher als ergänzende und nicht als leistungsbestimmende Komponente für eine

Sportart angesehen wird, wird sie hier nicht näher diskutiert.

Etwas weniger eindeutig gestaltet sich die Lage bei der Auswahl geeigneter koordinativ orientierter Sportarten, da zum einen eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionsmöglichkeiten für die Einteilung der koordinativen Fähigkeiten in der Literatur existiert (z.B. Hirtz, 1985; Rostock & Zimmermann, 1997; Schnabel, 2007), zum anderen die Leistung in den koordinativ orientierten Sportarten auch stets durch die Ausprägung spezifischer konditioneller Fähigkeiten mit beeinflusst wird. So gilt es, Sportarten zu finden, deren erfolgreiche Ausübung ein hohes allgemeines oder spezifisches koordinatives Niveau erfordert, während die konditionelle Ausbildung eher als leistungsunterstützend und nicht als leistungslimitierend einzuordnen ist.

In der Sportart Kunst-/Gerätturnen stellen raumorientierte Translationen und Rotationen einen spezifischen Schwerpunkt dar (Krainhöfer & Thielecke, 1990), die große Bandbreite an Bewegungsformen und turnerischen Techniken erfordert eine außerordentliche gute und differenzierte koordinative Ausbildung. Gerade die erforderliche Bewegungsgenauigkeit bei der gleichzeitigen Vielfalt an Technikformen und der sich ständig verändernden Lage des Körpers im Raum stellt hohe Anforderungen an Differenzierungs-, Koppelungs-, Orientierungs- und Gleichgewichtsfähigkeit (Condovici & Dörrer, 1999; Meinel & Schnabel, 2007). Jedoch ist nicht von der Hand zu weisen, dass auch die Ausprägung der konditionellen Fähigkeit Kraft (besonders der Maximalkraft) einen entscheidenden Einfluss auf den Leistungsstand vor allem der männlichen Turner hat. Dennoch erscheint die Sportart Kunst-/Gerätturnen aufgrund der eindeutig koordinativ orientierten Schwerpunktsetzung und dem im Vergleich zu anderen Sportarten wesentlich höheren Anteil an Drehungen um alle Körperachsen als geeignete Sportart zur Überprüfung eines Zusammenhangs mit der mentalen Rotationsleistung. Als ähnlich geeignet einzustufen wäre die Sportart „Sportakrobatik“, wobei hier der Kraftanteil an der Gesamtleistung noch wesentlich höher einzuschätzen ist als im Kunstturnen und der leichtere Partner wesentlich mehr Rotationen ausführt, während der andere eher als „Turngerät“ fungiert. Interessant wäre eine Untersuchung mit Trampolinturnern oder Wasserspringern, da in diesen Sportarten bei vergleichbar geringerem Krafteinsatz die Anzahl der Rotationen im Vergleich zum Kunstturnen noch konzentrierter und ohne horizontale Körpertranslation durchgeführt wird (Meyer, Christlieb, & Keuning, 2009). Als weitere technisch-kompositorische Sportarten gelten Rhythmische Sportgymnastik und Eiskunstlauf, die im Hinblick auf die

durchzuführenden Untersuchungen in etwa auf einer Ebene mit allen Tanzsportarten angesiedelt werden können. Hier ist neben einer guten räumlichen Orientierungsfähigkeit (zum Teil zusätzlich in Bezug auf einen Partner) und vielfältigen anderen koordinativen Anforderungen zwar häufiges Rotieren um die Körperlängsachse, jedoch eher selten um Körperbreiten- und Körpertiefenachse gefordert (z.B. Bläsing, Puttke, & Schack, 2010). In ersten Studien zur mentalen Rotationsfähigkeit von Tänzern konnten Jola und Mast (2005) jedoch keine bessere mentale Rotationsleistung der Versuchspersonen mit Tanzsporterfahrung im Vergleich zu den nicht tanzenden Versuchsteilnehmern finden.

Des Weiteren existiert zwar eine Reihe von Sportarten (z.B. Bogenschießen, Schießen, Darts), bei denen die konditionelle Komponente fast völlig vernachlässigt werden kann, jedoch werden hier in der Regel nur kleinräumige, möglichst exakte Bewegungen durchgeführt (Gabelmann, 1989; Haidn, Weineck, & Haidn-Tschalova, 2010), so dass sie eher für kognitive Untersuchungen im Bereich der Konzentrations- und Aufmerksamkeitsleistung geeignet erscheinen als für die Erforschung eines Zusammenhangs im Hinblick auf mentale Rotationsfähigkeit. Eine Ausnahme bildet das Jonglieren; hier konnten positive Zusammenhänge zwischen dem Erlernen von Jongliertechniken und der Entwicklung der mentalen Rotationsleistung nachgewiesen werden (Jansen, Tietze, & Heil, 2009; Jansen, Lange, & Heil, 2011), weshalb ein Augenmerk auf weitere Techniken aus dem Bereich „Bewegungskünste“ wie Einrad fahren, Rola Bola, Devil Stick oder Diabolo gelegt werden sollte.

Als durchaus geeignet erweisen sich - trotz eines hohen Kraftanteils an der Gesamtleistung - verschiedene Kampfsportarten. So konnten Moreau et al. (2011) in einer aktuellen Studie nachweisen, dass Kampfsportler eine bessere mentale Rotationsfähigkeit besitzen als eine Läufergruppe. Dabei ist jedoch anzumerken, dass die „Kampfsportgruppe“ sich in dieser Studie aus Athleten der Sportarten Fechten, Ringen und Judo zusammensetzt. Um auf wirklich eindeutige Ergebnisse zu kommen, müssten hier die Sportart Fechten noch einmal getrennt von Ringen und Judokas untersucht werden, da es sich hier um Kampfsportarten ohne und mit Körperkontakt handelt, denen völlig unterschiedliche konditionelle und koordinative Schwerpunkte zugrunde liegen.

Auch die Gruppe der Spielsportarten gilt es differenziert zu betrachten. Während für alle Sportarten dieser Kategorie eine gut ausgeprägte räumliche und zeitliche Orientierungsfähigkeit in Bezug auf die Position des eigenen Körpers und des Sportgeräts im Raum erforderlich ist, kommt je nach Zuordnung zu den Rückschlag- oder Mannschaftsspielen noch die Orientierung in Bezug auf ein eventuelles Spielgerät und auf Gegner bzw. Partner hinzu. Die Spielsportart Volleyball erscheint zur Untersuchung von Unterschieden in der mentalen Rotationsleistung im Vergleich zu anderen Sportarten als besonders geeignet, da zeitlich möglichst dicht ausgeführte Aktionen in vertikaler und horizontaler Richtung sowie komplexe Spielzüge auf engem Raum mit Partner- und Gegnereinwirkung neben hohen vestibulären Anforderungen auch besondere Qualitäten im Bereich der taktilen und kinästhetischen Informationsaufnahme und – verarbeitung gefordert werden, während die konditionelle Leistungskomponente im Vergleich zu anderen Mannschaftssportarten wie Handball oder Basketball aufgrund des nicht vorhandenen Gegnerkontakts weniger ausgeprägt ist (Neumaier, 2003; Voigt, 2006). Eine Untersuchung verschiedener Rückschlagspiele (Tennis, Tischtennis, Badminton) könnte aufschlussreiche Ergebnisse bringen, da hier zusätzlich zu einer besonderen Auge – Hand – bzw. Auge – Schläger – Koordination vor allem die Fähigkeiten zur präzisen Bewegungsregulation, zur Koordination unter Zeitdruck und die Fähigkeit zur motorischen Anpassung und Umstellung (siehe Einteilung der koordinativen Fähigkeiten nach Roth (1982) in Punkt 1.1.2.2 dieser Arbeit) gefordert sind.

Neben der weiteren Untersuchung verschiedener Sportarten vor allem auch in unterschiedlichen Altersstufen und Ausübungsniveaus stellt die Beschäftigung mit musischen und künstlerischen Experten bzw. ein derartiges Training ein interessantes Forschungsfeld dar. Erste positive Zusammenhänge fanden hier Ginn und Pickens (2005) sowie Pietsch und Jansen (2012).

8.3.3 Diskussion der Trainingsformen

Aus den Ergebnissen von Studie 4 geht klar hervor, dass gerade auf dem Gebiet der Verbesserung der mentalen Rotationsfähigkeit durch sportliches Training noch ein großer Forschungsbedarf besteht. So müssen zunächst die einzelnen Trainingsparameter wie Trainingsumfang, -inhalt, -intensität, -häufigkeit, -dauer und

–mittel auf ihre Effektivität und optimale Ausprägung hin genauer betrachtet werden. Zunächst stellt sich außerdem die grundlegende Frage, ob ein sportartunspezifisches Training, das sich speziell auf bestimmte motorische oder auch kognitive Aspekte konzentriert, effektiver ist, als ein sportartspezifisches Training, das immer eine je nach Sportart unterschiedliche Mischung dieser einzelnen Komplexe darstellt bzw. stets eine Kombination aus mehreren Fähigkeits- und Fertigungsbereichen beinhaltet.

8.3.3.1 Wahrnehmungstraining

Folgt man den Grundlagen der Wahrnehmungspsychologie, so könnte eine Verbesserung der mentalen Rotationsfähigkeit bereits durch ein Training der eigenen Körper- bzw. Bewegungswahrnehmung möglich sein. Nach Birklbauer (2006) gibt das kinästhetische und propriozeptive System Informationen über die für das willkürliche Einnehmen und Beibehalten von Körperpositionen notwendigen Kräfte, sowie über Bewegungsrichtung und –geschwindigkeit von Körper und Körperteilen und Winkelstellungen von Gelenken, während der Vestibularapparat der Erhaltung des Gleichgewichts und der Orientierung im Raum dient. Zudem ist eine gerade in dieser Hinsicht gut ausgeprägte Wahrnehmungsfähigkeit zur Erstellung der erforderlichen Zusammenhänge zwischen den wahrgenommenen Fakten und der auszuführenden Bewegung die Grundlage für die erfolgreiche Ausführung jeder sportlichen Bewegung (Goldstein, 2011).

Legt man zusätzlich die in 8.2.1 dargestellten Zusammenhänge zwischen motorischen Prozessen und mentalen Rotationsprozessen zugrunde, so erscheint ein spezielles propriozeptives Training bzw. ein Training zur Verbesserung der vestibulären Wahrnehmung in Form eines sensomotorischen Wahrnehmungstrainings durchaus sinnvoll. Um ein solches sensomotorisches Lernen zu ermöglichen, sollte als Ergänzung nach Bertram und Laube (2008) parallel eine Verbesserung der Vorstellungs-, Antizipations- und Beobachtungsfähigkeit angestrebt werden. Auch wenn nach Häflinger und Schuba (2007) die Propriozeptoren (siehe Abbildung 6) in ihrer Fähigkeit, Informationen aufzunehmen nicht trainierbar sind, wird vermutet, dass sich Anpassungsmechanismen auf neuronaler Ebene abspielen, auch wenn diese bisher noch kaum erforscht sind (Taube et al., 2006, 2007). Es gilt jedoch als gesichert, dass ein propriozeptives

Training nicht nur speziell die Gleichgewichtsfähigkeit optimiert, sondern darüber hinaus zur Verbesserung der allgemeinen Bewegungskoordination beiträgt (Kambas et al., 2004; Knobloch & Martin-Schmitt, 2006) und dass vor allem bei koordinativ anspruchsvollen Bewegungen exakte propriozeptive Rückmeldungen zu einem stabilen und kontrollierten Bewegungsablauf beitragen. Diese Tatsachen lassen unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Studien 1 – 3 dieser Arbeit auch auf einen positiven Einfluss eines überwiegend propriozeptiven Trainings auf die mentale Rotationsleistung schließen.

Nicht nur die Wahrnehmung der Eigenmotorik sondern auch die Qualität der Bewegungswahrnehmung von Objekten hat Einfluss auf die mentale Rotationsleistung. So konnten Podzobenko et al. (2005) sowie Wiedenbauer (2006) erste Zusammenhänge zwischen mentaler Rotation und perzeptueller Wahrnehmung feststellen. Das häufige Wahrnehmen von Personen, die Rotationsbewegungen um unterschiedliche Achsen durchführen, wie dies bei Kunstturnern während des Trainings der Fall ist, könnte daher durchaus einen positiven Effekt auf die Entwicklung der mentalen Rotationsfähigkeit haben, weshalb ein derartig gestaltetes aktives Wahrnehmungstraining nicht nur als mögliche Ergänzung und Perfektionierung sportlichen Trainings angesehen werden kann, sondern auch als Trainingsmöglichkeit zur Verbesserung der mentalen Rotationsleistung. Es bleibt an dieser Stelle allerdings kritisch anzumerken, dass der Einfluss eines allgemeinen visuellen Wahrnehmungstrainings auf sportartspezifische Wahrnehmungsleistungen noch nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte (Abernethy & Wood, 2001). Im Gegensatz dazu gilt jedoch die sportartspezifische Trainierbarkeit visueller Informationsverarbeitungsprozesse als gesichert (u. a. Abernethy, Wann, & Parks, 1998; Williams & Ward, 2003).

8.3.3.2 Motorisches Training

In Einklang mit Naito (1994) und Ozel et al. (2002; 2004) zeigt sich in Studie 1 dieser Arbeit, dass ein positiver Zusammenhang zwischen der Ausprägung motorischer Fähigkeiten und der mentalen Rotationsleistung besteht, da Sportler in allen erwähnten Experimenten eine bessere mentale Rotationsfähigkeit aufwiesen als unsportliche Versuchspersonen. Sportler verfügen durch ihr jeweiliges stetiges und längerfristiges Training über ein im Vergleich zu Nicht-Sportlern besser

ausgeprägtes Leistungsniveau ihrer motorischen Fähigkeiten und Fertigkeiten, wobei die Akzentuierung der Ausbildung der einzelnen Fähigkeiten und Fertigkeiten je nach ausgeübter Sportart sehr unterschiedlich ist. Die Ergebnisse von Studie 1 lassen außerdem vermuten, dass Sportler, die aufgrund der Leistungsstruktur ihrer Sportart im Training koordinative Schwerpunkte setzen, hierbei Vorteile im Vergleich zu konditionell orientierten Sportlern aufweisen, was in Verbindung mit der Korrelation zwischen der Ausprägung der koordinativen Leistung und der mentalen Rotationsfähigkeit aus Studie 2 auf eine spezielle Bedeutung koordinativer Trainingsinhalte zur Verbesserung der mentalen Rotationsleistung hinweisen könnte. Zusätzlich deutet Studie 3 dieser Arbeit darauf hin, dass Turner und Turnerinnen im Vergleich zu Läufern eine bessere mentale Rotationsleistung besitzen, außerdem konnten Moreau et al. (2011) bei Kampfsportlern im Vergleich zu Läufern höhere Rotationswerte feststellen. Während das Training von Läufern keine besonderen räumlichen Fähigkeiten erfordert, müssen Turner und Kampfsportler während der Ausübung ihrer Sportart ständig in der Lage sein, kinästhetische und räumlich-visuelle Informationen einzuordnen und zu vergleichen. Auch wenn die Ergebnisse von Studie 4 keine signifikanten Verbesserungen zeigen, erscheint es durchaus sinnvoll, den Gedankengang der Steigerung der mentalen Rotationsleistung durch spezielles motorisches Training weiter zu verfolgen. Allerdings müssten dazu wie bereits in 7.3 erwähnt, einige Verbesserungen im Untersuchungsdesign vor allem im Hinblick auf die Auswahl von Interventions- und Kontrollgruppe (Training unabhängig von schulischen Anforderungen), die Steuerung von Trainingshäufigkeit und –dauer (der einzelnen Einheiten und der Gesamtintervention) sowie vor allem die Effektivität der gewählten Trainingsinhalte angestrebt werden.

Ein motorisches Training zur Verbesserung der mentalen Rotationsleistung sollte grundsätzlich definitiv hohe Ansprüche an das kinästhetische und propriozeptive System des Körpers stellen, wie man sie vor allem bei komplizierten koordinativen Aufgabenstellungen findet. Bei der Durchführung eines solchen schwerpunktmäßig koordinativen Trainings muss man sich zunächst zwischen einem fähigkeitsorientierten Fertigkeitstraining und einem fertigkeitorientierten Fähigkeitstraining, das heißt zwischen der Ausbildung der koordinativen Fähigkeiten durch das Erlernen sportartspezifischer Fertigkeiten oder einem sportartunspezifischen koordinativen Training entscheiden (Zimmermann & Rostock, 2002).

Für ein früh einsetzendes sportartunabhängiges, rein koordinatives Training im Vergleich zu sportartspezifischem Training spricht die Tatsache, dass eine in der frühen Kindheit erworbene breite koordinative Basis aus vielseitigen und umfangreichen Bewegungserfahrungen von elementarer Bedeutung für einen späteren effektiven und ökonomischen Erwerb sportmotorischer Fertigkeiten und sportlicher Techniken ist, da ein solches „erfahrungsbereicherndes, vielseitiges und variationsreiches sportliches Üben die allgemeine motorische Lernfähigkeit“ verbessert, ein differenziertes Bewegungsgefühl sichert und „eine individuelle, situativ-variable Verfügbarkeit des Angeeigneten“ garantiert (Schnabel et al., 2008). Diese These bestärkt eine Studie von Jansen und Heil (2010), die bei fünf- bis sechsjährigen Kindern unter anderem positive Zusammenhänge zwischen der mentalen Rotationsleistung und den motorischen Teilbereichen Gewandtheit, feinmotorische Fähigkeiten, Balance und motorische Kontrolle fanden. Da Kinder in diesem Alter noch keine ausgewiesenen Experten in einer bestimmten Sportart sind und ein mehrjähriges Training auszuschließen ist, kann von einem fertigkeiten- und sportartunabhängigen, rein fähigkeitsspezifischen Vorteil der koordinativ besseren Kinder ausgegangen werden. Auch wenn man nach Blüchel (2011) durch koordinatives Training bei Grundschulkindern bereits nach zweiwöchiger Anwendung erste Verbesserungen in der mentalen Rotationsleistung feststellen kann, bleibt die Frage, ob es für einen solchen Effekt ausreichend ist, spezielle koordinative Fähigkeiten wie beispielsweise die Gleichgewichts- oder räumliche Orientierungsfähigkeit isoliert zu trainieren oder ob die koordinative Leistungsfähigkeit als Ganzes verbessert werden muss. Bertram und Laube (2008) merken dazu an:

Ein selektives Training einzelner koordinativer Fähigkeiten gibt es nicht. Jede Bewegungshandlung integriert immer mehrere Teilfähigkeiten. Mit der Ausführung konkreter Bewegungshandlungen kann es also nur zu einem akzentuierten Ansprechen einer bestimmten Anzahl von koordinativen Fähigkeiten kommen. (Bertram & Laube, 2008; S. 75)

Auch besteht immer ein Zusammenhang zwischen der Verbesserung der koordinativen Leistungsfähigkeit und der Durchführung bestimmter Bewegungsfertigkeiten, auch wenn diese sportartunspezifisch erfolgen, da koordinative Fähigkeiten grundsätzlich durch das Erlernen neuer bzw. das Variieren

und Verbinden bekannter Bewegungsfertigkeiten verbessert werden. Als in der Trainingswissenschaft anerkannte Trainingsmethoden gelten Variations-, Kontrast-, Überpotential- und Spielmethode, eine Belastungssteigerung erfolgt beispielsweise durch die Erhöhung von Präzisions- und Komplexitätsanforderungen, die Steigerung der konditionellen Belastung oder des Zeitdrucks oder die Variation der äußeren Bedingungen (Schnabel et al., 2008). Da sich nach Kucian et al. (2007) die bessere mentale Rotationsfähigkeit und die schnelleren Reaktionszeiten von Erwachsenen gegenüber Kindern auf die während der sensorischen und motorischen Entwicklung stattfindende Verschiebung von einer zunächst schwerpunktmäßigen Aktivierung des rechten Parietallappens hin zu einer bilateralen Aktivierung zurückführen lässt, wäre es in diesem Zusammenhang auch interessant festzustellen, ob eine solche Aktivierungsverschiebung durch ein bereits im Kindesalter durchgeführtes verstärktes koordinatives Training zeitlich eher bzw. in größerer Ausprägung stattfindet, als bei vergleichbarem konditionell orientiertem Training.

Entscheidet man sich für die Untersuchung sportartspezifischer Auswirkungen, so erscheint es neben den bereits in Punkt 8.3.2 erwähnten Forschungsmöglichkeiten der Erfassung des mentalen Rotationsniveaus von Athleten einzelner Sportarten oder Sportartengruppen sinnvoll und wichtig, weiterführende Studien zu konkreten sportartbezogenen Trainingsinterventionen durchzuführen. Auch hier zeigen erste Forschungsergebnisse wie die von Jansen et al. (2011) im Bereich des Jonglierens, sowie von Moreau et al. (2012), die mit Studenten ein 10monatiges Training in den Sportarten Ringen und Laufen durchführten, einen Vorteil für koordinativ anspruchsvolle Sportarten, die eine gute Auge-Hand-Koordination erfordern. Zusätzlich zu sportartunspezifischen koordinativen Übungen, die vor allem im Grundlagentraining durchgeführt werden, erfolgt die Ausbildung der koordinativen Fähigkeiten im sportartspezifischen Training vor allem durch die komplexe Übung bestimmter für die erfolgreiche Ausübung der jeweiligen Sportart notwendigen Technikformen.

Auf den ersten Blick erscheint das Training einer koordinativ orientierten Sportart wie beispielsweise dem Kunstturnen mit seinen breit gestreuten Anforderungen im konditionellen, koordinativen, technischen und taktischen Bereich einem rein koordinativen Training unterlegen, da nicht nur konzentriert an der Verbesserung der koordinativen Fähigkeiten gearbeitet werden kann, sondern auch viel Zeit in die anderen Bereiche der komplexen Gesamtleistung investiert werden muss. Nicht

vergessen werden darf hier jedoch der Aspekt, dass unter anderem Demougeot und Papaxanthis (2011) nachweisen konnten, dass muskuläre Ermüdung durch ein ausbelastendes Übungsprogramm zumindest kurzzeitig einen positiven Einfluss auf die mentale Rotationsleistung der Probanden hatte, was darauf schließen lässt, dass kognitive Leistungen in diesem Bereich unter anderem vom jeweiligen Aktivierungszustand des motorischen Systems abhängig sind. Auch wenn aufgrund der Ergebnisse von Studie 3 dieser Arbeit darauf geschlossen werden kann, dass durch längerfristige Ausdauer-Interventionsprogramme, wie ein kontinuierliches Lauftraining, die mentale Rotationsleistung nicht dauerhaft verbessert werden kann, so schließt dies zumindest nicht aus, dass die Rotationsfähigkeit wie bei Demougeot und Papaxanthis (2011) nach jeder Belastung jeweils kurzfristig erhöht sein könnte. Auch mehrere andere Studien weisen auf einen positiven Einfluss von motorischer Aktivität auf die kognitiven Funktionen hin. Besonders häufig wurden Auswirkungen auf die Aufmerksamkeitsleistung (u. a. Müller & Petzold, 2006; Wamser & Leyk, 2003) und die exekutiven Kontrollprozesse (u. a. Colcombe & Cramer, 2003) nachgewiesen, wobei die sportliche Intervention häufig in Form eines aeroben Ausdauer- oder Krafttrainings durchgeführt wurde.

Aufgrund dieser Tatsachen stellt sich die Frage, ob das komplexe sportliche Training einer bestimmten Sportart aufgrund seiner Vielschichtigkeit und der positiven Auswirkungen, die die gleichzeitig zu den koordinativen Anforderungen ausgeführte konditionelle Belastung für die kognitiven Funktionen hat, die Vorteile eines rein koordinativen Trainings ausgleicht und ob eventuell gerade die Kombination der verschiedenen Trainingsinhalte in der richtigen prozentualen Verteilung die effektivste Trainingsmethode zur Verbesserung der mentalen Rotationsleistung darstellt. Um diese Frage zu beantworten, müsste der Einfluss unterschiedlichen rein koordinativen und sportartspezifischen Trainings über einen gleichen Zeitraum mit identischer Trainingsdauer und –häufigkeit auf die mentale Rotationsleistung zu untersuchen werden.

Desweiteren ist auch das Einstiegsalter in die jeweilige Sportart zu beachten. So ist nach Frick, Daum, Walser und Mast (2005) zumindest im Bereich der manuellen Rotation nur bei Kindern zwischen fünf und acht Jahren ein enger Zusammenhang zwischen mentaler und manueller Rotationsleistung nachweisbar, während Kinder ab elf Jahren und Erwachsene dazu in der Lage waren, motorische und mentale Prozesse zu entkoppeln. Es könnte daher angenommen werden, dass ein früherer

Trainingsbeginn (wie er bei Turnern in der Regel erfolgt) einen engeren Zusammenhang zwischen der Entwicklung der mentalen Rotationsleistung und der sportartspezifischen motorischen Leistungsentwicklung bedingen würde, als dies bei einem späteren Einstiegsalter der Fall ist, zumal durch die frühzeitige Aufnahme gezielter Trainingsmaßnahmen die besonders günstigen Phasen motorischer Lernwirksamkeit optimal ausgenutzt werden können.

8.4 Kritische Anmerkungen

8.4.1 Auswahl der Tests

Zu den in dieser Arbeit durchgeführten Studien und Experimenten bleiben noch einige kritische Anmerkungen anzuführen, die zum einen die Auswahl der Tests und zum anderen vor allem die Auswahl und Durchführung der Intervention von Experiment 4 betreffen.

Zunächst ist anzumerken, dass nicht in allen vier Studien ein identischer mentaler Rotationstest verwendet wurde und somit zum Teil keine vergleichenden Aussagen (wie z. B. zu geschlechtsspezifischen Besonderheiten) gemacht werden können. Während in Studie 1 – 3 der Paper-Pencil-Test von Peters et al. (1995) zur Anwendung kam, wurde in Studie 4 der computerbasierte mentale Rotationstest (CMR) von Wiedenbauer (2006) durchgeführt. Die beiden Tests unterscheiden sich unter anderem in der Anzahl der jeweils präsentierten Stimuli und der Messung der Zeit (vorgegebene Gesamtzeit zur Lösung bzw. Reaktionszeitmessung bei jeder Antwort), was nach Peters und Battista (2008) sowie Steiger und Yuille (1983) durchaus einen Einfluss auf die gewonnenen Ergebnisse hat. Während es aufgrund des zeitlichen Aufwands die Verwendung des CMR bei großen Personengruppen schwierig erscheint, wäre es durchaus sinnvoll, zur Absicherung und besseren Vergleichbarkeit zwischen dem Ist-Zustand der mentalen Rotationsfähigkeit nach längerfristiger Ausübung einer Sportart und der möglichen Verbesserung durch eine zeitlich begrenztes spezifisches Training in eben dieser Sportart in zukünftigen Interventionsstudien sowohl den Test von Peters et al. (1995) als auch den CMR von Wiedenbauer (2006) durchzuführen.

Zur Überprüfung der koordinativen Leistungsfähigkeit wurde der Kasten-Bumerang-Lauf (Bös, 2001) gewählt. Aufgrund der Komplexität des Bereichs der koordinativen Fähigkeiten (siehe 1.1.2.2) gestaltet es sich schwierig, einen objektiven und übergreifenden Test zur Erfassung des allgemeinen koordinativen Leistungsstandes zu finden. Definitiv sinnvoll erscheint die Wahl eines sportartübergreifenden Tests im Vergleich zu sportartspezifischen Varianten, um für alle Versuchsteilnehmer gleiche Ausgangsbedingungen zu schaffen. Auch die Überprüfung nur einzelner koordinativer Fähigkeiten wie dies unter anderem bei Hirtz (1985) beschrieben wird, erscheint für die in dieser Arbeit dargelegte Fragestellung nicht passend. Beispielhaft für solche speziellen koordinativen Tests können „Niedersprünge auf eine Zielmarkierung“ und ein „Ballzielwurf rückwärts“ für die Ermittlung der Differenzierungsfähigkeit sowie der „Medizinballnummernlauf“ für die Erfassung der räumlichen Orientierungsfähigkeit aufgeführt werden (Weineck, 2007). In allgemeinen Koordinationstests wird zumeist eine Hindernisstrecke frei oder nach einem vorgegebenen Lösungsweg durchlaufen und die dazu benötigte Zeit gestoppt. Als Nachteil dieser Art von Tests ist zu nennen, dass nicht vermieden werden kann, dass neben der koordinativen Leistungsfähigkeit auch immer ein gewisser Anteil der konditionellen Fähigkeit „Schnelligkeit“ an der gemessenen Leistung mit beteiligt ist.

8.4.2 Durchführung der Interventionsstudie

Neben der Testauswahl muss auch das Design von Studie 4 einer kritischen Betrachtung unterzogen werden. Zunächst ist die Frage der Auswahl und des Alters der Versuchsgruppen zu diskutieren. In dieser Arbeit wurden Schülergruppen gewählt, die die Sportarten Turnen und Volleyball vor Beginn der Intervention nicht aktiv im Verein oder in der Freizeit betrieben haben, die jedoch aufgrund der Kurswahl aus verschiedenen Schulen und damit eventuell aus einem unterschiedlichen sozialen und kulturellen Umfeld stammten. Außerdem ergaben sich durch die Ausführung des Trainings innerhalb des Sportunterrichts Nachteile in Bezug auf die ideale Dauer und Art der Intervention. So erscheint ein einmal wöchentlich für 90 Minuten durchgeführtes Training über einen Zeitraum von 10 Wochen nicht ideal, da bei einmaligem Fehlen die Zeit zwischen den einzelnen Interventionen zwei Wochen beträgt. Effektiver wäre ein mehrmals pro Woche durchgeführtes 30-60minütiges Üben mit Inhalten, die nicht von Lehrplanvorgaben

und Notendruck beeinflusst werden, sondern sich in Umfang, Intensität und Motivation der Teilnehmer eher an einem im Verein durchgeführten Training orientieren, um vergleichbare Effekte erzielen zu können. Auch die Auswahl der Sportarten müsste im Hinblick auf weitere Studien noch einmal überdacht werden, wobei vor allem die Sportart „Kunst-/Gerätturnen“ aufgrund der Ausführungen dieser Arbeit (siehe 1.1.3.2.1) für weitere Forschungen sehr geeignet erscheint.

8.5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit bestärken die Bedeutung motorischer Aktivität für die kognitive Leistungsfähigkeit. Speziell konnten Zusammenhänge zwischen bestimmten Formen sportlicher Betätigung und der Ausprägung der mentalen Rotationsfähigkeit nachgewiesen werden. Zunächst wurde vertiefend zu bereits existierenden Arbeiten dargelegt, dass Sportler über eine bessere mentale Rotationsleistung verfügen als sportlich nicht aktive Personen. Anschließend konnte dieses Ergebnis im Hinblick auf die Art der sportlichen Betätigung spezifiziert werden. Das Niveau der koordinativen Leistungsfähigkeit korreliert mit der mentalen Rotationsleistung und Experten in koordinativ anspruchsvollen Sportarten wie dem Kunstturnen weisen bessere Ergebnisse in mentalen Rotationstests auf als die Athleten konditionell orientierter Sportarten wie dem Mittel- und Langstreckenlauf. Zudem wurde der Einfluss eines sportartspezifischen Trainings auf die Entwicklung der mentalen Rotationsleistung untersucht. Falls durch weiterführende Studien und Experimente nachgewiesen werden kann, dass sich in speziellen Sportarten aktive Athleten nicht nur in ihren räumlichen Fähigkeiten von anderen Sportlern unterscheiden, sondern dass durch spezifisches motorisches Training eine Verbesserung der mentalen Rotationsfähigkeit möglich ist, dann bietet es sich an, diese speziellen motorischen Fähigkeiten und Fertigkeiten frühzeitig zu trainieren und dafür ideal zugeschnittene altersspezifische Trainingsprogramme zu entwickeln.

Nicht vergessen werden darf als Umkehrschluss der Ergebnisse dieser Arbeit eine mögliche Auswirkung von räumlich-kognitivem Training auf die sportliche Leistungsfähigkeit. In der Literatur gilt als unumstritten, dass die Fähigkeit mental zu rotieren durch die wiederholte Lösung mentaler Rotationsaufgaben verbessert werden kann (u. a. Bethell-Fox & Shepard, 1988; Lohmann & Nichols, 1990; Voyer, 1995). Ist es also realistisch, durch ein mentales Rotationstraining mit speziellen

Stimuli, die in bestimmten gewünschten Winkelkombinationen dargeboten werden, einen positiven Einfluss auf das Erlernen bestimmter sportmotorischer Fertigkeiten auszuüben? Wäre es durch ein spezielles kognitives Training zur Verbesserung der räumlich-visuellen Fähigkeiten möglich, koordinativ anspruchsvolle sportliche Techniken schneller und effektiver, sowie im Idealfall auch variabler anwendbar zu erlernen, so würde ein solches Training eine sinnvolle Ergänzung und Perfektionierung vor allem im sportlichen Hochleistungsbereich darstellen, wobei die konkrete Überprüfung der Auswirkung auf die tatsächliche sportliche Leistungsfähigkeit des Athleten sich schwierig gestalten dürfte.

Beschränkt man diesen Gedanken nicht nur auf bestimmte sportliche Inhalte, sondern schließt man auch motorische Alltagsbewegungen mit ein, so könnte, falls durch mentales Rotationstraining eine Verbesserung der Qualität von Drehbewegungen des menschlichen Körpers in Bezug zu beweglichen und feststehenden Objekten im Umgebungsbereich möglich ist, ein solches Training nicht nur das sichere und unfallfreie Bewegen in der Umwelt unterstützen sowie den optimalen Erhalt kognitiver Leistungsfähigkeit mit steigendem Lebensalter ermöglichen, sondern auch in bestimmten Fällen positive Effekte bei körperlichen oder geistigen Beeinträchtigungen erzielen.

Auch der Zusammenhang der in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse mit den schulischen Leistungen von Kindern darf nicht außer Acht gelassen werden. Da räumliche Fähigkeiten häufig als eine der Schlüsselqualifikationen für die mathematische Leistungsfähigkeit angesehen werden (Casey, Nuttall, & Pezaris, 1997), könnten erste Schlüsse in Bezug auf einen positiven Einfluss der vermehrten Ausbildung koordinativer Fähigkeiten (und damit einer Stärkung des Faches Sport in der Schule) auf den Lernerfolg in bestimmten Fächern gezogen werden. Es fehlt jedoch bislang eine systematische Untersuchung dieser vermuteten Verbindung.

Die Studien dieser Arbeit stellen einen möglichen Einstieg in ein interessantes und vielschichtiges Themengebiet dar, das sich mit der Verknüpfung von Motorik und Kognition auseinandersetzt, und können als Grundlage für notwendige weiterführende Studien genutzt werden.

9. Literatur

- Abernethy, B., Wann, J. P., & Parks, S. L. (1998). Training perceptual-motor skills for sport. In B. Elliott (Ed.), *Training in sport: Applying sport science* (pp. 1-68). Chichester, UK: Wiley.
- Abernethy, B., & Wood, J. M. (2001). Do generalized visual training programmes for sport really work? An experimental investigation. *Journal of Sports Sciences*, *19*, 203-222.
- Ahnert, J. (2005). *Motorische Entwicklung vom Vorschul- bis ins frühe Erwachsenenalter – Einflussfaktoren und Prognostizierbarkeit*. Inaugural-Dissertation, Universität Würzburg.
- Ahnert, J., Bös, K., & Schneider, W. (2003). Motorische Entwicklung im Vorschul- und Schulalter: Befunde der Münchner Längsschnittstudie LOGIK. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, *25*, 185-199.
- Ainslie, P. N., Cotter, J. D., George, K. P., Luca, S., Murrell, C., Shave, R., et al. (2008). Elevation in cerebral blood flow velocity with aerobic fitness throughout healthy human ageing. *The Journal of Physiology*, *586*, 4005-4010.
- Alferman, D. (2009). Motorische Entwicklung: Gegenstandsbereich. In J. Baur, K. Bös, A. Conzelmann, & R. Singer (Hrsg.), *Handbuch Motorische Entwicklung* (2. Aufl., S. 251-260). Schorndorf: Hofmann.
- Alington, D. E., Leaf, R. C., & Monaghan, J. R. (1992). Effects of stimulus color, pattern, and practice on sex differences in mental rotations task performance. *Journal of Psychology: Interdisciplinary and Applied*, *126*, 539-553.
- Alivisatos, B., & Petrides, M. (1997). Functional activation of the human brain during mental rotation. *Neuropsychologia*, *35*(2), 111-118.
- Alter, M. J. (1996). *Science of Flexibility*. Champaign: Human Kinetics.
- Amorim, M.-A., Isableu, B., & Jarraya, M. (2006). Embodied spatial transformations: „Body Analogy“ for the mental rotation of objects. *Journal of Experimental Psychology: General*, *135*, 327-347.

- Amponsah, B. (2000). A comparison of sex differences in visual-spatial performance from preadolescence to adulthood in Ghana and Norway. *South African Journal of Psychology, 30*, 25-31.
- Anastakis, D. J., Hamstra, S. J., & Matsumoto, E. D. (2000). Visual-spatial abilities in surgical training. *American Journal of Surgery, 179*, 469-471.
- Anderson, J. R. (2007). *Kognitive Psychologie* (6. Aufl.), (J. Funke, Übers.). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Asendorf, J. B., & Teubel, T. (2009). Motorische Entwicklung vom frühen Kindes- bis zum frühen Erwachsenenalter im Kontext der Persönlichkeitsentwicklung. *Zeitschrift für Sportpsychologie, 16*(1), 2-16.
- Ashcraft, M. H. (1998). *Fundamentals of cognition*. New York: Longman.
- Baenninger, M., & Newcombe, N. (1989). The role of experience in spatial test performance: A meta-analysis. *Sex Roles, 20*, 327-344.
- Baenninger, M., & Newcombe, N. (1995). Environmental input to the development of sexrelated differences in spatial and mathematical ability. *Learning and Individual Differences, 7*, 363-379.
- Balgo, R. (1998). *Bewegung und Wahrnehmung als System: systemisch-konstruktivistische Positionen in der Psychomotorik* (Reihe Motorik, Band 21). Schorndorf: Hofmann.
- Band, G. P. H., & Miller, J. (1997). Mental rotation interferes with response preparation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 23*, 319-338.
- Bardy, B. G., & Laurent, M. (1998). How ist body orientation controlled during somersaulting? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24*, 963-977.
- Bauersfeld, K.-H., & Schröter, G. (1998). *Grundlagen der Leichtathletik* (5. Aufl.). Berlin: Sportverlag.

- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2009). *Neurowissenschaften. Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie (3. Aufl.)*. Heidelberg: Spektrum.
- Begert, B., & Hillebrecht, M. (2003). Einfluss unterschiedlicher Dehntechniken auf die reaktive Leistungsfähigkeit. *Spectrum der Sportwissenschaften*, 15(1), 6-25.
- Berg, C., Hertzog, C., & Hunt, E. (1982). Age differences in the speed of mental rotation. *Developmental Psychology*, 18, 95-107.
- Bernstein, N. A. (1967). *The coordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon Press.
- Bernstein, N. A. (1975). *Bewegungsphysiologie*. Leipzig: Barth.
- Bernstein, N. A. (1996). *Die Entwicklung der Bewegungsfertigkeiten*. Leipzig: Institut für angewandte Trainingswissenschaft.
- Bernstein, N. A., Pickenhain, L., & Schnabel, G. (1988). *Bewegungsphysiologie (2. Aufl.)*. Leipzig: Barth.
- Bertram, A. M., & Laube, W. (2008). *Sensomotorische Koordination. Gleichgewichtstraining auf dem Therapiekreisel*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Beste, C., Heil, M., & Konrad, C. (2010). Individual differences in ERPs during mental rotation of characters: lateralization, and performance level. *Brain and Cognition*, 72(2), 238-243.
- 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.
- Beyer, L., & Pöhlmann, R. (1994). Modellierung des motorischen Verhaltens – Hard- und Software aus neurobiologischer Sicht. In P. Hirtz, G. Kirchner, & R. Pöhlmann (Hrsg.), *Sportmotorik* (S. 95-99). Kassel: Univ. Gesamthochschule.
- Birbaumer, N., & Schmidt, R. (2006). Kognitive Funktionen und Denken. In R. Schmidt, & H.-G. Schaible (Hrsg.), *Neuro- und Sinnesphysiologie. Mit 12 Tabellen* (5. Aufl., S. 449-465). Heidelberg: Springer.

- Birklbauer, J. (2006). *Modelle der Motorik*. Spektrum Bewegungswissenschaft (Band 5). Aachen: Meyer & Meyer.
- Bisanz, G., & Gerisch, G. (2008). *Fußball. Kondition – Technik – Taktik und Coaching*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Bläsing, B., Puttke, M., & Schack, T. (2010). *The Neurocognition of Dance. Mind, Movement and Motor Skills*. Hove, New York: Psychology Press.
- Blüchel, M. (2011). Beeinflussung mentaler Rotationsfähigkeit durch Training räumlicher Orientierungsfähigkeit. *Unveröffentlichte Zulassungsarbeit*.
- Bode, S., Koeneke, 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.
- Bös, K. (1994). Differentielle Aspekte der Entwicklung motorischer Fähigkeiten. In J. Baur, K. Bös, & R. Singer (Hrsg.), *Motorische Entwicklung – Ein Handbuch* (S. 238-256). Göttingen: Hogrefe.
- Bös, K. (Hrsg.) (2001). *Handbuch Motorische Tests*. Göttingen: Hogrefe.
- Bös, K., & Mechling, H. (1983). *Dimensionen sportmotorischer Leistungen*. Schorndorf: Hofmann.
- Bös, K., & Schneider, F. J. (2006). Differentielle Aspekte der motorischen Entwicklung in Abhängigkeit vom Geschlecht. In I. Hartmann-Tews, & B. Rulofs (Hrsg.), *Handbuch Sport und Geschlecht* (S. 56-67). Schorndorf: Hofmann.
- Booth, J. R., MacWhinney, B., Thulborn, K.R., Sacco, K., Voyvodic, J. T., & Feldman, H. M. (2001). Developmental and lesion effects in brain activation during sentence comprehension and mental rotation. *Developmental Neuropsychology*, 18, 139-169.
- Brandt, M., & Davies, E. T. (2006). Visual-spatial ability, learning modality and surgical knot tying. *Canadian Journal of Surgery*, 49, 412-416.
- Bryden, M. P., George, J., & Inch, R. (1990). Sex differences and the role of figural complexity in determining the rate of mental rotation. *Perceptual and Motor Skills*, 70, 467-477.

- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietraßyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P., & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience Letters*, *441*, 219-223.
- Bührle, M. (Hrsg.) (1985). *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings*. Schorndorf: Hofmann.
- Bührle, M. (1989). Maximalkraft – Schnellkraft – Reaktivkraft. *Sportwissenschaft* *19*(3), 311-325.
- Burrmann, U., & Stucke, K. (2009). Zusammenhang zwischen motorischen und kognitiven Merkmalen in der Entwicklung. In J. Baur, K. Bös, A. Conzelmann, & R. Singer (Hrsg.), *Handbuch Motorische Entwicklung* (2. Aufl., S. 261-273). Schorndorf: Hofmann.
- Burton, A. W., & Miller, D. E. (1998). *Movement skill assessment*. Champaign: Human Kinetics.
- Busko, K. (2009). Changes of power-velocity relationship in volleyball players during an annual training cycle. *Human Movement*, *10*(2), 149-152.
- Caeyenberghs, K., Tsoupas, J., Wilson, P., & Smits-Engelsmann, B. C. M. (2009). Motor imagery in primary school children. *Developmental Neuropsychology*, *34*(1), 103-121.
- Callanary, B., & Durand-Bush, N. (2008). A group resonance intervention with a volleyball team: An exploration of the process between a consultant, coach, and athletes. *Athletic Insight. The online Journal of Sport Psychology*, *10*(3), Zugriff am 15.März 2012 unter <http://www.athleticinsight.com/Vol10Iss3/GroupProcess.htm>
- Calvo-Merino, D.E., Glaser, J., Grezes, R.E., Passingham, A., & Haggard, P. (2005). Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex*. *15*(8), 1243-1249.
- Casey, M., Nuttal, R. L., & Pezaris, E. (1997). Mediators of gender differences in mathematics college entrance test scores: A comparison of spatial skills with internalized beliefs and anxieties. *Developmental Psychology*, *33*, 669-680.

- Christova, P., Lewis, S., Tagaris, G., Ugurbil, K., & Georgopoulos, A. (2008). A voxel-by-voxel parametric fMRI study of motor mental rotation: hemispheric specialization and gender differences in neural processing, efficiency. *Experimental brain research*, 189, 79-90.
- Cohen, M. S., Kosslyn, S. M., Breiter, H. C., & DiGeiolo, G. J. (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(2), 125-130.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., McAuley, E., Erickson, K. I., & Scalf, P. (2004). Neurocognitive aging and cardiovascular fitness. *Journal of Molecular Neuroscience*, 24, 1559-1166.
- Collins, D. W., & Kimura, D. (1997). A large sex difference on a two-dimensional mental rotation task. *Behavioral Neuroscience*, 111, 845-849.
- Condovici, G., & Dörrer, H. J. (1999). *Weibliches Kunstturnen. Rahmenkonzeption für Kinder und Jugendliche im Leistungssport*. Bd. 1. Wiebelsheim: Limpert Verlag.
- Cooper, L. A. (1975). Mental rotation of random two-dimensional shapes. *Cognitive Psychology*, 7, 20-43.
- 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.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1982). Chronometric studies of the rotation of mental images. In R. N. Shepard, & L. A. Cooper, *Mental images and their transformation* (pp. 72-121). Cambridge: The MIT Press.
- Corballis, M. C. (1997). Mental rotation and the right hemisphere. *Brain and Language*, 57, 100-121.
- Corballis, M. C., & McLaren, R. (1982). Interaction between perceived and imagined rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 215-224.

- Covassin, T., Weiss, L., Powell, J. & Womack, C. (2007). Effects of a maximal exercise test on neurocognitive function. *British Journal of Sports Medicine*, *41*, 370-374.
- Crammond, D. J. (1997). Motor imagery: never in your wildest dream. *Trends in Neurosciences (TINS)*, *20*, 54-57.
- Crust, L., Nesti, M., & Bond, K. (2010). Mental toughness and coping in an ultra-endurance event. *Athletic Insight. The online Journal of Sport Psychology*, *12*(1), Zugriff am 15.März 2012 unter <http://www.athleticinsight.com/Vol12Iss1/Endurance.htm>
- Culham, J. C., & Kanwisher, N. G. (2001). Neuroimaging of cognitive functions in human parietal cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, *11*, 157-163.
- Curtze, C., Otten, B., & Postema, K. (2010). Effects of lower limb amputation on the mental rotation of feet. *Experimental Brain Research*, *201*(3), 527-534.
- Daugis, R. (1994). Motorische Kontrolle als Informationsverarbeitung: Vom Auf- und Niedergang eines Paradigmas. In P. Blaser, C. Stucke, & K. Witte (Hrsg.), *Steuer- und Regelvorgänge als Determinanten sportlicher Leistung* (S. 13-37). Sankt Augustin: Academia Verlag.
- Dean, A. L., & Harvey, W. O. (1979). An information-processing analysis of a Piagetian imagery task. *Developmental Psychology*, *15*, 474-475.
- Decety, J. (1992). Neurobiologie des représentations mentales motrices. *Psychologie Médicale*, *24*, 261-265.
- Decety, J., & Michel, F. (1989). Comparative analysis of actual and mental movement times in two graphic tasks. *Brain and Cognition*, *11*, 87-97.
- De Lisi, R., & Cammarano, D. M. (1996). Computer experience and gender differences in undergraduate mental rotation performance. *Computers in Human Behavior*, *12*, 351-361.
- Demougeot, L., & Papaxanthis, C. (2011). Muscle fatigue affects mental simulation of action. *Journal of Neuroscience*, *31*(29), 10712-10720.

- Dietrich, A. (2008). Imaging the imagination: The trouble with motor imagery. *Methods*, 45, 319-324.
- Ditunno, P. L., & Mann, V. A. (1990). Right hemisphere spezialisation for mental rotation in normals and brain damaged subjects. *Cortex*, 26(2), 177-188.
- Dordel, S., & Breithecker, D. (2003). Bewegte Schule als Chance einer Förderung der Lern- und Leistungsfähigkeit. *Haltung und Bewegung*, 23, 5-15.
- Dragnaski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. *Natur*, 427, 311-312.
- Durny, A., & Gillot, G. (1994). Körperliche Ermüdung und psychomotorische Fähigkeiten. In J. R. Nitsch, & R. Seiler (Hrsg.), *Bewegungsregulation und motorisches Lernen – Motor Control and Motor Learning* (S. 224-228). Sankt Augustin: Akademia.
- Dwyer, T., Sallis, J. F., Blizzard, L., Lazarus, R., & Dean, K. (2001). Relation of academic performance to physical activity and fitness in children. *Pediatric Exercise Science*, 13, 225-237.
- Estes, D. (1998). Young children's awareness of their mental activity: The case of mental rotation. *Child Development*, 69, 1345-1360.
- Etnier, J. L., Nowell, P. M., Landers, D. M., & Sibley, B. A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Research Reviews*, 52, 119-130.
- Farah, M. J. (1995). Current issues in the neuropsychology of image generation. *Neuropsychologia*, 33, 1455-1471.
- Feingold, A. (1993). Cognitive gender differences: A developmental perspective. *Sex Roles*, 29, 91-112.
- Feldmann, A., Kleinert, J., Steinbacher, A., & Noe, C. (2008). Einfluss psychosozialer Faktoren auf Befindlichkeiten hochleistungsorientierter Turnerinnen. In G. Sudeck, A. Conzelmann, K. Lehnert, & E. Gerlach (Hrsg.), *Differentielle Sportpsychologie – sportwissenschaftliche Persönlichkeitsforschung* (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 176, S. 51). Hamburg: Czwalina.

- Feng, J., Spence, I., & Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological Science, 18*, 850-855.
- Fleig, P. (2008). Der Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Entwicklung – Theoretische Hintergründe und empirische Ergebnisse. *Sportunterricht, 57*, 11-16.
- Fleishman, E. A. (1972). Structure and measurement of psychomotor abilities. In R. N. Singer (Eds.), *The psychomotor domain: Movement behavior* (pp. 78-106). Philadelphia: Lea Febiger.
- Freiwald, J., Engelhardt, M., Jäger, M., Gnewuch, A., Reuter, I., Wiemann, K., et al. (1998). Dehnung – genügen die bisherigen Erklärungsmodelle? *Sportverletzungen – Sportschäden, 12(2)*, 54-59.
- Frick, A., Daum, M. M., Walser, S., & Mast, F. W. (2005). Developmental changes in the interference of motor processes with mental rotation. In B. G. Bara, L. Barsalou, & M. Bucciarelli (Eds.), *Proceedings of the XXVII Annual Conference of the Cognitive Science Society (CogSci2005)* (pp. 700-725). Stresa: University of Turin.
- 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.
- Gabelmann, H., (1989). *Sportschießen*. Niedernhausen/Ts.: Falken.
- Geary, D. C., Gilger, J. W., & Elliott-Miller, B. (1992). Gender differences in three-dimensional mental rotation: A replication. *Journal of Genetic Psychology, 153*, 115-117.
- Geary, D. C., Saults, S. J., Liu, F., & Hoard, M. K. (2000). Sex differences in spatial cognition, computational fluency, and arithmetical reasoning. *Journal of Experimental Child Psychology, 77*, 337-353.
- Geng, L., Zhang, L., Zhang, D. (2011). Improving spatial abilities through mindfulness: Effects on the mental rotation task. *Consciousness and Cognition, 20(3)*, 801-806.

- Georgopoulos, A. P., & Massey, J. T. (1987). Cognitiv spatial-motor processes. 1. The making of movements at various angels from a stimulus direction. *Experimental Brain Research*, 65, 361-370.
- Gerling, I. E. (2009). *Basisbuch Gerätturnen (6. Aufl.)*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Gerrig, R. J., & Zimbardo, P. G. (2008). *Psychologie (18. Aufl.)*. München: Pearson.
- Ginn, S. R., & Pickens, S. J. (2005). Relationships between spatial activities and scores on the Mental Rotation Test as a function of sex. *Perceptual and Motor Skills*, 100, 877-881.
- Glasauer, G., & Nieber, L. (1999). Koordinationstraining im Basketball. *Leistungssport*, 9(6), 42-45.
- Gogos, A., Gavrilesco, M., Davison, S., Searle, K., Adams, J., Rossell, S. L., et al. (2010). Greater superior than inferior parietal lobule activation with increasing rotation angle during mental rotation: An fMRI study. *Neuropsychologia*, 48, 529-535.
- Goldstein, E. B. (2011). *Wahrnehmungspsychologie. Der Grundkurs (7. Aufl.)*. Berlin: Spektrum.
- Goldstein, D., Haldane, D., & Mitchell, C. (1990). Sex differences in visual-spatial ability: The role of performance factors. *Memory & Cognition*, 18, 546-550.
- Graf, C., Koch, B., Klippel, S., Büttner, S., Coburger, S., Christ, H., et al. (2003). Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und Konzentration im Kindesalter - Eingangsergebnisse des Chilt-Projektes. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54, 242-246.
- Grèzes, J., Armony, J. L., Rowe, J., & Passingham, R. E. (2003). Activations related to „mirror“ and „canonical“ neurones in the human brain: an fMRI study. *Neuroimage*, 18, 928-937.
- Grimshaw, G. M., Sitarenios, G., & Finegan, J. A. K. (1995). Mental rotation at 7 years: Relations with prenatal testosterone levels and spatial play experiences. *Brain and Cognition*, 29, 85-100.
- Grosser, M. (1988). *Training der konditionellen Fähigkeiten*. Schorndorf: Hofmann.

- Grosser, M. (1991). *Schnelligkeitstraining*. München: BLV.
- Grosser, M., & Renner, T. (2007). *Schnelligkeitstraining. Grundlagen, Methoden, Leistungssteuerung, Programme für alle Sportarten (2. Aufl.)*. München: BLV.
- Grosser, M., Starischka, S., & Zimmermann, E. (2008). *Das neue Konditionstraining*. München: BLV.
- Grosser, M., & Zintl, F. (1994). *Training der konditionellen Fähigkeiten (2. Aufl.)*. Schorndorf: Hofmann.
- Gundlach, H. (1968). Systembeziehungen körperlicher Fähigkeiten und Fertigkeiten. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, 17 (Beiheft: Sozialismus und Körperkultur, Teil II), 198-205.
- Haarmeier, T. (2006). Bewegungssehen, Stereopsis und ihre Störungen. In H.-O. Karnath, & P. Thier (Hrsg.), *Neuropsychologie (2. Aufl.)*. Heidelberg: Springer.
- Häflinger, U., & Schuba, V. (2007). *Koordinationstherapie – Propriozeptives Training (3. Aufl.)*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Härtig, R., & Buchmann, G. (2004). *Gerätturnen – Trainingsmethodik (2. Aufl.)*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Hahn, N., Jansen, P., & Heil, M. (2010a). Preschooler's mental rotation of letters: Sex differences in hemispheric asymmetry. *Cognitive Neuroscience*, 1, 261-267.
- Hahn, N., Jansen, P., & Heil, M. (2010b). Preschooler's mental rotation: Sex differences in hemispheric asymmetry. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22, 1244-1250.
- Haidn, O., Weineck, J., & Haidn-Tschalova, V. (2010). *Bogenschießen. Trainings- und bewegungswissenschaftliche Grundlagen (2. Aufl.)*. Balingen: Spitta.
- Halpern, D. F., & Wright, T. M. (1996). A process oriented model of cognitive sex differences. *Learning and Individual Differences*, 8, 3-24.
- Harding, E. J., Paul, E. S., & Mendl, M. (2004). Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427, 311-312.
- Harre, D. (Hrsg.) (1970). *Trainingslehre*. Berlin: Sportverlag.

- 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.
- Hedmann, L., Strom, P., Andersson, P., Kjellin, A., Wredmark, T., & Fellander-Tsai, L. (2006). High-level visual-spatial ability for novices correlates with performance in a visual-spatial complex surgical simulator task. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *20*, 1275-1280.
- Hegarty, M., & Kozhevnikov, M. (1999). Types of visual-spatial representations and mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, *91*, 684-689.
- Hegarty, M., & Waller, D. (2005). Individual differences in spatial abilities. In P. Shah, & A. Miyake (Eds.), *Handbook of Higher-level Visuospatial Thinking* (pp. 121 - 169). New York: Cambridge University Press.
- Heil, M. (2002). The functional significance of ERP effects during mental rotation. *Psychophysiology*, *39*, 535-545.
- Heil, M., Bajric, J., Rösler, F., & Hennighausen, E. (1997): A rotation aftereffect changes both the speed and the preferred direction of mental rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *23*, 681-692.
- Heil, M., Kavsek, M., Rolke, B., Beste, C., & Jansen, P. (2011). Mental rotation in female fraternal twins: Evidence for intra-uterine hormone transfer? *Biological Psychology*, *86(1)*, 90-93.
- Heil, M., Rauch, M., & Hennighausen, E. (1998). Response preparation begins before mental rotation is finished: Evidence from event-related brain potentials. *Acta Psychologica*, *99*, 217-232.
- Heil, M., & Rolke, B. (2002). Toward a chronopsychophysiology of mental rotation. *Psychophysiology*, *39*, 414-422.
- Herzberg, P., Hofmann, S., & Schneider, G. (1985). Eignungsbeurteilung und Auswahl im Nachwuchsleistungssport. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, *34(1)*, 44-52.

- 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(11), 1967-1974.
- Hirtz, P. (Hrsg.). (1985). *Koordinative Fähigkeiten im Schulsport. Vielseitig, variationsreich, ungewohnt*. Berlin: Volk und Wissen.
- Hirtz, P. (1995). Die Komponente Koordination. *Körpererziehung*, 3, 102-106.
- Hirtz, P., Ludwig, G., & Ahrens, I. (2002). Zur Trainierbarkeit koordinativer Fähigkeiten. In G. Ludwig, & B. Ludwig (Hrsg.), *Koordinative Fähigkeiten – koordinative Kompetenz* (S. 179-187). Kassel: Universitäts-Bibliothek.
- Hollmann, W., & Hettinger, T. (1980). *Sportmedizin, Arbeits- und Trainingsgrundlagen (2. Aufl.)*. Stuttgart, New York: Schattauer.
- Hollmann, W., & Strüder, H. K. (2009). *Sportmedizin. Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin (5. Aufl.)*. New York: Schattauer.
- Hollmann, W., Strüder, H. K., & Tagarakis, C. V. M. (2003). Körperliche Aktivität fördert Gehirngesundheit und –leistungsfähigkeit. *Nervenheilkunde*, 22, 467-474.
- Hooven, C. K., Chabris, C. F., Ellison, P. T., & Kosslyn, S. M. (2004). The relationship of male testosterone to components of mental rotation. *Neuropsychologia*, 42, 782-790.
- Hossner, E.-J. (1997). Horizontale und vertikale Fähigkeiten und ein modulares Konzept des Techniktrainings. In P. Hirtz, & F. Nüske (Hrsg.), *Bewegungskoordination und sportliche Leistung integrativ betrachtet* (S. 221-225). Hamburg: Czwalina.
- Hossner, E.-J. (2002). Module als vertikale koordinative Fähigkeiten. In G. Ludwig, & B. Ludwig (Hrsg.). *Koordinative-Fähigkeiten – koordinative Kompetenz* (S. 77-83). Kassel: Gesamthochschulbibliothek.
- Hossner, E.-J., & Kortmann, O. (1997). Der "TebauTeVolleyball". Zur Validierung eines modularen Trainingskonzepts. In F. Dannemann (Hrsg.), *Volleyball. Facetten eines Spiels* (S. 119-139). Hamburg: Czwalina.

- Hottenrott, K., & Neumann, G. (2010). *Methodik des Ausdauertrainings. Beiträge zu Lehre und Forschung im Sport (2. Aufl.)*. Schorndorf: Hofmann.
- Imperato-McGinley, J., Pichardo, M., Gautier, T., Voyer, D., & Bryden, M. P. (1991). Cognitive abilities in androgen insensitive subjects – Comparison with control males and females from the same kindred. *Clinical Endocrinology*, 34, 341-347.
- Israel, S. (1995). Gelenkbeweglichkeit als Leistungsvoraussetzung bei Spitzensportlern. *Leistungssport*, 25(4), 13-15.
- Jagaroo, V. (2004). Mental rotation and the parietal question in functional neuroimaging: A discussion of two views. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(5), 717-728.
- Jansen, P., & Heil, M. (2010a). Gender differences in the mental rotation across adulthood. *Experimental Aging Research*, 36, 94-104.
- Jansen, P., & Heil, M. (2010b). 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., Lange, L., & Heil, M. (2011). The influence of juggling on mental rotation performance in children. *Biomedical Human Kinetics*, 3, 18-22.
- Jansen, P., & Pietsch, S. (2009). Schon drei Monate Jonglieren verändern. *Sportpädagogik*, 6, 39-41.
- Jansen, P., & Pietsch, S. (2010). Physical Activity improves mental rotation performance. *Creative Education*, 1, 58-61.
- Jansen, P., Schmelter, A., Kasten, L., & Heil, M. (2011). Impaired mental rotation performance in overweight children. *Appetite*, 56, 766-769.
- Jansen, P., Titze, C., & Heil, M. (2009). The influence of juggling on mental rotation performance. *International Journal of Sport Psychology*, 40, 351-359.
- Jansen-Osmann, P. (2008). Der Einfluss der Neurowissenschaften auf die Sportwissenschaft. *Sportwissenschaft*, 38, 24-35.

- Jansen-Osmann, P., & Heil, M. (2007a). Suitable stimuli to obtain (no) gender differences in the speed of cognitive processes involved in mental rotation. *Brain and Cognition*, *64*, 217-227.
- Jansen-Osmann, P., & Heil, M. (2007b). Developmental aspects of the laterality of ERP effects during mental rotation. *NeuroReport*, *18*, 175-178.
- Jeannerod, M. (1995). Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia*, *33*, 1419-1432.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*, *14*, 103-109.
- Joch, W. (Hrsg.) (1992). *Rahmentrainingsplan für das Aufbautraining Lauf*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Joch, W., & Hasenberg, R. (1991). Lernalter und motorische Lernleistungen. Zur Frage des optimalen Lernalters bei Kindern und Jugendlichen. *Sportunterricht*, *40*, 216-222.
- Johnson, E. S., & Meade, A. C. (1987). Developmental patterns of spatial ability: An early sex difference. *Child Development*, *58*, 725-740.
- Jola, C., & Mast, F. W. (2005). Dance Images. Mental Imagery Processes in Dance. In J. Birringer, & J. Fenger (Eds.), *Tanz im Kopf. Dance and Cognition*, *15* (pp. 211-232). Münster: LIT.
- Jolicoeur, P., & Cavanagh, P. (1992). Mental rotation, physical rotation and surface media. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 371-384.
- Jolicoeur, P., Regehr, S., Smith, L. B. J., & Smith, G. N. (1985). Mental rotation of representations of two-dimensional objects. *Canadian Journal of Psychology*, *39*, 100-129.
- Jonath, U., Krempel, R., Haag, E., & Müller, H. (1995). *Leichtathletik 1*. Reinbek: Rowohlt.

- 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., Wuestenberg, T., Heinze, H. J., Peters, M., & Jaencke, L. (2002). Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks. *Neuropsychologia*, *40*, 2397-2408.
- Kail, R. (1986). The impact of extended practice on rate of mental rotation. *Journal of Experimental Child Psychology*, *42*, 37-391.
- Kail, R. & Park, Y. S. (1990). Impact of practice on speed on mental rotation. *Journal of Experimental Child Psychology*, *49*, 227-244.
- Kail, R., Pellegrino, J., & Carter, P. (1980). Developmental changes in mental rotation. *Journal of Experimental Child Psychology*, *29*, 102-116.
- Kambas, A., Antoniou, P., Xanthi, G., Heikenfeld, R., Taxildaris, K. & Godogalis, G. (2004). Unfallverhütung durch Schulung der Bewegungskoordination bei Kindergartenkindern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, *55*, 44-47.
- Kass, S. J., Ahlers, R. H., & Dugger, M. (1998). Eliminating gender differences through practice in an applied visual spatial task. *Human Performance*, *11*, 337-349.
- Katschmarsky, S., Cairney, S., Maruff, P., Wilson, P. H., & Currie, J. (2001). The ability to execute saccades on the basis of efference copy: Impairments in double-step saccade performance in children with developmental co-ordination disorder. *Experimental Brain Research*, *136*, 73-78.
- Kavale, K., & Mattson, P. D. (1983). One jumped of the balance beam: Meta-analysis of the perceptual motor-training. *Journal of Learning Disabilities*, *16*, 165-173.
- Keller, P., Vol्लाard, N., Gustafsson, T., Gallagher, I. J., Sundberg, C. J. et al. (2011). A transcriptional map of the impact of endurance exercise training on skeletal muscle phenotype. *Journal of Applied Physiology*, *110*, 46-59.
- Kerns, K. A., & Berenbaum, S. A. (1991). Sex differences in spatial ability in children. *Behavior Genetics*, *21*, 383-396.

- Ketelhut, K., Mohasseb, I., & Keteht, R. G. (2010). Einfluss eines regelmässigen Bewegungsprogramms auf die Blutdruckentwicklung in Ruhe und bei Belastung sowie die motorische Entwicklung im Kindergartenalter. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 58(4), 115-119.
- Kindermann, W. (1981). Beziehungen zwischen Herz-Kreislauf-System und Muskelstoffwechsel bei Ausdauerleistungen. In D. Augustin, & N. Müller (Hrsg.), *Leichtathletiktraining im Spannungsfeld von Wissenschaft und Praxis*. Mainzer Studien zur Sportwissenschaft 5/6. Niedernhausen: Schors-Verlag.
- Kiphard, E. J., & Schilling, F. (1974). *Körperkoordinationstest für Kinder (KTK)*. Weinheim: Beltz.
- Kirk, I. E., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L. et al. (2010). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 1-6.
- Kittsteiner, J., & Hilbert, G. (2011). *Spielend Volleyball lernen*. Wiebelsheim: Limpert.
- Klauer, K. J. (2001). Trainingsforschung: Ansätze – Theorien – Ergebnisse. In K. J. Klauer (Hrsg.), *Handbuch Kognitives Training* (S. 3-66). Göttingen: Hogrefe.
- Klee, A., & Wiemann, K. (2005). *Beweglichkeit/Dehnfähigkeit*. Schorndorf: Hofmann.
- Knauff, M. (1997). *Räumliches Wissen und Gedächtnis*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Knirsch, K., & Minnich, M. (1997). *Gerätturnen mit Mädchen und Frauen* (2. Aufl.). Kirchentellinsfurt: Knirsch.
- Knobloch, K., & Martin-Schmitt, S. (2006). Verhinderung von schwerwiegenden Muskelverletzungen durch ein prospektives Propriozeptions- und Koordinationstraining im Frauenfußballsport. *Leistungssport*, 1, 26-29.
- Knoll, K., Knoll, K., & Köthe, T. (2000). Grenzen der Leistungsfähigkeit des Menschen in den technisch-kompositorischen Sportarten. *Leistungssport*, 30(1), 33-38.

- König, S. (Hrsg.) (2008). *Doppelstunde Volleyball. Unterrichtseinheiten und Stundenbeispiele für Schule und Verein*. Schorndorf: Hofmann.
- Koscik, T., O'Leary, D., Moser, D. J., Andreasen, N. C., & Nopoulos, P. (2009). Sex differences in parietal lobe morphology: Relationship to mental rotation performance. *Brain and Cognition*, 69, 451-459.
- Kosslyn, S. M., Maljkovic, V., Hamilton, S. E. Horowitz, G., & Thompson, W. L. (1995). Two types of image generation: Evidence for left and right hemisphere processes. *Neuropsychologia*, 33, 1485-1510.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Wraga, M., & Alpert, N. M. (2001). Imagining rotation by endogenous versus exogenous forces: Distinct neural mechanisms. *Neuroreport: For Rapid Communication of Neuroscience Research*, 12, 2519-2525.
- Krainhöfner, G., & Thielecke, K. (Hrsg.) *Ran an die Geräte! BTV-Kongress Gerätturnen in Schule und Verein*. Regensburg: Gietl Verlag.
- Kubesch, S. (2007). *Das bewegte Gehirn. Körperliche Aktivität und Exekutive Funktionen*. Reihe Junge Sportwissenschaft. Schorndorf: Hoffmann.
- Kucian, K., von Alster, M., Loennecker, T., Dietrich, T., Mast, F. W. & Martin, E. (2007). Brain activation during mental rotation in school children and adults. *Journal of Neural Transmission*, 114, 675-686.
- Künstlinger, U. (1987). Metabolic changes during volleyball matches. *International Journal of sports medicine*, 8(5), 315-322.
- Lange, A. (1991). *Laufen unter Ausdauerbedingungen. Auswirkungen auf Psyche und Physis*. Wiesbaden: Limpert-Verlag.
- Lange-Küttner, C. & Chrichton, M. T. (1999). Change of spatial field effects in 16-to-20-week-old infants. *Brain and Cognition*, 39, 75-92.
- Langer, E. J. (2009). *The power of mindful learning*. Cambridge: Perseus Books.
- Larson, P., Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., Van Rooyen, A., Kratz, K., Neumann, U., et al. (1999). Gender issues in the use of virtual environments. *Cyberpsychology & Behavior*, 2, 113-123.

- Leary, M. R. (1996). Deficits in Attention, Motor Control, and Perception: A brief review. *Archives of Disease in Childhood*, *88*(10), 904-910.
- Lehnung, M., & Leplow, B. (2001). Die Entwicklung räumlicher Orientierungsleistungen bei Vorschul- und Schulkindern – Untersuchungen mit traditionellen Ansätzen und mit dem Kieler Lauflabyrinth. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, *48*, 246-261.
- Leirich, J., Bernstein, H.-G., & Gwizdek, I. (2007). *Turnen an Geräten. Strukturelle Systematik, Terminologie – Boden und Sprung*. Schorndorf: Hofmann.
- Leone, G., Taine, M. C., & Droulez, J. (1993). The influence of long-term practice on mental rotation of 3-D objects. *Cognitive Brain Research*, *1*, 241-255.
- Letzelter, M. (1973). Kondition und motorische Grundeigenschaften. *Praxis der Leibesübungen*, *14*(1), 14-15; *14*(2), 33-34; *14*(3), 57-58.
- Letzelter, M. (1978). *Trainingsgrundlagen*. Reinbek: Rowohlt.
- Letzelter, H., & Letzelter, M. (1990). *Krafttraining*. Reinbek: Rowohlt.
- Levine, S. C., Huttenlocher, J., Taylor, A., & Langrock, A. (1999). Early sex differences in spatial skill. *Developmental Psychology*, *35*, 940-949.
- Li, C., Nuttal, R. L., & Zhu, W. (1999). Writing Chinese characters and success on mental rotation test. *Perceptual & Motor Skills*, *88*, 1261-1270.
- Lindner, K. J. (2002). The physical activity participation – Academic performance relationship revisited: perceived and actual performance and the effect of banding (academic tracking). *Pediatric Exercise Science*, *14*, 155-169.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterisation of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis. *Child Development*, *56*, 1479-1498.
- Lizarraga, M. L. S. D. A., & Ganuza, J. M. G. (2003). Improvement of mental rotation in girls and boys. *Sex Roles*, *49*, 277-286.
- Lloyd-Jones, T. J., & Luckhurst, L. (2002). Effects of plane rotation, task, and complexity on recognition of familiar and chimeric objects. *Memory & Cognition*, *30*, 499-510.

- Lohaus, A., Schuhmann-Hengstler, R., & Kessler, T. (1999). *Räumliches Denken im Kindesalter*. Göttingen: Hogrefe.
- Lohman, D. F. (1979). *Spatial ability: Review and re-analysis of the correlational literature*. Stanford University technical report No. 8.
- Lohmann, D. F., & Nichols, P. D. (1990). Training spatial abilities: Effects of practice on rotation and synthesis tasks. *Learning and Individual Differences*, 2, 67-93.
- Loosch, E. (1999). *Allgemeine Bewegungslehre*. Wiebelsheim: Limpert.
- Lorey, B., Kreh, A., Häuser, C., Munzert, J., & Zentgraf, K. (2011). Nützt ein Bewegungsvorstellungstraining bei der Bearbeitung mentaler Rotationsaufgaben? Eine Pilotstudie mit Parkinson-Patienten. In J. Ohlert, & J. Kleinert (Hrsg.). *Sport vereint. Psychologie und Bewegung in Gesellschaft*. Tagungsband der 43. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie. Hamburg: Feldhausverlag.
- Ludwig, G., & Ludwig, B. (2002). *Koordinative Fähigkeiten – koordinative Kompetenz. Psychomotorik in Forschung und Praxis (Bd. 35)*. Kassel: Gesamthochschule.
- Lühnenschloß, D., & Direks, B. (2005). *Bewegungskompetenzen. Schnelligkeit. Praxisideen. Schriftenreihe für Bewegung, Spiel und Sport 16*. Schorndorf: Hofmann.
- Lütgeharm, R. (1978). Schematische Darstellung der koordinativen Fähigkeiten. *Turnen und Sport*, 52(8), 171-172.
- Lust, J. M., Geuze, R. H., Wijers, A. A., & Wilson, P. H. (2006). An EEG study of mental rotation-related negativity in children with developmental coordination disorder. *Child, care, health and development*, 32, 649-663.
- Malliaropoulos, N., Papalexandris, S., Papalada, A., & Papacostas, E. (2004). The role of stretching in rehabilitation of hamstring injuries: 80 athletes follow-up. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(5), 756-759.
- Mammarella, N. (2011). Is there a „special relationship“ between unconscious emotions and visual imagery? Evidence from a mental rotation test. *Consciousness and Cognition*, 20(2), 444-448.

- Marmor, G. S. (1975). Mental rotation and number conversation: are they related? *Developmental Psychology, 13*, 320-325.
- Martin, D. (1977). *Grundlagen der Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Martin, D., Carl, K., & Lehnertz, K. (2001). *Handbuch Trainingslehre (3. Aufl.)*. Reihe: Beiträge zu Lehre und Forschung im Sport. Schorndorf: Hoffmann.
- Martin, D., Nicolaus, J., Ostrowski, C., & Rost, K. (1999). *Handbuch Kinder- und Jugendtraining*. Schorndorf: Hofmann.
- Masters, M. S. (1998). The gender difference on the mental rotations test is not due to performance factors. *Memory & Cognition, 26*, 444-448.
- Masters, M. S., & Sanders, B. (1993). Is the gender difference in mental rotation disappearing? *Behavior Genetics, 23*, 337-341.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin, 86*, 889-918.
- McWilliams, W., Hamilton, C. J., & Muncer, S. J. (1997). On mental rotation in three dimensions. *Perceptual and Motor Skills, 85*, 297-298.
- Mechling, H. (1988). Zur Theorie und Praxis des Techniktrainings, Problemaufriss und Thesen. *Leistungssport, 18(1)*, 39-42.
- Meier, S., & Zentgraf, K. (2011). Welches körperliche Training verbessert mentale Rotationsleistungen? In J. Ohlert, & J. Kleinert (Hrsg.). *Sport vereint. Psychologie und Bewegung in Gesellschaft*. Tagungsband der 43. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie. Hamburg: Feldhausverlag.
- Meinel, K., & Schnabel, G. (2007). *Bewegungslehre – Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt (11. Aufl.)*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Mensink, G. B. M. (2003). *Bundes-Gesundheitssurvey: Körperliche Aktivität – Aktive Freizeitgestaltung in Deutschland*. Berlin: Robert Koch-Institut.

- Metzler, J., & Shepard, R. N. (1982). Transformational studies of the internal representation of three-dimensional objects. In R. N. Shepard, & L. A. Cooper, *Mental images and their transformations* (pp. 25-71). Cambridge: The MIT Press.
- Meyer, S., Christlieb, A., & Keuning, K. (2009). *Trampolin. Schwerelosigkeit leicht gemacht (3. Aufl.)*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Milivojevic, B., Hamm, J. P., & Corballis, M. C. (2009). Hemispheric dominance for mental rotation: it is a matter of time. *NeuroReport*, *20*(17), 1507-1512.
- Moé, A., & Pazzaglia, F. (2006). Following the instructions! Effects of gender beliefs in mental rotation. *Learning and Individual Differences*, *16*, 369-377.
- Moore, D. S., & Johnson, S. P. (2008). Mental Rotation in Human Infants. A Sex Difference. *Psychological Science*, *19*, 1063-1066.
- Mooren, F. C., & Stein, B. (2011). Schadet Marathonlaufen dem gastrointestinalen System? *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, *62*(9), 304-309.
- Moreau, D., Clerc, J., Mansy-Dannay, A., & Guerrien, A. (2012). Enhancing spatial ability through sport practice. *Journal of Individual Differences*, *33*(2), 83-88.
- Moreau, D., Mansy-Dannay, A., Clerc, J., & Guerrien, A. (2011). Spatial ability and motor performance: Assessing mental rotation processes in elite and novice athletes. *International Journal of Sport Psychology*, *42*, 525-547.
- Müller, C., & Petzold, R. (2006). Wirkungen der bewegten Schule auf die kognitive und emotionale Entwicklung der Schüler. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, *47*(1), 27-45.
- Munzert, J., Lorey, B., & Zentgraf, K. (2009). Cognitive motor processes: The role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain Research Review*, *60*, 306-326.
- Muster, M., & Zielinski, R. (2006). *Bewegung und Gesundheit. Gesicherte Effekte von körperlicher Aktivität und Ausdauertraining*. Darmstadt: Steinkopff.
- Naito, E. (1994). Controllability of motor imagery and transformation of visual imagery. *Perception and Motor Skills*, *78*, 479-487.

- Neely, K. A., & Heath, M. (2009). Visuomotor mental rotation: reaction time is not a function of the angle of rotation. *Neuroscience Letters*, *463*(3), 194-198.
- Neely, K. A., & Heath, M. (2010a). Visuomotor mental rotation: reaction time is determined by the complexity of the sensorimotor transformations mediation the response. *Brain Research*, *1366*, 129-140.
- Neely, K. A., & Heath, M. (2010b). Visuomotor mental rotation: the reaction time advantage for anti-pointing is not influenced by perceptual experience with the cardinal axes. *Experimental Brain Research*, *201*(3), 593-598.
- Neubauer, A. C., Bergner, S., & Schatz, M. (2010). Two- vs. three-dimensional presentation of mental rotation tasks: Sex differences and effects of training on performance and brain activation. *Intelligence*, *38*(5), 529-539.
- Neumaier, A. (2003). *Koordinatives Anforderungsprofil und Koordinationstraining* (3. Aufl.). Köln: Sport & Buch Strauß.
- Neumaier, A., Mechling, H., & Strauss, R. (2009). *Koordinative Anforderungsprofile ausgewählter Sportarten. Analyse, Variationsprinzipien, Trainingsbeispiele zu Leichtathletik, Fußball, Judo, Alpiner Skilaut, Rudern. Training der Bewegungskoordination Bd. 2*. Köln: Strauß.
- Newcombe, N., Bandura, M. M., & Taylor, D. G. (1983). Sex differences in spatial ability and spatial activities. *Sex Roles*, *9*, 377-386.
- Nitsch, J. R., & Munzert, J. (1997). Handlungstheoretische Aspekte des Techniktrainings – Ansätze zu einem integrativen Modell. In R. A. Nitsch et al., (Hrsg.), *Techniktraining. Beiträge zu einem interdisziplinären Ansatz* (S. 109-172). Schorndorf: Hofmann.
- Nowak, P. F. (2011): Ultra distance running in view of health and amateur sport. *Human Movement*, *11*(1), 37-41.
- Okagaki, L., & Frensch, P. A. (1994). Effects of video game playing on measures of spatial performance: Gender effects in late adolescence. *Journal of Applied Developmental Psychology*, *15*, 33-58.

- Oliveira, A. S., Tibanaa, R. A., Aguiara, F., Oliveira, H. B., Barros, E. S., & Silva, P. B. (2011). Effects of high-intense stimuli on continuous running exercise at the ventilatory threshold. *Science & Sports, 26*(5), 292-297.
- Olivier, N., & Rockmann, U. (2003). *Grundlagen der Bewegungswissenschaft und – lehre. Grundlagen der Sportwissenschaft Bd. 1*. Schorndorf: Hofmann.
- Oswald, W. D., & Roth, E. (1997). *Der Zahlen-Verbindungs-Test (Zvt)*. (2. überarb. u. erw. Aufl.), Testzentrale. Göttingen: Hogrefe.
- Ozel, S., Larue, J., & Molinaro, C. (2002). Relation between sport acitivity and mental rotation: comparison of three groups of subjects. *Perceptual and Motor Skills, 95*, 1141-1154.
- Ozel, S., Larue, J., & Molinaro, C. (2004). Relation between sport and spatial imagery: comparison of three groups of participants. *The Journal of Psychology, 138*, 49-63.
- Papageorgiou, A., & Czimek, V. (2009). *Volleyball spielerisch lernen (2. Aufl.)*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Papageorgiou, A., & Spitzley, W. (2007). *Handbuch für Volleyball. Grundlagen (8. Aufl.)*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Parsons, L. M. (2001). Integrating cognitive psychology, neurology and neuroimaging. *Acta Psychologica, 107*, 155-181.
- Parsons, T. D., Larson, P., Kratz, K., Thieboux, M., Bluestein, B., Buckwalter, J. G. et al. (2004). Sex differences in mental rotation and spatial rotation in a virtual environment. *Neuropsychologia, 42*, 555-562.
- Perrucci, V., Agnoli, F., & Albiero, P. (2008). Children´s performance in mental rotation tasks: orientation-free features flatten the slop. *Developmental Science, 11*, 732-742.
- Pesce-Anzeneder, C., & Bösel, R. (1998). Modualtion of the spatial extent of the attentional focus in high-level volleyball players. *European Journal of Cognitive Psychology, 10*, 247-267.

- Peters, M., & Battista, C. (2008). Applications of mental rotation figures of the Shepard and Metzler type and description of a mental rotation stimulus library. *Brain and Cognition, 66*, 260-264.
- Peters, M., Chisholm, P., & Laeng, B. (1995). Spatial ability, student gender and academic performance. *Journal of Engineering Education, 84*, 60-73.
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., & Jackson, M. (1995). A redrawn Vandenberg and Kuse Mental Rotations Test: Different versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition, 28*, 39-58.
- Peters, M., Lehmann, W., Takahira, S., Takeuchi, Y., & Jordan, K. (2006). Mental rotation test performance in four cross-cultural samples (n = 3367): Overall sex differences and the role of academic program in performance. *Cortex, 42*, 1005-1014.
- Petit, L. S., & Harris, I. M. (2005). Anatomical limitations in mental transformations of body parts. *Visual Cognition, 12*, 737-758.
- Piaget, J. (1936, 1963) *The origins of intelligence in children*. New York: W.W. Norton & Company, Inc.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *L'image mentale chez l'enfant* [Mental imagery in the child]. Paris: PUF
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1975). *Die Entwicklung des räumlichen Denkens beim Kinde*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Pietsch, S., & Jansen, P. (2011). Visuell-räumliche Fähigkeiten bei Sportlern und Sportlerinnen. In: I. Hartmann-Tews, B. Dahmen, & D. Emberger (Hrsg.), *Gesundheit in Bewegung: Impulse aus Geschlechterperspektive*. Brennpunkte der Sportwissenschaft 32 (S. 75-79). Köln: Deutsche Sporthochschule.
- Pietsch, S., & Jansen, P. (2012). Different mental rotation performance in students of music, sports and education science. *Learning and Individual Differences, 22*, 159-163.
- Pinel, J. P. J., & Pauli, P. (2007). *Biopsychologie (6. Aufl.)*. München: Pearson.

- Pinkernell, G. (2002). *Räumliches Vorstellungsvermögen im Geometrieunterricht. Eine didaktische Analyse mit Fallstudien*. Münster: Verlag Franzbecker.
- Pitcher, T. M., Piek, J. P., & Hay, D. A. (2003). Fine and gross motor ability in males with ADHD. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 45, 525-535.
- Podzebenko, K., Egan, G. G., & Watson, J. D. (2002). Widespread dorsal stream activation during a parametric mental rotation task, revealed with functional magnetic resonance imaging. *Neuroimage*, 15, 547-558.
- Podzebenko, K., Egan, G. G., & Watson, J. D. (2005). Real and imaginary rotary motion processing: functional parcellation of the human parietal lobe revealed by fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 24-36.
- Pöhlmann, R. (1986). *Motorisches Lernen*. Berlin: Sportverlag.
- Puts, D. A., Cárdenas, R. A., Bailey, D. H., Burriss, R. P., Jordan, C. L., & Breedlove, S. M. (2010). Salivary testosterone does not predict mental rotation performance in men or women. *Hormones and Behavior*, 58(2), 282-309.
- Pylyshyn, Z. W. (1979). The rate of mental rotation images: A test of a holistic analogue hypothesis. *Memory & Cognition*, 7, 19-28.
- Quaiser-Pohl, C., & Lehmann, W. (2002). Girls' spatial abilities: charting the contributions of experiences and attitudes in different academic groups. *British Journal of Educational Psychology*, 72, 245-260.
- Quaiser-Pohl, C., Lehmann, W., & Eid, M. (2004). The relationship between spatial abilities and representations of large-space in children – a structural equation modelling analysis. *Personality and Individual Differences*, 36, 95-107.
- Quinn, P. C., & Liben, L. S. (2008). A sex difference in Mental Rotation in young infants. *Psychological Science*, 19, 1067-1070.
- Reitan, R. M. (1956). *Trail Making Test: manual for administration, scoring and interpretation*. Indianapolis.
- Reiter, C. (2007). *Zum Einfluss der Darstellungsperspektive und der Bewegungsrichtung auf die Aneignung von Bewegungslängen: Untersuchung unterschiedlicher Visualisierungsbedingungen*. Berlin: Verlag im Internet GmbH.

- Resnick, S. M. (1993). Sex differences in mental rotations: an effect of time limit? *Brain & Cognition, 21*, 71-79.
- Richardson, J. T. E. (1994). Gender differences in mental rotation. *Perceptual and Motor Skills, 78*, 435-448.
- Rieder, H. (1987). Koordinative Fähigkeiten. Zum Stand der Diskussion und den Lücken in der Forschung. In E. Kornexl (Hrsg.). *Bewegungslernen und Techniktraining* (S. 7-103). Schorndorf: Hofmann.
- Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., Bowerly, T., McGee, J. S., Van Rooyen, A., van der Zaag, C. et al. (2001). Virtual environments for assessing and rehabilitating cognitive/functional performance: A review of projects at the USC Integrated Media System Center. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 10*, 359-374.
- Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., Neumann, U., Chua, C., Van Rooyen, A., Larson, P. et al. (1999). Virtual environments for targeting cognitive processes: An overview of projects at the University of Southern California. *CyberPsychology & Behavior, 2*, 89-100.
- 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.
- Roberts, J. E., & Bell, M. A. (2000). Sex differences on a computerized mental rotation task disappear with computer familiarization. *Perceptual and Motor Skills, 91*, 1027-1034.
- Roberts, J. E., & Bell, M. A. (2002). The effects of age and sex on mental rotation performance, verbal performance and brain electrical activity. *Developmental Psychobiology, 40*, 391-407.
- Rockmann-Rüger, U. (1991). Zur Gestaltung von Übungsprozessen beim Erlernen von Bewegungstechniken – ausgewählte Theorien und experimentelle Befunde. In E. Rümmele (Hrsg.), *Beiträge zur Sportwissenschaft. Bd. 18*. Frankfurt am Main, Thun: Deutsch.

- Rosenzweig, M. R., & Bennett, E. L. (1996). Psychobiology of plasticity-effects of training and experience on brain and behavior. *Behavioural Brain Research*, 78, 57-65.
- Rost, D. H. (1977). *Raumvorstellung. Psychologische und pädagogische Aspekte*. Weinheim: Beltz.
- Roth, K. (1982). *Strukturanalyse koordinativer Fähigkeiten*. Bad Homburg: Limpert.
- Roth, K. (1989). Wie verbessert man koordinative Fähigkeiten? In Bielefelder Sportpädagogen (Hrsg.), *Methodik des Sportunterrichts* (S. 76-87). Schorndorf: Hofmann.
- Roth, K. (1999). Die fähigkeitsorientierte Betrachtungsweise (Differentielle Bewegungsforschung). In K. Roth, & K. Willimczik (Hrsg.), *Bewegungswissenschaft*. Reinbeck: Rowohlt.
- Roth, K., & Hossner, E.-J. (1999). Die funktionalen Betrachtungsweisen. In K. Roth, & K. Willimczik, *Bewegungswissenschaft* (S. 127- 226). Reinbek: Rowohlt.
- Roth, K., & Roth, C. (2009). Entwicklung motorischer Fertigkeiten. In: Baur, J., Bös, K., Konzelmann, A., & R. Singer (Hrsg.), *Handbuch motorische Entwicklung* (2. Aufl., S. 227-247). Schorndorf: Hofmann.
- Roth, K., & Willimczik, K. (1999). *Bewegungswissenschaft*. Reinbek: Rowohlt.
- Rostock, J., & Zimmermann, K. (1997). Koordinationstraining zwischen Generalität und Spezifität. *Leistungssport*, 27(4), 28-30.
- Ruthruff, E., & Miller, J. (1995). Can mental rotation begin before perception finishes? *Memory & Cognition*, 23, 408-424.
- Saccuzzo, D. P., Craig, A. S., Johnson, N. E., & Larson, G. E. (1996). Gender differences in dynamic spatial abilities. *Personality and Individual Differences*, 21, 599-607.
- Sachs, M., & Buffone, G. (1984). *Running as therapy. An integrated approach*. University of Nebraska: Lincoln and London.
- Saimpont, A., Pozzo, T., & Papaxanthis, C. (2009). Aging affects the mental rotation of left and right hands. *PLoS One*, 4(8), 6714-6718.

- Sanders, B., & Soares, M. P. (1986). Sexual maturation and spatial ability in college students. *Developmental Psychology*, 22, 199-203.
- Save, E., & Poucet, B. (2000). Hippocampal-parietal cortical interactions in spatial cognition. *Hippocampus*, 10, 491-499.
- Schäfer, S., Huxhold, O., & Lindenberger, U. (2006). Healthy mind in healthy body? A review of sensorimotor-cognitive interdependencies in old age. *European Review of Aging and Physical Activity*, 3, 45-54.
- Schaper, A., & Letzelter, M. (1995). Dimensionen der motorischen Schnelligkeit. *Sportwissenschaft*, 24(4), 358-369.
- Schendan, H. E., & Lucia, L. C. (2009). Visual object cognition precedes but also temporally overlaps mental rotation. *Brain Research*, 1294, 91-105.
- Schlegel, K. (2008). *Diagnostik relevanter Leistungsvoraussetzungen im Gerätturnen. Ein Beitrag zur inhaltlichen und methodischen Gestaltung des Grundlagentrainings Gerätturnen weiblich*. Hamburg: Verlag Dr. Kovač.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (1999). *Motor control and learning. A behavioral emphasis (3. Aufl.)*. Champaign: Human Kinetics.
- Schmidtbleicher, D. (1984). Strukturanalyse der motorischen Eigenschaft Kraft. *Lehre der Leichtathletik*, 24(1), 25-30.
- Schnabel, G. (2007). Bewegungskoordination als Regulation der Bewegungstätigkeit. In K. Meinel, & G. Schnabel (Hrsg.), *Bewegungslehre – Sportmotorik* (11. Aufl., S. 28-71). Aachen: Meyer & Meyer.
- Schnabel, G., Harre, H.-D., & Krug, J. (2008). *Trainingslehre – Trainingswissenschaft. Leistung – Training – Wettkampf*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Schnabel, G., & Thiess, G. (Hrsg.) (1993). *Lexikon Sportwissenschaft. Leistung – Training – Wettkampf. L bis Z. Bd. 2*. Berlin: Sportverlag.

- Schneider, W., & Stefaneck, J. (2004). Entwicklungsveränderungen allgemeiner kognitiver Fähigkeiten und schulbezogener Fertigkeiten im Kindes- und Jugendalter: Evidenz für einen Schereneffekt. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 36, 147-159.
- Schott, N., & Munzert, J. (2010). *Motorische Entwicklung*. Göttingen: Hogrefe.
- Sekuler, R., & Blake, R. (2002). *Perception* (4. Aufl.). New York: McGraw-Hill.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Shepard, S., & Metzler, D. (1988). Mental rotation: Effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 3-11.
- Shih, M., Pittinsky, T. L., & Ambady, N. (1999). Stereotype susceptibility: Identity salience and shifts in quantitative performance. *Psychological Science*, 10, 80-83.
- Sibley, B. A., & Etnier, J. (2003). The relationship between physical activity and cognition in children: a meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 15, 243-256.
- Simon, C., & Kramer, R. (2004). *Konditionell-orientierte Sportarten. Leichtathletik. Technikvariationstraining beim Laufen. Praxisideen*. Schriftenreihe für Bewegung, Sport und Spiel. Schorndorf: Hofmann.
- Singer, R. N. (1985). *Motorisches Lernen und menschliche Leistung*. Bad Homburg: Limpert.
- Smith, L. B., Thelen, E., Titzer, R., & McLin, D. (1999). Knowing in the context of acting: The task dynamics of the A-not-B error. *Psychological Review*, 106, 235-260.
- Sohn, M. H., Goode, A., Stenger, V. A., Jung, K.-J., Carter, C. S., & Anderson, J. R. (2005). An information-processing model of three cortical regions: evidence in episodic memory retrieval. *Neuroimage*, 25, 21-33.
- Solso, R. L. (2004). *Kognitive Psychologie*. Berlin: Springer.

- Souvignier, E. (1999). Die Verbesserung räumlicher Fähigkeiten durch computerunterstützte Fördermaßnahmen: Zwei Evaluationsstudien. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 13, 4-16.
- Souvignier, E. (2000). *Förderung räumlicher Fähigkeiten: Trainingsstudien mit lernbeeinträchtigten Schülern*. Berlin: Waxmann Verlag.
- Steggemann, Y., Engbert, K., & Weigelt, M. (2011). Selective effects of motor expertise in mental body rotation tasks: comparing object-based and perspektive transformations. *Brain and Cognition*, 76(1), 97-105.
- Steggemann, Y., Matitschka, S., & Weigelt, M. (2011). Moving weightless in mental space: Kein Zusammenhang zwischen dem subjektiven Körperschema und mentaler Figurenrotation. In J. Ohlert, & J. Kleinert (Hrsg.), *Sport vereint. Psychologie und Bewegung in Gesellschaft*. Tagungsband der 43. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie (S. 135). Hamburg: Feldhausverlag.
- Steiger, J. H., & Yuille, J. C. (1983). Longterm memory and mental rotation. *Canadian Journal of Psychology*, 37, 367-389.
- Steiner, J. L., Murphy, E. A., McClellan, J. L., Carmichael, M. D., & Davis, J. M. (2011). Exercise training increases mitochondrial biogenesis in the brain. *Journal of Applied Physiology*, 111 (4), 1066-1071.
- Stroth, S., Hille, K., Spitzer, M., & Reinhardt, R. K. (2009). Aerobic endurance exercise benefits memory and affect in young adults. *Neuropsychological Rehabilitation*, 19, 223-243.
- Stumpf, H. (1993). Performance factors and gender-related differences in spatial ability: Another assessment. *Memory and Cognition*, 21, 828-836.
- Tagaris, G. A., Richter, W., Kim, S. G., Pellizer, G., Andersen, P., Ugurbil, K., et al. (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.

- Tagaris, G. A., Strupp, J. P., Andersen, P., Ugurbil, K., & Georgopoulos, A. P. (1997). Mental rotation studies by functional magnetic resonance imaging at high field (4Tesla): Performance and cortical activation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 419-432.
- Taras, H. (2005). Physical activity and student performance at school. *Journal of School Health*, 75(6), 214-218.
- Tarr, M. J., & Pinker, S. (1989). Mental rotation and orientation-dependence in shape recognition. *Cognitive Psychology*, 21, 233-282.
- Taube, W., Gruber, M., Beck, S., Faist, M., Gollhofer, A., & Schubert, M. (2007). Cortical and spinal adaptations induced by balance training: correlation between stance stability and corticospinal activation. *Acta Physiologica*, 189(4), 347 – 358.
- Taube, W., Schubert, M., Gruber, M., Beck, S., Faist, M., & Gollhofer, A. (2006). Direct corticospinal pathways contribute to neuromuscular control of perturbed stance. *Journal of Applied Physiology*, 101(2), 420-429.
- Teipel, D. (1988). *Diagnostik koordinativer Fähigkeiten. Eine Studie zur Struktur und querschnittlich betrachteten Entwicklung fein- und grobmotorischer Leistungen*. München: Profil.
- Terlecki, M. S., & Newcombe, N. S. (2005). How important is the digital divide? The relation of computer and videogame usage to gender differences in mental rotation ability. *Sex Roles*, 53, 433-441.
- Thiess, G., & Tschiene, P. (1999). *Handbuch zur Wettkampflehre*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Thomas, J. P., & French, K. E. (1985). Gender differences across age in motor performance: a meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 98, 260-282.
- Titze, C., Heil, M., & Jansen, P. (2008). Gender differences in the Mental Rotations Test (MRT) are not due to task complexity. *Journal of Individual Differences*, 29, 130- 133.

- Titze, C., Heil, M., & Jansen, P. (2010). Pairwise Presentation of Cube Figures Does Not Reduce Gender Differences in Mental Rotation Performance. *Journal of Individual Differences, 31*, 101-105.
- Titze, C., Jansen, P., & Heil, M. (2010a). Mental rotation performance and the effect of gender in 4th graders and adults. *European Journal of Developmental Psychology, 7*, 432-444.
- Titze, C., Jansen, P., & Heil, M. (2010b). Mental rotation performance in fourth graders: No effects of gender beliefs (yet?). *Learning and Individual Differences, 20*, 459-463.
- 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.
- Tzuriel, D., & Egozi, G. (2010). Gender differences in spatial ability of young children: the effects of training and processing strategies. *Child Development, 81*, 1417-1430.
- Ullrich, K., & Gollhofer, A. (1994). Physiologische Aspekte und Effektivität unterschiedlicher Dehnmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 45*(9), 336-345.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills, 47*, 599-604.
- Vaynman, S., Ying, Z., & Gomez-Pinilla, F. (2004). Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *European Journal of Neuroscience 20*(10), 2580-2590.
- Vernon, P. A., & Weese, S. E. (1993). Predicting intelligence with multiple speed of information-processing tests. *Personality and Individual Differences, 14*, 413-419.
- Vetter, P. (2010). *Motorisches Training mentaler Rotation*. Unveröffentlichte Zulassungsarbeit.

- Voelcker-Rehage, C., & Alberts, J. L. (2007). Effect of motor practice on dual-task performance in older adults. *Journal of Gerontology: Psychological Science, 62*, 141-148.
- Voigt, H.-F. (2006). *Koordinationstraining im Volleyball (2. Aufl.)*. Köln: Sportverlag Strauß.
- Voigt, H.-F., & Richter, E. (1991). *Betreuen, fördern, fordern. Volleyballtraining im Kindes- und Jugendalter*. Münster: Philippka.
- Voyer, D. (1995). Effect of practice on laterality in a mental rotation task. *Brain and Cognition, 29*, 326-335.
- Voyer, D. (2011). Time limits and gender differences on paper-and-pencil tests of mental rotation: a meta-analysis. *Psychonomic bulletin review Journal, 18(2)*, 267-277.
- Voyer, D., Nolan, C., & Voyer, S. (2000). The relation between experience and spatial performance in men and women. *Sex Roles, 43*, 891-915.
- Voyer, D., Rodgers, M. A., & McCormick, P. A. (2004). Timing conditions and the magnitude of gender differences on the Mental Rotations Test. *Memory & Cognition, 32*, 72-82.
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin, 117*, 250-270.
- Wamser, P., & Leyk, D. (2003). Einfluss von Sport und Bewegung auf Konzentration und Aufmerksamkeit: Effekte eines „Bewegten Unterrichts“ im Schulalltag. *Sportunterricht, 52(4)*, 108-113.
- Wan, Q., Chen, C., Wu, C., & Qian, X. (2011). Repetition benefit in mental rotation is independent of stimulus repetition. *Memory & Cognition, 39*, 864-872.
- Wechsler, D. (1956). *Die Messung der Intelligenz Erwachsener*. Bern: Huber.
- Weineck, J. (2007). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings (15. Aufl.)*. Balingen: Spitta.

- Weinert, F. E., Schneider, W., & Beckmann, J. (1991). Fähigkeitsunterschiede, Fertigkeitstraining und Leistungsniveau. In R. Dauts (Hrsg.). *Sportmotorisches Lernen und Techniktraining* (Schriftreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, 76, Teil 1, S. 33-52). Schorndorf: Hofmann.
- Wexler, M., Kosslyn, S. M., & Berthoz, A. (1998). Motor processes in mental rotation. *Cognition*, 68, 77-94.
- Wichmann, E., Hohmann, A., & Seidel, I. (2004). Antizipation im Sportspiel Volleyball. Untersuchungen zur Antizipationsleistung in typischen Spielsituationen bei Volleyballspielerinnen unterschiedlicher Altersklassen. In A. Hökelmann, D. Lühnenschloß, B. Dierks, & P. Blaser (Hrsg.), *Sporttheorie trifft Praxis. Aktuelle bewegungs- und trainingswissenschaftliche Facetten sportlicher Bewegungen* (S. 181-192). Hamburg: Dr. Kovac.
- Wiedenbauer, G. (2006). Manuelles Training mentaler Rotation. *Dissertation an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf*.
- Wiedenbauer, G., & Jansen-Osmann, P. (2006a). Spatial knowledge of children with spina bifida in a virtual large scale space. *Brain and Cognition*, 62, 120-127.
- Wiedenbauer, G., & Jansen-Osmann, P. (2006b). Die räumlich-kognitiven Fähigkeiten von Kindern mit spina bifida. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 17, 149-154.
- Wiedenbauer, G., & Jansen-Osmann, P. (2007). Mental rotation ability of children with spina bifida: What influence does manual rotation training have? *Developmental Neuropsychology*, 32, 809-824.
- Wiedenbauer, G., & Jansen-Osmann, P. (2008). Manual training of mental rotation in children. *Learning and Instruction*, 18, 30-41.
- Wiedenbauer, G., Schmid, J., & Jansen-Osmann, P. (2007). Manual training of mental rotation. *European Journal of Cognitive Psychology*, 19, 17-36.
- Wiest, M. J., Diefenthaler, F., Bolli Mota, C., & Carpes, F. P. (2011). Changes in postural stability following strenuous running and cycling. *Journal of Physical Education and Sport*, 11(4), 406-413.

- Williams, A. M., & Ward, P. (2003). Perceptual expertise: Development in sport. In J. L. Starkes & K. A. Ericsson (Eds.), *Expert performance in sports* (pp. 219-249). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Willimczik, K., Meierarend, E.-M., Pollmann, D., & Reckeweg, R. (1999). Das beste motorische Lernalter – Forschungsergebnisse zu einem pädagogischen Postulat und zu kontroversen empirischen Befunden. *Sportwissenschaft*, 29, 41-61.
- Willimczik, K., & Singer, R. (2009). Motorische Entwicklung: Gegenstandsbereich. In J. Baur, K. Bös, A. Conzelmann, & R. Singer (Hrsg.), *Handbuch Motorische Entwicklung* (2. Aufl., S. 15-24). Schorndorf: Hofmann.
- Willimczik, K., Voelcker-Rehage, C., & Wiertz, O. (2006). Sportmotorische Entwicklung über die Lebensspanne – Empirische Befunde zu einem theoretischen Konzept. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 13(1), 10-22.
- Wilson, P. H., Maruff, P., Butson, M., Williams, J., Lum, J., & Thomas, P. R. (2004). Internal representation of movement in children with developmental coordination disorder: a mental rotation task. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 46, 754-759.
- Witkin, H. A., Dyk, R. B., & Faterson, H. F. (1962). *Psychological differentiation*. New York: Wiley.
- Witkin, H. A., Oltman, P. K., Raskin, E., & Karp, S. A. (1971). *A manual for the Embedded Figures Test*. Palo Alto, Calif.: Consulting Psychologists Press.
- Wohlschläger, A., & Wohlschläger, A. (1998). Mental and manual rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 397-412.
- Wollny, R. (2002). *Motorische Entwicklung in der Lebensspanne – Warum lernen und optimieren manche Menschen Bewegungen besser als andere?* Schorndorf: Hofmann.
- Wollny, R. (2007). *Bewegungswissenschaft. Ein Lehrbuch in 12 Lektionen*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Wolpert, D. M. (1997). Computational approaches to motor control. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 209-216.

- 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.
- Yang, C. F., Hooven, C. K., Boynes, M., Gray, P. B., & Pope, H. G. Jr., (2007). Testosterone levels and mental rotation performance in Chinese men. *Hormones and Behavior, 51*, 373-378.
- Yuille, J. C., & Steiger, J. H. (1982). Nonholistic processing in mental rotation: Some suggestive evidence. *Perception & Psychophysics, 31*, 201-209.
- Zaciorskij, V. M. (1972). *Die körperlichen Eigenschaften des Sportlers*. Berlin, München, Frankfurt: Bartels & Wernitz.
- Zawieja, M. (2008). *Leistungsreserve Hanteltraining. Handbuch des Gewichthebens für alle Sportarten*. Münster: Philippka.
- Zimmer, H. (1984). *Zur Struktur der koordinativen Leistungsfähigkeit jüngerer trainierender Erwachsener und Möglichkeiten ihrer Erfassung. Ein Beitrag zur Theorie koordinativer Fähigkeiten*. Dissertation, Deutsche Hochschule für Körperkultur. Leipzig.
- Zimmer, R., & Volkamer, M. (1987). *Manual zum standardisierten motorischen Test für vier- bis sechsjährige Kinder*. Belz: Weinheim.
- Zimmermann, K., & Rostock, J. (2002). Koordinationstraining zwischen Generalität und Spezifität. In G. Ludwig, & B. Ludwig (Hrsg.), *Koordinative Fähigkeiten – koordinative Kompetenz* (S. 233-237). Kassel: Universität Kassel, Fachrichtung Psychologie.
- Zimmermann, M. (1987). Das somatoviscerale sensorische System. In R. F. Schmidt, & G. Thews (Hrsg.), *Physiologie des Menschen* (S. 207-233). Berlin [u.a.]: Springer.
- Zintl, F., & Eisenhut, A. (2009). *Ausdauertraining. Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung* (7. Aufl.). München: Blv.

Anhang

Anhang A: Zahlenverbindungstest (Beispielblatt; Oswald & Roth, 1997)

Anhang B: Trainingsinhalte der Interventionsgruppen aus Studie 4
(Gerätturnen/Volleyball)

Anhang A: Zahlenverbindungstest (Beispielblatt; Oswald & Roth, 1997)

1	7	6	14	12	18	19	21	22	23
2	5	8	13	15	11	17	20	24	26
3	3	4	9	10	16	29	30	27	25
4	78	83	84	85	86	31	28	34	35
5	74	79	82	87	88	32	33	38	36
6	72	81	80	90	89	49	39	40	37
7	65	64	63	58	50	48	47	46	41
8	66	62	59	56	57	51	53	45	42
9	68	67	61	60	55	54	52	43	44

ANFANG

ENDE

Anhang B: Trainingsinhalte der Interventionsgruppen aus Studie 4

Studie 4: Interventionsgruppe Gerättturnen

Trainingsinhalt	
Einheit 1:	Akrobatik Spannungsübungen Vertrauensübungen Zweierpyramiden Gruppenpyramiden
	Einnahme und Halten unterschiedlicher und neuer Körperpositionen durch Teilrotationen um Körperlängs-, Körperbreiten- und Körpertiefenachse
Einheit 2:	Rollbewegungen Rolle vorwärts Rolle rückwärts Rolle seitwärts Flugrolle
	Getrennte Rotationen um alle Körperachsen in gehockter Ausführung bei momentaner Drehachse
Einheit 3:	Räder Rad links Rad rechts Radwende
	Rotationen vor allem um die Körpertiefenachse mit unterschiedlichen Drehrichtungen bei kurzzeitig fester Drehachse
Einheit 4:	Handstützüberschlag Handstand mit Überkippen Handstützüberschlag vom Kasten Handstützüberschlag von der schiefen Ebene Handstützüberschlag mit Anlauf
	Vorwärtsrotationen um die Körperbreitenachse in unterschiedlichen Geschwindigkeiten um kurzzeitig feste und freie Drehachsen
Einheit 5:	Flick-Flack Handstützüberschlag rückwärts vom Kasten Handstützüberschlag rückwärts vom Trampolin Handstützüberschlag rückwärts von der schiefen Ebene
	Rückwärtsrotationen um die Körperbreitenachse in unterschiedlichen Geschwindigkeiten um kurzzeitig feste und freie Drehachsen
Einheit 6:	Saltobewegungen Wandsalto rückwärts Salto rückwärts an den Ringen Salto vorwärts mit Trampolin
	Rotationen vorwärts und rückwärts um die Körperbreitenachse in unterschiedlichen Geschwindigkeiten bei freier Drehachse
Einheit 7:	Erstellen von Übungsverbindungen aus den erlernten Bodenelementen Unterschiedliches Aneinanderreihen der erlernten Elemente zu Übungsverbindungen
	Rotationen in mehrere Bewegungsrichtungen um alle Drehachsen in unterschiedlichen Kombinationen
Einheit 8:	Auf- und Umschwünge Hüftaufschwung vorlings rückwärts Hüftabzug vorlings vorwärts Hüftabzug rücklings rückwärts Hüftumschwung vorlings rückwärts
	Rotationen vorwärts und rückwärts um die Körperbreitenachse bei fester bzw. annähernd fester Drehachse und unterschiedlicher Stellung zum Gerät
Einheit 9:	Kippbewegungen Aufstemmen mit Kasten
	Teilrotationen vorwärts und rückwärts

	Liegehangkippe mit Kasten Rückfallkippe Kippaufschwung vorlings vorwärts	um die Körperbreitenachse bei fester Drehachse und kontrollierter Änderung der Drehrichtung bei unterschiedlicher Geschwindigkeit
Einheit 10:	Wiederholung und Übungsverbindungen erlernter Reckelemente	
	Erlernen von Übungsverbindungen der in Einheit 8 und 9 geturnten Elemente am Reck	Zusammenfügen unterschiedlicher Teilrotationen um die Körperbreitenachse bei Änderung von Drehrichtung und Drehgeschwindigkeit

Zur Darstellung konkreter Übungsformen zum Erlernen der aufgeführten Technikelemente wird unter anderem auf Gerling (2009), Härtig und Buchmann (2004) sowie Leirich, Bernstein und Gwizdek (2007) verwiesen.

Studie 4: Interventionsgruppe Volleyball

	Trainingsinhalt
Einheit 1:	Annahme – Bagger mit Übungsformen zur Technik Fähigkeit zu präziser Bewegungsregulation Auge-Ball-Hand-Körper-Koordination Präzisionsdruck
Einheit 2:	Annahme und Zuspiel in einen Zielbereich Exaktes Timing und Antizipation Fähigkeit zur motorischen Anpassung und Umstellung Technikstabilisierung und Zielpräzision
Einheit 3:	Spiel- und Übungsformen zur Verbesserung der Annahme Spiel 3:3 Fähigkeit zur Koordination unter Zeitdruck Anpassung und Variation von Technikelementen Präzisions-, Zeit-, Komplexitätsdruck Raumorientierung
Einheit 4:	Oberes Zuspiel mit Übungsformen zur Technik Schnelles Anbieten und Orientieren Auge-Ball-Hand-Körper-Koordination Präzisionsdruck Raumorientierung
Einheit 5:	Oberes Zuspiel aus und auf unterschiedliche(n) Positionen mit Spiel- und Übungsformen zu Technik und Taktik Individuelles Lösen variabler, komplexer Spielsituationen Schulung der Technikvariabilität Präzisions-, Komplexitätsdruck Automatisierung charakteristischer Zeitstrukturen
Einheit 6:	Spiel- und Übungsformen zur Verbesserung des oberen Zuspiels Spiel 4:4 Erfassen komplexer Spielsituationen mit einzelnen Details Reagieren innerhalb des Mannschaftsgefüges Präzisions-, Situations-, Komplexitätsdruck Technikstabilisierung und -variabilität
Einheit 7:	Schmetterschlag mit Übungsformen zur Technik Handeln unter hohem Präzisions- und Zeitdruck Auge-Ball-Hand-Körper-Koordination Technikstabilisierung und -variabilität
Einheit 8:	Sicherungsarbeit (Blocksicherung) Spiel 4:4 Handeln mit hohem Präzisions- und Zeitdruck Unterscheidung komplexer Spielsituationen Gruppentaktisches Richtungsspiel Raumorientierung
Einheit 9:	Allgemeines Abwehrtraining mit Spiel- und Übungsformen zu Technik und Taktik Spiel 6:6 Blicksprünge und Tiefensehen Räumliche Orientierung in Bezug zu Gegner und Ball Hoher Komplexitäts- und Situationsdruck durch wechselnde Spielsequenzen

Technikstabilisierung und angepasstes strukturelles und positionelles Umschalten

Einheit 10: Spiel 6:6

Perspektiv- und Dimensionswechsel unter Zeitdruck

Variabilitätsdruck durch schnellen Abruf verschiedener Handlungsalternativen

Sich Anbieten und Orientieren

Gesamtzusammenhang von Spielsystemen verstehen

Komplexitäts- und Belastungsdruck

Konkrete Beispiele zu Spiel- und Übungsformen im Volleyball sind unter anderem nachzulesen bei Kittsteiner und Hilbert (2011), König (2008) sowie Papageorgiou und Czimek (2009).