

**Mentale Rotation bei Grundschulkindern:  
Zusammenhang mit motorischen Fähigkeiten und Einfluss  
motorischer Prozesse**

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

vorgelegt von  
Jan Peter Florian Kellner  
aus Herrsching am Ammersee

Regensburg, September 2014

Gutachterin (Betreuerin): Prof. Dr. Petra Jansen

Gutachter: Prof. Dr. Hans Gruber

# Inhalt

1	Abstract / Kurzfassung .....	5
2	Einleitung / Literaturübersicht.....	6
2.1	Mentale Rotation .....	7
2.1.1	Die räumlich-kognitiven Fähigkeiten.....	7
2.1.2	Das Paradigma der mentalen Rotation .....	9
2.1.3	Der Einfluss unterschiedlichen Stimulusmaterials .....	11
2.1.4	Lösungsstrategien mentaler Rotationsaufgaben .....	13
2.1.5	Mentale Rotation bei Kindern .....	14
2.1.6	Geschlechtsdifferenzen bei der mentalen Rotation .....	16
2.2	Motorik und mentale Rotation.....	19
2.2.1	Motorische Prozesse und mentale Rotation.....	19
2.2.2	Neurowissenschaftlicher Forschungsstand.....	22
2.2.3	Motorische Fähigkeiten und mentale Rotationsfähigkeit.....	24
2.3	Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstandes .....	26
3	Experimente.....	29
3.1	Experiment 1 .....	29
3.1.1	Methode.....	29
3.1.2	Versuchsdurchführung .....	32
3.1.3	Statistische Auswertung.....	33
3.1.4	Ergebnisse.....	34
3.1.5	Diskussion .....	37
3.2	Experiment 2 .....	40

3.2.1	Methode.....	42
3.2.2	Versuchsdurchführung.....	45
3.2.3	Statistische Auswertung.....	46
3.2.4	Ergebnisse.....	48
3.2.5	Diskussion .....	55
3.3	Experiment 3 .....	61
3.3.1	Methode.....	62
3.3.2	Versuchsdurchführung.....	66
3.3.3	Statistische Auswertung.....	66
3.3.4	Ergebnisse.....	69
3.3.5	Diskussion .....	74
4	Abschlussdiskussion.....	80
4.1	Mentale Rotation .....	80
4.2	Geschlechtsdifferenzen.....	82
4.3	Zusammenhang zwischen motorischen Fähigkeiten und mentaler Rotationsfähigkeit.....	82
4.4	Interferenz zwischen motorischen Prozessen oder Intentionen und mentaler Rotation .....	86
4.5	Zusammenfassung und Ausblick.....	90
5	Literatur .....	93

## **1 Abstract / Kurzfassung**

In dieser Arbeit wird der Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der kognitiven Fähigkeit der mentalen Rotation, der Fähigkeit sich einen Gegenstand beliebig gedreht vorstellen zu können, bei Kindern im Grundschulalter untersucht. Zusätzlich wird mittels eines Interferenzparadigmas überprüft, ob motorische Prozesse, wie sie z. B. zum Drehen eines Knopfes mit der Hand benötigt werden, an der mentalen Rotation beteiligt sind. Außerdem wurde untersucht, ob die motorischen Fähigkeiten einen Einfluss auf die Beteiligung solcher motorischer Prozesse an der mentalen Rotation haben. Anhand der Ergebnisse kann festgehalten werden, dass der Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsfähigkeit von mehreren Faktoren moduliert wird. Werden durch das Stimulusmaterial oder durch motorische Aufgaben mit Bezug zur mentalen Rotation die Verwendung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation implizit angeregt, lässt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten der Kinder und der mentalen Rotationsfähigkeit nachweisen. Kinder mit ausgeprägteren motorischen Fähigkeiten machen weniger Fehler im mentalen Rotationstest als Kinder mit weniger ausgeprägten motorischen Fähigkeiten. Außerdem konnte bei 7-8 jährigen Jungen eine Interferenz zwischen dem Drehen eines Knopfes in die eine Richtung und der gleichzeitigen mentalen Rotation in die entgegengesetzte Richtung festgestellt werden. Stimmen mentale und manuelle Drehrichtung überein, sind die mittleren Reaktionszeiten um 300ms schneller als wenn die Drehrichtungen inkompatibel sind. In einem weiteren Experiment konnte eine Interferenz allein durch einen der mentalen Rotation entgegengesetzten Bewegungsplan nachgewiesen werden. 7-8 Jährige Mädchen und Jungen hatten um 430ms längere Reaktionszeiten wenn sie während der mentalen Rotation den Bewegungsplan für eine inkompatible Handbewegung aufrechterhalten mussten, als wenn mentale Rotation und Bewegungsplan für eine Handbewegung die gleiche Richtung hatten. Ein Zusammenhang

zwischen den motorischen Fähigkeiten und den Interferenzerscheinungen konnte nicht nachgewiesen werden.

## **2 Einleitung / Literaturübersicht**

In der kognitiven Forschung gewinnt der Ansatz des „Embodiments“ einen immer größeren Stellenwert. Diesem Ansatz zufolge spielen einfache senso-motorische Interaktionen mit der Umwelt eine wichtige Rolle bei der Entwicklung höherer kognitiver Fähigkeiten (Wheeler & Clark, 2008). Die Theorie des “Embodiments” geht davon aus, dass kognitive Prozesse tief in der Interaktion des Körpers mit der Umwelt verwurzelt sind. Sensorische und motorische Prozesse, die ursprünglich für die Wahrnehmung und das Handeln entstanden sind, können ohne Bezug zur Umwelt, quasi „off-line“, verwendet werden, um Teile der realen Umwelt zu simulieren. Mittels solcher Simulationen werden Informationen repräsentiert oder Schlussfolgerungen gezogen. Dadurch können sensorische und motorische Ressourcen auch bei kognitiver Aktivität beansprucht werden, die nichts mit der Bewegungssteuerung zu tun hat (Wilson, 2002). In der Literatur finden sich viele Beispiele, die die Relation zwischen körperlicher Aktivität, motorischen Fähigkeiten und kognitiven Fähigkeiten beschreiben. Unter den kognitiven Fähigkeiten sticht speziell die mentale Rotationsfähigkeit – die Fähigkeit, sich vorzustellen, wie ein Stimulus aussehen würde, wenn er gedreht würde (Shepard & Metzler, 1971) – als Gegenstand vieler verschiedener Studien hervor, die diese Verbindung zwischen Körper und Geist erforschen. Diese Arbeit stellt die Forschungsergebnisse von drei Experimenten vor. In diesen Experimenten wurde untersucht, wie die kognitive Fähigkeit der mentalen Rotation bei Kindern im Grundschulalter durch die motorischen Fähigkeiten beeinflusst wird und in welchem Maße Kinder motorische Ressourcen zur Lösung mentaler Rotationsaufgaben nutzen. In der folgenden Einleitung wird ein Überblick über die Literatur, die für die Entwicklung der Fragestellungen dieser Arbeit

wichtig ist und die die Einordnung der Ergebnisse der durchgeführten Experimente vor dem Hintergrund des bestehenden Kenntnisstandes erlaubt, gegeben.

## 2.1 Mentale Rotation

### 2.1.1 Die räumlich-kognitiven Fähigkeiten

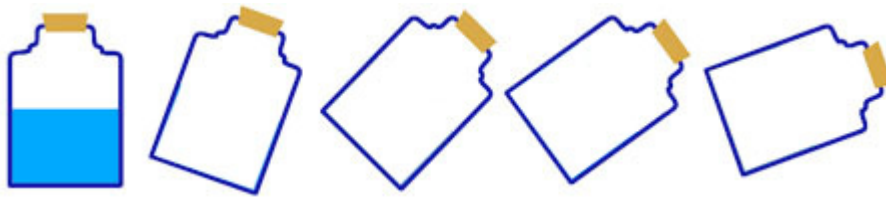
Räumlich-kognitive Fähigkeiten ermöglichen dem Menschen die Interaktion mit seiner Umwelt. Die räumlich-kognitiven Fähigkeiten werden als wichtiger Teil der menschlichen Intelligenz gesehen und tragen dazu bei, mathematische und wissenschaftliche Problemstellungen zu verstehen (Halpern, 2000). Um die mentale Rotation als kognitive Fähigkeit einzuordnen, sollen hier die räumlich-kognitiven Fähigkeiten näher beschrieben werden. Eine häufig gebrauchte Definition der räumlichen Fähigkeiten stützt sich auf eine Metaanalyse von Linn und Petersen (1985). Die Autoren beschreiben die räumlichen Fähigkeiten als kognitive Leistung, symbolische, nichtsprachliche Information zu repräsentieren, zu transformieren, zu generieren und abzurufen. In ihrer Metaanalyse werden die räumlichen Fähigkeiten auf drei Faktoren aufgeteilt: mentale Rotation, räumliche Veranschaulichung (*spatial visualization*) und räumliche Orientierung (*spatial perception*). Diese drei Faktoren sollen hier anhand exemplarischer Tests, die auf diesen Faktor laden, näher veranschaulicht werden:

*Räumliche Orientierung* (*spatial perception*), die das Finden geometrischer Figuren in einem Suchbild beinhaltet; in diesem Fall muss ein Dreieck gefunden werden.



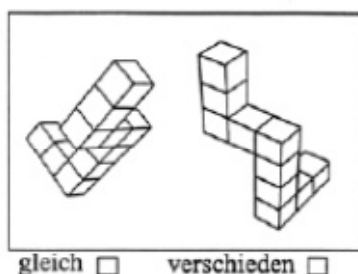
Abb. 1: Aufgabe aus dem Embedded Figure Test (Witkin, Oltman, Raskin, & Karp, 1971)

*Räumliche Veranschaulichung* (spatial visualization), hier muss beispielsweise für ein gekipptes Glas der richtige Wasserspiegel gefunden und eingezeichnet werden.



**Abb. 2: Wasserspiegel-Test (Piaget & Inhelder, 1956)**

Und *mentale Rotation* (mental rotation), welche Entscheidungsaufgaben beinhaltet, ob bestimmte gedrehte Objekte identisch oder gespiegelt sind.



**Abb. 3: Mentaler Rotationstest (Vandenberg & Kuse, 1978)**

Diese klassische Einteilung in drei verschiedene Arten von räumlich-kognitiven Fähigkeiten wird immer noch häufig benutzt. Es gibt aber auch Kritiker, so wie Hegarty, Waller, Shah und Miyake (2005), die die sogenannten „environmental spatial abilities“ bei dieser Unterteilung vermissen. Diese schließen das Verhalten in einem Umgebungsraum („large-scale environment“) mit ein, d. h. in einem Raum, in den der Beobachter integriert ist, der aber vom Standpunkt des Beobachters nicht ganz eingesehen werden kann. Solche Räume können zum Beispiel Gebäude, Plätze oder Städte sein. Hegarty et al. (2005) bezeichnen die klassischen räumlich-kognitiven Fähigkeiten deshalb als „small-scale“ Fähigkeiten, da diese in einem kleinen, vom Beobachterstandpunkt vollständig überschaubaren Raum stattfinden. „Small-scale“ und „large-scale“ Fähigkeiten scheinen nicht unabhängig voneinander zu sein. So berichten Thorndyke und Goldin (1983) über positive Zusammenhänge zwischen den „small-



scale“ und den „large-scale“ Fähigkeiten.

Die mentale Rotation, als eine der drei Faktoren der klassischen räumlich-kognitiven Fähigkeiten, hat eine große Bedeutung bei der Beurteilung der räumlichen Intelligenz. Zudem ist sie klarer umschrieben als die beiden anderen Faktoren. Aufgrund dieser Umstände ist die mentale Rotation die am häufigsten untersuchte räumliche Fähigkeit. In einer Untersuchung von Lohaus (1999) wurde ein Zusammenhang zwischen dem Faktor räumliche Veranschaulichung und der mentalen Rotation bei Kindern im Alter zwischen 7 und 15 Jahren gefunden. Dieses Ergebnis lässt an der völligen Unabhängigkeit der drei Faktoren bei Kindern zweifeln. Um eine bessere Einordnung der Ergebnisse zu gewährleisten, soll in dieser Arbeit die mentale Rotation als räumliche Fähigkeit untersucht werden.

### **2.1.2 Das Paradigma der mentalen Rotation**

Bildliche Vorstellungen sind Teil der menschlichen Intelligenz. Im Gegensatz zu verbalen Vorstellungen beinhalten sie auch räumliche und visuelle Eigenschaften (Takano & Okubo, 2006). Wenn man ein Objekt nicht manuell drehen kann und auch den Kopf nicht drehen kann, um es aus einer anderen Perspektive zu betrachten, so ist es Menschen trotzdem möglich, es mental zu drehen. Es erfolgt keine wirkliche Drehung des Objekts, sondern gedreht wird dessen mentale Repräsentation (Wexler, Kosslyn, & Berthoz, 1998). Die erste Studie zur mentalen Rotation erschien unter dem Titel „Mental Rotation of Three-Dimensional Objects“ in der Zeitschrift *Science* im Februar 1971. Roger N. Shepard und Jacqueline Metzler von der Stanford University maßen die Zeit, die acht Probanden benötigten, um dreidimensionale Würfelfiguren aus verschiedenen Winkeln mental in die Ausgangsposition zu drehen. Den Probanden wurden jeweils zwei Stimuli gleichzeitig präsentiert. Sie sollten entscheiden, ob es sich beim Vergleichsstimulus um eine in der Bildebene oder Bildtiefe gedrehte Version oder aber um eine Spiegelung des ersteren handelte. Die abhängigen Variablen waren die Reaktionszeit bis zur Entscheidung und die

Anzahl der Fehler. Dabei entdeckten Shepard und Metzler (1971) einen linearen Anstieg der Reaktionszeiten mit steigender Winkeldisparität. Zwischen einer Drehung in der Bildebene und in der Bildtiefe konnte dabei kein Unterschied gefunden werden. Dieser lineare Anstieg der Reaktionszeit zeigt, dass der eine Stimulus tatsächlich mental in die gleiche Ausrichtung wie der andere rotiert wird, um eine Entscheidung über identisch / gespiegelt zu treffen. Es wurde geschlussfolgert, dass die Transformation mentaler Repräsentationen den gleichen räumlich-zeitlichen Bedingungen folgt wie wahrgenommene Bewegungen in der realen Welt (Metzler & Shepard, 1986). Anhand der linearen Beziehung zwischen der Winkeldisparität und den Reaktionszeiten kann eine Regressionsgerade berechnet werden, die den Anstieg der Reaktionszeiten mit steigendem Winkel repräsentiert. Die Steigung der Regressionsgeraden und der Schnittpunkt mit der y-Achse sind dabei von besonderem Interesse. Cooper und Shepard (1973) nahmen an, dass die mentale Rotation sich aus vier aufeinander folgenden kognitiven Prozessen zusammensetzt: Stimulusenkodierung, mentale Rotation, Vergleich und motorische Reaktion bei der Antwort. Der Ablauf dieser Prozesse konnte mittels einer EEG Studie von Heil und Rolke (2002) bestätigt werden. Der einzige Prozess, der dabei von der Winkeldisparität beeinflusst wird, ist die mentale Rotation. Somit repräsentiert der Schnittpunkt mit der y-Achse die Dauer, die für die drei Prozesse Stimulusenkodierung, Vergleich und motorische Reaktion benötigt wird, während die Steigung der Regressionsgeraden Auskunft über den Rotationsprozess liefert. Der invertierte Wert der Steigung liefert die Geschwindigkeit, mit der ein Stimulus mental rotiert wird. Die Würfelfiguren im Experiment von Shepard und Metzler (1971) wurden beispielsweise mit etwa 60°/s mental rotiert.

Seit den Anfängen der Forschung zur mentalen Rotation wurden unzählige Untersuchungen mit diesem Konstrukt durchgeführt und mentale Rotation wird beispielsweise mit anderen

kognitiven Bereichen wie Problemlösen (Geary, Sauls, Liu, & Hoard, 2000) oder dem Erwerb mathematischer Fähigkeiten in Verbindung gebracht (Hegarty & Kozhevnikov, 1999).

### **2.1.3 Der Einfluss unterschiedlichen Stimulusmaterials**

In diesem Abschnitt soll darauf eingegangen werden, wie sich unterschiedliche Stimuli im Allgemeinen auf den Prozess der mentalen Rotation auswirken. Auf Besonderheiten bei Untersuchungen mit Kindern wird im nächsten Kapitel hingewiesen. Shepard und Metzler (1971) maßen eine Rotationsgeschwindigkeit von etwa 60°/s bei dreidimensionalen Würfelfiguren. Dagegen war die Rotationsgeschwindigkeit bei einer Studie von Cooper und Shepard (1973) mit alphanumerischen Zeichen fast sechsmal so hoch. Die daraus gefolgerte Annahme, dass zweidimensionale Reize schneller rotiert werden können als dreidimensionale, wurde später in einer Studie von Shepard und Metzler (1988) widerlegt. Auch der Einfluss der Reizkomplexität auf die Rotationsleistung konnte zunächst nicht eindeutig bestätigt werden. Cooper (1975) zweifelte an den Ergebnissen ihrer Studie mit verschiedenen komplexen zweidimensionalen Polygonen, bei der sich kein signifikanter Effekt für den Faktor Formkomplexität ergab, kam aber ein Jahr später wiederum zu dem gleichen Ergebnis (Cooper & Podgorny, 1976). Dieser fehlende Effekt für den Faktor Komplexität wird von den Autoren darauf zurückgeführt, dass die Probanden sich bei komplexeren Stimuli auf besonders auffällige Merkmale konzentrieren und nur diese vergleichen. In anderen Studien jedoch wirkte sich die Reizkomplexität deutlich negativ auf die Rotationsleistung aus. Birenbaum, Kelly und Levi-Keren (1994) geben an, dass die Probanden in ihrer Studie mit abstrakten Polygonen deutlich mehr Probleme bei Reizen mit mehreren Linien oder vielen Punkten hatten. Folk und Luce (1987) fanden heraus, dass die Komplexität der Reize die Reaktionszeit negativ beeinflusst, allerdings nur, wenn die verwendeten Reize eine große Ähnlichkeit aufwiesen. Überhaupt war bei unähnlichen Stimuli die Rotationsgeschwindigkeit erheblich schneller. Dies erklärten Folk und Luce (1987) dadurch, dass die Probanden bei den

leicht zu unterscheidenden Stimuli nur Teile des präsentierten Stimulus, nicht aber den ganzen Stimulus drehen.

Die Vertrautheit des Stimulusmaterials scheint bei Kindern und Erwachsenen einen wichtigen Einfluss auf die Rotationsleistung zu haben. So betont z. B. Hahn (2010) in einer Untersuchung mit Kindern die Sonderstellung von Buchstaben, da Menschen ständig mit ihnen konfrontiert sind und deshalb sehr vertraut mit ihnen umgehen. Diese Vertrautheit ruft eine bessere Leistung bei Aufgaben mit Buchstaben im Vergleich zu abstrakten Symbolen hervor (Hahn, 2010). In diesem Zusammenhang spielen auch Körperbilder als vertrautes Stimulusmaterial eine wichtige Rolle. In einer Reihe von sechs Experimenten mit Erwachsenen zeigten Amorim, Isableu und Jarraya (2006) den positiven Einfluss von körperlichen Eigenschaften des verwendeten Reizes auf die mentale Rotationsleistung. Sie verglichen zunächst dreidimensionale Shepard/Metzler Würfelfiguren mit Körperbildern. Die Reaktionszeiten für die Objektrotation waren signifikant höher als bei den Körperbildern, stiegen aber unabhängig vom Stimulustyp linear zur Winkeldifferenz an. Auch die Fehlerraten waren bei den Würfelfiguren signifikant höher als bei den Körperbildern. Amorim et al. (2006) gehen davon aus, dass die räumliche Ausrichtung von Körperbildern oder körperähnlichen Bildern leichter erkannt werden kann, da die eigenen Körperachsen auf den Stimulus projiziert werden. Dadurch fällt es dem Probanden leichter, einerseits die Integrität des Stimulus während der Rotation zu bewahren, und andererseits kann der Proband verdeckt ablaufende motorische Prozesse nutzen, um die dargestellte Körperhaltung zu imitieren. Dieser Vorteil für die mentale Rotation von Körperbildern konnte selbst bei atypischen Körperpositionen bestätigt werden. Des Weiteren konnten Amorim et al. (2006) ihre Hypothese bestätigen, dass Würfelfiguren mit angefügtem Kopf schneller und leichter rotiert werden als solche ohne Kopf. Der Kopf verleiht dem Objekt eine körperähnliche Qualität, welche den mentalen Rotationsprozess zu vereinfachen scheint. Zusammenfassend lässt sich

festhalten, dass vertraute Stimuli wie Buchstaben, Zahlen oder Tierfiguren im Vergleich zu abstrakten Figuren (wie z. B. Würfelfiguren) besonders gut rotiert werden können, da das Wahrnehmungssystem des Menschen die Verarbeitung solcher Stimuli gewohnt ist. Dadurch werden diese Stimuli schneller enkodiert, und es fällt leichter, die Integrität des Stimulus während der Rotation aufrecht zu erhalten. Eine besondere Stellung nehmen Körperbilder und Bilder von Körperteilen ein, da zusätzlich zu dem Faktor der Vertrautheit mit dem Stimulusmaterial auch noch die eigenen Körperachsen auf den Stimulus projiziert werden können, wodurch eine intuitive Verarbeitung mit Hilfe der eigenen Bewegungserfahrung möglich wird.

#### **2.1.4 Lösungsstrategien mentaler Rotationsaufgaben**

Es gibt verschiedene Theorien, wie die mentale Rotation im Gehirn erfolgt. Es gibt Vertreter einer holistischen und einer analytischen Rotationsstrategie. Die Autoren Bethell-Fox und Shepard (1988) oder auch Kosslyn (1981) haben versucht zu zeigen, dass die mentale Rotation als Ganzes vonstattengeht, also ein Stimulus holistisch rotiert wird als isomorphes Abbild einer physikalischen Drehung. Sie konnten zeigen, dass die Komplexität des Stimulusmaterials nicht von großer Bedeutung für die Rotationsgeschwindigkeit ist. Hierzu haben Bethell-Fox und Shepard (1988) einen mentalen Rotationstest mit schachbrettartigen Matrizen entworfen und dabei festgestellt, dass es zunächst einen Einfluss der Komplexität dieser Matrizen auf die Rotationsgeschwindigkeit gibt, mit fortschreitendem Training dieser Effekt jedoch immer weiter verschwindet. Die Autoren interpretieren diese Ergebnisse dahingehend, dass zu den komplexen Stimuli durch Übung ganzheitliche mentale Repräsentationen gebildet wurden. Diese ganzheitlichen Repräsentationen können dann holistisch rotiert werden. Damit spielt die Komplexität der Stimuli keine Rolle mehr.

Pylyshyn (1979) sowie Yuille und Steiger (1982) vermuten, dass mentale Rotation analytisch geschieht, d. h. dass alle Einzelkomponenten für sich rotiert werden und anschließend

verglichen wird, ob beide Objekte identisch sind. Yuille und Steiger (1982) kritisieren an den vorliegenden Veröffentlichungen zu diesem Thema, dass es keine einheitliche Definition für Komplexität bei solchen Aufgaben gibt. In ihrer Arbeit haben die Autoren verschiedene Würfelfiguren erstellt, bei denen sie die klassischen Shepard/Metzler Würfelfiguren so verändert haben, dass in ihren Augen komplexere und wenig komplexe Figuren entstanden. Der Einfluss dieser Komplexität zeigte sich durch einen deutlichen Anstieg der Reaktionszeiten bei den „schwereren“ Figuren. Das dürfte bei einer holistischen Sichtweise so nicht geschehen, deshalb schlossen die Autoren daraus, dass eine analytische, d. h. stückweise Rotation stattgefunden hat.

Es wird vermutet, dass bei einfacheren mentalen Rotationsaufgaben eine holistische Rotationsstrategie zum Tragen kommt, während bei komplexeren Aufgaben die Rotation analytisch geschieht. Durch intensives Üben mit komplexen Stimuli werden ganzheitliche Repräsentationen gebildet, die auch holistisch rotiert werden können (Kail, 1986). Auf diese Art lassen sich auch die guten Leistungen bei der mentalen Rotation von relativ komplexen alphanumerischen Zeichen erklären.

### **2.1.5 Mentale Rotation bei Kindern**

Vier Jahre nach der Studie von Shepard und Metzler untersuchte Marmor (1975) die mentale Rotation bei Kindern, indem sie ihnen im Rahmen einer „same-different“ Aufgabe paarweise Bilder von Eistüten und Pandabären präsentierte. Die Kinder sollten möglichst schnell erkennen, ob das Vergleichsbild identisch oder gespiegelt war. Der lineare Anstieg der Reaktionszeiten mit steigender Winkeldifferenz bei den fünfjährigen und achtjährigen Kindern legt nahe, dass mentale Rotationsprozesse stattgefunden haben. In einer Folgestudie konnte Marmor (1977) nachweisen, dass bereits Kinder im Alter von vier Jahren fähig sind, mental zu rotieren. Allerdings ist die Rotationsgeschwindigkeit bei Fünfjährigen schon mehr als doppelt so hoch und bei Erwachsenen sechsmal so hoch. In Studien zur Blickdauer wurden

Vorläufer der mentalen Rotationsfähigkeit schon bei 4 Monate alten Kindern gefunden (Rochat & Hespos, 1996; Hespos & Rochat, 1997). Jedoch mussten die Kinder bei diesen Aufgaben die mentale Rotation nicht selbst starten, sondern nur eine angefangene, beobachtete Bewegung fortführen. Frick und Wang (2014) konnten zeigen, dass 16 Monate alte Kinder unwahrscheinliche Ausgänge von Objektrotationen deutlich länger ansahen, selbst wenn sie die Rotation selbst initiieren mussten. Bei 14 Monate alten Kindern konnte dieses Verhalten nicht gefunden werden. Jedoch konnte gezeigt werden, dass die 14 Monate alten Kinder nach einem zweiminütigen motorischen Training mit einer Drehscheibe einen unwahrscheinlichen Ausgang eines mentalen Rotationsvorgangs auch länger betrachteten als einen wahrscheinlichen. Die Fähigkeit, einen Gegenstand mental zu rotieren, scheint in diesem frühen Alter zwar vorhanden zu sein, aber die Ausprägung dieser Fähigkeit ist noch nicht voll entwickelt, erfahrungsabhängig und unterliegt großen interindividuellen Unterschieden. In Studien mit Kleinkindern im Alter von 3,5 bis 5,5 Jahren (Frick, Ferrara, & Newcombe, 2013) und 4 Jahren (Estes, 1998) konnte im Gegensatz zur Untersuchung von Marmor (1975) nur bei einem Teil der Kinder tatsächlich eine mit zunehmendem Winkel linear ansteigende Reaktionszeit gefunden werden. In weiteren Studien konnte gezeigt werden, dass die meisten Kinder im Alter von 5 Jahren (Kosslyn, Margolis, Barrett, Goldknopf, & Daly, 1990) bzw. 6 Jahren (Estes, 1998) in der Lage sind, einfache und auch komplexere Figuren mental zu rotieren. Vor allem wenn die Aufgabe vorher geübt wurde, stieg die Performanz der Kinder deutlich an. Im Allgemeinen steigen die mentale Rotationsgeschwindigkeit und auch die Trefferquoten mit zunehmendem Alter an und erreichen in der Pubertät das Niveau von Erwachsenen (Kail, Pellegrino, & Carter, 1980). Untersuchungen an Kindern im Grundschulalter haben gezeigt, dass die Rotation von einfachem, vertrauten Stimulusmaterial wie z. B. Tierfiguren oder Buchstaben von den meisten Kindern recht gut beherrscht wird (Kail et al., 1980; Jansen, Schmelter, Quaiser-Pohl,

Neuburger, & Heil, 2013). Die Komplexität des Stimulusmaterials scheint bei Kindern, mehr noch als bei Erwachsenen, einen deutlichen Einfluss auf die mentale Rotationsleistung zu haben. Courbois (2000) konnte zeigen, dass fünfjährige Kinder große Schwierigkeiten haben, Stimuli ohne saliente Achsen, mental zu rotieren. Komplexeres Stimulusmaterial wie beispielsweise Würfelfiguren, selbst wenn sie nur in der Bildebene rotiert werden, führen zu sehr großen Fehlerraten und scheinen zu schwer für Kinder im Grundschulalter zu sein (Jansen et al., 2013). Da in dieser Arbeit der Einfluss der motorischen Fähigkeiten und die Rolle motorischer Prozesse bei Kindern zwischen 7 und 10 Jahren untersucht werden soll, wird nur vertrautes Stimulusmaterial für den mentalen Rotationstest verwendet. In Experiment 1 dieser Arbeit wurde zusätzlich zum Einfluss der motorischen Fähigkeiten auf die mentale Rotationsfähigkeit auch der Einfluss verschiedenen Stimulusmaterials überprüft. Neben Tierfiguren und Buchstaben wurden auch Körperbilder verwendet. Weitere Besonderheiten, die sich bei der Untersuchung der mentalen Rotation von Kindern ergeben, werden im Folgenden unter den einzelnen Aspekten gesondert berücksichtigt.

### **2.1.6 Geschlechtsdifferenzen bei der mentalen Rotation**

In mentalen Rotationstests werden häufig Geschlechtsunterschiede zugunsten der Männer gefunden. In einer Meta-Analyse von Voyer, Voyer und Bryden (1995) wurden alle relevanten bis 1993 veröffentlichten Studien untersucht, die sich mit Geschlechtsunterschieden beim räumlichen Vorstellungsvermögen beschäftigen. In dieser Meta-Analyse wird zwischen psychometrischen Papier und Bleistift-Tests und chronometrischen Paradigmen, wie dem Originaltest von Shepard und Metzler (1971), unterschieden. Bei den psychometrischen Tests, wie z. B. dem *Mental Rotation Test* von Vandenberg und Kuse (1978), handelt es sich um einen Speed-Power-Test, bei dem nur eine Gesamtpunktzahl ermittelt wird. Reaktionszeiten finden hier keine Berücksichtigung. In den psychometrischen Studien wurde ein erheblicher Geschlechtsunterschied gefunden ( $d = .67$ ), während bei den chronometrischen Studien ein



deutlich kleinerer Effekt ( $d = .37$ ) festzustellen war. Bei der Hälfte der chronometrischen Studien konnte überhaupt kein Geschlechtseffekt nachgewiesen werden. Während also ein Geschlechtsunterschied in psychometrischen Tests zur mentalen Rotation als gesichert gilt, ist die Datenlage bei chronometrischen Tests nicht so eindeutig. Die Meta-Analyse zeigt jedoch, dass in einigen Fällen signifikante Geschlechtsunterschiede zugunsten von Männern existieren. In einer aktuellen Studie, in der die Rotationsleistung von Grundschulkindern in psychometrischen und chronometrischen Tests miteinander verglichen wird, zeigte sich in beiden Bedingungen ein leichter Vorteil für die männlichen Probanden (Quaiser-Pohl, Neuburger, Heil, Jansen & Schmelter, 2014).

Hinsichtlich der Ursachen dieses Geschlechtsunterschiedes gibt es verschiedene Theorien, von denen einige empirisch gut belegt sind. Es gibt Studien, die die unterschiedliche Leistung von Männern und Frauen in einem psycho-sozialen Rahmen zu erklären versuchen, und Studien, in denen biologische oder neuronale Unterschiede verantwortlich gemacht werden. In den psycho-sozialen Theorien werden die Unterschiede auf geschlechtsbedingte Einstellungen und Vorurteile (z. B. Richardson, 1994; Moè & Pazzaglia, 2006) oder auf unterschiedliche, geschlechtsbedingt geprägte Vorerfahrungen (z. B. Baenninger & Newcombe, 1989; Ginn & Pickens, 2005; Halpern, 1986; Nazareth, Herrera & Pruden, 2013) zurückgeführt. Beispielsweise konnten Nazareth et al. (2013) zeigen, dass ein signifikanter Teil der Varianz in einem psychometrischen mentalen Rotationstest durch die Anzahl der „männlichen“ räumlichen Aktivitäten (z. B. technisches Zeichnen oder Modellbau), die die Probanden in ihrer Kindheit und Jugend ausgeübt hatten, erklärt wird. Biologisch-neuronale Ansätze machen genetische und hormonelle Faktoren (z. B. Boles, 1980) oder unterschiedliche kortikale Aktivierung (z. B. Jordan, Wüstenberg, Heinze, Peters & Jäncke, 2002; Roberts & Bell, 2000) für den Geschlechtsunterschied verantwortlich. Unterschiedliche kortikale Aktivierung bei beiden Geschlechtern wird als implizite Anwendung

unterschiedlicher Strategien zur Lösung mentaler Rotationsaufgaben interpretiert. Beispielsweise wurde in der Studie von Jordan et al. (2002) bei Männern, unter anderem, eine stärkere Aktivierung des primären motorischen Kortex gefunden, was als Anwendung einer motorischen „Hands-on“-Strategie gesehen wird. Studien, in denen bei jüngeren Kindern im Gegensatz zu Jugendlichen in der Pubertät keine oder nur geringe Geschlechtsunterschiede gefunden wurden (Newcombe, Bandura & Taylor, 1983; Sanders & Soares, 1986; Waber, 1976), werden oft dahingehend interpretiert, dass hormonelle Faktoren eine entscheidende Rolle spielen, da sich die Geschlechtsunterschiede in der Pubertät verstärken. In der Metaanalyse von Voyer et al. (1995) zeigte sich ein Geschlechtsunterschied jedoch auch für Kinder vor der Pubertät und in einer breit angelegten aktuellen Studie von Jansen et al. (2013) konnten mit einem chronometrischen mentalen Rotationstest bei Kindern im Grundschulalter ein Geschlechtseffekt zugunsten der männlichen Probanden gefunden werden. Jungen machten weniger Fehler und hatten kürzere Reaktionszeiten als Mädchen. Aufgrund eines fehlenden Effekts bei der mentalen Rotationsgeschwindigkeit führen die Autoren deshalb die schnelleren Reaktionszeiten der Jungen auf andere beteiligte Prozesse wie Wahrnehmung und Enkodierung der Stimuli sowie motorische Reaktion bei der Antwort zurück. In der aktuellen Studie von Quaiser-Pohl et al. (2014) konnte sowohl in psychometrischen als auch in chronometrischen Tests ebenfalls ein leichter Geschlechtseffekt bei den Fehlerquoten in derselben Richtung nachgewiesen werden. Zum Teil bestätigen dies auch zwei Experimente zur mentalen Rotation von Hahn (2010), die für ihre Dissertation Geschlechtsunterschiede von Vorschulkindern (4-6 Jahre) in der Lateralisierung mittels EEG erforschte. Im ersten Experiment mit Tierfiguren zeigten Jungen eine deutlich bessere Leistung hinsichtlich der Fehlerrate. Geschlechtsunterschiede waren hier also schon ab dem vierten Lebensjahr zu messen. Bei der zweiten Studie mit Buchstaben zeigten sich zwar keine Geschlechtsunterschiede hinsichtlich der verhaltensbasierten Messung der Rotationsleistung,

es wurden aber bei beiden Studien Unterschiede in der Lateralisierung der Gehirnaktivität gefunden. Während sich die rechtsseitige Hirnaktivität bei den Geschlechtern nicht unterschied, zeigte sich eine deutlich größere Aktivierung der linken Hemisphäre bei den Mädchen. Diese Unterschiede in der Hirnaktivität lassen sich nicht auf den Einfluss von erst in der Pubertät auftretenden Hormonen zurückführen (Hahn, 2010).

Insgesamt betrachtet scheint eine komplexe Interaktion aus psycho-sozialen und biologisch neuronalen Faktoren für einen Geschlechtsunterschied verantwortlich zu sein, der auch bei Kindern auftreten kann. Männliche Probanden machen dabei etwas weniger Fehler und/oder reagieren schneller als weibliche. Aufgrund der aufgeführten Erkenntnisse muss der Faktor Geschlecht in der Untersuchung der mentalen Rotationsfähigkeit auf jeden Fall berücksichtigt werden.

## **2.2 Motorik und mentale Rotation**

Neben den Fragestellungen vieler Untersuchungen, ob und warum Männer bei vielen mentalen Rotationstests besser abschneiden, liegt ein weiterer Schwerpunkt der Forschungen zur mentalen Rotation in der Klärung der Prozesse, die ihr zugrunde liegen. Weit verbreitet ist die Annahme, dass diese mit motorischen Prozessen in Verbindung stehen.

### **2.2.1 Motorische Prozesse und mentale Rotation**

Ebenso wie bei den Studien zu Geschlechtsdifferenzen gibt es zur Beteiligung motorischer Prozesse an der mentalen Rotation mehr Studien mit Erwachsenen als mit Kindern. Deswegen wird hier zuerst auf die Literatur bezüglich erwachsener Probanden eingegangen und anschließend durch Erkenntnisse über die Beziehung zwischen motorischen Prozessen und mentaler Rotation bei Kindern ergänzt.

Die Beteiligung motorischer Prozesse an der mentalen Rotation tritt besonders bei Studien auf, in denen abgebildete Körper oder Körperteile als Stimuli verwendet wurden. In

verschiedenen Studien konnte beispielsweise gezeigt werden, dass die mentale Rotation von abgebildeten Körperteilen durch die anatomische Möglichkeit der abgebildeten Stellung des Körperteils beeinflusst wird. Die Reaktionszeiten stiegen stark an, wenn die abgebildete Stellung des Körperteils ungewöhnlich oder schwierig einzunehmen war (z. B. Parsons, 1987, Pellizzer & Georgopoulos, 1993). Diese Ergebnisse legen nahe, dass motorische Prozesse an der mentalen Rotation von Körperteilen beteiligt sind. Jedoch konnte die Einbeziehung motorischer Prozesse auch bei der mentalen Rotation von Stimulusmaterial, welches keinen Bezug zum Körper hatte, nachgewiesen werden. Chu und Kita (2011) fanden eine bessere mentale Rotationsleistung, wenn die Probanden dazu ermuntert wurden, unterstützende motorische Gesten während der mentalen Rotation von Würfelfiguren zu verwenden. Probanden, die angewiesen wurden, während der mentalen Rotation auf ihren Händen zu sitzen, schnitten im Vergleich schlechter ab. Die bessere Leistung der „Gesten“-Gruppe hielt auch in einem folgenden Block, in dem Gesten unterbunden wurden, weiterhin an. Die Autoren führen diesen Effekt auf eine Internalisierung der Gesten zurück und gehen davon aus, dass Gesten die mentale Verarbeitung räumlicher Transformationen allgemein unterstützen. Lamm, Windischberger, Moser und Bauer (2007) verstehen die motorischen Prozesse bei der mentalen Rotation als implizite Simulation einer tatsächlichen Rotation des Objektes. Auch Wexler et al. (1998) betrachteten mentale Rotation als verdeckte Simulation einer motorischen Rotation. Anstelle der realen Ausführung einer Drehung wird die Drehung bei der mentalen Rotation nur geplant, und das Ergebnis dieser geplanten Rotation mental visualisiert. Teile des motorischen Systems scheinen also dafür zuständig zu sein, wichtige kognitive Vorgänge auszuführen. Wexler et al. (1998) postulierten, dass visuell-motorische Antizipation die treibende Kraft der mentalen Rotation ist. In ihrem Dual-Task-Experiment ließen sie die Probanden einfache zweidimensionale Figuren mental rotieren und gleichzeitig eine motorische Rotation mit einem Joystick in eine bestimmte Richtung ausführen, ohne dass

die Probanden ihre Hand sehen konnten. Zuvor hatten die Probanden geübt, die Handbewegung mit dem Joystick in einem bestimmten Winkel und mit einer bestimmten Geschwindigkeit auszuführen. Es stellte sich heraus, dass kompatible Handbewegungen zu schnelleren Rotationszeiten und weniger Fehlern bei der mentalen Rotation führten als inkompatible. Außerdem wurde die mentale Rotationsgeschwindigkeit von der Geschwindigkeit der motorischen Rotation beeinflusst. Wohlschläger und Wohlschläger (1998) konnten ein ähnliches Ergebnis erzielen und zeigen, dass eine Interferenz zwischen mentaler und motorischer Rotation nur auftritt, wenn die mentale und motorische Rotation in derselben Ebene stattfindet. Damit konnten Wohlschläger und Wohlschläger (1998) ihre „common-processing“-Hypothese untermauern, die besagt, dass mentale und motorische Rotationsprozesse vergleichbar sind und dass eine Interdependenz zwischen mentaler Rotation und Drehbewegungen der Hand besteht. Die Gemeinsamkeit der beiden Prozesse begründen Wohlschläger und Wohlschläger (1998) mit deren Verankerung in der Ebene der Handlungsplanung. Diesbezüglich konnte Wohlschläger drei Jahre später nachweisen, dass schon die Planung einer entgegengesetzten Handbewegung ausreicht, um die mentale Rotationszeit negativ zu beeinflussen (Wohlschläger, 2001).

Studien, in denen untersucht wurde, ob Kinder motorische Prozesse bei der mentalen Rotation genauso nutzen wie Erwachsene, zeigen ähnliche Ergebnisse. Ehrlich, Levine und Goldin-Meadow (2006) konnten einen Zusammenhang zwischen motorischen Gesten und räumlichen Transformationen schon für fünfjährige Kinder nachweisen. Nach dem mentalen Rotationstest wurden die Kinder gefragt, wie sie die Aufgaben gelöst haben. Je mehr Gesten die Kinder verwendeten, um zu erklären, wie sie die räumliche Transformation gelöst hatten, umso besser hatten sie bei der mentalen Rotation abgeschnitten. Dabei verwendeten Jungen mehr Gesten als Mädchen und schnitten auch besser bei der mentalen Rotation ab. Im Vergleich zu Erwachsenen scheint die Verbindung zwischen motorischen Prozessen und der Rotation

mental repräsentierter Objekte bei Kindern sogar noch stärker zu sein. Frick, Daum, Walser und Mast (2009) konnten bei Kindern unter neun Jahren eine Interferenz zwischen motorischer Rotation und einer gleichzeitig ausgeführten mentalen Rotationsaufgabe zeigen. In ihrer Studie untersuchten sie vier verschiedene Altersgruppen: Fünfjährige, Achtjährige, Elfjährige und Erwachsene. Als Stimuli wurden Figur-Grund-Paare verwendet, bei denen entschieden werden musste, ob der zu rotierende Stimulus in eine Aussparung am unteren Rand des Bildschirms passt oder nicht. Diese Stimuli wurden verwendet, damit auch fünfjährige Kinder die mentale Rotation ohne Probleme durchführen konnten. Während der mentalen Rotation musste mit der Hand eine kleine Kurbel in der gleichen Ebene gedreht werden. Bei älteren Kindern und Erwachsenen konnte keine Interferenz nachgewiesen werden. Die Autoren gehen davon aus, dass sich die Fähigkeit, zwischen motorischen und kognitiven Prozessen zu differenzieren, mit dem Alter entwickelt. In einer anderen Studie fanden Funk, Brugger und Wilkening (2005) bei fünf- bis siebenjährigen Kindern im Vergleich zu Erwachsenen ebenfalls eine stärkere Einbeziehung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation der Abbildung von Händen. Krüger und Krist (2009) konnten jedoch bei Kindern nur einen schwächeren Effekt motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation abgebildeter Hände finden als bei Erwachsenen. Da die Befundlage zur Integration motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation bei Kindern im Grundschulalter nicht einheitlich ist, sollen in dieser Arbeit die Zusammenhänge in dieser Altersgruppe weiter untersucht werden.

### **2.2.2 Neurowissenschaftlicher Forschungsstand**

In vielen Untersuchungen wurde mit unterschiedlichen Methoden (EEG<sup>1</sup>, fMRT<sup>2</sup>, PET<sup>3</sup>) versucht herauszufinden, welche Teile des Gehirns an der mentalen Rotation beteiligt sind.

---

<sup>1</sup> EEG = Elektorenzephalographie

<sup>2</sup> fMRT = funktionelle Magnetresonanztomographie

<sup>3</sup> PET = Positronen-Emissions-Tomographie

Dabei gilt die Beteiligung des parietalen Kortex als gesichert (Lamm et al., 2007). Allerdings wird auch immer wieder über die Beteiligung motorischer Areale an der mentalen Rotation berichtet. Kosslyn, DiGirolamo, Thompson und Alpert (1998) maßen mit Hilfe einer Positronen-Emissions-Tomographie eine Aktivierung der supplementär-motorischen Areale, der prämotorischen Areale und der primär-motorischen Rinde bei der mentalen Rotation von Händen. Dagegen wurde bei der Rotation von Würfelfiguren nur der Parietallappen und die tertiäre Sehrinde aktiviert. Daraus folgerten Kosslyn et al. (1998), dass bei der mentalen Rotation von Händen Mechanismen verwendet werden, welche motorische Bewegungen vorbereiten, dies bei Würfelfiguren jedoch nicht der Fall ist. Manche Studien berichten jedoch auch von einer Aktivierung motorischer Areale bei der mentalen Rotation von nicht-körperlichen Objekten. So maßen z. B. Cohen et al. (1996) mit einer funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) bei der Hälfte ihrer Probanden eine Aktivierung in der prämotorischen Rinde bei der Rotation von Shepard/Metzler-Würfelfiguren. Bei diesen Probanden scheinen, auch bei der Rotation von Würfelfiguren, motorische Prozesse beteiligt gewesen zu sein. Richter et al. (2000) fanden mit den gleichen Stimuli sogar bei allen ihren Probanden eine Aktivierung des prämotorischen und supplementär-motorischen Kortex. Die Ergebnisse der fMRT deuten zudem darauf hin, dass die Aktivierung der motorischen Areale genau zum Zeitpunkt der mentalen Rotation stattfindet. Die Aktivierung der primär-motorischen Rinde scheint hingegen mit der Handbewegung zum Drücken des Knopfes am Ende der mentalen Rotationsaufgabe zusammenzuhängen. Kosslyn, Thompson, Wraga und Alpert (2001) interpretieren die Ergebnisse ihrer fMRT-Studie dahingehend, dass die Strategie, die verwendet wird, um einen Stimulus mental zu rotieren, nicht immer die gleiche ist. Sie fanden mindestens zwei unterschiedliche Strategien. Eine, bei der motorische Prozesse eine Rolle spielten, und eine, bei der sie dies nicht taten. Die Anwendung einer motorischen Strategie kann demzufolge implizit manipuliert werden, indem vor oder während der

mentalen Rotation motorische Inhalte mit Bezug zur mentalen Rotation präsentiert werden. Zum gleichen Ergebnis kam auch die Studie von Wraga, Thompson, Alpert und Kosslyn (2003). In dieser Untersuchung sollte eine Experimentalgruppe zunächst Bilder von Händen und danach dreidimensionale Shepard/Metzler-Würfelfiguren mental rotieren, die Kontrollgruppe nur die Würfelfiguren. Dabei erhielten die Probanden keine Instruktionen hinsichtlich der Rotationsstrategien. Eine Aktivierung der motorischen Areale im Gehirn konnte nur bei der Experimentalgruppe festgestellt werden. Dies legt nahe, dass motorische Strategien auf die Transformation von nicht-körperlichen Objekten übertragen werden können. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mentale Rotationsaufgaben durch motorische Strategien bzw. durch die unbewusste Anwendung motorischer Prozesse gelöst werden können, es aber auch andere, z. B. rein visuelle Lösungsstrategien gibt. Motorische Strategien werden vor allem bei der Rotation von Körperbildern oder Bildern von Körperteilen verwendet, sie können aber auch bei abstrakten Reizen angewendet werden.

### **2.2.3 Motorische Fähigkeiten und mentale Rotationsfähigkeit**

Ausgehend davon, dass motorische Strategien zur Lösung von mentalen Rotationsaufgaben verwendet werden können, stellt sich die Frage, ob sich gesteigerte motorische Fähigkeiten positiv auf die mentale Rotationsleistung auswirken. Dieser Fragestellung wurde in einigen Untersuchungen nachgegangen. Steggemann, Engbert und Weigelt (2011) nahmen an, dass motorische Expertise das Ergebnis mentaler Rotationsaufgaben mit rechts-links-Entscheidung bei Körperbildern positiv beeinflusst, weil diese eine egozentrisch perspektivische Transformation implizieren. Sie knüpften damit an ein Experiment von Jola und Mast (2005) an, die vermuteten, dass die von ihnen verwendeten Körperbilder wohl zu statisch waren und sie deshalb nicht bestätigen konnten, dass Tänzer bei der mentalen Rotation von Körperbildern besser abschnitten als Nicht-Tänzer. Steggemann et al. (2011) modifizierten also die Stimuli und rekrutierten Sportler mit langjähriger Karriere in den Sportarten Turnen,



Artistik oder Voltigieren als motorische Experten, die im Durchschnitt zwölf Jahre Erfahrung mit verschiedenen motorischen Drehungen gesammelt hatten. Als Kontrollgruppe dienten Sportstudenten aus verschiedenen Disziplinen, um allgemeine Sportlichkeit als Einflussfaktor auszuschließen. Es stellte sich heraus, dass motorische Expertise sich selektiv auf die Leistung in der mentalen Rotation von einzelnen Körperbildern auswirkt, bei denen entschieden werden musste, ob die Stimulusfigur den rechten oder linken Arm ausgestreckt hält. In einer klassischen mentalen Rotationsaufgabe mit zwei Stimulusfiguren, bei denen entschieden werden musste, ob es sich um gleiche oder spiegelverkehrte Darstellungen handelt, konnte kein Effekt der motorischen Expertise gefunden werden. Je mehr die einzelne Figur sich in ungewohnten Überkopf-Positionen befand, umso größer war der Effekt der motorischen Expertise. Die ausgesuchten Sportler konnten bei diesen nicht-alltäglichen Überkopf-Positionen somit ihre Erfahrungen mit Drehungen und ungewohnten Positionen im Raum nutzen. Moreau, Mansy-Dannay, Clerc und Guerrien (2011) gingen ebenfalls davon aus, dass Elitesportler, die im Rahmen ihres Trainings täglich mit der räumlichen Manipulation von motorischen Repräsentationen konfrontiert werden, bei der mentalen Rotation automatisch mehr motorische Prozesse mit einbeziehen und somit eine motorische Strategie anwenden. Des Weiteren nahmen sie an, dass die Anwendung motorischer Strategien bei Elitesportlern nicht nur auf die mentale Rotation von Körperbildern beschränkt ist, sondern auch bei Würfelfiguren auftritt. In zwei Experimenten konnten sie einen signifikanten Vorteil von Elitesportlern mit täglichem Training in den Sportarten Fechten, Judo und Ringen – welche räumliche und kinästhetische Prozesse involvieren –, nicht aber für Sportler mit täglichem Lauftraining bei der mentalen Rotationsleistung in einem Papier-Bleistift-Test mit Würfelfiguren nachweisen. In einem Folgeexperiment konnte ein Vorteil für Eliteringer im Vergleich zu Nichtsportlern auch mit einem chronometrischen mentalen Rotationstest nachgewiesen werden (Moreau 2012). Die Elitesportler machten weniger Fehler

und hatten kürzere Reaktionszeiten als die Nichtsportler. Untersuchungen mit Kindern zum Zusammenhang zwischen motorischer Expertise und mentaler Rotation gibt es nur wenige. Jedoch fanden Jansen und Heil (2010) eine Verbindung zwischen den motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsfähigkeit bei fünf bis sechs Jahre alten Kindern. Motorische Fähigkeiten, die räumliche Komponenten enthielten, waren ein starker Prädiktor für die mentale Rotationsleistung. Ein gezieltes motorisches Training scheint somit die mentale Rotationsleistung positiv beeinflussen zu können.

### **2.3 Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstandes**

Ziel dieser Arbeit ist es, zum Verständnis des Zusammenhangs zwischen Motorik und Kognition bei Kindern beizutragen. Eine Erforschung dieses Zusammenhangs ist sehr wichtig, um die motorische und auch kognitive Entwicklung der Kinder optimal begleiten zu können. In diesem Abschnitt sollen noch einmal die wesentlichen Punkte der relevanten Literatur zusammengefasst und die Fragestellungen dieser Arbeit vorgestellt werden.

Motorische Prozesse können die kognitive Fähigkeit der mentalen Rotation unterstützen (z. B. Chu & Kita, 2011; Ehrlich et al., 2006). Einerseits gibt es viele Untersuchungen, die davon ausgehen, dass mentale Rotation als eine verdeckte motorische Rotation verstanden werden kann (z. B. Lamm et al., 2007). Andererseits haben einige Studien gezeigt, dass mentale Rotationen auch bewerkstelligt werden können, ohne dass motorische Zentren im Gehirn dabei aktiv sind. Hierbei wird vermutet, dass die mentale Rotation anhand visueller Prozesse stattfindet (Hyun & Luck, 2007). Oft ist die mentale Rotation unter Einbeziehung verdeckter motorischer Prozesse einer rein visuellen Strategie überlegen (Chu & Kita, 2011). Ob nun motorische Prozesse gewinnbringend, sozusagen als motorische Strategie, bei der mentalen Rotation genutzt werden, hängt dabei von mehreren Faktoren ab. Einmal ist das Stimulusmaterial entscheidend. Aufgaben, in denen Abbildungen von ganzen Körpern oder Körperteilen oder zumindest körperähnlichen Objekten, auf die die Körperachsen projiziert

werden können, rotiert werden müssen, provozieren quasi automatisch die Beteiligung verdeckter motorischer Prozesse (Kosslyn et al., 1998). Ein zweiter Punkt sind die motorischen Fähigkeiten, also die motorische Vorerfahrung, der Probanden. Probanden, die beispielsweise durch ihre Expertise in Sportarten mit vielen räumlichen Drehungen große Vorerfahrungen in Rotationen mit motorischem Bezug haben, neigen von Haus aus dazu, unbewusst motorische Prozesse zur Lösung von mentalen Rotationsaufgaben, auch mit abstrakten Stimuli, einzusetzen (Moreau, 2012). Oft sind diese Experten anderen Menschen mit weniger räumlich-motorischer Vorerfahrung in der mentalen Rotation überlegen. Ein dritter Punkt ist die Auslösung einer motorischen Strategie durch motorische Inhalte, die vor oder während der mentalen Rotation mit Bezug zu ebendieser präsentiert werden. Diese motorische Strategie kann auch auf abstrakte Stimuli angewendet werden und wird auch beibehalten, wenn die motorischen Inhalte nicht mehr präsentiert werden (Wraga et al., 2003).

Bei Kindern entwickeln sich die kognitiven Fähigkeiten während der Grundschulzeit sehr stark. Gerade auch bei der mentalen Rotationsfähigkeit machen die Kinder in dieser Zeit große Fortschritte. Verschiedene Studien deuten darauf hin, dass Kinder ebenso wie Erwachsene mit größerer motorischer Erfahrung bei der mentalen Rotation Vorteile haben (z. B. Jansen & Heil, 2010). In anderen Untersuchungen scheint die Verbindung zwischen motorischen Prozessen und der mentalen Rotation bei Kindern besonders stark zu sein (Funk et al., 2005; Frick et al., 2009). Bislang wurden in den verschiedenen Studien entweder der Einfluss der motorischen Fähigkeiten oder die Einbeziehung motorischer Prozesse untersucht. Bislang wurde noch nicht untersucht, ob es einen direkten Zusammenhang zwischen der Einbeziehung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation und den motorischen Fähigkeiten von Kindern gibt.

In dieser Arbeit soll untersucht werden, in welcher Weise motorische Fähigkeiten und motorische Prozesse die mentale Rotationsleistung bei Kindern beeinflussen. Ein besseres

Verständnis dieses Einflusses trägt dazu bei, den Prozess der mentalen Rotation besser zu verstehen, und kann dabei helfen, bessere Lernsituationen für Kinder zu entwickeln. Es wird davon ausgegangen, dass es einen positiven Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten der Kinder und der mentalen Rotationsfähigkeit gibt. Weiter wird erwartet, dass die mentale Rotation bei Kindern von motorischen Prozessen unterstützt wird und dass diese Einbeziehung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation von der Ausprägung der motorischen Fähigkeiten abhängig ist. Umso ausgeprägter die motorischen Fähigkeiten, desto stärker die Einbeziehung motorischer Prozesse.

In einem ersten Experiment wurde untersucht, ob sich mit dem Messinstrument Movement Assessment Battery 2 für Kinder (M-ABC-2) (Petermann, 2008) ein Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten bei Kindern im Grundschulalter und einem chronometrischen mentalen Rotationstest zeigen lässt. Ein zweites Experiment diene der Untersuchung der Frage, ob sich bei Kindern Interferenzerscheinungen zwischen mentalen Rotationsaufgaben und - gleichzeitig ausgeführten - handmotorischen Rotationen finden lassen. Zusätzlich sollte dabei überprüft werden, ob es einen Zusammenhang gibt zwischen diesen Interferenzerscheinungen und den motorischen Fähigkeiten der Kinder. Anhand eines dritten Experiments wurden die in Experiment 2 gefundenen Ergebnisse vertieft. Es wurde untersucht, ob die gefundenen Interferenzerscheinungen zwischen einer mentalen und einer motorischen Rotation auch nachweisbar sind, wenn die motorische Rotation nur geplant wird. Damit werden die Ergebnisse von Wohlschläger (2001) zur Interferenz zwischen motorischer Intention und mentaler Rotation erstmals bei Kindern im Grundschulalter überprüft. Zusätzlich wurde wieder der Einfluss der motorischen Fähigkeiten der Kinder in die Untersuchung einbezogen.

## **3 Experimente**

### **3.1 Experiment 1**

In Experiment 1 wurde der Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsfähigkeit im Grundschulalter untersucht. Dabei wurde zusätzlich der Einfluss unterschiedlichen Stimulusmaterials (Körperbilder, Buchstaben und Tierfiguren) auf diesen Zusammenhang getestet. Vermutet wurde, dass sich ein positiver Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten der Kinder und der mentalen Rotationsfähigkeit feststellen lässt. Ausgeprägtere motorische Fähigkeiten gehen mit einer besseren Trefferquote im mentalen Rotationstest einher (vgl. Jansen & Heil, 2010). Außerdem wurde erwartet, dass die mentale Rotationsleistung bei Körperbildern besser ist als bei Buchstaben und Tierfiguren als Stimuli (vgl. Amorim et al., 2006). Mögliche Geschlechtseffekte müssen dabei unbedingt berücksichtigt werden.

#### **3.1.1 Methode**

##### ***3.1.1.1 Stichprobe***

Es wurden 53 Kinder der zweiten Jahrgangsstufe Grundschule (Alter:  $M = 7.5$ ,  $SD = .3$ ) getestet. Die Stichprobe bestand aus 29 Mädchen und 24 Jungen. Die Kinder gingen in zwei verschiedene Grundschulen. Von den Eltern wurde eine schriftliche Einverständniserklärung eingeholt. Alle Teilnehmer/innen hatten ein normales Sehvermögen oder verwendeten eine Brille in ihrer Sehstärke. Elf Kinder waren Linkshänder.

##### ***3.1.1.2 Apparatus und Stimuli***

Die Kinder wurden mit der Movement Assessment Battery 2 für Kinder (M-ABC-2) (Petermann, 2008) und einem chronometrischen mentalen Rotationstest getestet.

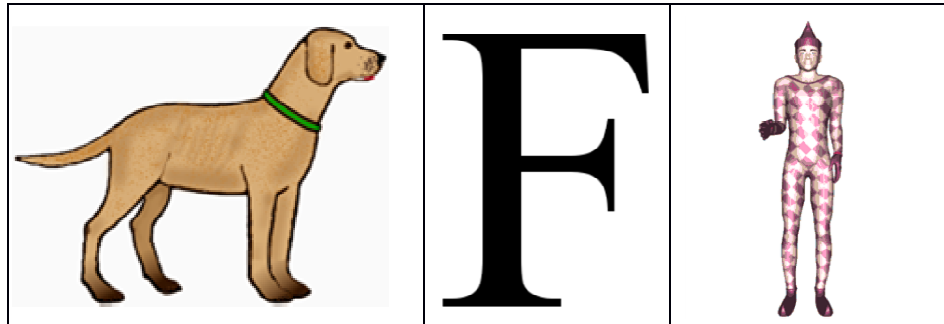
### **3.1.1.2.1 Movement Assessment Battery 2 für Kinder (M-ABC-2, Petermann, 2008)**

Die M-ABC-2 misst die sensomotorischen Fähigkeiten der Kinder in drei Dimensionen: Handgeschicklichkeit, Ballfertigkeiten und Gleichgewicht. Mit der M-ABC-2 können Kinder im Alter von 3 bis 16 Jahren getestet werden. Je nach Altersgruppe weichen die Untertests voneinander ab. In der Altersgruppe von 7 bis 10 Jahren besteht der Handgeschicklichkeitstest aus drei Aufgaben: Stifte in ein Brett mit Löchern stecken, eine Schnur durch ein Brett mit Löchern fädeln und eine Spur nachzeichnen. Die Ballfertigkeiten werden durch zwei Tests geprüft: durch ein gegen die Wand werfen eines Tennisballs aus zwei Metern Entfernung und anschließendes zweihändiges Fangen sowie durch Zielwerfen eines Bohnensäckchens in einen Zielkreis (Durchmesser 30 cm), der sich in 1,8 Meter Entfernung auf dem Boden befindet. Die Gleichgewichtsfähigkeit wird mit drei Untertests geprüft: Einbeinstand auf einem Kippbrett; Ferse-an-Zehen-Gang auf einer auf dem Boden markierten Linie und einbeiniges Mattenhüpfen. Für die Auswertung in dieser Studie wurde nur der Gesamtwert verwendet. Die Test-Retest Reliabilität liegt bei  $r = .97$  und die Inter-rater Reliabilität liegt bei .95.

### **3.1.1.2.2 Chronometrischer mentaler Rotationstest**

Der Test wurde auf Laptops mit 15 Zoll Bildschirmdiagonale der Firma Dell durchgeführt. Als Antworttasten für den mentalen Rotationstest dienten zwei markierte Tasten auf der Laptoptastatur. Der mentale Rotationstest wurde mit dem Programm "Presentation" (Neurobehavioral Systems) durchgeführt. Es wurden kindgerechte Stühle und Tische verwendet, und die Teilnehmer durften sich selbst die bequemste Position vor dem Laptop aussuchen. Jeweils zwei Stimuli wurden gleichzeitig auf dem Bildschirm präsentiert. Der rechte Stimulus war entweder gleich oder eine spiegelverkehrte Ansicht des linken Stimulus. Der linke Stimulus stand immer aufrecht während der rechte Stimulus um 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150° oder 180° gedreht dargestellt wurde. Jeder Stimulus hatte eine Größe von etwa

sieben mal sieben Zentimetern auf dem Bildschirm. Der Abstand zwischen den Stimuli betrug fünf Zentimeter. Die Kinder sollten so schnell und akkurat wie möglich entscheiden, ob die beiden dargestellten Stimuli gleich oder spiegelverkehrt waren. Es wurden drei Kategorien von Stimuli verwendet: Tierbilder, Buchstaben und Körperbilder (s. Abb. 4).



**Abb. 4: Beispiele für die drei Stimulusgruppen**

Die Tierfiguren entstammen dem Inventar von Snodgrass und Vanderwart (1980). Es wurden sechs verschiedene Tiere verwendet (Fuchs, Hund, Krokodil, Esel, Bär und Elefant). In der Stimulusgruppe der Buchstaben wurden sechs verschiedene Großbuchstaben der Schriftart Times New Roman verwendet (F, P, R, L, G und J). Dabei wurde darauf geachtet, keine symmetrischen Buchstaben zu verwenden, da hier keine Unterscheidung zwischen gespiegelt und nicht gespiegelt möglich ist. In der Stimulusgruppe der Körperbilder wurden sechs verschiedene Körperbilder von Amorim et al. (2006) verwendet. Bei den Bildern handelte es sich um aufrecht stehende Männchen, die den rechten oder den linken Unterarm im Ellenbogen um 90° abgewinkelt entweder nach vorne (wie zum Handschlag) oder aber vor oder hinter dem Körper parallel zur Körperbreitenachse hielten. Das Männchen wurde von vorne und von hinten präsentiert. Dadurch ergeben sich bei den Körperbildern ebenfalls sechs verschiedene Stimuli: 2 (von vorne oder von hinten) x 3 (unterschiedliche Armhaltungen). Damit entstehen 252 verschiedene Stimuluspaare: 18 (Stimuli) x 2 (gleich/spiegelverkehrt) x 7 (Winkel). Die Reaktionszeiten und die Trefferquote wurden analysiert. Trials, bei denen die Reaktionszeit geringer als 300 Millisekunden oder größer als 15000 Millisekunden war, wurden als Ausreißer behandelt und als Fehler gewertet. Die untere Grenze von 300

Millisekunden wurde festgelegt, da eine Auswahlreaktion unter 300 Millisekunden nur durch Raten zu bewerkstelligen ist. Die obere Grenze wurde mit 15000 Millisekunden so festgelegt, dass die Kinder auch bei den schwierigen, großen Winkeldisparitäten genügend Zeit hatten, den Stimulus akkurat mental zu drehen. Für die Analyse der Reaktionszeiten wurden nur richtige Antworten gewertet. Außerdem wurden nur die Reaktionszeiten der gleichen Stimuluspaare ausgewertet, da die Winkeldisparität für spiegelverkehrte Trials nicht klar definiert ist (Jolicœur, Regehr, Smith, & Smith, 1985).

### **3.1.2 Versuchsdurchführung**

#### **3.1.2.1 Prozedur**

Die Durchführung der Tests erfolgte in den Grundschulen in zwei separaten, ruhigen Räumen, je einer für die M-ABC-2 und einer für den mentalen Rotationstest. Zwei Kinder wurden zur gleichen Zeit getestet. Ein Kind begann mit dem M-ABC-2, das andere mit dem mentalen Rotationstest. Nachdem beide ihre Stationen abgeschlossen hatten, wurden die Stationen getauscht. Auf diese Weise wurde die Testreihenfolge ausbalanciert.

Der mentale Rotationstest begann für jeden Teilnehmer mit 24 Übungstrials, um sich an das Paradigma zu gewöhnen. Die Hauptphase des Tests bestand aus sieben Blöcken mit jeweils 36 Trials. Die Reihenfolge der Stimuli und Winkel erfolgte randomisiert. Am Anfang jedes Trials wurde ein schwarzes Fixationskreuz für 1000 Millisekunden in der Mitte des Bildschirms präsentiert. Anschließend erschienen die zwei Stimuli und blieben auf dem Bildschirm bis eine Antworttaste gedrückt wurde. Nach dem Tastendruck wurde ein lachender oder bedrückter Smiley für 1000 Millisekunden als Feedback gezeigt. Das Feedback wurde bei jedem Trial gezeigt, um die Motivation der Kinder hoch zu halten.



### **3.1.3 Statistische Auswertung**

#### **3.1.3.1 *Motorische Fähigkeiten (M-ABC-2)***

Um eventuelle Unterschiede in der motorischen Entwicklung zwischen Jungen und Mädchen aufzudecken, wurde eine univariate Varianzanalyse (ANOVA) mit dem M-ABC-2 Gesamtwert als abhängiger und den Faktor Geschlecht als unabhängiger Variablen gerechnet.

#### **3.1.3.2 *Mentale Rotation: Reaktionszeit (RZ)***

Um die RZ zu analysieren, wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung berechnet. Die Innersubjektfaktoren waren Winkeldisparität ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$  und  $180^\circ$ ) und Stimulusgruppe (Tierfiguren, Buchstaben oder Körperbilder) und als Zwischensubjektfaktor diente das Geschlecht (Junge oder Mädchen).

#### **3.1.3.3 *Linearität***

Um zu testen, ob die Kinder die Stimuli wirklich mental rotierten, wurde der Anstieg der RZ bei ansteigender Winkeldisparität mit linearen Regressionen für jedes Kind in jeder Stimulusgruppe berechnet. Anhand des mittleren  $R^2$  wurde abgeschätzt, ob die RZ linear ansteigt.

#### **3.1.3.4 *$0^\circ$ -Trials***

Die mentale Rotation eines Stimulus macht nur einen Teil der Reaktionszeit aus. Ebenso haben andere kognitive Prozesse wie z. B. Wahrnehmung und Identifikation ihren Anteil. Um Effekte dieser anderen Prozesse zu kontrollieren, wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Reaktionszeiten in der  $0^\circ$  Bedingung als abhängiger Variable gerechnet. Die unabhängigen Variablen waren Stimulusgruppe (Tierfiguren, Buchstaben oder Körperbilder) als Innersubjektfaktor und Geschlecht (Mädchen oder Junge) als Zwischensubjektfaktor.

### **3.1.3.5     *Mentale Rotationsgeschwindigkeit***

Um die Geschwindigkeit zu berechnen, mit der die Stimuli mental rotiert wurden, wurde der Wert für die Steigung der linearen Regressionsgeraden verwendet. Negative Steigungswerte und Werte, die mehr als 3 Standardabweichungen vom Mittelwert entfernt waren, wurden von der Analyse ausgeschlossen. In den Stimulusgruppen mussten aufgrund dieser Kriterien die Werte von elf (Tierfiguren), fünf (Buchstaben) und fünf (Körperbilder) Probanden ausgeschlossen werden. Die mentale Rotationsgeschwindigkeit berechnet sich aus dem inversen Wert der Steigung der Regressionsgeraden. Mit der mentalen Rotationsgeschwindigkeit als abhängiger Variable wurde anschließend eine Varianzanalyse berechnet. Stimulusgruppe fungierte als Innersubjektfaktor und Geschlecht als Zwischensubjektfaktor.

### **3.1.3.6     *Mentale Rotation: Trefferquote (TQ)***

Die Analyse der Trefferquoten erfolgte analog zu der Analyse der Reaktionszeiten.

### **3.1.3.7     *Korrelation: Motorische Fähigkeiten und mentale Rotation***

Anhand einer Korrelationsanalyse zwischen der mentalen Rotationsleistung (RZ, TQ und mentale Rotationsgeschwindigkeit) und dem M-ABC-2 Gesamtwert wurde der Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsfähigkeit überprüft. Da der M-ABC-2-Wert nur signifikant mit der TQ korrelierte, wurde die Analyse der Trefferquoten mit dem Gesamtwert im M-ABC-2 als Kovariate wiederholt.

## **3.1.4   Ergebnisse**

### **3.1.4.1     *Motorische Fähigkeiten (M-ABC-2)***

Die Varianzanalyse mit der abhängigen Variable M-ABC-2 Gesamtwert zeigte keinen signifikanten Effekt des Zwischensubjektfaktors Geschlecht ( $F(1,50) = 1.94$ ;  $p = .17$ ,  $\eta_p^2 = .04$ ; Jungen:  $M = 12.7$ ,  $SD = 2.9$ , Mädchen:  $M = 11.5$ ,  $SD = 2.9$ ).

#### **3.1.4.2     *Mentale Rotation: Reaktionszeit (RZ)***

Bei der Analyse der RZ zeigte sich ein signifikanter Effekt für den Faktor Stimulusgruppe,  $F(2,88) = 25.1$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .36$ . Bei den Tierfiguren traten die kürzesten RZ auf, gefolgt von den Buchstaben. Die Bearbeitung der Körperbilder brachte die längsten RZ (Tierfiguren:  $M = 2741\text{ms}$ ,  $SE = 97$ ; Buchstaben:  $M = 2770\text{ms}$ ,  $SE = 112$ ; Körperbilder:  $M = 3575\text{ms}$ ,  $SE = 126$ ). Eine wiederholte Analyse der Kontraste zeigte, dass nur der Unterschied zu den Körperbildern signifikant ist ( $p < .05$ ). Ebenso wurde ein signifikanter Effekt für den Faktor Winkeldisparität gefunden,  $F(6,264) = 29.24$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .4$ ; größere Winkel bedingen längere RZ. Eine wiederholte Analyse der Kontraste zeigte, dass die Unterschiede zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$  und zwischen  $120^\circ$  und  $150^\circ$  signifikant sind (Kontraste jeweils  $p < .01$ ). Es trat keine Interaktion der Faktoren auf.

#### **3.1.4.3     *Linearität***

Für die Stimulusgruppe Tierfiguren betrug das mittlere  $R^2 = .38$  ( $SD = .29$ ), für die Buchstaben  $R^2 = .42$  ( $SD = .26$ ) und für die Körperbilder  $R^2 = .39$  ( $SD = .27$ ). Damit werden 38%, 42% bzw. 39% der Variation der Reaktionszeiten durch das lineare Modell erklärt. Somit werden die Reaktionszeitgeraden gut durch das lineare Modell beschrieben.

#### **3.1.4.4     *0°-Trials***

Die Ergebnisse der Varianzanalyse zeigen einen Haupteffekt für den Faktor Stimulusgruppe  $F(2,100) = 13.71$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .22$ . Bei den  $0^\circ$ -Trials haben die Buchstaben die kürzeste RZ ( $M = 2115\text{ms}$ ,  $SE = 108$ ), gefolgt von den Tierfiguren ( $M = 2201\text{ms}$ ,  $SE = 122$ ) und den Körperbildern ( $M = 2990\text{ms}$ ,  $SE = 154$ ). Eine Analyse der Kontraste zeigte, dass nur der Unterschied zu den Körperbildern signifikant war ( $p < .01$ ). Es wurde kein Haupteffekt für und auch keine Interaktionen mit dem Faktor Geschlecht festgestellt.

#### **3.1.4.5     *Mentale Rotationsgeschwindigkeit***

Die mittlere mentale Rotationsgeschwindigkeit betrug  $M = 183.1$  °/s ( $SE = 27.3$ ). Anhand der Varianzanalyse konnten keine signifikanten Effekte gefunden werden.

#### **3.1.4.6     *Mentale Rotation: Trefferquote (TQ)***

Die mittlere Trefferquote (TQ) bei den Tierfiguren lag bei 82.1%, bei den Buchstaben bei 81.9% und bei den Körperbildern bei 81.4%. Es wurde ein Haupteffekt für den Faktor Winkeldisparität gefunden  $F(6,306) = 27.91$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .35$ . Die TQ nahm mit zunehmender Winkeldisparität ab. Die Analyse der Kontraste zeigte, dass sich zwischen 90° und 120°, 120° und 150° und 150° und 180° signifikante Unterschiede zeigen (Kontraste jeweils  $p < .05$ ). Es konnte weder ein Effekt noch eine Interaktion für den Faktor Stimulusgruppe gefunden werden.

Um einen möglichen Speed-Accuracy-Tradeoff zu kontrollieren, wurde eine Korrelationsanalyse zwischen der mittleren Trefferquote und der mittleren Reaktionszeit für jeden der drei Stimulitypen berechnet. Dabei wurden nur signifikant negative Korrelationen gefunden (Buchstaben:  $r = -.5$ ,  $p < .001$ ; Tierfiguren:  $r = -.36$ ,  $p < .01$ ; Körperbilder:  $r = -.35$ ,  $p < .05$ ). Das heißt, Kinder mit höheren Trefferquoten hatten auch kürzere Reaktionszeiten und umgekehrt. Bei einem “speed-accuracy trade off” wäre das Gegenteil der Fall.

#### **3.1.4.7     *Korrelation: Motorische Fähigkeiten und mentale Rotation***

Da der M-ABC-2-Wert signifikant positiv mit einigen Werten der TQ (TQ Tierfiguren 60°, TQ Buchstaben 30°, 60° und 150°, TQ Körperbilder 180°; alle  $p < .05$ ) korrelierte, wurde die Trefferquotenanalyse mit dem Gesamtwert im M-ABC-2 als Kovariate wiederholt. Neben einem Haupteffekt für den Faktor Winkel ( $F(6,294) = 5.3$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .01$ ), konnte ein signifikanter Einfluss der Kovariate M-ABC-2 Gesamtwert auf die TQ ( $F(1,49) = 7.47$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .13$ ) festgestellt werden. Anhand der Korrelationsergebnisse lässt sich festhalten,

dass ein höherer Wert im M-ABC-2 mit einer höheren Trefferquote einhergeht. Für den Faktor Geschlecht konnten weder ein Effekt noch eine Interaktion festgestellt werden.

### **3.1.5 Diskussion**

Die Hypothese eines positiven Zusammenhangs zwischen motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsleistung konnte bestätigt werden. Eine bessere mentale Rotationsleistung bei Körperbildern und ein Geschlechtseffekt konnten jedoch nicht gefunden werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse und mögliche Ursachen im Detail diskutiert.

#### **3.1.5.1 *Mentaler Rotationstest***

Der lineare Anstieg der Reaktionszeiten im mentalen Rotationstest mit zunehmendem Winkel zeigt, dass die Kinder die Stimuli tatsächlich mental rotiert haben, um die Aufgabe zu lösen. Auch die Trefferquote wird signifikant vom Winkelgrad beeinflusst. Je größer die Winkeldisparität war, umso mehr Fehler machten die Kinder bei der mentalen Rotation. Die mittlere mentale Rotationsgeschwindigkeit ist mit  $183.1^\circ/\text{s}$  vergleichbar mit den Rotationsgeschwindigkeiten, die im Experiment von Jansen et al. (2013) bei gleichaltrigen Kindern mit Buchstaben und Tierfiguren als Stimuli gemessen wurden ( $141 - 191^\circ/\text{s}$ ).

#### **3.1.5.2 *Effekt des unterschiedlichen Stimulusmaterials***

Interessanterweise ist die Reaktionszeit bei den Körperbildern signifikant länger als bei den beiden anderen Stimulusgruppen. Dies widerspricht den Ergebnissen der Experimentreihe von Amorim et al. (2006), die eine deutlich schnellere Reaktionszeit für Körperbilder festgestellt haben und das obwohl in beiden Studien dieselben Körperbilder verwendet wurden. Amorim et al. (2006) testeten jedoch ausschließlich erwachsene Probanden. Wie aus Abb. 4 ersichtlich wird, sind die Körperbilder eher abstrakter Natur. Anscheinend konnten sich die Kinder unserer Studie im Gegensatz zu den Erwachsenen nicht mit den Körperbildern identifizieren. Aus einzelnen Aussagen der Kinder, die die Körperbilder als „komisch“ beschrieben, kann

geschlossen werden, dass die Körperbilder auf sie eher befremdlich wirkten. Die beiden anderen Stimuligruppen hingegen waren den Kindern vertraut, da sie täglich mit Buchstaben oder Tierbildern konfrontiert werden. Es ist empirisch nachgewiesen, dass die Reaktionszeiten bei vertrauten Reizen deutlich niedriger sind (Hahn, 2010). Eine weitere Erklärung für längere Reaktionszeiten bei Körperbildern liegt in der Unterscheidbarkeit der Bilder. Bei den Tierfiguren ist durch Schnauze und Hinterteil des Tieres eine saliente Achse gegeben. Ebenso bei den Buchstaben. Die Körperbilder unterscheiden sich in der gespiegelten Version nur durch den abgewinkelten Arm. Eine zeitraubende, genauere Betrachtung der Stimuli wird dadurch nötig. Betrachtet man die Analyse der mentalen Rotationsgeschwindigkeit, wird klar, dass die Körperbilder nicht langsamer rotiert wurden als die anderen beiden Stimuligruppen. Der Effekt für Stimulusgruppe in der Analyse der 0°-Trials zeigt, dass andere kognitive Prozesse für die langsameren Reaktionszeiten verantwortlich sind. Heil und Rolke (2002) unterscheiden vier unterschiedliche Prozesse: Stimulusenkodierung, mentale Rotation, Vergleich und motorische Reaktion bei der Antwort. Da die mentale Rotation und die motorische Reaktion sich nicht von den anderen Stimuligruppen unterscheiden, dauern die Stimulusenkodierung und/oder der Vergleich der Stimuli bei den Körperbildern länger als bei den anderen Stimuli. Da die Enkodierung und/oder der Vergleich mehr Zeit in Anspruch genommen hat, kann gefolgert werden, dass die Körperbilder von den Kindern im Vergleich zu den Tierfiguren und Buchstaben als komplexer wahrgenommen wurden. In weiteren Studien mit Kindern sollten die Körperbilder durch Bilder von Kindern mit eindeutig erkennbarer Körperhaltung ersetzt werden, damit für die Kinder ein Bezug zum eigenen Körper möglich ist.

### **3.1.5.3     *Motorische Fähigkeiten und mentale Rotationsfähigkeit***

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die mentale Rotationsleistung der Kinder signifikant durch die motorischen Fähigkeiten beeinflusst wird. Motorisch geschicktere Kinder machen

weniger Fehler als motorisch ungeschicktere. Diese Ergebnisse bestätigen die Hypothese eines positiven Zusammenhangs zwischen motorischen Fähigkeiten und mentaler Rotationsleistung. Die Forschungsergebnisse von Jansen, Schmelter, Kasten und Heil (2011) mit übergewichtigen Kindern werden ebenfalls bestätigt. In dieser Studie schnitten übergewichtige Kinder in einem Motoriktest schlechter ab als normalgewichtige Kinder. Ebenso machten die übergewichtigen Kinder mehr Fehler in einem chronometrischen mentalen Rotationstest mit Buchstaben als Stimuli. Dieser Unterschied wird auf mangelnde Bewegungserfahrung und somit mangelnde räumlich-visuelle Erfahrung übergewichtiger Kinder zurückgeführt. In der Studie von Moreau (2012) mit erwachsenen Eliterringern machten die Ringer ebenfalls weniger Fehler als eine Kontrollgruppe, die keinerlei regelmäßiger, sportlicher Aktivität nachging. Außerdem zeigten die Ringer schnellere Reaktionszeiten als die Kontrollgruppe. Der Autor geht davon aus, dass die Eliterringe aufgrund ihres täglichen Umgangs mit motorischen Rotationen und deren mentaler Repräsentation, automatisch mehr verdeckte motorische Prozesse für die Manipulation auch abstrakter mentaler Repräsentationen einsetzen. Durch diese motorischen Prozesse erzielen die Ringer einen Vorteil in der Fehlerrate und in der Reaktionszeit. Darüber, warum bei den Kindern in diesem Experiment und in dem Experiment von Jansen et al. (2011) kein Zusammenhang der motorischen Fähigkeiten mit den Reaktionszeiten gefunden wurde, lässt sich nur spekulieren. Wahrscheinlich trägt der größere Unterschied zwischen zwei Extremgruppen wie Elite- und Nichtsportlern im Gegensatz zu motorisch geschickteren und ungeschickteren oder übergewichtigen und normalgewichtigen Kindern einer Jahrgangsstufe zu einem Effekt bei den Reaktionszeiten bei. Um herauszufinden, ob ein Reaktionszeitunterschied auch bei Kindern zu finden ist, müsste die Untersuchung mit einer Gruppe frühkindlich geförderter Leistungssportler aus motorisch-koordinativ anspruchsvollen Sportarten und einer Gruppe unsportlicher Kinder wiederholt werden.

#### **3.1.5.4 Geschlechtsdifferenzen**

In der vorliegenden Studie zeigten sich keinerlei Geschlechtsdifferenzen. Weder bei den Ergebnissen des Motoriktests noch bei der mentalen Rotationsleistung (sowohl RZ als auch TQ) konnte ein signifikanter Unterschied zwischen Mädchen und Jungen gefunden werden. Im Alter von sieben und acht Jahren scheinen die beiden Geschlechter sich also (noch) nicht in der Fähigkeit zu unterscheiden, Objekte mental zu rotieren. Dies geht einher mit verschiedenen Studien, die besagen, dass sich Geschlechtsunterschiede bei mentalen Rotationstests erst ab dem 10. Lebensjahr manifestieren (Voyer et al., 1995; Neuburger, Jansen, Heil & Quaiser-Pohl, 2011).

#### **3.1.5.5 Zusammenfassung**

Das Experiment kann den engen Zusammenhang zwischen motorischen Fähigkeiten und mentaler Rotationsfähigkeit bei Kindern bestätigen. Motorisch geschicktere Kinder schnitten beim mentalen Rotationstest mit höheren Trefferquoten ab als motorisch weniger geschickte. Ein Einfluss des Geschlechts auf die Leistung der Kinder im mentalen Rotationstest konnte nicht gefunden werden.

### **3.2 Experiment 2**

In Experiment 1 konnte gezeigt werden, dass bei Kindern ein positiver Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsleistung besteht. Daraus kann jedoch nicht abgeleitet werden, dass geschicktere Kinder unbewusst mehr motorische Prozesse nutzen, um einen Vorteil in der mentalen Rotation zu erreichen. Ob Kinder tatsächlich motorische Prozesse bei der mentalen Rotation nutzen und ob diese Nutzung motorischer Prozesse im Zusammenhang mit den motorischen Fähigkeiten der Kinder steht, soll in einem zweiten Experiment untersucht werden. Um zu testen, ob bei Kindern die mentale Rotation unbewusst durch motorische Prozesse unterstützt wird, wurde ein Interferenzparadigma verwendet, bei dem die Kinder während der mentalen Rotation eines



Stimulus eine Drehbewegung mit der Hand ausführen mussten. Wenn unbewusste motorische Prozesse zur Unterstützung der mentalen Rotation herangezogen werden, sollte sich bei entgegengesetzter mentaler und motorischer Drehrichtung eine Interferenz nachweisen lassen. Es wird davon ausgegangen, dass die Reaktionszeiten bei übereinstimmender (kompatibler) mentaler und motorischer Rotationsrichtung kürzer sind als bei entgegengesetzten (inkompatiblen) Rotationsrichtungen. Ebenso wird erwartet, dass die Trefferquote bei kompatibler mentaler und motorischer Rotationsrichtung höher ist als bei inkompatibler (vgl. Frick et al., 2009). Die motorischen Fähigkeiten der Kinder wurden wieder mit dem M-ABC-2 erhoben, und es wird einerseits von einem positiven Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsleistung und andererseits von einer Interaktion der motorischen Fähigkeiten mit der Kompatibilität der mentalen und motorischen Drehrichtung ausgegangen. Umso ausgeprägter die motorischen Fähigkeiten sind, desto größer ist die Einbeziehung motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation und desto größer ist der Unterschied in der mentalen Rotationsleistung (Trefferquote und Reaktionszeiten) zwischen kompatiblen und inkompatiblen motorischen und mentalen Drehrichtungen. Da in der Untersuchung von Frick et al. (2009) ein Interferenzeffekt zwischen mentaler und motorischer Rotation nur bei Kindern unter neun Jahren gefunden wurde, scheint sich dieser Interferenzeffekt mit zunehmendem Alter abzuschwächen. Die Autoren gehen davon aus, dass ältere Kinder und Erwachsene besser zwischen motorischen und mentalen Rotationen differenzieren können. Um festzustellen, ob sich der Interferenzeffekt und der Zusammenhang mit den motorischen Fähigkeiten mit zunehmendem Alter verändern, wurde in diesem Experiment neben Kindern der zweiten Jahrgangsstufe Grundschule mit Kindern der vierten Jahrgangsstufe eine zweite Altersgruppe zusätzlich untersucht. Es wird davon ausgegangen, dass bei den älteren Kindern der Unterschied zwischen kompatibler und inkompatibler mentaler und motorischer Rotationsleistung (Trefferquote und Reaktionszeiten) kleiner ist als

bei den Jüngeren und dass auch der Zusammenhang mit den motorischen Fähigkeiten geringer ausfällt als bei den Kindern der zweiten Jahrgangstufe. Da in diesem Experiment ein Design verwendet wurde, bei dem die Blöcke mit dem Interferenzparadigma zwischen zwei Blöcken mit ausschließlich mentaler Rotation eingebettet sind, wurde davon ausgegangen, dass durch die Kombination von mentaler und motorischer Rotation im Interferenzteil die Einbeziehung motorischer Prozesse gefördert wird (vgl. Wraga et al., 2003). Deshalb wurde im zweiten Block ausschließlich mentaler Rotation ein stärkerer Zusammenhang der mentalen Rotationsleistung mit den motorischen Fähigkeiten erwartet als im ersten, einführenden Block. Aufgrund der häufig gefundenen Geschlechtseffekte auch im Kindesalter wird der Faktor Geschlecht weiterhin überprüft.

### **3.2.1 Methode**

#### **3.2.1.1 Stichprobe**

Es wurden 83 Kinder in zwei Altersgruppen getestet. Die jüngere Altersgruppe bestand aus 45 Kindern (7 bis 8 Jahre alt,  $M = 7.7$ ,  $SD = .3$ ; 21 Jungen und 24 Mädchen) und die ältere Altersgruppe bestand aus 38 Kindern (9 bis 10 Jahre alt,  $M = 9.8$ ,  $SD = .5$ ; 18 Jungen und 20 Mädchen). Die Kinder gingen in zwei verschiedene Grundschulen. Von den Eltern wurde eine schriftliche Einverständniserklärung eingeholt. Alle Teilnehmer hatten ein normales Sehvermögen oder verwendeten eine Brille in ihrer Sechstärke. Sechs Kinder waren Linkshänder.

#### **3.2.1.2 Apparatus und Stimuli**

Die Kinder wurden mit der Movement Assessment Battery 2 für Kinder (M-ABC-2) (Petermann, 2008) und einem chronometrischen mentalen Rotationstest getestet. Der mentale Rotationstest wurde mit und ohne zusätzliche manuelle Rotation durchgeführt.

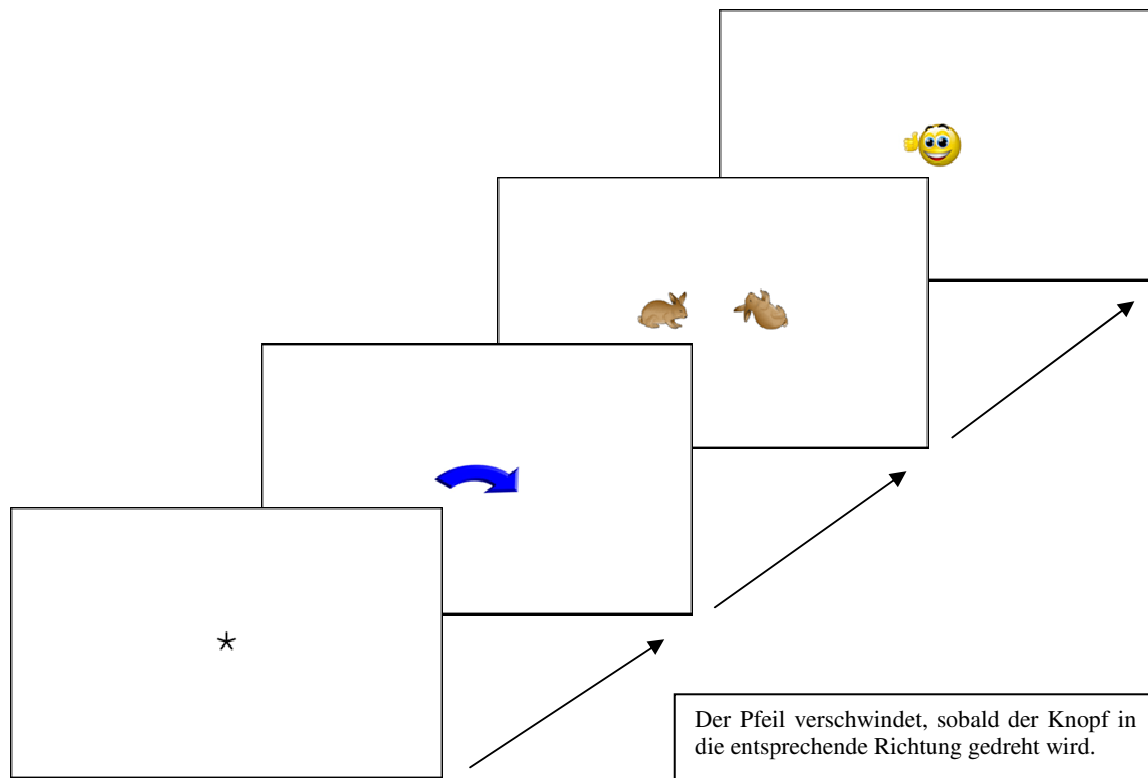
#### **3.2.1.2.1 Movement Assessment Battery 2 für Kinder (M-ABC-2, Petermann, 2008)**

Die M-ABC-2 misst die sensomotorischen Fähigkeiten der Kinder in drei Dimensionen: Handgeschicklichkeit, Ballfertigkeiten und Gleichgewicht. Eine genaue Beschreibung des Tests findet sich bei Experiment 1.

#### **3.2.1.2.2 Chronometrischer mentaler Rotationstest mit zusätzlicher manueller Rotation**

Der Test wurde auf Laptops mit 15 Zoll Bildschirmdiagonale der Firma Dell durchgeführt. An der rechten Seite der Laptoptastatur war eine Box positioniert, in der sich ein drehbarer Knopf befand. Die Drehrichtung des Knopfes wurde per USB-Kabel an den Laptop übertragen und dort registriert. Der drehbare Knopf maß 4cm im Durchmesser und konnte nur um die Z-Achse gedreht werden. Die Abmessung der Box betrug 14x15x35 cm (Höhe x Breite x Länge). Damit die Kinder nicht sehen konnten, wie ihre Hand den Knopf dreht, befand sich der Knopf in der Mitte der Box und konnte nur durch eine Öffnung erreicht werden. Als Antworttasten für den mentalen Rotationstest dienten zwei markierte Tasten auf der Laptoptastatur. Der mentale Rotationstest wurde mit dem Programm "Presentation" (Neurobehavioral Systems) dargeboten. Das verwendete Paradigma zur mentalen Rotation mit zusätzlicher manueller Rotation war dem Paradigma der Studie von Frick et al. (2009), mit einigen wichtigen Abweichungen, sehr ähnlich. Anstatt von Figur-Grund-Paaren wurden zwei Tierfiguren verwendet und anstelle eines Rades, an dem die Kinder drehen, wurde ein Knopf verwendet, der in etwa die gleichen Abmessungen wie die Abbildungen der Tierfiguren hatte. Die Bewegung, mit der ein runder Knopf mit den Fingerspitzen gedreht wird, ähnelt dem Bewegungsablauf, mit dem eine Tierfigur real festgehalten und gedreht würde, sehr stark. Als Stimuli für den mentalen Rotationstest wurden neun verschiedene Tierfiguren verwendet (Bär, Elefant, Esel, Fuchs, Gorilla, Hund, Kaninchen, Katze und Krokodil; Snodgrass & Vanderwart, 1980). Jeweils zwei Stimuli wurden gleichzeitig auf dem Bildschirm präsentiert. Der rechte Stimulus war entweder gleich oder eine spiegelverkehrte

Ansicht des linken Stimulus. Der linke Stimulus stand immer aufrecht während der rechte Stimulus um  $0^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $+90^\circ$ ,  $+135^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $-135^\circ$ ,  $-90^\circ$  oder  $-45^\circ$  gedreht dargestellt wurde. Eine positive Gradzahl steht dabei für eine Drehung entgegen dem Uhrzeigersinn, während eine negative Gradzahl eine Drehung im Uhrzeigersinn repräsentiert. Die Kinder sollten so schnell und akkurat wie möglich entscheiden, ob die beiden dargestellten Stimuli gleich oder spiegelverkehrt waren. Ein Stimulus erschien nur in den Übungstrials und acht verschiedene Stimuli wurden für die Testtrials verwendet. Damit entstehen 128 verschiedene Stimuluspaare: 8 (Tiere) x 2 (gleich/spiegelverkehrt) x 8 (Winkel). Die Analyse der Reaktionszeiten und der Trefferquoten sowie die Ausschlusskriterien waren analog zu Experiment 1. Der mentale Rotationstest begann für jeden Teilnehmer mit 16 Übungstrials, um sich an das Paradigma zu gewöhnen. Die Hauptphase des Tests bestand aus vier Blöcken mit jeweils 64 Trials. Alle 32 Trials gab es eine Pause, damit die Konzentrationsfähigkeit der Kinder nicht zu schnell erschöpft ist. Über die Länge der Pause konnte das Kind selbst entscheiden. In jedem Block wurden vier verschiedene Tierfiguren verwendet. Der erste und der vierte Block beinhalteten lediglich mentale Rotation, während im zweiten und dritten Block gleichzeitig mental und manuell rotiert werden musste. Dieses Design wurde gewählt, um mögliche Übungseffekte gleichmäßig zu verteilen. Die Trials der Blöcke mit ausschließlich mentaler Rotation entsprachen im Ablauf den Trials in Experiment 1. In den Trials mit gleichzeitiger mentaler und manueller Rotation erschien nach dem Fixationskreuz ein gebogener Pfeil, der die Richtung anzeigte, in der der Knopf gedreht werden sollte. Dieser Pfeil blieb auf dem Bildschirm, bis der Knopf in die richtige Richtung gedreht wurde. Die mentalen Rotationsstimuli erschienen sofort nach Verschwinden des Pfeils und blieben auf dem Bildschirm, bis eine der Antworttasten gedrückt wurde. Die Kinder wurden angewiesen, den Knopf bis zum Erscheinen des Feedbacks weiterzudrehen (s. Abb. 5).



**Abb. 5:** Schematische Darstellung eines Trials mit **gleichzeitiger motorischer und mentaler Rotation**.

### 3.2.2 Versuchsdurchführung

#### 3.2.2.1 *Prozedur*

Die Durchführung der Tests erfolgte wie in Experiment 1 in den Grundschulen in zwei separaten, ruhigen Räumen.

Im mentalen Rotationstest blieb die Richtung des Pfeils, der die Richtung der manuellen Rotation anzeigte, für jedes Kind während des ganzen Versuchs konstant. Jedoch wurde die Richtung des Pfeils innerhalb jeder Altersgruppe randomisiert. Daraus resultierten in der jüngeren Altersgruppe 22 Kinder, die den Knopf im, und 23 Kinder, die den Knopf entgegen dem Uhrzeigersinn drehen sollten, während in der älteren Altersgruppe jeweils 19 Kinder den Knopf im bzw. entgegen dem Uhrzeigersinn drehten.

### **3.2.3 Statistische Auswertung**

#### **3.2.3.1 *Motorische Fähigkeiten (M-ABC-2)***

Als Erstes wurde eine univariate Varianzanalyse (ANOVA) mit dem M-ABC-2 Gesamtwert als abhängiger und den Faktoren Geschlecht und Altersgruppe als unabhängigen Variablen gerechnet.

#### **3.2.3.2 *Mentale Rotation: Reaktionszeit (RZ)***

Die Analyse RZ und Trefferquoten (abhängige Variablen) wurde in ähnlicher Weise durchgeführt wie bei der Studie von Frick et al. (2009). Um die RZ zu analysieren, wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung berechnet. Die Innersubjektfaktoren waren Winkeldisparität ( $0^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $+90^\circ$ ,  $+135^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $-135^\circ$ ,  $-90^\circ$  und  $-45^\circ$ ) und manuelle Rotation (mit oder ohne) und die Zwischensubjektfaktoren waren Altersgruppe (7-8 Jahre und 9-10 Jahre), Geschlecht (Junge oder Mädchen) und manuelle Rotationsrichtung (im Uhrzeigersinn oder entgegen dem Uhrzeigersinn).

#### **3.2.3.3 *Linearität***

Um zu testen, ob die Kinder die Stimuli wirklich mental rotierten, wurde der Anstieg der RZ bei ansteigender Winkeldisparität mit linearen Regressionen für jedes Kind berechnet. Anhand des mittleren  $R^2$  wurde entschieden, ob die RZ linear ansteigt.

#### **3.2.3.4 *$0^\circ$ -Trials***

Um die Effekte von Wahrnehmungs- und Enkodierungsprozessen sowie die für die motorische Reaktion benötigte Zeit zu kontrollieren, wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Reaktionszeiten in der  $0^\circ$ -Bedingung als abhängiger Variable gerechnet. Die unabhängigen Variablen waren manuelle Rotation als Innersubjektfaktor (mit oder ohne) und Geschlecht (Mädchen oder Junge), Altersgruppe (7-8 Jahre und 9-10 Jahre)

und manuelle Rotationsrichtung (im Uhrzeigersinn oder entgegen dem Uhrzeigersinn) als Zwischensubjektfaktoren.

#### **3.2.3.5     *Mentale Rotationsgeschwindigkeit***

Um die Geschwindigkeit auszurechnen, mit der die Stimuli mental rotiert wurden, wurde der Wert für die Steigung der linearen Regressionsgeraden verwendet. Negative Steigungswerte und Werte, die mehr als 3 Standardabweichungen vom Mittelwert entfernt waren, wurden ausgeschlossen. In jedem Block mussten aufgrund dieser Kriterien die Werte von vier Probanden ausgeschlossen werden. Die mentale Rotationsgeschwindigkeit berechnet sich aus dem inversen Wert der Steigung der Regressionsgeraden. Mit der mentalen Rotationsgeschwindigkeit als abhängiger Variable wurde anschließend eine Varianzanalyse mit Messwiederholung gerechnet. Der Innersubjektfaktor war manuelle Rotation (mit und ohne) und die Zwischensubjektfaktoren waren Altersgruppe und Geschlecht.

#### **3.2.3.6     *Kompatible vs. inkompatible manuelle und mentale Rotation***

Für die Analyse des Effekts kompatibler und inkompatibler manueller und mentaler Drehrichtung auf die RZ wurden negative und positive Winkeldisparitäten entsprechend der manuellen Drehrichtung des Probanden als kompatibel oder inkompatibel klassifiziert. Die Reaktionszeiten bei den Winkeln  $0^\circ$  und  $180^\circ$  wurden von der Analyse ausgeschlossen, da entweder keine Rotation nötig oder die Richtung der mentalen Rotation beliebig war. Anschließend wurden die Reaktionszeiten anhand einer Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Innersubjektfaktoren Winkeldisparität ( $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ) und Kompatibilität (kompatible vs. inkompatible manuelle Rotationsrichtung) und den Zwischensubjektfaktoren Altersgruppe, Geschlecht und manuelle Rotationsrichtung untersucht. Da zwischen den Faktoren Altersgruppe und Kompatibilität und den Faktoren Altersgruppe, Geschlecht und Kompatibilität Interaktionen gefunden wurden, wurde in jeder Altersgruppe eine separate Varianzanalyse gerechnet.

### **3.2.3.7     *Mentale Rotation: Trefferquote (TQ)***

Die Analyse der Trefferquoten erfolgte analog zu der Analyse der Reaktionszeiten.

### **3.2.3.8     *Relation: Motorische Fähigkeiten und mentale Rotation***

Anhand einer Bonferroni-adaptierten Korrelationsanalyse zwischen der mentalen Rotationsleistung (RZ und TQ) und dem M-ABC-2 Gesamtwert wurde der Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsfähigkeit überprüft. Da der M-ABC-2-Wert signifikant mit der TQ korrelierte, wurde der Gesamtwert im M-ABC-2 in der Analyse der Trefferquoten als Kovariate eingefügt.

### **3.2.3.9     *Nacheffekte der motorischen Drehung auf nachfolgende mentale Rotation***

Um eventuelle Nacheffekte der manuellen Drehung eines Knopfes im Sinne eines motorischen „Primings“ auf die mentale Rotationsleistung zu testen, wurde eine Korrelationsanalyse mit dem M-ABC-2 Gesamtwert einerseits und der mentalen Rotationsleistung (RZ und TQ) andererseits in den beiden Blöcken mit mentaler Rotation (Blöcke 1 und 4) durchgeführt. Da die Bonferroni-adaptierte Korrelation zwischen M-ABC-2 Gesamtwert und der mentalen Rotationsleistung nur im zweiten Block (Block 4) signifikant war, wurden zwei Kovarianzanalysen durchgeführt. Die abhängige Variable war einmal RZ und einmal TQ. Die unabhängigen Variablen waren in beiden Fällen die Winkeldisparität (0°, +45°, +90°, +135°, 180°, -135°, -90° und -45°) und „Priming“ (ohne und mit) als Innersubjektvariablen und Geschlecht und Altersgruppe als Zwischensubjektvariablen. Der M-ABC-2 Gesamtwert fungierte als Kovariate.

## **3.2.4     Ergebnisse**

### **3.2.4.1     *Motorische Fähigkeiten (M-ABC-2)***

Die Varianzanalyse mit der abhängigen Variable M-ABC-2 Gesamtwert und den Zwischensubjektfaktoren Geschlecht und Altersgruppe zeigte keine signifikanten Effekte



(Faktor Altergruppe:  $F(1,79) = .49$ ;  $p = .49$ ,  $\eta_p^2 = .006$ , Faktor Geschlecht:  $F(1,79) = .43$ ;  $p = .52$ ,  $\eta_p^2 = .005$ , Interaktion  $F(1,79) = .26$ ;  $p = .62$ ,  $\eta_p^2 = .003$ ).

#### **3.2.4.2 Mentale Rotation – Vergleich der Leistung zwischen den Blöcken ohne zusätzliche manuelle Rotation (1 und 4) und den Blöcken mit zusätzlicher manueller Rotation (2 und 3): Reaktionszeit (RZ)**

Bei der Analyse der RZ zeigte sich ein signifikanter Effekt für den Faktor Altersgruppe,  $F(1,72) = 20.1$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .22$ , jüngere Kinder hatten längere RZ ( $M = 2704\text{ms}$ ,  $SE = 97$  vs.  $M = 2063\text{ms}$ ,  $SE = 105$ ). Ebenso wurde ein signifikanter Effekt für den Faktor Winkeldisparität gefunden,  $F(7,504) = 82.87$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .54$ ; größere Winkel bedingen längere RZ. Eine Analyse der Kontraste zeigte, dass die RZ sich für alle Winkelstufen signifikant unterschieden (alle Kontraste  $p < .05$ ). Und die RZ war kürzer, wenn die mentale Rotation ohne zusätzliche manuelle Rotation durchgeführt wurde  $F(1,72) = 27.35$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .28$  ( $M = 2238\text{ms}$ ,  $SE = 67$  vs.  $M = 2530\text{ms}$ ,  $SE = 85$ ). Zwischen den Faktoren Winkeldisparität und Geschlecht konnte eine Interaktion festgestellt werden,  $F(7,504) = 2.6$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .04$ . Es scheint, als hätten die Mädchen bei größeren Winkeln längere Reaktionszeiten als die Jungen. Eine post hoc Analyse mit t-Tests für die Reaktionszeiten in den einzelnen Winkelstufen ergab jedoch keinerlei signifikante Effekt.

#### **3.2.4.3 Linearität**

Für die 7-8 jährigen Kinder betrug das mittlere  $R^2 = .71$  ( $SD = .26$ ) (Blöcke 1 und 4 ohne manuelle Rotation) beziehungsweise  $R^2 = .61$  ( $SD = .3$ ) (Blöcke 2 und 3 mit manueller Rotation) und für die 9-10 jährigen Kinder betrug das mittlere  $R^2 = .76$  ( $SD = .18$ ) (Blöcke 1 und 4) beziehungsweise  $R^2 = .75$  ( $SD = .23$ ) (Blöcke 2 und 3). Anhand dieser Werte für die Linearität der Regressionsgeraden lässt sich abschätzen, dass die Reaktionszeitgeraden gut durch das lineare Modell beschrieben werden.

#### **3.2.4.4 $0^\circ$ -Trials**

Die Ergebnisse der Varianzanalyse lassen zwei Haupteffekte erkennen. Ein Haupteffekt zeigt sich für den Faktor Altersgruppe  $F(1,75) = 13$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .15$ . Jüngere Kinder haben längere RZ als ältere Kinder ( $M = 1943\text{ms}$ ,  $SE = 82$  vs.  $M = 1509\text{ms}$ ,  $SE = 89$ ). Der andere zeigt sich für den Faktor manuelle Rotation  $F(1,75) = 10.5$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .12$ . Wenn keine zusätzliche manuelle Rotation geleistet werden muss, sind die RZ kürzer ( $M = 1602\text{ms}$ ,  $SE = 51$  vs.  $M = 1849\text{ms}$ ,  $SE = 87$ ).

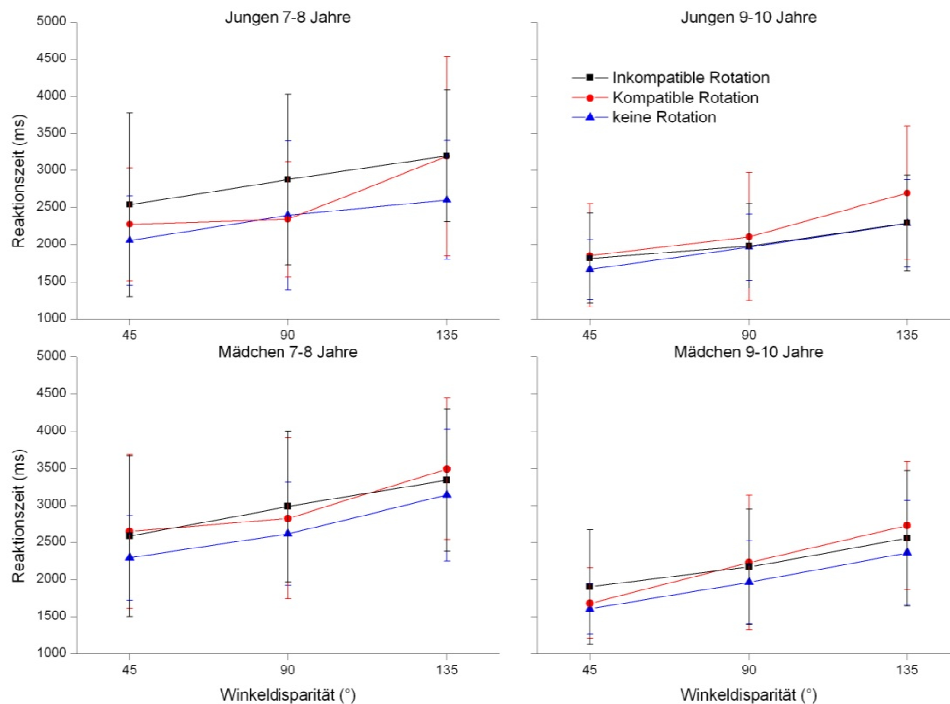
#### **3.2.4.5 Mentale Rotationsgeschwindigkeit**

Es wurde ein Haupteffekt für den Faktor Geschlecht gefunden  $F(1,71) = 5.25$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .07$ . Jungen rotierten schneller als Mädchen ( $M = 192^\circ/\text{s}$ ,  $SE = 13$  vs.  $M = 153^\circ/\text{s}$ ,  $SE = 11$ ). Für den Faktor Altersgruppe trat nur ein tendenzieller Effekt auf  $F(1,71) = 3.86$ ,  $p = .053$ ,  $\eta_p^2 = .05$ . Ältere Kinder rotieren die Stimuli tendenziell schneller als jüngere Kinder ( $M = 189^\circ/\text{s}$ ,  $SE = 12$  vs.  $M = 156^\circ/\text{s}$ ,  $SE = 12$ ). Für den Faktor manuelle Rotation konnten keine Effekte oder Interaktionen gefunden werden.

#### **3.2.4.6 Kompatible vs. inkompatible manuelle und mentale Rotation**

Es traten Haupteffekte für den Faktor Winkeldisparität,  $F(2,148) = 53.15$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .42$ , und für den Faktor Altersgruppe,  $F(1,74) = 18.05$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .20$ , auf. RZ stieg wieder mit steigender Winkeldisparität an (alle Kontraste  $p < .001$ ) und jüngere Kinder hatten längere RZ als ältere ( $M = 2869\text{ms}$ ,  $SE = 113$  vs.  $M = 2169\text{ms}$ ,  $SE = 120$ ; siehe Abb. 6). Zusätzlich wurden signifikante Interaktionen der Faktoren Altersgruppe und Kompatibilität,  $F(1,74) = 7.37$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .09$ , Altersgruppe, Kompatibilität und Geschlecht,  $F(1,74) = 8.35$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .10$  (s. Abb. 6) und Kompatibilität und manueller Rotationsrichtung  $F(1,74) = 4.26$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .05$  gefunden. Die mittlere RZ in der kompatiblen Bedingung unterschied sich kaum bei den beiden manuellen Drehrichtungen (im Uhrzeigersinn:  $M = 2491\text{ms}$ ,  $SE = 122$ ; entgegen dem Uhrzeigersinn:  $M = 2526\text{ms}$ ,  $SE = 119$ ), wick jedoch in der inkompatiblen

Bedingung ab. Die Kinder, die den Knopf im Uhrzeigersinn drehten, reagierten schneller ( $M = 2422\text{ms}$ ,  $SE = 122$ ) als die Kinder, die den Knopf entgegen dem Uhrzeigersinn drehten ( $M = 2634\text{ms}$ ,  $SE = 119$ ). Eine post hoc Analyse mit t-Tests ergab jedoch keinen signifikanten Unterschied.



**Abb. 6: Mittlere Reaktionszeiten nach Altersgruppe und Geschlecht aufgeteilt für Trials mit kompatibler, inkompatibler und ohne zusätzliche manuelle Rotation**

Aufgrund der Interaktion zwischen Altersgruppe und Kompatibilität wurden für beide Altersgruppen separate Analysen gerechnet. In der jüngeren Altersgruppe konnte ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Kompatibilität gefunden werden  $F(1,40) = 4.59$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .10$ . Zusätzlich interagieren die Faktoren Kompatibilität und Geschlecht  $F(1,40) = 5.89$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .13$ . In der älteren Altersgruppe konnten diese Effekte nicht nachgewiesen werden. Abb. 6 zeigt die mittleren RZ für Jungen und Mädchen in der jüngeren Altersgruppe in der kompatiblen und in der inkompatiblen Bedingung. Offensichtlich kann der

Kompatibilitätseffekt auf die Jungen in der jüngeren Altersgruppe zurückgeführt werden (s. Abb. 6).

Ein Einfluss der motorischen Fähigkeiten der Kinder auf die RZ des mentalen Rotationstests wurde analysiert, indem die oben beschriebene Varianzanalyse mit dem M-ABC-2 Gesamtwert als Kovariate wiederholt wurde. Dabei konnte jedoch kein signifikanter Einfluss der motorischen Fähigkeiten der Kinder auf die RZ gefunden werden ( $p > .05$ ).

#### ***3.2.4.7 Mentale Rotation – Vergleich der Leistung zwischen den Blöcken ohne zusätzliche manuelle Rotation (1 und 4) und den Blöcken mit zusätzlicher manueller Rotation (2 und 3): Trefferquote (TQ)***

Die mittlere Trefferquote (TQ) bei den 7-8 jährigen lag bei 87,9% (Blöcke 1 und 4 ohne zusätzliche manuelle Rotation) beziehungsweise 90% (Blöcke 2 und 3 mit zusätzlicher manueller Rotation). Bei den 9-10 jährigen lag sie bei 93,3% (Blöcke 1 und 4) bzw. 94,9% (Blöcke 2 und 3). Der M-ABC-2 Gesamtwert stand in signifikantem Zusammenhang mit der TQ  $F(1,74) = 6.56, p < .05, \eta_p^2 = .08$ . Eine Korrelationsanalyse zeigte eine starke positive Korrelation zwischen dem M-ABC-2 Wert und der TQ (nur mentale Rotation:  $r = .28, p < .05$ , mentale plus manuelle Rotation:  $r = .29, p < .01$ ). Für den Faktor Altersgruppe konnte ein Haupteffekt nachgewiesen werden  $F(1,74) = 5.21, p < .05, \eta_p^2 = .07$ . Ältere Kinder zeigten eine höhere TQ als jüngere Kinder ( $M = 93.8\%, SE = 1.5$  vs.  $M = 89.2\%, SE = 1.4$ ). Es wurde ebenso ein Haupteffekte für den Faktor Winkeldisparität gefunden  $F(7,518) = 5.67, p < .001, \eta_p^2 = .07$ . Die TQ nahm mit zunehmender Winkeldisparität ab (s. Tab. 1). Zusätzlich konnte eine Interaktion zwischen den Faktoren Geschlecht und manueller Rotation festgestellt werden  $F(1,74) = 4.59, p < .05, \eta_p^2 = .06$ . Mädchen haben eine höhere TQ als Jungen in Trials ohne zusätzliche manuelle Rotation ( $M = 92\%, SE = 1.7$  vs.  $M = 89.1\%, SE = 1.8$ ). Allerdings zeigen Jungen die gleiche Leistung, wenn eine zusätzliche manuelle Rotation ausgeführt

werden muss (92%). Eine separate Analyse mit t-Tests zeigte jedoch, dass diese Unterschiede nicht signifikant sind ( $p > .1$ ).

**Tab. 1: Mittlere TQ für Winkeldisparitäten und Altersgruppen (wiederholte Kontrastanalyse: Unterschied zum nächsthöheren Winkel ist signifikant \* =  $p < .05$ )**

Winkel	0°	45°	90°	135°	180°	-135°	-90°	-45°	Total
7-8 Jahre		*	*						
mittlere TQ	95.2%	93.4%	90.0%	82.1%	79.4%	85.3%	93.0%	95.1%	89.2%
(SE)	(1.2)	(1.6)	(1.9)	(2.9)	(3.3)	(2.1)	(1.4)	(1.0)	(1.4)
9-10 Jahre		*		*					
mittlere TQ	97.7%	97.0%	94.9%	89.7%	85.2%	91.1%	97.2%	97.9%	93.8%
(SE)	(1.3)	(1.7)	(2.0)	(3.1)	(3.6)	(2.3)	(1.5)	(1.1)	(1.5)
Gesamt		*			*				
mittlere TQ	96.4%	95.2%	92.4%	85.9%	82.3%	88.2%	95.1%	96.5%	91.5%
(SE)	(.9)	(1.2)	(1.4)	(2.1)	(2.4)	(1.6)	(1.0)	(.7)	(1.0)

Ein Speed-Accuracy-Tradeoff wurde durch eine Korrelationsanalyse zwischen der mittleren Trefferquote und der mittleren Reaktionszeit ausgeschlossen. Es wurden nur signifikant negative Korrelationen gefunden (Blöcke 1 und 4:  $r = -.23$ ,  $p < .05$ ; Blöcke 2 und 3:  $r = -.3$ ,  $p < .01$ ). Kinder die schnellere Reaktionszeiten zeigten, haben somit auch weniger Fehler gemacht. Bei einem Speed-Accuracy-Tradeoff würde man das Gegenteil erwarten.

### 3.2.4.8 *Kompatible vs. inkompatible manuelle und mentale Rotation*

Um den Einfluss der motorischen Fähigkeiten auf Kompatibilitätseffekte zu überprüfen, wurde eine Kovarianzanalyse mit dem M-ABC-2 Gesamtwert als Kovariate gerechnet. Es wurden weder Haupteffekte noch Interaktionen für den Faktor Kompatibilität gefunden. Die motorischen Fähigkeiten stehen in signifikantem Zusammenhang mit der TQ  $F(1,74) = 5.0$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .06$ . Die Kovarianzanalyse zeigte zudem einen Haupteffekt für den Faktor Altersgruppe  $F(1,74) = 6.13$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .08$ . Ältere Kinder haben eine höhere TQ als die Jüngeren. ( $M = 95.8\%$ ,  $SE = 1.4$  vs.  $M = 90.9\%$ ,  $SE = 1.3$ ). Ein weiterer Haupteffekt zeigte sich für den Faktor Winkeldisparität  $F(2,148) = 4.91$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .06$ , mit höheren TQ bei

kleineren Disparitäten. Die Kontrastanalyse bestätigte signifikante Unterschiede zwischen 45° und 90° ( $p < .05$ ), jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen 90° und 135° ( $p > .05$ ).

#### **3.2.4.9     *Nacheffekte der motorischen Drehung auf nachfolgende mentale Rotation***

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse zeigten signifikante Korrelationen sowohl zwischen dem M-ABC-2 Gesamtwert und der mittleren RZ ( $r = -.3$ ;  $p < .01$ ) als auch zwischen dem M-ABC-2 Gesamtwert und der mittleren TQ ( $r = .3$ ;  $p < .01$ ). Diese Korrelationen konnten jedoch nur in dem Block mentaler Rotation nach den Blöcken, in denen ein Knopf gedreht werden musste, nachgewiesen werden. Höhere motorische Fähigkeiten gehen mit kürzeren RZ und höheren TQ einher, wenn die Kinder während der mentalen Rotation an einem Knopf drehen mussten.

Die anschließende Kovarianzanalyse der Blöcke mit ausschließlich mentaler Rotation mit RZ als abhängiger Variable zeigte Haupteffekte für Winkeldisparität  $F(7,504) = 4.89$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .06$  und Altersgruppe  $F(1,72) = 19.55$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .21$ . RZ stieg mit steigender Winkeldisparität an, jedoch zeigte die Analyse der Kontraste, dass nur die Unterschiede zwischen 0° und 45° sowie zwischen -45° und -90° signifikant waren ( $p < .01$ ). Ältere Kinder hatten kürzere RZ als jüngere ( $M = 1952\text{ms}$ ,  $SE = 95$  vs.  $M = 2531\text{ms}$ ,  $SE = 90$ ). Es konnte eine signifikante Interaktion zwischen dem motorischen „Priming“ und dem M-ABC-2 Gesamtwert gezeigt werden  $F(1,72) = 4.01$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .05$ . Diese Interaktion stützt die Ergebnisse der oben aufgeführten Korrelationsanalyse. Zusätzlich zeigte sich eine Interaktion zwischen der Winkeldisparität und dem Geschlecht  $F(7,504) = 2.3$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .03$ . Eine separate Analyse mit t-Tests zeigte signifikant längere RZ für Mädchen bei den Winkeln 135° und 180° (135°:  $M = 3149\text{ms}$ ,  $SD = 1117$  vs.  $M = 2503\text{ms}$ ,  $SD = 1012$  und 180°:  $M = 3391\text{ms}$ ,  $SD = 1334$  vs.  $M = 2638\text{ms}$ ,  $SD = 1055$ ; beide  $p < .01$ ) in der Bedingung vor dem motorischen „Priming“. Der familywise Alpha Fehler war unterhalb 5% für jede getestete Hypothese.

In der analogen Kovarianzanalyse mit der abhängigen Variable TQ stellte sich ein signifikanter Zusammenhang mit der Kovariaten M-ABC-2 Gesamtwert heraus,  $F(1,78) = 5.96$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .07$ . Ebenso gab es signifikante Haupteffekte für die Faktoren Winkeldisparität  $F(7,546) = 5.73$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .07$  und Altersgruppe  $F(1,78) = 4.4$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .05$ . Die TQ nahm mit zunehmender Winkeldisparität ab, jedoch zeigte die Analyse der Kontraste, dass nur die Unterschiede zwischen  $0^\circ$  und  $45^\circ$ ,  $45^\circ$  und  $90^\circ$  und zwischen  $-90^\circ$  und  $-135^\circ$  signifikant waren ( $p < .05$ ). Ältere Kinder hatten eine höhere TQ als jüngere ( $M = 93\%$ ,  $SE = 1.8$  vs.  $M = 88\%$ ,  $SE = 1.6$ ). Es gab außerdem eine signifikante Interaktion zwischen dem motorischen “Priming” und der Kovariate  $F(1,78) = 4.64$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .06$  und eine signifikante Interaktion zwischen der Winkeldisparität und der Kovariate  $F(7,546) = 2.71$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .03$ . Bei Kindern mit höheren motorischen Fähigkeiten scheint eine motorische Strategie, die durch das Drehen eines Knopfes ausgelöst wird, die mentale Rotationsfähigkeit zu verbessern, vor allem wenn die Stimuli über größere Winkeldisparitäten gedreht werden müssen.

### 3.2.5 Diskussion

Das Ziel dieses Experiments war, die Interferenzerscheinungen einer manuellen auf eine mentale Rotation bei Kindern in zwei verschiedenen Altersstufen zu untersuchen. Außerdem sollte der Einfluss der motorischen Fähigkeiten auf die mentale Rotation und die Interferenzeffekte überprüft werden. Ein signifikanter Effekt für die Kompatibilität gleichzeitig ausgeführter manueller und mentaler Rotation konnte nur bei sieben- bis achtjährigen Jungen gefunden werden. Das Drehen eines Knopfes mit der rechten Hand in eine Richtung interferierte mit der mentalen Rotation einer Tierfigur in der entgegengesetzten Richtung. Die sieben- bis achtjährigen Jungen waren um etwa 300ms schneller, wenn sie manuell und mental in die gleiche Richtung rotieren mussten, als wenn die Drehrichtungen inkompatibel waren. Dieser Effekt konnte bei gleichaltrigen Mädchen oder älteren Kindern

nicht gefunden werden. Die motorischen Fähigkeiten der Kinder hatten einen signifikanten Einfluss auf die Trefferquoten der Kinder. Ein Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten der Kinder und dem Interferenzeffekt konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.

### **3.2.5.1     *Mentale Rotation***

Die Ergebnisse zu Alterseffekten und Winkeldisparität decken sich mit den Ergebnissen vorhergehender Studien (z. B. Kosslyn et al., 1990, Jansen et al., 2013). Die jüngeren Kinder machten mehr Fehler und hatten längere Reaktionszeiten als die Kinder der älteren Altersgruppe. Der Alterseffekt bei den Reaktionszeiten der 0°-Trials und der tendenzielle Effekt bei der mentalen Rotationsgeschwindigkeit lassen darauf schließen, dass ältere Kinder eine allgemein höhere kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit haben als jüngere Kinder. Bei älteren Kindern scheinen vor allem kognitive Prozesse wie Stimulusenkodierung, -vergleich und die motorische Reaktion bei der Antwort schneller abzulaufen als bei jüngeren Kindern (vgl. Kail et al. 1980). Da für die mentale Rotationsgeschwindigkeit nur ein tendenzieller Alterseffekt gefunden wurde, lässt sich nicht festhalten, dass ältere Kinder einen Stimulus schneller rotieren als jüngere Kinder. Eventuell lässt sich bei größerem Altersunterschied ein signifikanter Effekt für die mentale Rotationsgeschwindigkeit finden. Mit zunehmender Winkeldisparität wurden in beiden Altersgruppen mehr Fehler gemacht und längere Reaktionszeiten gemessen. Diese Ergebnisse bestätigen, dass die Kinder die Stimuli tatsächlich mental rotierten. Ein Geschlechtseffekt konnte nur bei der mentalen Rotationsgeschwindigkeit gefunden werden. Jungen rotieren die Stimuli etwas schneller als Mädchen. In ihrer Untersuchung mit Kindern in den gleichen Altersgruppen konnten Jansen et al. (2013) ebenso Alterseffekte bei den Reaktionszeiten und den Trefferquoten nachweisen. Bezüglich der mentalen Rotationsgeschwindigkeit konnten in dieser Untersuchung jedoch keinerlei Geschlechtseffekte gefunden werden. Die Ursachen dieser unterschiedlichen Ergebnisse lassen sich mit den Daten dieser Arbeit nicht aufklären. Allgemein ist die



Datenlage bei Kindern und bei chronometrischen mentalen Rotationstests bezüglich eines Geschlechtseffekts nicht ganz eindeutig (Voyer et al., 1995; Hahn, 2010).

### **3.2.5.2     *Interferenz zwischen motorischen Prozessen und mentaler Rotation***

In diesem Experiment konnten die Ergebnisse der Studie von Frick et al. (2009) teilweise repliziert werden, obwohl ein leicht verändertes Paradigma verwendet wurde. Frick et al. (2009) fanden ebenfalls einen Kompatibilitätseffekt bei jüngeren Kindern. Jedoch fanden sie keine Geschlechtsdifferenzen. Diese Ergebnisse unterstützen die Theorie, dass die Fähigkeit, visuelle mentale Prozesse und motorische Prozesse auseinanderzuhalten, sich mit zunehmendem Alter entwickelt. Außerdem tragen diese Ergebnisse zum Verständnis der Rolle motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation bei. Wie und wann werden sie eingesetzt, um visuell mentale Prozesse zu unterstützen? In diesem Experiment zeigten die sieben- bis achtjährigen Jungen in der kompatiblen Bedingung eine im Mittel um etwa 300ms schnellere Reaktionszeit als in der inkompatiblen Bedingung. Die gleichaltrigen Mädchen waren in beiden Bedingungen so schnell wie die Jungen in der inkompatiblen Bedingung. Dieses Ergebnis legt den Schluss nahe, dass die Jungen, durch die starke Verknüpfung zwischen motorischen und visuell mentalen Prozessen, einen Vorteil haben. Dieser Vorteil verschwindet, sobald die mentale Rotation durch eine konkurrierende motorische Aufgabe gestört wird. Bei allen Kindern war die Reaktionszeit ohne zusätzliche manuelle Rotation schneller, als wenn zusätzlich zur mentalen Rotation eine weitere Aufgabe in Form einer manuellen Rotation (kompatibel oder inkompatibel) ausgeführt werden musste. Daraus lässt sich schließen, dass durch die zusätzliche manuelle Rotation die kognitive Last erhöht wurde und die allgemeine kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit herabgesetzt wurde. Die Hypothese, dass ein direkter Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten der Kinder und dem Interferenzeffekt besteht, konnte nicht bestätigt werden. Es konnte keine Interaktion der motorischen Fähigkeiten mit der Kompatibilität der mentalen und motorischen

Drehrichtungen gefunden werden. Es kann daher nicht bestätigt werden, dass Kinder mit ausgeprägteren motorischen Fähigkeiten durch eine zusätzliche motorische Aufgabe bei der mentalen Rotation stärker beeinträchtigt werden. Eventuell sind die interindividuellen Unterschiede zwischen den Kindern einer Jahrgangsstufe zu gering, um hier einen Effekt abzubilden.

### **3.2.5.3     *Motorische Fähigkeiten, mentale Rotation und Nacheffekte eines motorischen „Primings“***

Der Einfluss der motorischen Fähigkeiten auf die mittlere Trefferquote bestätigt die Ergebnisse aus früheren Untersuchungen (Jansen & Heil, 2010; Jansen et al., 2011). Kinder mit besseren motorischen Fähigkeiten machen weniger Fehler im mentalen Rotationstest als Kinder mit weniger gut ausgeprägten motorischen Fähigkeiten. Folgt man den Ausführungen von Moreau (2012), hängt die Einbeziehung motorischer Prozesse in nichtmotorische kognitive Vorgänge von der extensiven motorischen Erfahrung eines Menschen ab. Diese gewinnbringende, unbewusste Einbeziehung motorischer Prozesse sollte demnach bei Menschen mit ausgeprägten motorischen Fähigkeiten deutlicher in Erscheinung treten als bei Menschen mit schwächeren motorischen Fähigkeiten. In einem anderen Experiment zeigten Wraga et al. (2003), dass das Ausführen einer motorischen Aufgabe mit Bezug zur mentalen Rotation Nacheffekte in einer direkt anschließenden mentalen Rotation hervorrufen kann. Kortikale Areale im Gehirn, die normalerweise der motorischen Steuerung dienen, wurden während der mentalen Rotation aktiviert. Somit wurden motorische Prozesse für die mentale Rotation abstrakter Stimuli verwendet. Fehlte die motorische Aufgabe mit Bezug zur mentalen Rotation, konnte keine Aktivierung dieser motorischen Areale im Gehirn festgestellt werden. Eine separate Analyse der Trefferquoten und Reaktionszeiten im ersten Block mentaler Rotation, dem kein motorisches „Priming“ in Form einer manuellen Rotation vorausging, zeigte keinen Einfluss der motorischen Fähigkeiten auf die mentale

Rotationsleistung. Ein allgemeiner Lerneffekt von Block 1 bis Block 4 kann ausgeschlossen werden, da kein Haupteffekt für den Faktor „Priming“ gefunden werden konnte. In den Blöcken mit zusätzlicher manueller Rotation konnte ein Einfluss der motorischen Fähigkeiten auf die Trefferquote festgestellt werden, und im letzten Block mit ausschließlich mentaler Rotation konnte sogar ein deutlicher Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsleistung (Trefferquoten und Reaktionszeiten) gezeigt werden. Offensichtlich löste die manuelle Drehung eines Knopfes die Einbeziehung motorischer Prozesse bei der Lösung mentaler Rotationsaufgaben aus. Aus der Korrelation der Trefferquote und der Reaktionszeit mit den motorischen Fähigkeiten in Block 4 lässt sich ableiten, dass Kinder, die ausgeprägtere motorische Fähigkeiten haben, mehr von dieser Einbeziehung motorischer Prozesse profitieren. Chu und Kita (2011) postulieren, dass die Einbeziehung motorischer Prozesse generell einen positiven Einfluss auf die mentale Verarbeitung räumlicher Transformationen hat. Die sieben- bis achtjährigen Jungen hatten wahrscheinlich von vornherein mehr motorische Prozesse an der Lösung der mentalen Rotationsaufgabe beteiligt. Daraus entstand den Jungen ein Vorteil, der sich in einer im Mittel um 300ms kürzeren Reaktionszeit niederschlägt. Wenn jedoch diese Beteiligung motorischer Prozesse durch eine konkurrierende motorische Aufgabe gestört wurde, mussten sich die Jungen mehr auf visuelle Prozesse verlassen. Die Folge ist dann eine mittlere Reaktionszeit, die in etwa gleich lang ist wie die der Mädchen. Ob nun die Mädchen in der jüngeren Altersgruppe die Lösung mentaler Rotationsaufgaben eher durch die Einbeziehung visueller Prozesse bewerkstelligen, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht sagen. Bei den Mädchen wurde die Reaktionszeit durch die zusätzliche manuelle Rotation im Allgemeinen und unabhängig von der manuellen Drehrichtung verzögert. Bei den älteren Kindern wurden schnellere Reaktionszeiten, höhere Trefferquoten und kein Kompatibilitätseffekt gefunden. Dies könnte auf die allgemeine kognitive Entwicklung zurückzuführen sein. Frick et al.

(2009) gehen davon aus, dass die Fähigkeit zur Entkoppelung motorischer und visuell-mentaler Prozesse mit dem Alter zunimmt.

#### **3.2.5.4    *Einschränkungen***

In dem verwendeten Paradigma erschien ein Pfeil auf dem Bildschirm, der den Kindern die Richtung anzeigte, in der der Knopf zu drehen ist. Sobald der Knopf in die richtige Richtung gedreht wurde, verschwand der Pfeil, und die Stimuli für die mentale Rotation erschienen. Die Kinder wurden ausdrücklich instruiert, den Knopf so lange weiterzudrehen, bis das Feedback der mentalen Rotation auf dem Bildschirm auftauchte. Sobald jedoch die kognitive Last bei der Lösung der mentalen Rotationsaufgabe anstieg, verlangsamten viele Kinder die Rotation oder unterbrachen sie gar ganz. Obwohl die Kinder an die Instruktionen erinnert wurden, wenn dieses Verhalten beobachtet wurde, fielen viele Kinder schnell wieder in das Verhaltensmuster „nur eine Sache auf einmal“ zurück. Nichtsdestotrotz konnte ein Kompatibilitätseffekt nachgewiesen werden, und die Verwendung motorischer Prozesse zur Lösung mentaler Rotationsaufgaben konnte induziert werden. In Experiment 3 muss die Drehrichtung des Knopfes während der mentalen Rotationsaufgabe im Gedächtnis behalten werden. Einerseits wird somit überprüft, ob allein die Intention für eine entgegengesetzte motorische Handlung für eine Interferenzerscheinung ausreicht, und andererseits wird auf diese Weise das Problem umgangen, dass die Kinder bei erhöhter kognitiver Last die Drehung des Knopfes unterbrechen. Obwohl die Anweisungen klar forderten, den rechten Stimulus mental zu drehen, besteht die Möglichkeit, dass manche Kinder den linken, aufrecht stehenden Stimulus rotiert haben, um ihn mit dem rechten in Übereinstimmung zu bringen. Leider kann diese Möglichkeit anhand unserer Daten nicht vollständig ausgeschlossen werden. Ein weiterer Punkt, der berücksichtigt werden sollte, ist, dass die Präsentation eines gebogenen Richtungspfeils vor der mentalen Rotation möglicherweise auch visuell-mentale Prozesse, die zur mentalen Rotation beitragen, beeinflusst hat. Auch dieser Punkt kann nicht

gänzlich ausgeschlossen werden. Da jedoch die mentale Rotationsleistung im Block direkt nach der manuellen und mentalen Rotationsaufgabe in deutlichem Zusammenhang mit den motorischen Fähigkeiten steht, liegt die Annahme nahe, dass tatsächlich gewinnbringende motorische Prozesse bei den Kindern mit ausgeprägteren motorischen Fähigkeiten aktiviert worden sind.

#### **3.2.5.5 Zusammenfassung**

Sieben- bis achtjährige Jungen scheinen motorische Prozesse bei der Lösung mentaler Rotationsaufgaben stärker einzubeziehen als gleichaltrige Mädchen. Bei älteren Kindern wird dieser Unterschied durch die allgemeine Entwicklung der kognitiven Fähigkeiten ausgeglichen. Kinder mit ausgeprägten motorischen Fähigkeiten schneiden bei der Lösung mentaler Rotationsaufgabe besser ab als Kinder mit weniger ausgeprägten motorischen Fähigkeiten. Dieser Zusammenhang entwickelt sich jedoch erst durch eine motorische Aufgabe (Drehen eines Knopfes) mit Bezug zur mentalen Rotation. Ein direkter Einfluss der motorischen Fähigkeiten auf die Interferenz zwischen mentalen und motorischen Rotationen konnte nicht gefunden werden. Diese Ergebnisse bestätigen eine starke Überlappung zwischen motorischen und kognitiven Prozessen, speziell bei Kindern im Grundschulalter, und unterstreichen die Wichtigkeit vielseitiger motorischer Erfahrungen im Kindesalter.

### **3.3 Experiment 3**

Die Ergebnisse von Experiment 2 werfen vielfältige weitere Fragen auf. Beispielsweise ist von Interesse, ob für die Auslösung einer Interferenz bei 7-8 jährigen Jungen bereits die Planung einer motorischen Handlung ausreicht, wie es Wohlschläger (2001) bei Erwachsenen zeigen konnte. Wohlschläger (2001) geht davon aus, dass die Interferenz hauptsächlich durch das Aufrechterhalten zweier entgegengesetzter Handlungspläne entsteht, jedoch durch die gleichzeitige Ausführung der Handlung noch verstärkt wird. Wenn sich eine Interferenz zwischen der Planung einer entgegengesetzten motorischen Handlung und einer mentalen

Rotation nachweisen lässt, lässt sich dadurch auch die methodische Einschränkung aus Experiment 2, bei der die Kinder bei zunehmender kognitiver Last die manuelle Rotation einstellen, umgehen. Außerdem ist von Interesse, ob sich schon durch das Aufrechterhalten eines Bewegungsplanes während der mentalen Rotation ein ebensolcher Zusammenhang mit den motorischen Fähigkeiten herstellen lässt, wie durch die gleichzeitige Ausführung einer Bewegung in Experiment 2. In Experiment 3 wurde deshalb bei 7-8 jährigen Kindern untersucht, ob sich die Interferenz zwischen manueller und mentaler Rotation auch durch die bloße Intention zur manuellen Rotation auslösen lässt. Der Zusammenhang mit den motorischen Fähigkeiten der Kinder war ebenfalls wieder Untersuchungsgegenstand. Es wurde erwartet, dass sich bei entgegengesetzter Bewegungsintention und mentaler Rotationsrichtung längere Reaktionszeiten einstellen, als wenn Bewegungsintention und mentale Rotationsrichtung übereinstimmen. Zusätzlich bestand die Annahme, dass ein Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsleistung feststellbar ist. Bezüglich eines Geschlechtseffekts wurde aufgrund der Ergebnisse aus Experiment 2 damit gerechnet, dass sich der Interferenzeffekt ausschließlich bei den Jungen nachweisen lässt und dass die Jungen eine allgemein höhere mentale Rotationsgeschwindigkeit zeigen als die Mädchen.

### **3.3.1 Methode**

#### **3.3.1.1 Stichprobe**

Es wurden 27 Kinder der zweiten Jahrgangsstufe Grundschule (Alter:  $M = 8.1$ ,  $SD = .3$ ) getestet. Die Stichprobe bestand aus 16 Mädchen und 11 Jungen. Von den Eltern wurde eine schriftliche Einverständniserklärung eingeholt. Alle Teilnehmer hatten ein normales Sehvermögen oder verwendeten eine Brille in ihrer Sehstärke. Ein Kind war Linkshänder.

### **3.3.1.2 Apparatus und Stimuli**

Die Kinder wurden mit der Movement Assessment Battery 2 für Kinder (M-ABC-2) (Petermann, 2008) und einem chronometrischen mentalen Rotationstest getestet. Der mentale Rotationstest wurde mit und ohne zusätzliche Intention zur manuellen Rotation durchgeführt.

#### **3.3.1.2.1 Movement Assessment Battery 2 für Kinder (M-ABC-2, Petermann, 2008)**

Eine genaue Beschreibung des M-ABC-2 findet sich bei Experiment 1.

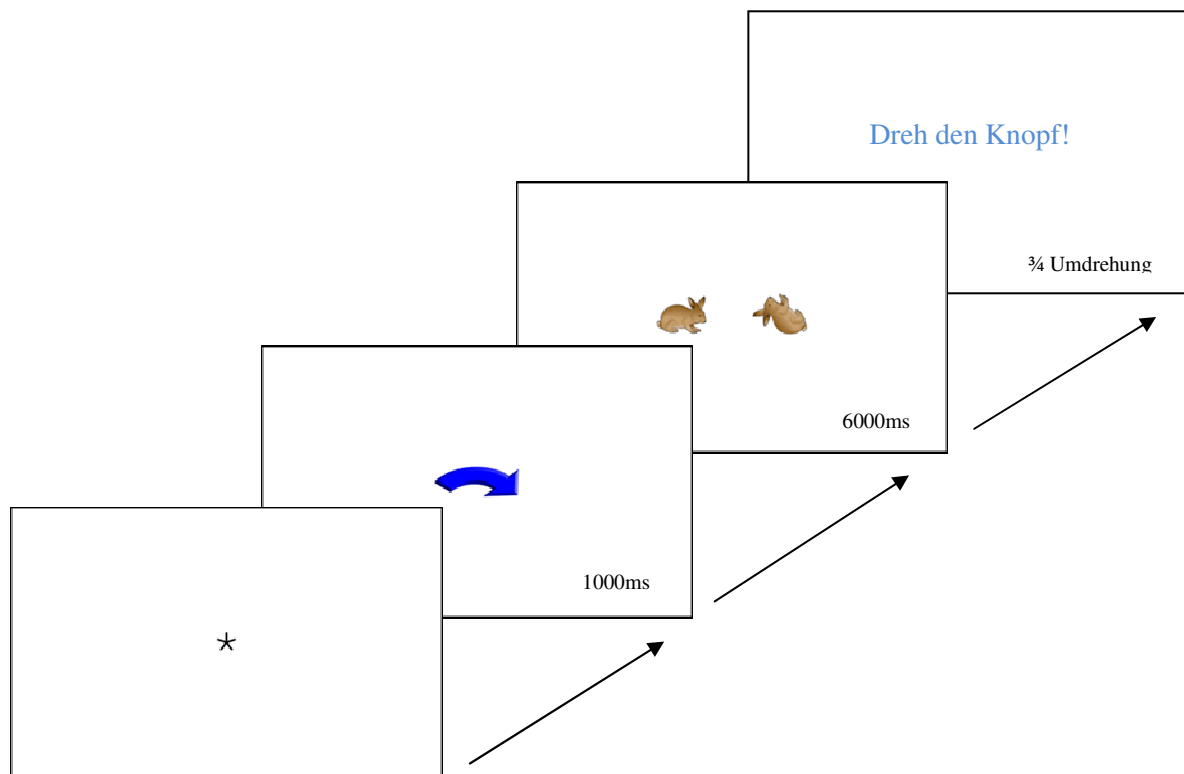
#### **3.3.1.2.2 Chronometrischer mentaler Rotationstest mit interferierender motorischer Intention**

Der Testaufbau mit Laptop und drehbarem Knopf war der gleiche wie in Experiment 2 (s. o. S.38ff). Als Stimuli für den mentalen Rotationstest wurden wieder die gleichen Tierfiguren aus dem Inventar von Snodgrass & Vanderwart (1980) wie in Experiment 2 verwendet. In den Blöcken mit ausschließlich mentaler Rotation wurde der rechte Stimulus nur um 0°, +45°, +90°, +135° und 180° gedreht dargestellt. Die Kinder sollten so schnell und akkurat wie möglich entscheiden, ob die beiden dargestellten Stimuli gleich oder spiegelverkehrt waren. Fünf Stimuli erschienen nur in den Übungstrials und vier Stimuli erschienen nur in den Testtrials. Die Analyse der Reaktionszeiten und der Trefferquoten sowie die Ausschlusskriterien waren analog zu Experiment 1 und 2. Trials, bei denen die Reaktionszeit geringer als 300 Millisekunden oder größer als 15000 Millisekunden war, wurden als Ausreißer behandelt und als Fehler gewertet. Für die Analyse der Reaktionszeiten wurden nur richtige Antworten gewertet. Außerdem wurden nur die Reaktionszeiten der gleichen Stimuluspaare ausgewertet, da die Winkeldisparität für spiegelverkehrte Trials nicht klar definiert ist (Jolicœur, et al., 1985). Der mentale Rotationstest mit interferierender motorischer Intention bestand neben den Blöcken mit Übungstrials aus zwei Teilen (Block 1 und 3), in denen nur mental rotiert werden musste, und einem Teil, in dem eine motorische Bewegungsintention während der mentalen Rotation behalten werden musste (Block 2). Die

Blöcke 1 und 3 waren hinsichtlich des Aufbaus der Trials analog zu den Blöcken mit ausschließlich mentaler Rotation aus den beiden vorangehenden Experimenten. In Block 2 begann jeder Trial mit einem schwarzen Fixationskreuz in Bildschirmmitte für 500ms. Nach Verschwinden des Kreuzes erschien ein gebogener Pfeil, der in 50% der Trials nach links und in 50% der Trials nach rechts zeigte. Die Abfolge der verschiedenen Richtungen war zufällig. In den Instruktionen wurden die Kinder angewiesen, sich die Richtung des Pfeiles gut zu merken. Nach 1000ms verschwand der Pfeil und zwei Stimuli zur mentalen Rotation erschienen und blieben auf dem Bildschirm, bis entweder eine Antworttaste gedrückt wurde oder 6000ms verstrichen waren. Wenn vor Ablauf der 6000ms eine Antworttaste gedrückt wurde, blieb der Bildschirm bis zum Ende der 6000ms leer. Die Zeitspanne von 6000ms errechnet sich aus der mittleren Reaktionszeit 7-8 jähriger Kinder bei einem Winkel von  $180^\circ$  (längste RZ) zuzüglich der Standardabweichung aus Experiment 2. Der mentale Rotationstrial dauerte also in jedem Fall 6000ms, egal ob eine Antwort erfolgte oder nicht. Nach Ablauf der Zeit erschien die Aufforderung „DREH DEN KNOPF!“ auf dem Bildschirm, worauf der Knopf eine dreiviertel Umdrehung (eine Drehung, die ohne den Knopf loszulassen, in einer einzigen Handbewegung ausgeführt werden kann) in die gemerkte Richtung gedreht werden sollte. Durch diese feste Zeitspanne hatten Kinder, die schnell mental rotieren können, keinen Vorteil durch eine kürzere Merkspanne. Die Aufforderung „DREH DEN KNOPF!“ blieb so lange auf dem Bildschirm, bis der Knopf eine dreiviertel Umdrehung in irgendeine Richtung gedreht wurde (s. Abb. 7). Anschließend erschien das Fixationskreuz für den nächsten Trial. Der Test begann für jeden Teilnehmer mit 10 Übungstrials zur mentalen Rotation, um sich an das Paradigma zu gewöhnen. Darauf folgte ein Block mit 20 Trials zur mentalen Rotation (Block 1). In den Trials mit ausschließlich mentaler Rotation wurde durchgehend Feedback mit lachenden oder bedrückten Smileys gegeben. Anschließend folgten 10 Übungstrials für die Interferenzaufgabe. In diesen Übungstrials gab es kein Feedback mehr für die mentale



Rotation mehr, dafür aber für die Drehung des Knopfes: Wurde der Knopf in die richtige Richtung gedreht, erschien nach der Aufforderung „DREH DEN KNOPF!“ ein lachender Smiley. Bei falscher Richtung erschien ein bedrückter Smiley. Nach Beendigung der Übungstrials begann Block 2 mit 96 Trials. In diesem Block wurde kein Feedback gegeben. Alle 16 Trials hatten die Kinder die Gelegenheit, eine Pause einzulegen. Über die Länge der Pause konnten sie selbst entscheiden. Trials, in denen der Knopf in die falsche Richtung gedreht wurde, wurden von der Analyse ausgeschlossen, da bei diesen Trials die Bewegung offensichtlich in die falsche Richtung geplant wurde. Nach Abschluss von Block 2 folgte nochmals ein Block mentaler Rotation (Block 3) identisch mit Block 1.



**Abb. 7: Schematischer Ablauf eines Trials in Block 2 mit motorischer Intention und gleichzeitiger mentaler Rotation**

### **3.3.2 Versuchsdurchführung**

#### **3.3.2.1 *Prozedur***

Die Bedingungen und der Ablauf der Untersuchung entsprachen den beiden vorangegangenen Experimenten.

### **3.3.3 Statistische Auswertung**

#### **3.3.3.1 *Motorische Fähigkeiten (M-ABC-2)***

Als Erstes wurde eine univariate Varianzanalyse (ANOVA) mit dem M-ABC-2 Gesamtwert als abhängiger und dem Faktor Geschlecht als unabhängiger Variable gerechnet.

#### **3.3.3.2 *Mentale Rotation: Reaktionszeit (RZ)***

Um die RZ zu analysieren, wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung berechnet. Um die Daten von Block 1 und 3 mit den Daten von Block 2 vergleichen zu können, wurden in Block 2 jeweils die Winkelstufen  $+45^\circ$  und  $-45^\circ$ ,  $+90^\circ$  und  $-90^\circ$  und  $+135^\circ$  und  $-135^\circ$  zusammengefasst. Die Innersubjektfaktoren waren Winkeldisparität ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ) und „motorische Intention“ (mit oder ohne) und der Zwischensubjektfaktor war Geschlecht (Junge oder Mädchen).

#### **3.3.3.3 *Linearität***

Um zu testen, ob die Kinder die Stimuli wirklich mental rotierten, wurde der Anstieg der RZ bei ansteigender Winkeldisparität mit linearen Regressionen für jedes Kind berechnet. Anhand des mittleren  $R^2$  wurde entschieden, ob die RZ linear ansteigt.

#### **3.3.3.4 *$0^\circ$ -Trials***

Die mentale Rotation eines Stimulus macht nur einen Teil der Reaktionszeit aus. Ebenso haben andere kognitive Prozesse wie z. B. Wahrnehmung und Identifikation ihren Anteil. Um Effekte dieser anderen Prozesse zu kontrollieren, wurde eine Varianzanalyse mit

Messwiederholung mit den Reaktionszeiten in der 0° Bedingung als abhängiger Variable gerechnet. Die unabhängigen Variablen waren „motorische Intention“ als Innersubjektfaktor (mit oder ohne) und Geschlecht (Mädchen oder Junge) als Zwischensubjektfaktor.

#### **3.3.3.5     *Mentale Rotationsgeschwindigkeit***

Um die Geschwindigkeit zu berechnen, mit der die Stimuli mental rotiert wurden, wurde der Wert für die Steigung der linearen Regressionsgeraden verwendet. Negative Steigungswerte und Werte, die mehr als 3 Standardabweichungen vom Mittelwert entfernt waren, wurden von der Analyse ausgeschlossen. In den Blöcken 1 und 3 mussten aufgrund dieser Kriterien der Wert von einem und in Block 2 die Werte von zwei Probanden ausgeschlossen werden. Die mentale Rotationsgeschwindigkeit berechnet sich aus dem inversen Wert der Steigung der Regressionsgeraden. Mit der mentalen Rotationsgeschwindigkeit als abhängiger Variable wurde anschließend eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor „motorische Intention“ (mit und ohne) und Geschlecht als Zwischensubjektfaktor gerechnet.

#### **3.3.3.6     *Kompatible vs. inkompatible motorische Intention und mentale Rotation (RZ)***

Um sicherzustellen, dass die motorische Intention auch der Pfeilrichtung entsprach, wurden alle Trials, bei denen der Knopf nach der mentalen Rotation in die verkehrte Richtung gedreht wurde, von der Analyse ausgeschlossen. Für die Analyse des Effekts kompatibler und inkompatibler motorischer Intention und mentaler Drehrichtung auf die RZ im mentalen Rotationstest wurden negative und positive Winkeldisparitäten entsprechend der motorischen Intention des Probanden als kompatibel oder inkompatibel klassifiziert. Die Reaktionszeiten für 0° und 180° wurden von der Analyse ausgeschlossen, da entweder keine Rotation nötig oder die Richtung der mentalen Rotation beliebig war. Anschließend wurden die Reaktionszeiten anhand einer Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Innersubjektfaktoren Winkeldisparität (45°, 90°, 135°) und Kompatibilität (kompatible vs. inkompatible motorische Intention) und dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht untersucht.

### **3.3.3.7     *Mentale Rotation: Trefferquote (TQ)***

Die Analyse der Trefferquoten erfolgte analog zu der Analyse der Reaktionszeiten.

### **3.3.3.8     *Kompatible vs. inkompatible motorische Intention und mentale Rotation (TQ)***

Für die Analyse des Effekts kompatibler und inkompatibler motorischer Intention und mentaler Drehrichtung auf die TQ im mentalen Rotationstest wurden negative und positive Winkeldisparitäten entsprechend der motorischen Intention des Probanden als kompatibel oder inkompatibel klassifiziert. Die Trefferquoten für 0° und 180° wurden von der Analyse ausgeschlossen, da entweder keine Rotation nötig oder die Richtung der mentalen Rotation beliebig war. Anschließend wurden die Trefferquoten anhand einer Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Innersubjektfaktoren Winkeldisparität (45°, 90°, 135°) und Kompatibilität (kompatible vs. inkompatible motorische Intention) und dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht untersucht.

Um zu überprüfen, ob eine entgegengesetzte mentale Rotation die motorische Intention beeinflusst, wurde die Trefferquote der manuellen Rotation berechnet. Die Trials, in denen die Intention zur motorischen Rotation während der mentalen Rotation korrekt aufrechterhalten werden konnte (Pfeilrichtung und Drehrichtung stimmen überein), werden dabei als Treffer gezählt. Um diese manuelle Trefferquote auf einen Kompatibilitätseffekt zu überprüfen, wurden die Trials entsprechend der mentalen Rotationsrichtung in kompatibel und inkompatibel eingeteilt. Anschließend wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung gerechnet. Die abhängige Variable war die manuelle Trefferquote, die Innersubjektfaktoren waren Winkeldisparität (45°, 90° und 135°) und Kompatibilität und der Faktor Geschlecht diente als Zwischensubjektfaktor.

### **3.3.3.9      *Relation: Motorische Fähigkeiten und mentale Rotation***

Anhand einer Korrelationsanalyse zwischen der mentalen Rotationsleistung (RZ und TQ) und dem M-ABC-2 Gesamtwert wurde der Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsfähigkeit überprüft.

### **3.3.3.10    *Nacheffekte der motorischen Drehung auf nachfolgende mentale Rotation***

Um eventuelle Nacheffekte der manuellen Drehung eines Knopfes im Sinne eines motorischen „Primings“ auf die mentale Rotationsleistung zu testen, wurde eine Korrelationsanalyse mit dem M-ABC-2 Gesamtwert einerseits und der mentalen Rotationsleistung (RZ und TQ) andererseits in den beiden Blöcken (Blöcke 1 und 3) mit mentaler Rotation durchgeführt.

## **3.3.4    Ergebnisse**

### **3.3.4.1      *Motorische Fähigkeiten (M-ABC-2)***

Die Varianzanalyse mit der abhängigen Variable M-ABC-2 Gesamtwert und dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht zeigte keine signifikanten Effekte (Faktor Geschlecht:  $F(1,25) = .69; p = .42, \eta_p^2 = .03, n.s.$ ).

### **3.3.4.2      *Mentale Rotation: Reaktionszeit (RZ)***

Bei der Analyse der RZ zeigte sich ein signifikanter Effekt für den Faktor Winkeldisparität  $F(4,92) = 19.05, p < .001, \eta_p^2 = .45$ ; größere Winkel bedingen längere RZ. Eine Analyse der Kontraste zeigte, dass die RZ sich für alle Winkelstufen, bis auf die zwischen 45° und 90°, signifikant unterschieden (alle Kontraste  $p < .05$ ). Es konnte kein signifikanter Effekt für den Faktor „motorische Intention“ gefunden werden ( $F(1,23) = .2, p = .66, \eta_p^2 = .01, n.s.$ ) und auch keine Interaktion.

#### **3.3.4.3     *Linearität***

Für Block 1 und 3 (mit ausschließlich mentaler Rotation) betrug das mittlere  $R^2 = .54$  ( $SD = .28$ ) und für Block 2 (motorische Intention plus mentale Rotation) betrug das mittlere  $R^2 = .62$  ( $SD = .28$ ). Anhand dieser Werte für die Linearität der Regressionsgeraden lässt sich abschätzen, dass die Reaktionszeitgeraden recht gut durch das lineare Modell beschrieben werden.

#### **3.3.4.4     *0°-Trials***

Die Ergebnisse der Varianzanalyse zeigen für die Faktoren Geschlecht und „motorische Intention“ keine signifikanten Effekte oder Interaktionen.

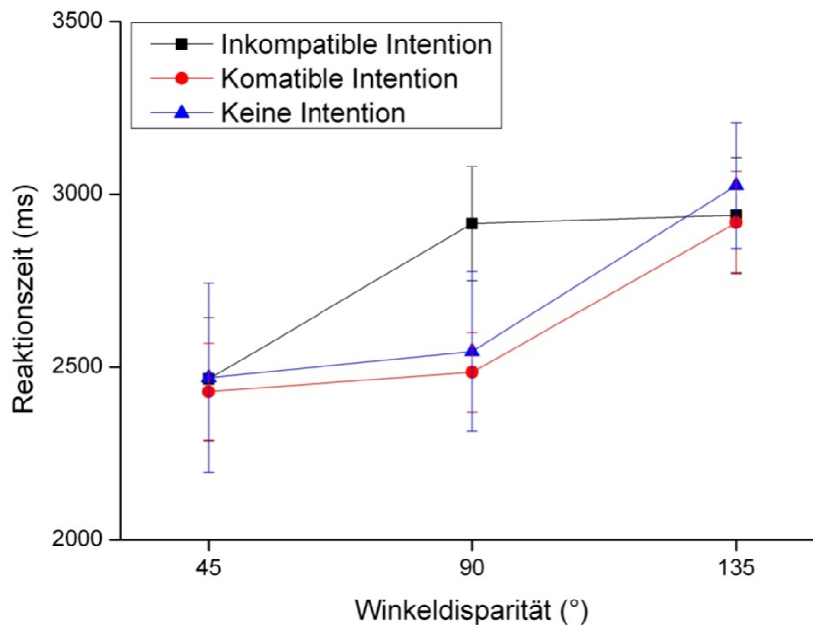
#### **3.3.4.5     *Mentale Rotationsgeschwindigkeit***

Es konnte kein Effekt für den Faktor „motorische Intention“ gefunden werden ( $F(1,22) = 1.8$ ,  $p = .19$ ,  $\eta_p^2 = .08$ , *n.s.*). Für den Faktor Geschlecht konnte kein signifikanter Effekt, jedoch eine Tendenz gefunden werden ( $F(1,22) = 3.93$ ,  $p = .06$ ,  $\eta_p^2 = .15$ , *n.s.*). Jungen rotieren tendenziell schneller als Mädchen ( $M = 272.6^\circ/\text{s}$ ,  $SE = 37$  vs.  $M = 178.8^\circ/\text{s}$ ,  $SE = 29$ ). Es wurden keine Interaktionen zwischen Geschlecht und motorischer Intention gefunden.

#### **3.3.4.6     *Kompatible vs. inkompatible motorische Intention und mentale Rotation (RZ)***

Es wurde ein Haupteffekt für den Faktor Winkeldisparität gefunden ( $F(2,48) = 6.78$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .22$ ). Die RZ stiegen mit zunehmendem Winkel an, eine Kontrastanalyse konnte jedoch einen signifikanten Unterschied nur zwischen den Winkelstufen  $45^\circ$  und  $135^\circ$  feststellen. Für den Faktor Kompatibilität konnte kein signifikanter Effekt, jedoch eine Tendenz gefunden werden ( $F(1,24) = 4.01$ ,  $p = .057$ ,  $\eta_p^2 = .14$ , *n.s.*). In der kompatiblen Bedingung sind die RZ tendenziell schneller als in der inkompatiblen Bedingung ( $M = 2610\text{ms}$ ,  $SE = 108$  vs.  $M = 2773\text{ms}$ ,  $SE = 141$ ). Zwischen den Faktoren Kompatibilität und Winkeldisparität zeigte sich eine signifikante Interaktion ( $F(2,48) = 4.2$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .15$ ). Während sich bei den

Winkelstufen 45° und 135° nur leicht schnellere RZ in der kompatiblen Bedingung fanden, beträgt der Unterschied in der 90° Winkelstufe 430ms (RZ 90° kompatibel:  $M = 2485\text{ms}$ ,  $SE = 115$ ; RZ 90° inkompatibel:  $M = 2915\text{ms}$ ,  $SE = 165$ , s. Abb. 8).



**Abb. 8: Mittlere Reaktionszeiten für Trials mit kompatibler, inkompatibler motorischer Intention und ohne zusätzliche motorische Intention**

Ob eine Verbindung zwischen den RZ in der mentalen Rotation und den motorischen Fähigkeiten der Kinder besteht, wurde analysiert, indem der M-ABC-2 Gesamtwert in der oben beschriebenen Varianzanalyse als Kovariate eingesetzt wurde. Ein signifikanter Einfluss der motorischen Fähigkeiten der Kinder auf die RZ konnte jedoch nicht gefunden werden ( $p > .05$ ).

### 3.3.4.7 Mentale Rotation: Trefferquote (TQ)

In der Varianzanalyse wurde ein Haupteffekt für den Faktor „motorische Intention“ gefunden  $F(1,25) = 15.1$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .38$ . In der Bedingung ohne motorische Intention zeigten die Kinder eine höhere TQ, als wenn sie sich während der mentalen Rotation eine

Bewegungsrichtung merken mussten ( $M = 90.2\%$ ,  $SE = 1.8$  vs.  $M = 82.4\%$ ,  $SE = 3.1$ ). Es konnte kein Haupteffekt für den Faktor Winkeldisparität gefunden werden  $F(4,100) = 1.9$ ,  $p = .12$ ,  $\eta_p^2 = .07$ , *n.s.*, Die Faktoren Winkeldisparität und „motorische Intention“ wiesen jedoch eine signifikante Interaktion auf  $F(4,100) = 3.23$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .11$ . Separate Analysen für den Block mit mentaler Rotation und für den Block mit zusätzlicher motorischer Intention ergaben einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Winkeldisparität im Block mit zusätzlicher motorischer Intention  $F(4,100) = 5.26$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .17$ . Die TQ nahm mit zunehmender Winkeldisparität ab. Eine Analyse der Kontraste ergab jedoch einen signifikanten Unterschied nur zwischen den Winkelstufen  $90^\circ$  und  $135^\circ$ . In der Analyse der TQ in dem Block mit nur mentaler Rotation fanden sich keine signifikanten Effekte (s. Tab. 2).

**Tab. 2: Mittlere TQ für die einzelnen Winkeldisparitäten (wiederholte Kontrastanalyse: Unterschied zum nächsthöheren Winkel ist signifikant \* =  $p < .05$ )**

Winkel	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$	Gesamt
Block 1/3						
mittlere TQ	94.2%	89.1%	86.2%	88.7%	92.6%	90.2%
(SE)	(2.8)	(4.1)	(4.2)	(3.6)	(4.6)	(1.8)
Block 2			*			
mittlere TQ	84.4%	89.9%	87.6%	79.0%	71.0%	82.4%
(SE)	(4.7)	(2.6)	(3.1)	(4.5)	(5.6)	(3.1)
Gesamt						
mittlere TQ	89.3%	89.5%	86.9%	83.8%	81.8%	86.3%
(SE)	(2.6)	(2.8)	(3.3)	(2.9)	(4.1)	(2.3)

Ein Speed-Accuracy-Tradeoff wurde durch eine Korrelationsanalyse zwischen der mittleren Trefferquote und der mittleren Reaktionszeit ausgeschlossen. In den Blöcken 1 und 3 trat eine signifikant negative Korrelation auf ( $r = -.4$ ,  $p < .05$ ), und in Block 2 trat keine signifikante Korrelation auf ( $r = .05$ ,  $p > .05$ ) auf. Kinder, die in den Blöcken mit ausschließlich mentaler Rotation schnellere Reaktionszeiten erreicht haben, haben in diesen Blöcken auch weniger Fehler gemacht. Bei einem Speed-Accuracy-Tradeoff würde man das Gegenteil erwarten. In



Block 2 konnte kein Zusammenhang zwischen Reaktionszeiten und Trefferquoten nachgewiesen werden, was ebenfalls auf die Abwesenheit eines Speed-Accuracy-Tradeoffs hindeutet.

Ob die motorischen Fähigkeiten der Kinder einen Einfluss auf die TQ bei der mentalen Rotation haben, wurde untersucht, indem die oben durchgeführte Varianzanalyse mit dem M-ABC-2 Gesamtwert als Kovariate wiederholt wurde. Es konnte jedoch kein signifikanter Zusammenhang mit den Werten der M-ABC-2 gefunden werden.

#### **3.3.4.8      *Kompatible vs. inkompatible manuelle und mentale Rotation (TQ)***

Die Varianzanalyse zeigte einen Haupteffekt für den Faktor Winkeldisparität  $F(2,50) = 4.39, p < .05, \eta_p^2 = .15$ , mit höheren TQ bei kleineren Disparitäten. Die Kontrastanalyse bestätigte einen signifikanten Unterschied zwischen  $90^\circ$  und  $135^\circ$  ( $p < .05$ ), jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen  $45^\circ$  und  $90^\circ$  ( $p > .05$ ). Es wurden weder Haupteffekte noch Interaktionen für die Faktoren Kompatibilität oder Geschlecht gefunden. In einer separaten Analyse wurde untersucht, wie gut die Kinder die motorische Intention während der mentalen Rotation behalten konnten. Wurde der Knopf nach der mentalen Rotation in die richtige Richtung gedreht, konnte die motorische Intention aufrechterhalten werden. Insgesamt wurde der Knopf in 81,1% (SE = 3.1) der Trials aus Block 2 in die richtige Richtung gedreht. Die Analyse der manuellen Trefferquote ergab einen Haupteffekt für den Faktor Winkeldisparität  $F(2,50) = 5.09, p < .05, \eta_p^2 = .17$ . Mit zunehmender Winkeldisparität in der mentalen Rotation wurden mehr Fehler bei der manuellen Rotation gemacht (s. Tab. 3).

**Tab. 3: Mittlere manuelle TQ in Block 2 für die einzelnen Winkeldisparitäten (wiederholte Kontrastanalyse: Unterschied zum nächsthöheren Winkel ist signifikant  $\ast = p < .05$ ).**

Winkel	45°	90°	135°	Gesamt
kompatibel				
mittlere TQ	84.4%	82.2%	81.1%	82.6%
(SE)	(3.7)	(3.5)	(3.8)	(3.3)
inkompatibel				
mittlere TQ	80.6%	84.2%	74.0%	79.6%
(SE)	(3.9)	(3.2)	(3.8)	(3.3)
Gesamt		*		
mittlere TQ	82.5%	83.2%	77.5%	81.1%
(SE)	(3.6)	(2.8)	(3.4)	(3.1)

Ansonsten wurden keine Haupteffekte oder Interaktionen gefunden (alle  $p > .05$ ).

#### **3.3.4.9 Relation: Motorische Fähigkeiten und mentale Rotation**

Es konnte in diesem Experiment keine Korrelation zwischen den RZ oder TQ des mentalen Rotationstest und den Ergebnissen der M-ABC-2 Testbatterie gefunden werden. Für die Trefferquote der manuellen Rotation konnte ebenfalls kein Zusammenhang mit dem Motoriktest gefunden werden.

#### **3.3.4.10 Nacheffekte der motorischen Drehung auf nachfolgende mentale Rotation**

Die Korrelationsanalyse zeigte keinerlei signifikante Korrelationen zwischen dem Gesamtwert des M-ABC-2 Tests und den Reaktionszeiten oder Trefferquoten im mentalen Rotationstest ohne motorische Intention. Aufgrund der geringen Anzahl der Trial in den Blöcken mit ausschließlich mentaler Rotation (je 20 Trial in Block 1 und 3) ist diese Analyse nicht sehr aussagekräftig.

### **3.3.5 Diskussion**

Das Ziel dieses Experiments war zu untersuchen, ob eine Interferenzerscheinung zwischen inkompatibler manueller und mentaler Rotation bei 7-8 jährigen Kindern auch auftritt, wenn während der mentalen Rotation nur die Intention für eine manuelle Rotation aufrechterhalten

wird. Zusätzlich sollte der Einfluss der motorischen Fähigkeiten auf die mentale Rotation und die Interferenzeffekte überprüft werden. In diesem Experiment wurden nur 7-8 jährige Kinder untersucht, da in Experiment 2 nur Effekte für Kinder in dieser Altersgruppe gefunden werden konnten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Intention für eine motorische Drehung bei Kindern in diesem Alter ausreicht, um einen Interferenzeffekt mit der mentalen Rotation auszulösen. Ein Zusammenhang der mentalen Rotationsfähigkeit mit den motorischen Fähigkeiten konnte in diesem Experiment nicht nachgewiesen werden.

### **3.3.5.1     *Mentale Rotation***

In dieser Studie mussten, weil sie während der Unterrichtszeit in einer Grundschule durchgeführt wurde, gewisse Kompromisse bezüglich des Testdesigns eingegangen werden. Um die Kinder nicht zu lange vom Unterricht fernzuhalten und um ihre Konzentration nicht über Gebühr zu strapazieren, wurde die Testdauer des mentalen Rotationstests begrenzt. Die Erfahrungen aus den vorangegangenen Experimenten haben gezeigt, dass bei den meisten Kindern nach 20-25 Minuten die Motivation und damit auch die Konzentration beim mentalen Rotationstest merklich nachlassen. Da die Trials mit zusätzlicher motorischer Intention um die gleiche Merkspanne für alle Kinder zu gewährleisten, zeitlich auf 8 Sekunden pro Trial festgelegt sind, ist die Dauer des Blocks mit zusätzlicher motorischer Intention mit mindestens 15 Minuten (inklusive Instruktionen und Übungstrials und abhängig von der individuellen Pausenlänge) vorgegeben. Aufgrund dieser langen Zeitspanne für diesen Block mussten die Blöcke mit ausschließlich mentaler Rotation auf insgesamt 40 Trials gekürzt werden. Nichtsdestotrotz decken sich die Ergebnisse zur Winkeldisparität in diesen 40 Trials bei den Reaktionszeiten mit den Ergebnissen aus den Experimenten 1 und 2 und den Ergebnissen aus anderen Studien (z. B. Frick et al. 2009, Jansen et al. 2013). Mit zunehmender Winkeldisparität wurden längere Reaktionszeiten gemessen. Bei den Trefferquoten wurden die Ergebnisse nur teilweise bestätigt. Insgesamt war die mittlere

Trefferquote der Kinder mit 90.2% (bzw. 82.4% bei Trials, in denen zusätzlich die motorische Drehrichtung behalten werden musste) recht hoch. Frick et al. (2009) berichten in ihrer Studie über eine noch höhere Trefferquote bei gleichaltrigen Kindern, jedoch war bei ihnen die mentale Rotationsaufgabe leichter als in dieser Untersuchung. Die Trefferquote war in der Bedingung, in der die Kinder keine zusätzliche Aufgabe hatten, signifikant höher (90.2% vs. 82.4%) als in der Bedingung, in der die Kinder sich eine Drehrichtung merken mussten. Eine nachlassende Trefferquote mit zunehmendem Winkel (wie in den vorhergehenden Experimenten und in den Untersuchungen von Frick et al. 2009 oder Jansen et al. 2013) konnte jedoch nur in dem Block mit der zusätzlichen Aufgabe festgestellt werden. Möglicherweise liefert die geringe Anzahl der Trials in den Blöcken 1 und 3 (insgesamt 40) die Erklärung, da in Block 2 bei 96 Trials eine nachlassende Trefferquote mit zunehmendem Winkel festzustellen war. Die Analyse der Linearität der Reaktionszeitgeraden bestätigt, dass der Anstieg der Reaktionszeiten mit zunehmendem Winkel durch das lineare Modell recht gut beschrieben wird. Diese Ergebnisse bestätigen einmal mehr, dass die Kinder die Stimuli tatsächlich mental rotierten. Ein Geschlechtseffekt konnte in diesem Experiment nicht signifikant nachgewiesen werden. Bei der Analyse der mentalen Rotationsgeschwindigkeit konnte nur eine Tendenz zugunsten der Jungen gefunden werden. Diese Tendenz lässt vermuten, dass in einer größeren Stichprobe ein signifikanter Geschlechtseffekt nachweisbar wäre.

### **3.3.5.2     *Interferenz zwischen motorischer Intention und mentaler Rotation***

In diesem Experiment konnten die Ergebnisse der Erwachsenenstudie von Wohlschläger (2001) mit Kindern teilweise repliziert werden. Zwar konnte für den Faktor Kompatibilität nur eine Tendenz gefunden werden, die Interaktion zwischen Winkeldisparität und Kompatibilität war jedoch signifikant. Wie aus Abb. 8 ersichtlich, fand sich bei den Winkelstufen 45° und 135° nur eine leicht schnellere Reaktionszeit in der kompatiblen als in

der inkompatiblen Bedingung. Wenn jedoch der Stimulus mental um  $90^\circ$  in die eine Richtung gedreht und gleichzeitig eine Bewegungsintention für eine manuelle Drehung in die entgegengesetzte Richtung behalten werden musste, waren die Reaktionszeiten im Mittel um 430ms langsamer, als wenn mentale Rotationsrichtung und Bewegungsintention kompatibel waren. Wohlschläger (2001) fand in seiner Studie mit Erwachsenen zwar einen Haupteffekt für die Kompatibilität der geplanten Bewegungsrichtung und der mentalen Rotationsrichtung, bei genauerer Betrachtung der Reaktionszeiten kann man jedoch feststellen, dass dieser Haupteffekt weitgehend auf Unterschieden in den Winkelstufen  $60^\circ$  und  $120^\circ$  basiert. Da bei Wohlschläger (2001) keine Winkeldisparität von  $90^\circ$  verwendet wird, kann nur vermutet werden, dass bei Erwachsenen bei  $90^\circ$  Winkeldisparität ebenfalls ein starker Interferenzeffekt auftritt. Über die Frage, warum ein derart starker Interferenzeffekt gerade bei einer Winkeldisparität von  $90^\circ$  auftritt, kann nur spekuliert werden. Möglicherweise ist die motorische Erfahrung für eine Vierteldrehung größer als für größere Winkel. Dadurch könnte der Einsatz motorischer Strategien bei der mentalen Rotation um eine Vierteldrehung stärker automatisiert sein. Bei Drehungen um  $45^\circ$  ist die Disparität eventuell nicht groß genug, um eine motorische Strategie auszulösen, und bei  $135^\circ$  ist die motorische Erfahrung eventuell nicht ausreichend, um automatisch eine motorische Strategie auszulösen. Wie auch in Experiment 2 konnten keine Interferenzeffekte bei der Trefferquote der mentalen Rotation gefunden werden. Dieses Ergebnis geht konform mit der Untersuchung von Wohlschläger (2001), in der ebenfalls, außer einem Effekt für Winkeldisparität, keine Effekte oder Interaktionen bei der Analyse der Trefferquoten gefunden wurden. Bezüglich der Trefferquote der manuellen Rotation konnte ein Effekt für die Winkeldisparität der mentalen Rotationsaufgabe gefunden werden. Umso schwieriger die mentale Rotationsaufgabe war (höhere Winkeldisparität), desto schwerer fiel es den Kindern, die korrekte Bewegungsintention aufrechtzuerhalten. Es ist anzunehmen, dass die erhöhte kognitive Last

bei größeren Winkeldisparitäten dafür verantwortlich ist, dass eine korrekte Bewegungsintention nur mehr schwer aufrechterhalten werden kann. Diese Ergebnisse zeigen, dass bei Kindern im Alter von 7-8 Jahren, ebenso wie bei Erwachsenen (Wohlschläger, 2001), bereits die Planung einer entgegengesetzten Bewegung ausreicht, um eine mentale Rotation in der gleichen Ebene zu stören. Die Geschlechtseffekte aus Experiment 2 konnten nur bedingt reproduziert werden. Der Effekt, dass Jungen Stimuli mit einer höheren Rotationsgeschwindigkeit mental drehen können als Mädchen, trat nur tendenziell auf. Dieses Ergebnis unterstützt zwar die Annahme eines leichten Vorteils für Jungen bei der mentalen Rotation, spiegelt aber gleichzeitig die uneinheitliche Datenlage zu Geschlechtsdifferenzen in Experimenten mit Kindern wider (Voyer et al., 1995). Der Kompatibilitätseffekt, der in Experiment 2 nur bei den Jungen in dieser Altersgruppe gefunden wurde, tritt in diesem Experiment ohne Interaktion mit dem Geschlecht für die gesamte Stichprobe auf. Das heißt, auch bei den Mädchen wird die mentale Rotation eines Stimulus durch eine gleichzeitige entgegengesetzte motorische Intention gestört.

### ***3.3.5.3 Motorische Fähigkeiten, mentale Rotation und Nacheffekte eines motorischen „Primings“***

In diesem Experiment konnte keinerlei Zusammenhang zwischen der mentalen Rotationsfähigkeit und den motorischen Fähigkeiten der Kinder gefunden werden. Die Ergebnisse aus Experiment 1 und 2 zum Zusammenhang der motorischen Fähigkeiten mit der mentalen Rotationsfähigkeit konnten somit nicht bestätigt werden. Unterschiede bezüglich der motorischen Fähigkeiten zwischen den Stichproben aus Experiment 2 und 3 können als Ursache ausgeschlossen werden, da sich die Mittelwerte der zwei Stichproben kaum unterscheiden ( $p > .05$ ). Möglicherweise sind die individuellen Unterschiede zwischen den Kindern in einer Jahrgangsstufe nicht immer groß genug, um Effekte bezüglich der mentalen Rotationsleistung auszulösen. Die Analyse zweier Extremgruppen wie beispielsweise bei der

Erwachsenenstudie von Moreau (2012) könnte auch bei Kindern die Verbindung zwischen mentaler Rotation und motorischen Fähigkeiten weiter erhellen.

Ebenso konnte in diesem Experiment kein Effekt für ein motorisches „Priming“ nachgewiesen werden. Im zweiten Block mentaler Rotation nach dem Block mit zusätzlicher motorischer Intention ließ sich, wie auch in den beiden anderen Blöcken, kein Zusammenhang mit den motorischen Fähigkeiten nachweisen. Da jedoch in Block 1 und 3 nur jeweils 20 Trials ausgewertet werden konnten, wäre auch ein positives Ergebnis mit Vorsicht zu betrachten. Die These, dass das Behalten einer Bewegungsintention nicht ausreicht, um unterbewusst eine motorische Strategie zu implizieren, muss somit Spekulation bleiben.

#### **3.3.5.4    *Einschränkungen***

In dem verwendeten Paradigma wurde ein Pfeil verwendet, um eine Bewegungsintention auszulösen. Die Kinder mussten während der mentalen Rotation die Bewegungsrichtung im Arbeitsgedächtnis behalten, um nach der mentalen Rotationsaufgabe die Bewegung auszuführen. Wie auch in der vorhergehenden Studie könnte die Präsentation eines gebogenen Richtungspfeils auch visuell-mentale Prozesse, die zur mentalen Rotation beitragen, beeinflusst haben. Dadurch könnte ebenso ein Interferenzeffekt hervorgerufen worden sein wie durch das Aufrechterhalten eines Bewegungsplans. Da sich in dieser Untersuchung keinerlei Zusammenhang mit den motorischen Fähigkeiten der Kinder feststellen ließ, kann dieser Punkt anhand der vorliegenden Daten nicht ausgeschlossen werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf mit einer größeren Stichprobe.

#### **3.3.5.5    *Zusammenfassung***

Bei sieben- bis achtjährigen Kindern konnte gezeigt werden, dass das Planen einer Handbewegung ausreicht, um eine mentale Rotation zu beeinflussen. Sofern die Rotationsachsen parallel liegen, treten kürzere Reaktionszeiten im mentalen Rotationstest auf,

wenn die geplante Handbewegung und die mentale Rotation die gleiche Drehrichtung haben. Bei entgegengesetzter Richtung sind die Reaktionszeiten verlängert. Mit Ausnahme der Interaktion mit dem Geschlecht decken sich diese Ergebnisse mit den Ergebnissen aus Experiment 2. Diese Ergebnisse bestätigen, dass auch Kinder bei der mentalen Rotation motorische Prozesse nutzen.

## **4      Abschlussdiskussion**

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus allen drei Experimenten zusammengefasst und im Zusammenhang diskutiert.

### **4.1    Mentale Rotation**

In allen drei Experimenten konnten die aus der Literatur (z. B. Kail et al., 1980; Jansen et al., 2013) bekannten Ergebnisse zur mentalen Rotation bestätigt werden. Umso größer der Winkel war, um den der Stimulus von seiner aufrechten Position abwich, desto längere Reaktionszeiten wurden bei den Kindern gemessen. Der Anstieg der Reaktionszeiten mit zunehmendem Rotationswinkel erfolgte dabei linear. Die mittlere Geschwindigkeit, mit der die Stimuli rotiert wurden, war in allen drei Experimenten vergleichbar und liegt im Bereich der mittleren Rotationsgeschwindigkeit, die im Experiment von Jansen et al. (2013) bei gleichaltrigen Kindern mit ähnlichem Stimulimaterial gemessen wurde. Bei der Fehleranzahl konnte ein Anstieg mit zunehmendem Rotationswinkel beobachtet werden. In Experiment 3 blieb dieser Anstieg mit zunehmendem Rotationswinkel in der Bedingung ohne zusätzliche motorische Intention aus. Aufgrund der geringen Trialanzahl in dieser Bedingung können daraus jedoch keine Schlüsse gezogen werden. In keinem der Experimente konnte ein Speed-Accuracy-Trade-Off festgestellt werden. Deshalb ist davon auszugehen, dass die Kinder die Instruktionen, die Aufgaben so richtig wie möglich und dabei so schnell wie möglich zu



lösen, verstanden und befolgt haben. Die Alterseffekte in Experiment 2 decken sich ebenfalls mit den Ergebnissen aus vorhergehenden Studien (Kail et al., 1980; Frick et al., 2009; Jansen et al., 2013). Die jüngeren Kinder machten mehr Fehler und hatten längere Reaktionszeiten als die Kinder der älteren Altersgruppe. Da sich kein signifikanter Alterseffekt bei der mentalen Rotationsgeschwindigkeit nachweisen ließ, scheint der Prozess der mentalen Rotation bei den älteren Kindern nicht schneller als bei den jüngeren Kindern abzulaufen. Es kann davon ausgegangen werden, dass ältere Kinder eine allgemein höhere kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit haben als jüngere Kinder. Bei älteren Kindern scheinen vor allem kognitive Prozesse wie Stimulusenkodierung, -vergleich und die motorische Reaktion bei der Antwort schneller abzulaufen als bei jüngeren Kindern. Eine zusätzliche Aufgabe bei der mentalen Rotation wirkte sich in den Experimenten 2 und 3 unterschiedlich aus. In Experiment 2 konnte eine längere Reaktionszeit in der Bedingung mit zusätzlicher manueller Rotation festgestellt werden. Frick et al. (2009) fanden in ihrer Untersuchung ebenfalls eine Verlangsamung der Reaktionszeiten durch das zusätzliche Drehen eines Rades. Da in Experiment 2 das gleichzeitige Drehen eines Knopfes zwar die Reaktionszeiten bei der mentalen Rotation verlangsamt, sich jedoch nicht auf die Trefferquote oder die mentale Rotationsgeschwindigkeit auswirkt, scheint es einen Konflikt zwischen dem Prozess der mentalen Rotation und den für die Ausführung einer motorischen Handlung zuständigen Prozessen zu geben. Aufgrund dieses Konfliktes verlängert sich die Reaktionszeit. In Experiment 3 war dagegen die Trefferquote signifikant geringer, wenn die Kinder für die Dauer der mentalen Rotation eine motorische Intention aufrechterhalten mussten. Hier liegt der Konflikt eher im Bereich der Handlungsplanung. Es fällt den Kindern schwer, gleichzeitig einen Handlungsplan korrekt aufrechtzuerhalten und eine mentale Rotation durchzuführen. Damit ließe sich eine geringere Trefferquote in der Dualtask-Bedingung erklären. Es kann spekuliert werden, dass, wie auch schon von Wohlschläger (2001) vermutet, das

Aufrechterhalten der Repräsentation des mentalen Rotationsstimulus und das gleichzeitige Behalten einer motorischen Intention die gleichen Anteile des Arbeitsgedächtnisses affizieren.

## **4.2 Geschlechtsdifferenzen**

Die unterschiedlichen Ergebnisse in den 3 Experimenten bezüglich eines Geschlechtseffekts bei der mentalen Rotation spiegeln die allgemeine, uneinheitliche Datenlage zu Geschlechtsdifferenzen bei Kindern mit chronometrischen mentalen Rotationstests wider. In Experiment 1 konnten keinerlei Geschlechtsdifferenzen festgestellt werden. In Experiment 2 zeigten die Jungen eine höhere mentale Rotationsgeschwindigkeit als die Mädchen und in Experiment 3 konnte dieser Effekt nur tendenziell nachgewiesen werden. Ob dieser Effekt mit einer größeren Stichprobe in Experiment 3 signifikant geworden wäre, ist reine Spekulation. Der Kompatibilitätseffekt, der in Experiment 2 nur bei den 7-8 jährigen Jungen auftritt, tritt in Experiment 3 ohne Interaktion mit dem Geschlecht für die gesamte Stichprobe auf. Das heißt, auch bei den Mädchen wird die mentale Rotation eines Stimulus durch eine gleichzeitige entgegengesetzte motorische Intention gestört. In der Untersuchung von Frick et al. (2009), konnte keinerlei Einfluss des Geschlechts auf den Kompatibilitätseffekt beobachtet werden. Ob Jungen aufgrund ihrer motorischen Vorerfahrung automatisch mehr motorische Prozesse zur Unterstützung der mentalen Rotation nutzen und daraus einen Vorteil ziehen, kann nur vermutet werden und bedarf weiterer Untersuchungen.

## **4.3 Zusammenhang zwischen motorischen Fähigkeiten und mentaler Rotationsfähigkeit**

Die Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen dem motorischen Fähigkeitsniveau der Kinder und der mentalen Rotationsfähigkeit sind nicht einheitlich in den drei Experimenten. In Experiment 1 lässt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Trefferquote beim mentalen Rotationstest und dem Abschneiden im Motoriktest (Movement-ABC-2)

nachweisen. Motorisch geschicktere Kinder machen weniger Fehler als motorisch ungeschicktere. Der Einfluss der motorischen Fähigkeiten auf die mittlere Trefferquote bestätigt die Ergebnisse aus früheren Untersuchungen (Jansen & Heil, 2010; Jansen et al., 2011). In Experiment 2 konnte ebenfalls eine signifikante Korrelation zwischen der Trefferquote im mentalen Rotationstest und den motorischen Fähigkeiten der Kinder nachgewiesen werden. In Experiment 3 konnte jedoch keinerlei Zusammenhang festgestellt werden. Diese unterschiedlichen Ergebnisse bedürfen einer eingehenderen Betrachtung. In der Studie von Jansen et al. (2011) wird das schlechtere Abschneiden übergewichtiger Kinder in einem Motoriktest und einem mentalen Rotationstest auf mangelnde Bewegungserfahrung und somit mangelnder räumlich-visueller Erfahrung zurückgeführt. Hierbei wurde ebenfalls eine geringere Trefferquote bei den übergewichtigen Kindern gemessen. In der Untersuchung von Moreau (2012) mit erwachsenen Eliteringern machten die Ringer ebenso weniger Fehler als eine Kontrollgruppe, die keinerlei regelmäßiger, sportlicher Aktivität nachging. Außerdem zeigten die Ringer schnellere Reaktionszeiten als die Kontrollgruppe. Der Autor geht davon aus, dass die Eliteringer aufgrund ihres täglichen Umgangs mit motorischen Rotationen und deren mentaler Repräsentation automatisch mehr verdeckte motorische Prozesse für die Manipulation, auch abstrakter mentaler Repräsentationen, einsetzen. Durch diese motorischen Prozesse erzielen die Ringer einen Vorteil in der Fehlerrate und in der Reaktionszeit. Wahrscheinlich trägt der größere Unterschied zwischen zwei Extremgruppen wie Elite- und Nichtsportlern im Gegensatz zu motorisch geschickteren und ungeschickteren oder übergewichtigen und normalgewichtigen Kindern einer Jahrgangsstufe zu einem Effekt auch bei den Reaktionszeiten bei. Nach der Argumentation von Moreau (2012) hängt also ein Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsfähigkeit davon ab, ob ein Proband verdeckte motorische Prozesse nutzt, um die Rotation der mentalen Repräsentation eines Stimulus zu unterstützen. Als weitgehend gesichertes Erkenntnis gilt,

dass bei der mentalen Rotation von Körperbildern oder Bildern von Körperteilen automatisch motorische Prozesse die mentale Rotation unterstützen (Parsons, 1987; Pellizzer & Georgopoulos, 1993; Kosslyn et al., 1998). Laut den Ergebnissen von Wraga et al. (2003) können diese motorischen Prozesse auch auf die mentale Rotation von abstrakten Stimuli übertragen werden. Möglicherweise hat die Verwendung von Körperbildern als Stimuli in Experiment 1 die implizite Verwendung von motorischen Prozessen bei den Kindern ausgelöst. Da der Zusammenhang aber allgemein und nicht nur bei den Körperbildern gefunden wurde, muss man davon ausgehen, dass durch die randomisierte Reihenfolge der Stimuli diese Verwendung von motorischen Prozessen auch auf Buchstaben und Tierfiguren übertragen wurde. Man kann sich gut vorstellen, dass Kinder mit größerer Bewegungs- und dadurch auch räumlich-visueller Erfahrung mehr von dieser impliziten Verwendung motorischer Prozesse profitieren und somit weniger Fehler machen als die motorisch ungeschickteren Kinder. Diese Erklärung kann jedoch nicht anhand der vorhandenen Daten belegt werden und sollte in weiteren Experimenten überprüft werden. In Experiment 2 wurden keine Körperbilder als Stimuli verwendet und trotzdem ist ein Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der Trefferquote aufgetreten. In einer separaten Analyse wurde dieser Zusammenhang näher beleuchtet. Dabei fällt auf, dass im ersten Block mentaler Rotation dieser Zusammenhang nicht nachweisbar ist. Im zweiten und dritten Block (Dualtask mit gleichzeitiger mentaler und motorischer Rotation) findet sich ein signifikanter Einfluss der motorischen Fähigkeiten auf die Trefferquote im mentalen Rotationstest. Umso besser die Kinder im Motoriktest abgeschnitten haben, desto höher war ihre Trefferquote. Im letzten Block mentaler Rotation lässt sich zusätzlich zur Korrelation mit der Trefferquote sogar eine Korrelation mit den Reaktionszeiten nachweisen. Motorisch geschicktere Kinder machten nicht nur weniger Fehler als motorisch ungeschicktere, sondern zeigten auch schnellere Reaktionszeiten. Offenbar verbesserten sich die motorisch geschickteren Kinder während und

nachdem sie die Aufgabe hatten, bei der mentalen Rotation mit der Hand einen Knopf zu drehen. In der Studie von Chu und Kita (2011) zeigte sich, dass Erwachsene, die während der mentalen Rotation unterstützende motorische Gesten verwenden durften, in einem nachfolgenden Block, in dem diese Gesten unterbunden wurden, trotzdem einer Gruppe, die keine Gesten verwenden durfte, überlegen waren. Die Autoren gehen von einer Internalisierung der Gesten aus. Ähnlich wie in der Untersuchung von Wraga et al. (2003) bleibt die gewinnbringende Verwendung von motorischen Prozessen nach der Intervention erhalten. Laut Moreau (2012) neigen Menschen mit motorischer Expertise eher dazu, implizit motorische Prozesse bei der mentalen Rotation zu nutzen. In Experiment 2 könnte das gleichzeitige Drehen eines Knopfes während der mentalen Rotation bei den motorisch geschickteren Kindern die unterstützende Verwendung motorischer Prozesse ausgelöst haben. Obwohl die Drehrichtung des Knopfes nur in der Hälfte der Trials mit der mentalen Rotationsrichtung kompatibel war, scheint diese „Intervention“ ausgereicht zu haben, um diese unbewusste Strategie auszulösen. Die Verwendung motorischer Prozesse blieb während des nachfolgenden Blockes mentaler Rotation erhalten. Das Ausbleiben jeglicher Zusammenhänge zwischen motorischen Fähigkeiten und mentaler Rotationsfähigkeit in Experiment 3 lässt sich mit dieser Argumentation ebenfalls gut erklären. Bei den Probanden handelte es sich um Kinder der zweiten Jahrgangsstufe mit der normalen Streuung in den motorischen Fähigkeiten. Es wurden keine unterschiedlichen Gruppen verglichen wie in den Untersuchungen von Jansen et al. (2011) mit Kindern oder Moreau (2012) mit Erwachsenen. Daher ist eine vermehrte Verwendung motorischer Prozesse von einer Gruppe ausgeschlossen. Da als Stimuli wieder Tierfiguren und keine Körperbilder verwendet wurden, konnten auch die Stimuli nicht die Verwendung von motorischen Prozessen auslösen. Der Ablauf eines Trials in der Dual-Task Bedingung sah vor, dass die Drehung des Knopfes erst erfolgt, wenn die mentale Rotation abgeschlossen ist. Offenbar konnten manuelle und mentale Rotation bei

zeitlich versetztem Ablauf nicht in dem Maße unbewusst miteinander verknüpft werden, wie wenn beides gleichzeitig erfolgt. Somit ließe sich das Ausbleiben eines Zusammenhanges zwischen motorischen Fähigkeiten und mentaler Rotation in Experiment 3 mit dem Fehlen von Auslösemechanismen erklären. Allerdings lässt sich diese Argumentation nicht alleine durch die Daten dieser Experimente belegen, sondern sie bedarf weiterer gezielter Untersuchungen.

#### **4.4 Interferenz zwischen motorischen Prozessen oder Intentionen und mentaler Rotation**

Mit zwei verschiedenen Dual-Task Paradigmen wurde versucht herauszufinden, ob sich bei Kindern eine Interferenz zwischen motorischen Prozessen und einer mentalen Rotation nachweisen lässt. In Experiment 2 wurde untersucht, ob sich die Ausführung einer mentalen Rotation durch eine gleichzeitige manuelle Rotation in derselben Ebene beeinflussen lässt. Wie auch schon im Experiment von Frick et al. 2009 konnte eine Interferenz nachgewiesen werden. Stimmen mentale und manuelle Rotationsrichtung überein, lassen sich keine Auswirkungen feststellen. Bei entgegengesetzten Rotationsrichtungen trat jedoch bei 7-8 jährigen Jungen eine Verlangsamung der mittleren Reaktionszeit um etwa 300ms auf. Damit konnte gezeigt werden, dass bei den 7-8 jährigen Jungen eine enge Verknüpfung zwischen den für eine manuelle Rotation notwendigen motorischen Prozessen und den für die mentale Rotation notwendigen kognitiven Prozessen besteht. Da die 7-8 jährigen Jungen in der Bedingung, in der beide Rotationsrichtungen übereinstimmen, im Mittel um 300ms schneller reagieren, als wenn die Rotationsrichtungen entgegengesetzt sind und als gleichaltrige Mädchen in beiden Bedingungen, scheinen die Jungen von dieser engen Verknüpfung zu profitieren, solange keine konkurrierende motorische Aufgabe ausgeführt werden muss. In der Studie von Frick et al. (2009) konnte bei Kindern in den Altersgruppen von fünf und acht Jahren ebenfalls ein Kompatibilitätseffekt gefunden werden, während bei 11-jährigen und

Erwachsenen dieser Effekt nicht nachweisbar war. Ebenso stellten Funk et al. (2005) bei 5-6 jährigen Kindern eine stärkere Interferenz zwischen Handpositionen und der mentalen Rotation von abgebildeten Händen fest als bei Erwachsenen. Die Autoren interpretieren diese Ergebnisse dahingehend, dass die Fähigkeit, visuell mentale Prozesse und motorische Prozesse zu differenzieren, sich mit zunehmendem Alter entwickelt. Die Ergebnisse aus Experiment 2 unterstützen diese Annahme. Bei Kindern unter 9 Jahren scheinen motorische Prozesse und visuell mentale Prozesse besonders stark miteinander verknüpft zu sein. Über die Frage, warum der Effekt nur bei den Jungen in dieser Altersgruppe auftritt, kann nur spekuliert werden. Da sich die Jungen im Motoriktest nicht von den Mädchen unterschieden, kann die motorische Vorerfahrung (zumindest in dem Rahmen, der durch den M-ABC-2 erfasst wird) als Begründung ausgeschlossen werden. Möglicherweise können geschlechtsspezifische Spielsachen (wie Bauklötze o.ä.) eine Erklärung liefern. Diese Daten sollten in folgenden Untersuchungen mit erfasst werden.

In Experiment 2 konnte demnach eine Interferenz zwischen der Ausführung einer motorischen Handlung und der mentalen Rotation eines Stimulus nachgewiesen werden. Anhand der Daten aus diesem Experiment kann jedoch nicht gefolgert werden, welche Teile des Prozesses der Bewegungssteuerung diese Interferenz mit der mentalen Rotation auslösen. In einem Experiment mit Erwachsenen konnte Wohlschläger (2001) zeigen, dass allein die Planung einer entgegengesetzten Handbewegung ausreicht, um eine Interferenz auszulösen. Der Autor folgert, dass die Interferenz auf der Ebene der Handlungsplanung entsteht und dass eine Ausführung der Bewegung nicht notwendig ist. Bei Ausführung der Handlung fällt die Interferenz jedoch stärker aus. In Experiment 3 konnten diese Ergebnisse mit Kindern repliziert werden. Es zeigte sich eine Interferenz zwischen der Planung einer manuellen Rotation und einer entgegengesetzten mentalen Rotation. Diese Interferenz war jedoch nur bei einer mentalen Rotation um 90° signifikant und bestand für Mädchen und Jungen

gleichermaßen. Wenn die Rotationsrichtung, die sich die Kinder während der mentalen Rotation merken mussten, und die mentale Rotationsrichtung entgegengesetzt waren, waren die Kinder im Mittel um 430ms langsamer, als wenn die Richtungen übereinstimmten. Bei Rotationswinkeln von  $45^\circ$  oder  $135^\circ$  konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Betrachtet man die Ergebnisse aus Experiment 2 (s. Abb. 6) fällt auf, dass auch in diesem Experiment bei den 7-8 Jährigen bei einer Winkeldisparität von  $90^\circ$  der Unterschied zwischen den Reaktionszeiten bei übereinstimmenden und entgegengesetzten mentalen und manuellen Rotationsrichtungen am größten ist. Wie schon in Kapitel 3.3.5.2 erwähnt ist möglicherweise die motorische Erfahrung für Drehungen um  $90^\circ$  stärker ausgeprägt. Beispielsweise wenn man etwas Umgefallenes wieder aufstellen muss o.ä. Dadurch ist bei einer mentalen Rotation um  $90^\circ$  der unterstützende Einsatz von motorischen Prozessen und somit eine Interferenz mit der Ausführung oder Planung einer motorischen Aktion wahrscheinlicher. Diese Theorie kann jedoch alleine mit den vorliegenden Daten nicht hinreichend gestützt werden, sondern sie muss in weiteren Untersuchungen überprüft werden.

Bei der Trefferquote konnte weder in Experiment 2 noch in Experiment 3 ein Interferenzeffekt festgestellt werden. Dieses Ergebnis geht konform mit den Untersuchungen von Wohlschläger und Wohlschläger (1998) und Wohlschläger (2001) mit Erwachsenen. In der Untersuchung von Frick et al. (2009) mit Kindern in verschiedenen Altersstufen konnte ein Interferenzeffekt und eine Interaktion mit der Altersstufe der Probanden nachgewiesen werden. In der Bedingung mit kompatibler mentaler und manueller Rotationsrichtung machten die Probanden weniger Fehler als in der inkompatiblen Bedingung. Dieser Unterschied wurde mit zunehmendem Alter geringer. Die jüngste Altersgruppe in der Untersuchung von Frick et al. (2009) war 5 Jahre alt. Aus der Studie geht leider nicht hervor, ob bei den 8 jährigen noch ein signifikanter Effekt gemessen werden konnte. Möglicherweise können Kinder ab 7 Jahren die motorischen und mentalen Prozesse besser differenzieren, und



es kommt nur zur Beeinträchtigung der Reaktionszeiten bei entgegengesetzten Rotationsrichtungen. In Experiment 3 konnte zusätzlich untersucht werden, ob sich ein Interferenzeffekt in der umgekehrten Richtung feststellen lässt. Es wurde überprüft, ob das korrekte Aufrechterhalten einer motorischen Intention von der mentalen Rotationsrichtung beeinflusst wird. Dabei konnte nicht nachgewiesen werden, dass die Kinder nach dem mentalen Rotationstrial den Knopf öfter in die falsche Richtung drehten, wenn die gemerkte Drehrichtung nicht mit der mentalen Rotationsrichtung übereinstimmte. Zwar konnte ein Nachlassen dieser manuellen Trefferquote mit zunehmender Schwierigkeit der mentalen Rotationsaufgabe (höhere Winkeldisparität), jedoch keinerlei Einfluss der Kompatibilität der gemerkten manuellen Drehrichtung gefunden werden. Es ist anzunehmen, dass die erhöhte kognitive Last bei größeren Winkeldisparitäten dafür verantwortlich ist, dass eine korrekte Bewegungsintention nur mehr schwer aufrechterhalten werden kann.

Diesen Ergebnissen zufolge wirkt sich eine konkurrierende motorische Aufgabe verlangsamend auf die Reaktionszeit der Probanden aus, wenn die Bewegungsrichtung und die mentale Rotationsrichtung entgegengesetzt sind. Die Reaktionszeit setzt sich aus vier aufeinanderfolgenden kognitiven Prozessen zusammen: Stimuluseinkodierung, mentale Rotation, Vergleich und motorische Antwortreaktion (Cooper & Shepard, 1973). Da sich die Bedingungen für Stimuluseinkodierung, Vergleich und die motorische Antwortreaktion in kompatiblen Trials nicht von inkompatiblen Trials unterscheiden, liegt die Schlussfolgerung nahe, dass der Prozess der mentalen Rotation von der konkurrierenden motorischen Aufgabe direkt beeinflusst wird. Das Aufrechterhalten der Repräsentationen der Stimuli im Arbeitsgedächtnis während der mentalen Rotation scheint nicht unter der konkurrierenden motorischen Aufgabe zu leiden, da sich kein Interferenzeffekt bei den Trefferquoten feststellen ließ.

Eine direkte Interaktion zwischen den Kompatibilitätseffekten und der Ausprägung der motorischen Fähigkeiten konnte nicht gefunden werden. Ein Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotationsleistung konnte teilweise bestätigt werden (siehe Kapitel 4.3). Aufgrund der gesichteten Literatur wurde davon ausgegangen, dass motorisch geschicktere Kinder automatisch mehr motorische Prozesse bei der mentalen Rotation nutzen. Es wurde erwartet, dass der Interferenzeffekt zwischen der mentalen Rotation und einer entgegengesetzten motorischen Aktion oder Intention von der Ausprägung der motorischen Fähigkeiten beeinflusst wird. Kinder, die aufgrund ihrer ausgeprägteren motorischen Fähigkeiten verstärkt motorische Prozesse nutzen, sollten demnach eine größere Interferenz aufweisen als Kinder mit weniger ausgeprägten motorischen Fähigkeiten. Dieser Zusammenhang konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.

#### **4.5 Zusammenfassung und Ausblick**

Anhand der drei in dieser Arbeit vorgestellten Experimente sollte untersucht werden, in welcher Weise motorische Fähigkeiten und motorische Prozesse die mentale Rotationsleistung bei Kindern beeinflussen. Ein positiver Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten der Kinder und der mentalen Rotationsfähigkeit konnte dabei nachgewiesen werden. Jedoch scheint dieser Zusammenhang von den verwendeten Stimuli und/oder einer motorischen Handlung mit Bezug zur mentalen Rotation moduliert zu werden. Motorisch geschicktere Kinder waren den motorisch ungeschickteren Kindern nur dann in der mentalen Rotation überlegen, wenn Körperbilder als Stimuli oder das gleichzeitige Drehen eines Knopfes die Zuhilfenahme motorischer Prozesse bei der mentalen Rotation ausgelöst haben. In zwei Dualtask-Paradigmen konnten Interferenzen zwischen der mentalen Rotation und motorischen Prozessen gefunden werden. 7-8 jährige Jungen hatten kürzere Reaktionszeiten, wenn sie während der mentalen Rotation eine kompatible manuelle Rotation durchführten, als wenn die manuelle Rotation und die mentale Rotation entgegengesetzt

waren. Außerdem konnte gezeigt werden, dass alleine die Planung einer manuellen Rotation eine Interferenz mit der mentalen Rotation auslöst. Bei 7-8 jährigen Mädchen und Jungen reicht es aus, wenn sie den Bewegungsplan für eine manuelle Rotation aufrechterhalten, um eine entgegengesetzte mentale Rotation um  $90^\circ$  zu stören. Damit konnte gezeigt werden, dass bei Kindern im Alter von 7-8 Jahren motorische Prozesse zur Unterstützung kognitiver Aufgaben wie der mentalen Rotation herangezogen werden.

Es konnte kein Einfluss der motorischen Fähigkeiten auf die Interferenzerscheinungen gefunden werden. Ein Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der mentalen Rotation konnte hauptsächlich bei den Trefferquoten festgestellt werden. Ein Zusammenhang mit den Reaktionszeiten trat nur in Experiment 2 nach der Dualtask-Bedingung auf. Eine zusätzliche, konkurrierende Aufgabe in den Dualtask-Bedingungen wirkte sich dagegen ausschließlich auf die Reaktionszeiten aus. Offenbar unterscheiden sich die Prozesse, die von motorisch geschickteren Kindern bei der Unterstützung der mentalen Rotation genutzt werden, und die Prozesse, die von einer konkurrierenden motorischen Aufgabe oder Intention gestört werden. Es scheint, als ob motorisch geschicktere Kinder sich eine räumliche Operation und deren Ausgang besser vorstellen können und dadurch weniger Fehler machen. Das gleichzeitige Ausführen oder Behalten einer Bewegung und das Ausführen einer mentalen Operation führten jedoch zu einer Verlangsamung derselben.

Die Ergebnisse dieser Arbeit tragen dazu bei, die Verflechtung von kognitiven und motorischen Prozessen bei Kindern aufzuzeigen. Es wird aber auch klar, dass auf diesem Gebiet weiterer Forschungsbedarf besteht. Es wäre beispielsweise sehr lohnend, die Auslösemechanismen für die Verwendung von motorischen Prozessen bei der mentalen Rotation näher zu untersuchen. Möglicherweise sind die interindividuellen Unterschiede bezüglich der motorischen Fähigkeiten innerhalb einer Schulklasse zu gering, um einen Zusammenhang zwischen den motorischen Fähigkeiten und der Verwendung von motorischen

Prozessen bei der mentalen Rotation aufzuzeigen. Hier könnte eine Untersuchung mit Extremgruppen, z. B. frühkindlich geförderten Leistungssportlern und unsportlichen Kindern, ein differenzierteres Bild ergeben.

## 5 Literatur

- Amorim, M.-A.; Isableu, B.; Jarraya, M. (2006): Embodied spatial transformations: "body analogy" for the mental rotation of objects. In: *Journal of Experimental Psychology: General* 135 (3), S. 327–347.
- Baenninger, M.; Newcombe, N. (1989): The role of experience in spatial test performance: A meta-analysis. In: *Sex Roles* 20 (5-6), S. 327–344
- Bethell-Fox, C. E.; Shepard, R. N. (1988): Mental rotation: Effects of stimulus complexity and familiarity. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 14 (1), S. 12–23
- Birenbaum, M.; Kelly, A. E.; Levi-Keren, M. (1994): Stimulus features and sex differences in mental rotation test performance. In: *Intelligence* 19 (1), S. 51–64.
- Boles, D. B. (1980): X-linkage of spatial ability: a critical review. In: *Child Development* 51 (3), S. 625–635.
- Chu, M.; Kita, S. (2011): The nature of gestures' beneficial role in spatial problem solving. In: *Journal of Experimental Psychology General* 140 (1), S. 102–116.
- Cohen, M. S.; Kosslyn, S. M.; Breiter, H. C.; DiGirolamo, G. J.; Thompson, W. L.; Anderson, A. K. et al. (1996): Changes in cortical activity during mental rotation. A mapping study using functional MRI. In: *Brain: A Journal of Neurology* 119 (Pt 1), S. 89–100.
- Cooper, L. A. (1975): Mental rotation of random two-dimensional shapes. In: *Cognitive Psychology* 7 (1), S. 20–43.
- Cooper, L. A.; Podgorny, P. (1976): Mental transformations and visual comparison processes: Effects of complexity and similarity. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 2 (4), S. 503–514.

- Cooper, L. A.; Shepard, R. N. (1973): Chronometric studies of the rotation of mental images. In W. G. Chase (Hrsg.), *Visual Information Processing: Proceedings of the Eighth Annual Carnegie Symposium on Cognition*. S. 75–162. Held at the Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, May 19, 1972: Academic Press.
- Courbois, Y. (2000): The role of stimulus axis salience in children's ability to mentally rotate unfamiliar figures. In: *European Journal of Cognitive Psychology* 12 (2), S. 261–269.
- Ehrlich, S. B.; Levine, S. C.; Goldin-Meadow, S. (2006): The importance of gesture in children's spatial reasoning. In: *Developmental Psychology* 42 (6), S. 1259–1268.
- Estes, D. (1998): Young children's awareness of their mental activity: the case of mental rotation. In: *Child Development* 69 (5), S. 1345–1360.
- Folk, M. D.; Luce, R. D. (1987): Effects of stimulus complexity on mental rotation rate of polygons. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 13 (3), S. 395–404.
- Frick, A.; Daum, M. M.; Walser, S.; Mast, F. W. (2009): Motor processes in children's mental rotation. In: *Journal of Cognition and Development* 10 (1-2), S. 18–40.
- Frick, A.; Ferrara, K.; Newcombe, N. S. (2013): Using a touch screen paradigm to assess the development of mental rotation between 3½ and 5½ years of age. In: *Cognitive Processing* 14 (2), S. 117–127.
- Frick, A.; Wang, S. (2014): Mental spatial transformations in 14- and 16-month-old infants: Effects of action and observational experience. In: *Child Development* 85 (1), S. 278–293.
- Funk, M.; Brugger, P.; Wilkening, F. (2005): Motor processes in children's imagery: the case of mental rotation of hands. In: *Developmental Science* 8 (5), S. 402–408.

- Geary, D. C.; Saults, S. J.; Liu, F.; Hoard, M. K. (2000): Sex differences in spatial cognition, computational fluency, and arithmetical reasoning. In: *Journal of Experimental Child Psychology* 77 (4), S. 337–353.
- Ginn, S. R.; Pickens, S. J. (2005): Relationships between spatial activities and scores on the mental rotation test as a function of sex. In: *Perceptual and Motor Skills* 100 (3 Pt 1), S. 877–881.
- Hahn, N. (2010): *Mentale Rotation bei Vorschulkindern: Geschlechtsunterschiede in der Lateralisierung*. Dissertation. Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf. Institut für Experimentelle Psychologie.
- Halpern, D. F. (1986): A different answer to the question, "Do sex-related differences in spatial abilities exist?". In: *American Psychologist* 41 (9), S. 1014–1015.
- Halpern, D. F. (2000): Validity, fairness, and group differences: Tough questions for selection testing. In: *Psychology, Public Policy, and Law* 6 (1), S. 56–62.
- Hegarty, M.; Kozhevnikov, M. (1999): Types of visual-spatial representations and mathematical problem solving. In: *Journal of Educational Psychology* 91 (4), S. 684–689.
- Hegarty, M.; Waller, D. A. (2005). Individual Differences in Spatial Abilities. In P. Shah & A. Miyake (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*. (S. 121–169). New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Heil, M.; Rolke, B. (2002): Toward a chronopsychophysiology of mental rotation. In: *Psychophysiology* 39 (4), S. 414–422.
- Hespos, S. J.; Rochat, P. (1997): Dynamic mental representation in infancy. In: *Cognition* 64 (2), S. 153–188.

- Hyun, J.-S.; Luck, S. J. (2007): Visual working memory as the substrate for mental rotation. In: *Psychonomic Bulletin & Review* 14 (1), S. 154–158.
- Jansen, P.; Schmelter, A.; Quaiser-Pohl, C.; Neuburger, S.; Heil, M. (2013): Mental rotation performance in primary school age children: Are there gender differences in chronometric tests? In: *Cognitive Development* 28 (1), S. 51–62.
- Jansen, P.; Heil, M. (2010): The relation between motor development and mental rotation ability in 5- to 6-year-old children. In: *European Journal of Developmental Science* 4 (1), S. 67–75.
- Jansen, P.; Schmelter, A.; Kasten, L.; Heil, M. (2011): Impaired mental rotation performance in overweight children. In: *Appetite* 56 (3), S. 766–769.
- Jola, C.; Mast, F. W. (2005): Mental Object Rotation and Egocentric Body Transformation: Two Dissociable Processes? In: *Spatial Cognition and Computation* 5 (2-3), S. 217–237.
- Jolicoeur, P.; Regehr, S.; Smith, Lyndon B. J. P.; Smith, G. N. (1985): Mental rotation of representations of two-dimensional and three-dimensional objects. In: *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie* 39 (1), S. 100–129.
- Jordan, K.; Wüstenberg, T.; Heinze, H. J.; Peters, M.; Jäncke, L. (2002): Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks. In: *Neuropsychologia* 40 (13), S. 2397–2408.
- Kail, R. (1986): The impact of extended practice on rate of mental rotation. In: *Journal of Experimental Child Psychology* 42 (3), S. 378–391.
- Kail, R.; Pellegrino, J.; Carter, P. (1980): Developmental changes in mental rotation. In: *Journal of Experimental Child Psychology* 29 (1), S. 102–116.



- Kosslyn, S. M.; DiGirolamo, G. J.; Thompson, W. L.; Alpert, N. M. (1998): Mental rotation of objects versus hands: neural mechanisms revealed by positron emission tomography. In: *Psychophysiology* 35 (2), S. 151–161.
- Kosslyn, S. M.; Margolis, J. A.; Barrett, A. M.; Goldknopf, E. J.; Daly, P. F. (1990): Age differences in imagery abilities. In: *Child Development* 61 (4), S. 995–1010.
- Kosslyn, S. M.; Thompson, W. L.; Wraga, M.; Alpert, N. M. (2001): Imagining rotation by endogenous versus exogenous forces: distinct neural mechanisms. In: *Neuroreport* 12 (11), S. 2519–2525.
- Kosslyn, S. M. (1981): The medium and the message in mental imagery: A theory. In: *Psychological Review* 88 (1), S. 46–66.
- Krüger, M.; Krist, H. (2009): Imagery and motor processes-When are they connected? The mental rotation of body parts in development. In: *Journal of Cognition and Development* 10 (4), S. 239–261.
- Lamm, C.; Windischberger, C.; Moser, E.; Bauer, H. (2007): The functional role of dorso-lateral premotor cortex during mental rotation: an event-related fMRI study separating cognitive processing steps using a novel task paradigm. In: *Neuroimage* 36 (4), S. 1374–1386.
- Linn, M. C.; Petersen, A. C. (1985): Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: a meta-analysis. In: *Child Development* 56 (6), S. 1479–1498.
- Lohaus, Arnold (1999): *Räumliches Denken im Kindesalter*. Göttingen: Hogrefe.
- Malinowski, P.; Hübner, R. (2001): The effect of familiarity on visual-search performance: Evidence for learned basic features. In: *Perception & Psychophysics* 63 (3), S. 458–463.

- Marmor, G. S. (1975): Development of kinetic images: When does the child first represent movement in mental images? In: *Cognitive Psychology* 7 (4), S. 548–559.
- Marmor, G. S. (1977): Mental rotation and number conservation: Are they related? In: *Developmental Psychology* 13 (4), S. 320–325.
- Metzler, J.; Shepard, R. N. (1986): Transformational studies of the internal representation of three-dimensional objects. In R. N. Shepard & L. A. Cooper (Hrsg.), *Mental images and their transformations*. (S. 25–71). Cambridge, Mass: The MIT Press.
- Moè, A.; Pazzaglia, F. (2006): Following the instructions! Effects of gender beliefs in mental rotation. In: *Learning and Individual Differences* 16 (4), S. 369–377.
- Moreau, D. (2012): The role of motor processes in three-dimensional mental rotation: Shaping cognitive processing via sensorimotor experience. In: *Learning and Individual Differences* 22 (3), S. 354–359.
- Moreau, D.; Mansy-Dannay, A.; Clerc, J.; Guerrien, A. (2011): Spatial ability and motor performance: Assessing mental rotation processes in elite and novice athletes. In: *International Journal of Sport Psychology* 42 (6), S. 525–547.
- Nazareth, A.; Herrera, A.; Pruden, S. M. (2013): Explaining sex differences in mental rotation: role of spatial activity experience. In: *Cognitive Processing* 14 (2), S. 201–204.
- Neuburger, S.; Jansen, P.; Heil, M.; Quaiser-Pohl, C. (2011): Gender differences in pre-adolescents' mental-rotation performance: Do they depend on grade and stimulus type? In: *Personality and Individual Differences* 50 (8), S. 1238–1242.
- Newcombe, N.; Bandura, M. M.; Taylor, D. G. (1983): Sex differences in spatial ability and spatial activities. In: *Sex Roles* 9 (3), S. 377–386.

- Parsons, L. M. (1987): Imagined spatial transformations of one's hands and feet. In: *Cognitive Psychology* 19 (2), S. 178–241.
- Pellizzer, G.; Georgopoulos, A. P. (1993): Common processing constraints for visuomotor and visual mental rotations. In: *Experimental Brain Research* 93 (1), S. 165–172.
- Petermann, F. (Hg.) (2008): *Movement assessment battery for children-2 (Movement ABC-2)*. Frankfurt: Pearson PLC.
- Piaget, J.; Inhelder, B. (1956): *The Child's Conception of Space*. Routledge & Kegan Paul.
- Pylyshyn, Z. W. (1979): The rate of "mental rotation" of images: a test of a holistic analogue hypothesis. In: *Memory & Cognition* 7 (1), S. 19–28.
- Quaiser-Pohl, C.; Neuburger, S.; Heil, M.; Jansen, P.; Schmelter, A. (2014): Is the Male Advantage in Mental-Rotation Performance Task Independent? On the Usability of Chronometric Tests and Paper-and-Pencil Tests in Children. In: *International Journal of Testing* 14 (2), S. 122–142.
- Richardson, J. T. (1994): Gender differences in mental rotation. In: *Perceptual and Motor Skills* 78 (2), S. 435–448.
- Richter, W.; Somorjai, R.; Summers, R.; Jarmasz, M.; Menon, R. S.; Gati, J. S. et al. (2000): Motor area activity during mental rotation studied by time-resolved single-trial fMRI. In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 12 (2), S. 310–320.
- Roberts, J. E.; Bell, M. A. (2000): Sex differences on a mental rotation task: variations in electroencephalogram hemispheric activation between children and college students. In: *Developmental Neuropsychology* 17 (2), S. 199–223.
- Rochat, P.; Hespos, S. J. (1996): Tracking and anticipation of invisible spatial transformation by 4- to 8-month-old infants. In: *Cognitive Development* 11 (1), S. 3–17.

- Sanders, B.; Soares, M. P. (1986): Sexual maturation and spatial ability in college students. In: *Developmental Psychology* 22 (2), S. 199–203.
- Shepard, R. N.; Metzler, J. (1971): Mental rotation of three-dimensional objects. In: *Science* 171 (3972), S. 701–703.
- Shepard, S.; Metzler, D. (1988): Mental rotation: Effects of dimensionality of objects and type of task. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 14 (1), S. 3–11.
- Snodgrass, J. G.; Vanderwart, M. (1980): A standardized set of 260 pictures: norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. In: *Journal of Experimental Psychology. Human Learning and Memory* 6 (2), S. 174–215.
- Steggemann, Y.; Engbert, K.; Weigelt, M. (2011): Selective effects of motor expertise in mental body rotation tasks: comparing object-based and perspective transformations. In: *Brain and Cognition* 76 (1), S. 97–105.
- Takano, Y.; Okubo, M. (2006): Mental Rotation. In L. Nadel (Hrsg.), *Encyclopedia of Cognitive Science*. (Bd. 3, S. 7–10). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Thorndyke, P. W.; Goldin, S. E. (1983): Spatial Learning and Reasoning Skill. In H. L. Pick & L. P. Acredolo (Hrsg.), *Spatial Orientation*. (S. 195-217). Springer US.
- Vandenberg, S. G.; Kuse, A. R. (1978): Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. In: *Perceptual and Motor Skills* 47 (2), S. 599–604.
- Voyer, D.; Voyer, S.; Bryden, M. P. (1995): Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. In: *Psychological Bulletin* 117 (2), S. 250–270.

- Waber, D. P. (1976): Sex differences in cognition: a function of maturation rate? In: *Science* 192 (4239), S. 572–574.
- Wexler, M.; Kosslyn, S. M.; Berthoz, A. (1998): Motor processes in mental rotation. In: *Cognition* 68 (1), S. 77–94.
- Wheeler, M.; Clark, A. (2008): Culture, embodiment and genes: unravelling the triple helix. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 363 (1509), S. 3563–3575.
- Wilson, M. (2002): Six views of embodied cognition. In: *Psychonomic Bulletin & Review* 9 (4), S. 625–636.
- Witkin, H. A.; Oltman, P. K.; Raskin, E.; Karp, S. A. (1971): *A manual for the embedded figure test*. Palo Alto: CA: Consulting Psychological Press.
- Wohlschläger, A. (2001): Mental object rotation and the planning of hand movements. In: *Perception & Psychophysics* 63 (4), S. 709–718.
- Wohlschläger, A.; Wohlschläger, A. (1998): Mental and manual rotation. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 24 (2), S. 397–412.
- Wraga, M.; Thompson, W. L.; Alpert, N. M.; Kosslyn, S. M. (2003): Implicit transfer of motor strategies in mental rotation. In: *Brain and Cognition* 52 (2), S. 135–143.
- Yuille, J. C.; Steiger, J. H. (1982): Nonholistic processing in mental rotation: some suggestive evidence. In: *Perception & Psychophysics* 31 (3), S. 201–209.