



MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Crosstemporale, metaanalytische Evidenz für Time-Trends
und Winner's curse in Geschlechtsunterschieden
von 3D dargestellten Aufgabensets“

verfasst von / submitted by

Dagmar Vadovicova, BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2018 / Vienna, 2018

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 066 840

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Psychologie

Betreut von / Supervisor:

Mag. Dr. Jakob Pietschnig

Danksagung

Nun bin ich an dem Zeitpunkt angelangt, an dem das Ende meiner Studienzeit naht, und möchte mich daher bei all jenen Personen bedanken, auf deren Unterstützung ich durchgehend zählen konnte und ohne die ein Abschluss kaum möglich gewesen wäre.

Zu allererst möchte ich mich bei meiner Mutter bedanken, die mir durch ihren moralischen, finanziellen und ermutigenden Beistand, den Weg für die Absolvierung eines Studienganges bzw. überhaupt den Weg für den Beginn eines Studiums ebnete.

Ein unglaubliches Dankeschön möchte ich an dieser Stelle auch an Sarah Pichler aussprechen, die seit dem zweiten Semester ständig an meiner Seite war, und mit der Zeit zu meiner besten Freundin wurde. Ohne sie, wage ich zu behaupten, hätte mir die nötige Motivation gefehlt, das Studium in so kurzer Zeit oder sogar überhaupt abzuschließen. Auch habe ich durch sie wunderschöne Erinnerungen an die teilweise harte Studienzeit erlangt, die sich zu einem in unserem gemeinsamen Erasmussemester, als auch in der restlichen Freizeit widerspiegeln. Alle Höhen und Tiefen haben wir gemeinsam durchlebt. Ohne ihre Anwesenheit, wäre ich nicht so weit gekommen und möchte ihr hiermit meinen ewigen Dank aussprechen und hoffe auf weitere Jahre dieser wunderbaren Freundschaft, die durch dieses Studium zustande gekommen ist.

Natürlich möchte ich mich im Besonderen auch bei meinem Masterarbeitsbetreuer Herrn Mag. Dr. Pietschnig bedanken. In den letzten drei Semestern besuchte ich seine Lehrveranstaltungen und war begeistert von seiner korrekten, entgegenkommenden und lustigen Art. Durch ihn habe ich Kenntnisse und Faszination im Bereich von Metaanalysen erlangt – was zu meiner Entscheidung führte meine Masterarbeit in Form einer Metaanalyse durchzuführen. Ich bedanke mich bei Herrn Mag. Dr. Pietschnig für die Betreuung meiner Masterarbeit, bei der er mir von Anfang an große fachliche Unterstützung entgegenbrachte und auch auf eher absurde Fragen meinerseits immer die richtige Antwort fand. Vielen, vielen Dank:).

Weiters möchte ich mich auch bei Herrn Ao. Univ.-Prof. Gittler bedanken, der im Laufe des Seminars wertvolle Einfälle zur Erstellung dieser Masterarbeit äußerte und mir gemeinsam mit Mag. Dr. Pietschnig relevante Daten für die Berechnungen meiner Masterarbeit freundlicher Weise zur Verfügung stellte.

Ebenso bin ich meinen Freunden Alexander Koller, Hanna Neubauer, Julia Neubauer, Nuri Neubauer, Agnes Pfaffl, Andrea Katic, Anna Göpfert und Sofija Krulj zu tiefstem Dank verpflichtet, da sie sich im Laufe meiner Studienzeit zahlreichen Testungen unterzogen, teilweise meine Masterarbeit entgegengelesen haben, mir bei persönlichen Krisen immer zur Seite standen und ich mich durchgehend auf sie verlassen konnte. Vielen, vielen Dank euch allen für einfach alles!!!!

Inhaltsverzeichnis

Abstract – Deutsch	11
Abstract – English	12
1 Einleitung	13
1.1 Mentale Rotation	15
1.1.1 Begriffserklärung	15
1.1.2 Ursprung der Messung mentaler Rotation	16
1.1.3 Messung der mentalen Rotationsfähigkeit	17
1.2 Erforschung geschlechtsspezifischer Unterschiede in der mentalen Rotationsfähigkeit	19
1.2.1 Mögliche Ursachen	19
1.2.1.1 Bio-psycho-sozialer Erklärungsansatz	20
1.2.1.2 Testspezifische Aspekte	21
2. Geschlechtsunterschiede mit 3D-Aufgaben der mentalen Rotation – theoretische Grundlage	22
2.1 Ziel der Masterarbeit	24
2.1.1 Hypothese	25
3 Methode	26
3.1 Literaturrecherche	26
3.2 Inklusionskriterien	26
3.3 Kodierung	30
3.4 Narratives Review	30
3.5 Allgemeine Analyse	31
3.5.1 Effektstärken	31
3.5.2 Heterogenität	31
3.6 Crosstemporale Metaanalyse	32
3.6.1 Metaregressionen	32
4 Ergebnisse	34
4.1 Finale Stichprobe	34
4.2 Interrater-Reliabilität	34
4.3 Narratives Review	34
4.3.1 Studie 1 – Larson et al. (1999)	35
4.3.2 Studie 2 – Arendasy (2000)	36
4.3.3 Studie 3 – Gamper (2002)	39
4.3.4 Studie 4 – Lembacher (2002)	42

4.3.5 Studie 5 – Parsons et al. (2004)	43
4.3.6 Studie 6 – Lehmann et al. (2008)	44
4.3.7 Studie 7 – Fachliteraturseminardaten I	46
4.3.8 Studie 8 – Fachliteraturseminardaten II	46
4.3.9 Studie 9 – Fachliteraturseminardaten III	47
4.3.10 Studie 10 – Heider (2010)	48
4.3.11 Studie 11 – Neubauer et al. (2010)	50
4.3.12 Studie 12 – Strasser et al. (2010)	51
4.3.13 Studie 13 – Zobler (2012)	52
4.3.14 Studie 14 – Foroughi et al. (2015)	53
4.3.15 Studie 15 – Kozhevnikov et al. (2015)	55
4.3.16 Studie 16 – McIntire (2015)	56
4.4 Metaregressionen	59
4.4.1 Gesamtanalyse – Alle Studien	59
4.4.2 Teilanalyse – Publierte Studien	61
4.4.3 Teilanalyse – Nicht-publierte Studien	64
5 Diskussion	67
5.1 Limitationen	73
5.2 Konklusion	74
6 Literaturverzeichnis	75
6.1 Literatur und Datensätze – inkludiert in Berechnungen	75
6.2 Literatur	77
7 Abbildungsverzeichnis	87
8 Tabellenverzeichnis	88
Anhang I	91
Anhang II	92
Lebenslauf	151

Abstract-Deutsch

Der konsistente Leistungsunterschied zugunsten der Männer bei Papier-Bleistift Verfahren zur mentalen Rotationsfähigkeit wurde durch Testungen mit realen Holzfiguren in Frage gestellt, da hier kein Geschlechtseffekt gefunden wurde. In Bezug darauf haben ForscherInnen 3D-Techniken adaptiert und angewandt um herauszufinden ob Crossdimensionalität der Grund für die robuste Geschlechtsunterschiede war. Crossdimensionalität beschreibt den Prozess, bei welchem das zweidimensional dargebotene Item zunächst mental in eine dreidimensionale Repräsentation transformiert, als solche rotiert und wieder in 2D zurückgewandelt wird. Der Prozess der Crossdimensionalität soll für Frauen schwieriger sein und wurde daher als Erklärungsansatz vorgeschlagen. Mittels narrativen Review wurde ein Überblick der inkludierten 16 Studien ($N = 1908$) aus den Jahren 1999 bis 2015 vermittelt. Mit der crosstemporalen Metaanalyse wurde mögliche Evidenz des Decline-Effekts, des Winner's curse und des Small-Study-Effekts überprüft. Der Decline-Effekt beschreibt, das Phänomen, dass Effektstärken über die Jahre hinweg kleiner werden. Der Winner's curse spricht dafür, dass Autoren, die als erstes zu einer Forschungsfrage publizieren den größten Effekt aufweisen. Hier wurde davon ausgegangen, dass sich bei Evidenz des Decline-Effekts und Winner's curse die erste Publikation mit einem Nulleffekt von Folgepublikationen mit größer werdenden Effekten abhebt. Der Small-Study-Effekt beschreibt das Phänomen, dass Studien mit kleineren Stichprobengrößen tendenziell größere und günstigere Effekte zeigen als Studien mit größeren Stichproben. Hier wird davon ausgegangen, dass ein Small-Study-Effekt vorliegend ist, wenn kleinere Stichproben tendenziell kleinere Effekte zeigen, da diese die konformeren wären.

Die Ergebnisse konnten einen verkehrten Decline-Effekt, Winner's curse und Small-Study-Effekt zeigen. Der Erklärungsansatz der Crossdimensionalität reichte nicht um den Geschlechtseffekt zugunsten der Männer, bei Aufgaben zur mentalen Rotationsfähigkeit zu klären.

Schlüsselbegriffe: Geschlechtsunterschiede, mentale Rotation, Virtual Reality, Anaglyphenbrillen, LCD-Shutterbrillen

Abstract-English

The consistent performance difference favouring men in paper-pencil mental rotation techniques was challenged by testing with real wooden figures, as no sex effect was found here. In this regard, researchers have adapted and applied 3D techniques to find out if crossdimensionality was the reason for the robust sex differences. Crossdimensionality describes the process in which the twodimensionally presented item is first of all mentally transformed into a threedimensional representation, rotated as such, and then converted back into 2D. The process of crossdimensionality should be more difficult for women and was therefore proposed as an explanatory approach. A narrative review provided an overview of the 16 included studies ($N = 1908$) from the years 1999 to 2015. With the crosstemporal metaanalysis possible evidence of the decline-effect, the winner's curse and the small-study-effect was examined. The decline effect describes the phenomenon that effect sizes become smaller over time. The winner's curse suggests that authors who publish first on a research question have the greatest effect. Here, it was assumed that the first publication, with a zero effect stands out of subsequent publications with increasing effects, in the case of the evidence of the decline-effect and winner's curse. The small-study-effect describes the phenomenon that studies with smaller sample sizes tend to have larger and more favorable effects than larger-sample studies. Here it is assumed that a small-study effect is present when smaller samples tend to show smaller effects, as these would be the more favourable ones. The results showed a inverted decline-effect, winner's curse and small-study-effect. The explanatory approach of crossdimensionality was not enough for the sex effect in favor of men to clarify tasks for mental rotation ability.

Keywords: sex differences, mental rotation, virtual reality, anaglyph glasses, LCD shutter glasses

1 Einleitung

Mentale Repräsentationen räumlicher Informationen im Gedächtnis sind für gängige, alltägliche Leistungen unabdingbar - sei es beispielsweise das zielgerichtete Greifen nach Objekten das Erkennen von Gegenständen aus ungewöhnlichen Perspektiven, das Erkunden der Umwelt (Kozhevnikov, Royan, Blazhenkova, & Gorbunov, 2008), das Einräumen des getätigten Einkaufs in den Kofferraum (Bilge & Taylor, 2017) oder auch spielerische Tätigkeiten wie Ballspiele als auch Puzzlen und dergleichen (Maier, 1999; zitiert nach Winkler, 2007).

Des Weiteren sind räumlich-visuelle Fähigkeiten Voraussetzung um in der Schule als auch in zahlreichen Berufen erfolgreich zu sein. Im schulischen Bereich ist die Fähigkeit zur mentalen Rotation für mathematische sowie geometrische Fähigkeiten von Relevanz (Bruce & Hawes, 2015). Auch für Berufszweige wie Chirurgie, Radiologie, die Fliegerei oder Ingenieurs- und Architekturwesen ist räumliches Vorstellungsvermögen unentbehrlich (Hegarty & Waller, 2005) und unterstützt zudem die Beratung und Rekrutierung geeigneter AnwerterInnen für mathematisch-naturwissenschaftliche oder technische Studiengänge oder Berufe (Dünser, 2005; Rost, 1977).

Eine Vielzahl an Studien widmete sich der Raumvorstellungsfähigkeit und führten zu der generellen Annahme, dass räumlich-visuelle Fähigkeiten schlechter bei Frauen ausgeprägt sind (z.B. schlechtere Vorstellung gedrehter Objekte im Geist, schlechtere Wegfindung, usw.; Hausmann, 2007). Jedoch gibt es bis heute kein generell akzeptiertes Komponenten-Modell für das Konstrukt der Raumvorstellung.

Linn & Petersen (1985) untersuchten in einer Metaanalyse Geschlechtsunterschiede in der Raumvorstellung und entwickelten dabei ein 3-Komponenten-Modell, dass sowohl psychometrisch mit relativ homogenen Befunden zu Geschlechtsunterschieden abgesichert und kognitionspsychologisch mit idealtypisch ablaufenden Prozesse plausibel ist. Nach der klassischen Definition von Linn und Petersen (1985) werden also die räumlich-visuellen Fähigkeiten in die drei Faktoren räumliche Wahrnehmung, räumliche Visualisierung und mentale Rotation unterteilt.

Räumliche Wahrnehmung

Tests zur räumlichen Wahrnehmung ermitteln, ob das Konzept der Vertikalität und Horizontalität nachvollzogen wird. ProbandInnen müssen räumliche Relationen zwischen Objekten oder in Beziehung zum eigenen Körper bilden. Hier wird beispielsweise der Test Water-Level-Tasks (WLT; Pascual-Leone & Morra, 1991) eingesetzt.

Räumliche Visualisierung

Aufgaben zur räumlichen Visualisierung erfordern komplexere und mehrstufige, mentale Verarbeitung räumlicher Information. Solche Aufgaben können auch räumliche Prozesse enthalten, die bei der räumlichen Wahrnehmung als auch mentalen Rotation verlangt werden. Hier wird beispielsweise der Test, *Differential Aptitude Test – Subtest Spatial Relations (DAT:SR; Bennett, Seashore & Wesman, 1956)* angewandt.

Mentale Rotation

Unter mentaler Rotation versteht man die räumliche Fähigkeit, sich Objekte im Geiste gedreht vorstellen zu können (Shepard & Metzler, 1971). Dreidimensionale Figuren sollen präzise mental um räumliche Achsen rotiert werden, um den Vergleich zweier oder mehrerer Objekte zu ermöglichen. Hier wird beispielsweise der Mental Rotation Test (*MRT; Vandenberg & Kuse, 1978*) eingesetzt.

Allerdings sind Geschlechtsdifferenzen bei räumlich-kognitiven Fähigkeiten nicht für alle diese Aufgaben beobachtbar. Auf Basis der Richtwerte für die Effektstärke d von Cohen (1988) kennzeichnen die Minimalwerte von $d = 0.2$; $d = 0.5$ und $d = 0.8$ die Schwelle kleiner, mittlerer und großer Effektstärken.

Aufgaben zur räumlichen Wahrnehmung sowie zur räumlichen Visualisierung zeigen einen Geschlechtsunterschied in der Größenordnung von $d = 0.5$, was für einen moderaten Effekt spricht, der jedoch den größten und am

besten Belegten Geschlechtsunterschied für kognitive Fähigkeiten darstellt (Kimura, 2002).

In zahlreichen Studien bei Aufgaben zur mentalen Rotation wurden robuste Geschlechtsunterschiede zugunsten der Männer von bis nahezu einer ganzen Standardabweichung mit einem Cohens d von $d = 0.94$ (Voyer, Voyer & Bryden, 1995) festgestellt. Dies spricht für einen großen Effekt (Linn & Peterson, 1985; Vandenberg & Kuse, 1979; Voyer et al., 1995).

Somit zählt die Fähigkeit der mentalen Rotation zu den geschlechtsintensivsten Domänen in der psychologischen Forschung, kann zusätzlich als Sonderfall räumlichen Vorstellungsvermögens als auch kognitiver Geschlechtsdifferenzen angenommen werden und rückt aufgrund dessen in den Fokus dieser Arbeit.

1.1 Mentale Rotation

1.1.1 Begriffserklärung

Der Begriff mentale Rotation setzt sich aus dem lateinischen Wörtern *mens* zu Deutsch *Geist* und *rotare* zu Deutsch *drehen* zusammen. Mentale Rotation bezeichnet die Fähigkeit, die mentalen Abbildungen von Objekten im Geist zu drehen und ist eine Komponente der räumlichen Objekterkennung (Bülthoff & Bülthoff, 2017).

Demzufolge beschreibt sie die Fähigkeit, räumliche Information, die symbolisch, und nicht sprachlich, vorliegen, mental zu repräsentieren, folglich diese Kodierung einer mentalen Transformation zu unterziehen und abschließend nach der erfolgten Kodierung neu abzurufen. Abhängig von der zugrundeliegenden Aufgabe werden diese symbolischen, nicht sprachlichen Informationen mit Informationen aus dem Arbeitsgedächtnis verglichen (Linn & Peterson, 1985).

Damit ist gemeint, dass die Repräsentation dieser mentalen Rotation, die im Arbeitsgedächtnis gespeichert wurde, zum Schluss mit einem Referenzobjekt verglichen werden muss (Booth, MacWhinney, Thulborn, Sacco, Voyvodic & Feldman, 2000).

1.1.2 Ursprung der Messung mentaler Rotation

Vor nahezu fünfzig Jahren entwickelten Shepard und Metzler (1971) einen Forschungsansatz, der die experimentelle Psychologie auch heute noch stark prägt, und beschrieben damit die Fähigkeit der mentalen Rotation (Bülthoff & Bülthoff, 2017). Im ursprünglichen Experiment bestand die methodische Grundidee darin, Stimuli verschiedener Orientierungen im Bezug auf die Gleichheit ihrer Form zu beurteilen. ProbandInnen wurden paarweise Abbildungen dreidimensionaler Würfelfiguren vorgelegt. Diese waren entweder identisch oder entsprachen der gespiegelten Form der Ausgangsfigur. Auch waren beide Figuren entweder in der Bildtiefe oder in der Bildebene gegeneinander rotiert. Die Winkeldifferenz zwischen den Würfelfiguren wurde in 20° Schritten verändert. Um sowohl die Reaktionszeit als auch die Fehlerrate erfassen zu können, sollten die ProbandInnen möglichst schnell und genau entscheiden, ob die präsentierten Objekte identisch oder eine Spiegelung waren.

Ein positiver linearer Anstieg der Reaktionszeiten mit zunehmender Winkeldifferenz war das Resultat der Untersuchung. Dies führte zu der Schlussfolgerung, dass ProbandInnen, um einen Abgleich mit dem Standardreiz zu arrangieren, je nach Rotationswinkel verschieden lang andauernde mentale Drehungen der Stimuli gemacht hatten.

Später trat die Auffassung in den Vordergrund, dass die mentale Rotation einer Simulation der realen Drehbewegung entspricht (z.B. Metzler & Shepard, 1982). Der oben genannte lineare Zusammenhang zwischen den Reaktionszeiten und der Winkeldifferenz war bereits bei Kindern ab dem siebenten Lebensjahr ersichtlich, jedoch brauchte die mentale Rotation bei ihnen mehr Zeit als bei Erwachsenen (Kail, Pellegrino & Carter, 1980). Dieses computergestützte Paradigma nach Shepard und Metzler (1971) variiert das Reizmaterial hinsichtlich Dimensionalität (zwei- versus dreidimensional), Komplexität (einfach versus schwierig) und Anschaulichkeit (abstrakt versus konkret).

1.1.3 Messung der mentalen Rotationsfähigkeit

Zahlreiche unterschiedliche Tests und Aufgabentypen wurden entwickelt um verschiedenste Aspekte des räumlichen Denkens zu detektieren. Die Messung der mentalen Rotationsfähigkeit der inkludierten Literatur der crosstemporalen Metaanalyse erfolgte überwiegend anhand zweier Testverfahren.

- 1) *Mental Rotation Test (MRT)* von Vandenberg und Kuse (1978) sowie dessen Modifikationen durch Peters et al. (1995)
- 2) der *Endlosschleifentest (EST)* von Gittler und Arendasy (2003).

Die dreidimensionale Darstellung der Testitems erfolgte entweder mit Hilfe von Anaglyphenbrillen, LCD-Shutterbrillen oder Virtual Reality-Systemen d. In Folge wird kurz auf die beiden Tests eingegangen.

Bei der Messung der mentalen Rotationsfähigkeit waren zwei Faktoren von Relevanz: zum einen die Dauer (Reaktionszeit) bis zur Erkenntnis, ob sich zwei Objekte voneinander unterscheiden oder ident sind und zum anderen das Gradmaß, nach welchem sich diese beiden Objekte unterschieden (Shepard & Metzler, 1971). Vandenberg und Kuse (1978) kreierten auf Basis von Shepard und Metzler (1971) den *mental rotation test (MRT)*.

Der MRT besteht aus 20 Items, die in 5 Sets von jeweils 4 Items vorliegen. Von den vier möglichen Antwortitems sind jeweils zwei richtig. Damit die Aufgabe als gelöst gilt, müssen beide korrekten Items gewählt werden (siehe Abbildung 1).

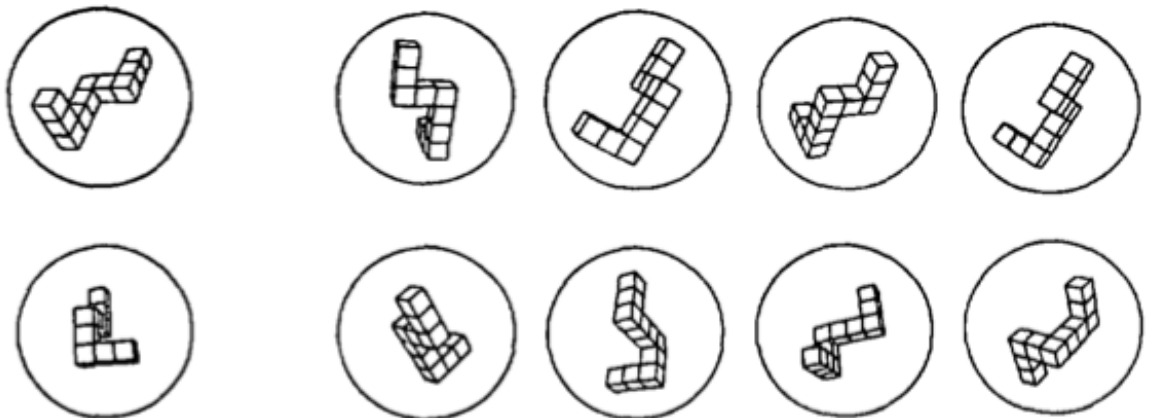


Abbildung 1. Beispielitem des Mental Rotation Test. Adaptiert aus „Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization“, von Vandenberg & Kuse, 1978, *Perceptual and Motor Skills*, 74, S. 600.

Weiters entwickelten Gittler und Arendasy (2003) den Endlosschleifentest (EST), um die mentale Rotationsfähigkeit zu messen. Gittler und Arendasy (2003) generierten den Schlauchfigurentest von Stumpf und Fay (1983), da dieser die Raschhomogenität durch ...

- 1) sichtbare Schlauchenden, die als Orientierungshilfe dienten,
- 2) Aufgaben, bei denen die Zielansicht, die Startansicht räumlich spiegelte und dadurch von einigen Personen auch „von hinten“ zu lösen wäre, und
- 3) Zeitlimits, verletzte.

Der neu generierte EST besteht aus 19 Items. ProbandInnen werden zwei Bilder von Würfeln präsentiert, woraufhin diese entscheiden müssen, von welcher Seite der linke Würfel fotografiert werden müsste, um dem rechten Würfel zu entsprechen (siehe Abbildung. 2).

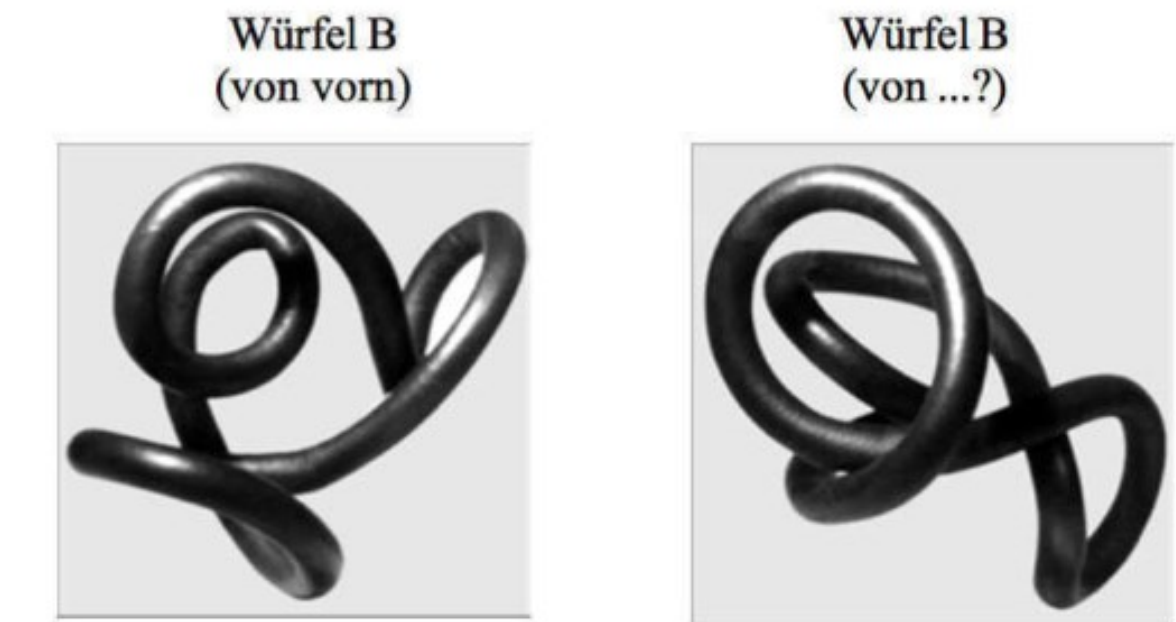


Abbildung 2. Beispielitem des Endlosschleifentests. Adaptiert aus „Endlosschleifen: Psychometrische Grundlagen des Aufgabentyps EP“, von Gittler & Arendasy, 2003, *Diagnostica*, 49, S. 169.

1.2 Erforschung geschlechtsspezifischer Unterschiede in der mentalen Rotationsfähigkeit

Obwohl in der Studie von Shepard und Metzler (1971) keine Untersuchung des Geschlechtseffekts erfolgte, erwies sich, dass eben ihr angewandtes Stimulusmaterial den größten, robustesten und reliabelsten Geschlechtseffekt zugunsten des männlichen Geschlechts produzierte (Halpern, 1989; Voyer et al., 1995).

Der Leistungsunterschied zwischen Männern und Frauen manifestiert sich, zahlreichen Studien zufolge, ungefähr ab dem dreizehnten Lebensjahr (Linn & Peterson, 1985; Vandenberg & Kuse, 1979; Voyer et al., 1995). Neuere Studien weisen sogar darauf hin, dass der Leistungsunterschied, zugunsten der Buben, schon ab dem neunten Lebensjahr ersichtlich ist (Geiser, Lehmann & Eid, 2008).

1.2.1 Mögliche Ursachen

Zurzeit liegen viele mögliche Erklärungsansätze aus verschiedenen Bereichen der Forschung vor, um das Auftreten des Geschlechtseffekts beim mentalen Rotieren zu erläutern.

So spielen biologisch-neurale Faktoren eine zentrale Rolle bei der Entstehung des Geschlechtseffekts. Die Leistung des weiblichen und männlichen Geschlechts in der mentalen Rotation ist außerdem mit dem Einfluss von Faktoren wie beispielsweise den Reifungsprozessen (Sanders & Soares, 1986), mit hormonellen Veränderungen (z.B. Hines et al., 2003), mit zerebraler Lateralisierung und Asymmetrien (Hugdahl, Thomes & Ersland, 2006; Schöning et al., 2007) als auch mit genetischen Komponenten (McGee, 1979) in Zusammenhang gebracht worden. Weiters zeigen Einflüsse wie psychosoziale Faktoren (Quaiser-Pohl & Lehmann, 2002; Moè & Pazzaglia, 2006), das Alter und Erfahrung beziehungsweise Übung (Geiser, Lehmann & Eid, 2008; Terlecki & Newcombe, 2005) empirische Evidenz. Aufgrund dessen wird, wie auch in anderen Forschungsbereichen, der multifaktorielle „bio-psycho-soziale“ Erklärungsansatz verfolgt.

Im Folgenden wird kurz auf den bio-psycho-soziale Ansatz eingegangen, da dieser für die Erklärung der Crossmodalität am interessantesten ist.

1.2.1.1 Bio-psycho-sozialer Erklärungsansatz

„Psychologische Geschlechtsunterschiede beruhen auf einer durch Geschlechtsstereotypisierung bedingten kulturellen Verstärkung genetisch und ökologisch bedingter Geschlechtsunterschiede auf hormoneller, neuronaler und Verhaltensebene.“ (Asendorpf, 2003, S.411).

Der kognitive Leistungsunterschied im mentalen Rotieren zwischen den Geschlechtern wird heutzutage also auf biologische (z.B. hormonelle Einflüsse, Lateralisation des Gehirns), psychologische (z. B. Selbstsicherheit, geschlechtsspezifische Rollenkonzepte) und soziale Faktoren (z.B. Erfahrung/Erziehung/Training) zurückgeführt (Hirnstein & Hausmann, 2010; Lautenbacher, Güntürkün & Hausmann, 2007).

Der bio-psycho-sozialen Ansatz von Halpern und Tan (2001) beschreibt also, dass die zwei Variablen Biologie („Anlage“) und Psychosoziales („Umwelt“) miteinander interagieren, während sich Ursache und Wirkung zirkulär beeinflussen. Eine Aufteilung der Variablen in biologische (Natur) und psychosoziale (Umwelt) Kategorien wird als unmöglich angesehen (Halpern & Tan, 2001), da durch die Plastizität des menschlichen Gehirns neuronale Strukturen mittels Erfahrungen dauerhaft veränderbar bleiben (z.B. Nelson, 1999; zitiert nach Halpern & Tan, 2001).

Halpern und Tan (2001) setzten deshalb die Gene und die Umwelt in eine zirkuläre Beziehung, in der nicht ein einzelner Faktor, sondern das Zusammenwirken mehrere Faktoren, wie geschlechtsspezifische Gehirnstrukturen, Sexualhormone, Geschlechtsrollenidentität und Sozialisation die kognitiven Fähigkeiten und Leistungen beeinflussen.

Zudem ist anzumerken, dass jedes Individuum eine biologische Prädisposition hat, einige Fertigkeiten leichter und andere schwerer zu erlernen. Dies übt wiederum Einfluss auf die gesuchten Umwelten und persönliche Erfahrungen aus, was die Unzertrennlichkeit der biologischen und psychosozialen

Verbindung zeigt (Halpern & Tan, 2001). Eine holistische Betrachtungsweise der Prozesse, die Einfluss auf Gehirnstrukturen und das Verhalten nehmen, wäre durch ein bio-psycho-soziales Bezugssystem als Erklärungsansatz für kognitive Unterschiede geschaffen.

Einige Studien konnten zeigen, dass nicht-kognitive Variablen wie zum Beispiel das Selbstkonzept mit der erbrachten Leistung im Test korrelieren und stützen somit die Annahme, dass mehrere Variablen ein Verhalten beeinflussen (Glück, 2001; Glück et al., 2005). So hat beispielsweise die Strategiewahl (Frauen wählen eher analytische und Männer eher holistische Strategien) indirekten Einfluss auf die Testleistung (Glück, 2001).

Hooven et al. (2008) konnten zeigen, dass der geschlechtsspezifischen Einfluss auf die Leistung im MRT durch Selbstsicherheit als Mediatorvariable mitverantwortet. Dies bedeutet, dass Personen mit einem schlechten Selbstkonzept in Hinsicht auf ihre räumlichen Fähigkeiten (überwiegend Frauen und Mädchen) sich von vornherein weniger zutrauen und in Folge dessen schlechtere Leistungen erbringen könnten (Glück et al., 2005). Selbstunsichere Personen wählen nämlich eher sichere, jedoch zeitaufwändigere Strategien (Glück & Fitting, 2003) und investieren mehr Zeit um beispielsweise ihre Lösungen zu kontrollieren (Hirnstain, Bayer & Hausmann, 2009; Glück & Fabrizii, 2010).

Genau diese Vorgehensweise ist allerdings bei Aufgaben zur mentalen Rotation, bei denen die Erfassung der Rotationsgeschwindigkeit im Vordergrund steht, nachteilig (Glück & Fitting, 2003; vgl. Heil & Jansen-Osmann, 2008), da in diesem Fall die unterschiedliche Strategiewahl aber nicht der Prozess des mentalen Rotierens an sich, die Unterschiede der Leistung im Test mitbedingen (vgl. Peters, 2005).

1.2.1.2 Testspezifische Aspekte

Auch testspezifische Eigenschaften der Aufgabenvorgabe sowie des Aufgabenmaterials spielen neben den bio-psycho-sozialen Aspekten eine relevante Rolle. Diese können nämlich, die eigentlich zu erfassende Fähigkeit in unterschiedlichem Ausmaß beeinflussen.

Eine relevante diagnostische Information entspricht nicht nur dem

quantitativen Aspekt, wie viele Aufgaben gelöst werden, sondern auch der qualitative, wie die Lösung gefunden wird. Demnach sollen zum Beispiel Piloten, Aufgaben zur Raumvorstellung mit Hilfe von Visualisierung und nicht durch gute Reasoning-Fähigkeiten lösen (Glück, 2011).

Letztlich ist auch die Dimensionalität des Testmaterials für die Messung der Raumvorstellungsfähigkeit ausschlaggebend um weiters valide Fähigkeitsbestimmungen zu gewährleisten (Gittler & Glück, 1998).

2. Geschlechtsunterschiede mit 3D-Aufgaben der mentalen Rotation – theoretische Grundlage

Vor zirka 20 Jahren haben McWilliams, Hamilton und Muncer (1997) Geschlechtsunterschiede in der Fähigkeit des mentalen Rotierens, beim Betrachten von realen Objekten und 2D – Repräsentationen realer Objekte verglichen. Bei Vorgabe der realen Holzfiguren, welche den Figuren aus dem MRT von Vandenberg und Kuse (1978) entsprachen, konnte überraschender Weise kein Geschlechtseffekt zugunsten der Männer festgestellt werden, während bei der Papier-Bleistift-Vorlage ein Geschlechtseffekt zugunsten der Männer festgestellt wurde (McWilliams et al., 1997).

Diese Ergebnisse wurden damit erklärt, dass Geschlechtsunterschiede in der mentalen Rotationsfähigkeit nur bei Abbildungen dreidimensionaler Objekte vorkommen aber nicht bei realen dreidimensionalen Objekten (McWilliams et al., 1997). Dieser Sachverhalt hebt die Stimuluskomplexität als relevante Variable für das Aufkommen solcher Geschlechtsunterschiede hervor und ficht viele Erklärungsansätze an, die Kognition aber auch die Erfahrung mit Aufgaben dieser Art, als Erklärung angeben (McWilliams et al., 1997; Voyer et al., 1995). Der Prozess, der dreidimensionale Repräsentationen entwickelt, benötigt Crossdimensionalität (Horan & Rosser, 1984; zitiert nach Voyer et al., 1995).

Der Begriff *Crossdimensionalität* (Horan & Rosser, 1984; zitiert nach Voyer et al., 1995), beschreibt den Prozess zweidimensional präsentierte Items mental in eine dreidimensionale Repräsentation zu transformieren, in dieser Form zu rotieren

und anschließend die erlangte Lösung wiederum in ein zweidimensionales Abbild umzuwandeln (Arendasy, 2000; Voyer et al., 1995). Laut einigen Studien ist der Prozess der Crossdimensionalität für Frauen schwieriger durchzuführen (Neubauer et al., 2010; McWilliams et al., 1997; Parsons et al., 2004). Aufgrunddessen wurde die Crossdimensionalität als Erklärungsmechanismus für Geschlechtunterschiede in räumlichen Fähigkeiten vorgeschlagen.

Diese Definition führte zu neuen Überlegungen in Bezug auf dieses Forschungsgebiet und veranlasste verschiedene ForscherInnen alternative Präsentationstechniken für Aufgaben zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit zu entwickeln. Neben der Verwendung realer Objekte eröffneten sich Darstellungsmöglichkeiten mit Hilfe stereoskopischer Präsentationen sowie mit Hilfe virtueller Umwelten (Virtual Reality).

Stereoskopische Darstellungen können auch durch die Verwendung von Anaglyphen- bzw. Polarisationsfilterbrillen gewährleistet werden, da diese einen dreidimensionalen Tiefeneindruck vermitteln. Dem rechten und linken Auge werden separat ein bisschen verschobene Abbildungen desselben Objekts präsentiert und folglich zu einem stereoskopischen Wahrnehmungseindruck verschmolzen (Arendasy, 2000).

Lanier (1986; zitiert nach Lombardo, 2014) formulierte den Begriff Virtual Reality (VR). Dieser beschreibt eine simulierte Umwelt, die dank technischer Vorrichtungen erschaffen werden kann. Diese ermöglicht die Interaktion mit anderen Personen – dies macht den Unterschied zur ausschließlichen 3D-Präsentation von Objekten.

Virtuelle Umwelten sind verschieden immersiv (Freina & Canessa, 2015). Immersion beschreibt die Wahrnehmung von Personen körperlich in einer nicht-physischen Umgebung anwesend zu sein (Freina & Canessa, 2015). Die verschiedenen virtuellen Umwelten unterscheiden sich anhand des jeweiligen Grades an Immersion. Es gibt virtuelle Umwelten mit einem hohen Grad an Immersion (z.B. Virtual Reality/VR), die den NutzerInnen während der Ausführung, keine Wahrnehmung der realen Umwelt ermöglicht (Roca-González, Martín-Gutierrez, García-Domínguez & del Carmen Mato Carrodegua, 2017) und virtuelle Umwelten mit einem geringeren Grad an Immersion (z.B. Augmented Reality/AR),

bei denen die NutzerInnen in verschiedene, computergestützte Szenarios involviert sind, wobei die reale Umwelt hier wahrnehmbar ist, da die virtuellen Objekte in diesem Fall mit der realen Umwelt kombiniert sind beziehungsweise diese sichtlich überlagern. Hierbei wird die Umwelt nicht gänzlich ersetzt, sondern durch Augmented Reality ergänzt (Roca-González et al., 2017).

Larson et al. (1999) entwickelten virtuelle Aufgaben zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit, die der klassischen Papier-Bleistift-Version des MRT entsprachen. Die Ergebnisse der Studie an einem kleinen Sample mit 30 ProbandInnen zeigten, dass die Papier-Bleistift-Version wie erwartet wiederholt zu einem Geschlechtsunterschied führte, während die Auswertung der virtuellen Aufgaben auf keinen Geschlechtseffekt schließen ließ.

Diese Ergebnisse wurden 2004 von Parsons et al. repliziert, was die Annahme stärkte, dass die weibliche Benachteiligung bei Aufgaben zur mentalen Rotation, nicht am Prozess des mentalen Rotierens an sich liegt, sondern in der Übertragung eines zweidimensionalen Bildes in eine dreidimensionale Repräsentation. Dies stützt den Erklärungsansatz des Prozesses der Crossdimensionalität von Personen weiblichen Geschlechts (Arendasy, 2000; Horan & Rosser, 1984; zitiert nach Voyer et al., 1995; Voyer et al. 1995).

Später publizierte als auch nicht-veröffentlichte Studien erlangten mit 3D-Präsentationen der Aufgaben zur mentalen Rotation allerdings inkonsistente Ergebnisse – die vorliegende Metaanalyse will eventuelle Veränderungen der Effektstärken über die Zeit, sogenannte Time–Trends, von 3D dargestellten Aufgabensets zur mentalen Rotationsfähigkeit klären.

2.1 Ziel der Masterarbeit

Das Ziel dieser Masterarbeit war, eventuelle Veränderungen der Effektstärken über die Zeit, sogenannte Time–Trends, von 3D dargestellten Aufgabensets zur mentalen Rotationsfähigkeit zu detektieren.

Zunächst soll ein narratives Review verfasst werden, womit die Studien, die in vorliegende Masterarbeit einfließen, beschrieben werden. Weiters wird eine crosstemporale Metaanalyse durchgeführt, mit der die Ergebnisse der relevanten Studien durch statistische Effektschätzungen und Time-Trends gestützt beziehungsweise erweitert werden. Zusätzlich wird in vorliegender crosstemporaler

Metaanalyse die mögliche Evidenz des Decline-Effekts – daraus resultierend auch des Winner's curse – und des Small Study-Effekts überprüft.

Der Decline-Effekt beschreibt, im ursprünglichen Sinn, das Phänomen, dass Effektstärken über die Jahre hinweg immer kleiner werden, oder sogar verschwinden (Schooler, 2011). Der Publikationsbias stellt eine mögliche Erklärung für diesen Effekt dar. Einige Wissenschaftler streben danach statistisch signifikante Resultate zu publizieren, jedoch erreichen ursprüngliche Befunde die publizierte Literatur nur, wenn ein großer, vielleicht auch überhöhter statistisch, signifikanter Effekt gefunden wird. Im Gegensatz dazu können später durchgeführte Studien kleinere, gefundene Effekte mit eventuell rigoroseren, statistischen Methoden und größeren Stichproben, publizieren (Schooler, 2011). Der Winner's curse spricht im ursprünglichen Sinn dafür, dass diejenigen Autoren, die als erstes zu einer bestimmten Forschungsfrage publizieren den größten Effekt aufweisen. Folgepublikationen beschreiben kleinere oder sogar nicht signifikante Ergebnisse (Schooler, 2011).

In vorliegender Arbeit wird davon ausgegangen, dass sich bei Evidenz des Decline-Effekts und somit auch des Winner's curse die erste Publikation mit einem Nulleffekt von Folgepublikationen mit größer werdenden Effekten abhebt, da es in diesem speziellen Fall, das Ziel der Forschung ist den signifikanten Geschlechtsunterschied bei der mentalen Rotationsfähigkeit aufzuheben beziehungsweise erklären zu können.

Der Small-Study-Effekt beschreibt das Phänomen, dass Studien mit kleineren Stichprobengrößen tendenziell größere und konformere Effekte zeigen als Studien mit größeren Stichproben (Sterne, Gavaghan & Egger, 2000). In vorliegender Arbeit wird davon ausgegangen, dass bei Evidenz des Small-Study-Effekt, Studien mit kleineren Stichproben kleinere Effekte zeigen, da diese, in diesem speziellen Fall, die konformeren sind, als Studien mit größeren Stichproben.

2.1.1 Hypothese

„Der Geschlechtseffekt weicht über die Zeit vom Nulleffekt der Primärstudie von Larson et al. (1999) ab.“

3 Methode

3.1 Literaturrecherche

Die in dieser Metaanalyse inkludierten, publizierten Artikel wurden anhand einer extensiven Literatursuche, mittels den Online Datenbanken PsycInfo, Pub Med, ISI Web of Science und Google Scholar ermittelt. Im Zeitraum vom Oktober 2016 bis März 2017 fand diese Online - Recherche der relevanten Studien statt. Die Suche wurde fortlaufend aktualisiert und wurde Ende Mai 2017 einer wiederholten Recherche unterzogen, um mögliche, bis dahin, neu publizierte Studien zu detektieren.

Folgende zwei Suchstrings wurden für die Schlagwortsuche angewandt:

- 1) "mental rotation" AND (3D OR "aug* reality" OR "virtual reality" OR virt* OR anagl* OR "shutter").
- 2) 3D AND "mental rotation".

Zusätzlich erfolgte eine Literatursuche mit der Datenbank ISI Web of Science nach denjenigen Studien, die von McWilliams et al. (1997), Larson et al. (1999) und Parsons et al. (2004) zitiert wurden, um sie auf ihre Relevanz für die vorliegende Metaanalyse zu prüfen.

Die graue Literatur setzt sich aus Diplomarbeiten, Dissertationen und Fachliteraturseminardaten zusammen, die von Herrn Dr. Jakob Pietschnig und Herrn Prof. Dr. Georg Gittler zur Verfügung gestellt wurden. Zusätzlich wurde die Online Datenbank Open Access Theses and Dissertation (OADT) durchsucht. Nach Erlangung der relevanten Studien fand eine Durchsicht als auch Prüfung der Literaturverzeichnisse, dieser statt.

3.2 Inklusionskriterien

In dieser Arbeit galt es die Effektstärken von Geschlechtsunterschieden bei der mentalen Rotation in 3D dargestellten Aufgaben zu bestimmen. Aus diesem Grund wurden Studien inkludiert, die den Geschlechtsunterschied bei Aufgaben für mentale Rotation untersuchten bzw. eine Eruiierung dieses Geschlechtseffekts mit 3D dargestellten Stimuli erlaubten. Die Aufgaben zur mentalen Rotation mussten in

3D dargestellt sein (z.B.: Verwendung von Anaglyphenbrillen, Shutterbrillen, etc., bzw. Verwendung eines Virtual Reality Systems (VRSR), Augmented Reality). Die Studien mussten in deutscher oder englischer Sprache verfasst sein und darüberhinaus war ein Volltextzugriff von Nöten. Bei den Versuchspersonen musste es sich um gesunde, nicht klinische Testpersonen handeln, die auch keine Minder- bzw. Hochbegabung aufweisen. Nur Studien die Probanden ab dem 13 Lebensjahr untersuchten, wurden eingeschlossen, da die Literaturrecherche darauf schließen ließ, dass ab diesem Alter ein konsistenter Geschlechtsunterschied ersichtlich ist (Voyer et al., 1995). Nur Studien wurden inkludiert, bei denen Ergebnisse zu Aufgaben der mentalen Rotation vor einer Trainingsintervention vorlagen, um so mögliche Trainingseffekte ausschließen zu können.

Entsprechend den Inklusionskriterien wurden 13 Studien von 925 detektierten, in vorliegende Metaanalyse miteingeschlossen. Außerdem wurden 3 Datensätze aus Fachliteraturseminaren, die an der Universität Wien erhoben wurden und eine Berechnung des Geschlechtseffekts erlaubten in die vorliegende Analyse miteinbezogen. Die Studien- und Datencharakteristiken sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Das PRISMA Flow-Chart-Diagramm (Moher, Liberati, Teztlaff, & Altman, 2009; siehe Abbildung 3) stellt die in- und exkludierten Studien dar. In Anhang II sind diese, mit Grund des Aus- bzw. Einschlusses zitiert.

Tabelle 1

Studiencharakteristiken

Studienname (Publikationsjahr)	<i>N</i>	<i>M/SD</i> ♂	<i>M/SD</i> ♀	<i>d</i>	<i>p</i>	Literatur	Daten- sammlung	mean Alter	♂ %
Larson et al. (1999)	30	<i>n.a./ n.a.</i>	<i>n.a./ n.a.</i>	0.094	>.80	JA	1997.0	28.17	43.33
Arendasy (2000)	163	6.17/ 2.28	5.48/ 2.03	0.318.	.049	Diss.	1999.0	15.71	40.49
Gamper (2002)	199	4.25/ 1.89	4.00/ 2.56	0.128	<i>n.a.</i>	DA	2001.0	16.53	93.97
Lembacher (2002)	200	10.64/ 3.43	8.47/ 3.71	0.605	.013	DA	2001.0	32.95	50.00
Parsons et al. (2004)	22	<i>n.a./ n.a.</i>	<i>n.a./ n.a.</i>	-0.158	.720	JA	2002.0	29.09	45.45
Lehmann et al. (2008)	12	0.54/ 0.12	0.59/ 0.12	-0.415	<i>n.a.</i>	JA	2006.0	<i>n.a.</i>	58.33
Fachliteraturseminardaten I (2009)	179	4.91/ 2.35	3.38/ 1.87	0.722	<i>n.a.</i>	FLS_D	2008.5	32.17.	48.04
Fachliteraturseminardaten II (2009)	222	6.05/ 2.22	4.90/ 2.41	0.494.	<i>n.a.</i>	FLS_D	2009.0	29.72	49.55
Fachliteraturseminardaten III (2010)	85	6.33/ 2.30	4.79/ 2.32	0.661	<i>n.a.</i>	FLS_D	2009.5	31.29	49.41
Heider (2010)	227	<i>n.a./ n.a.</i>	<i>n.a./ n.a.</i>	0.590	<.001	DA	2010.0	21.45	44.05
Neubauer et al. (2010)	77	38.79/ 4.69	37.05/ 3.88	0.401	>.05	JA	2007.5	15.02	49.35
Strasser et al. (2010)	136	4.00/ 1.59	3.10/ 1.52	0.576	.001.	JA	2008.0	28.00	48.00
Zobler (2012)	191	<i>n.a./ n.a.</i>	<i>n.a./ n.a.</i>	0.204	.163	DA	2010.0	27.78	51.83
Foroughi et al. (2015)	128	13.04/ 4.40	9.37/ 3.74	0.900	<.001.	JA	2013.0	21.10	39.20
Kozhevnikov et al. (2015)	25	<i>n.a./ n.a.</i>	<i>n.a./ n.a.</i>	0.396	.330	JA	2013.0	<i>n.a.</i>	48.00
McIntire et al. (2015)	12	<i>n.a./ n.a.</i>	<i>n.a./ n.a.</i>	0.809	.035.	JA	2013.0	39.00	83.33

Anmerkung. *N* = Stichprobengröße; *M/SD* ♂ = Mittelwerte/Standardabweichungen bei Männern; *M/SD* ♀ = Mittelwerte/Standardabweichungen bei Frauen; *d* = Effizienz mit Cohens *d* angegeben; *p* = Signifikanz; mean Alter = Durchschnittsalter; ♂ % = Anteil Männer in Prozent; JA = Journal Article; DA = Diplomarbeit; Diss. = Dissertation; FLS_D = Fachliteraturseminar_Daten; Publikationsjahr von JA, DA, Diss., FLS_D = Fertigstellungsjahr, da nicht publiziert; *n.a.* = nicht gegeben

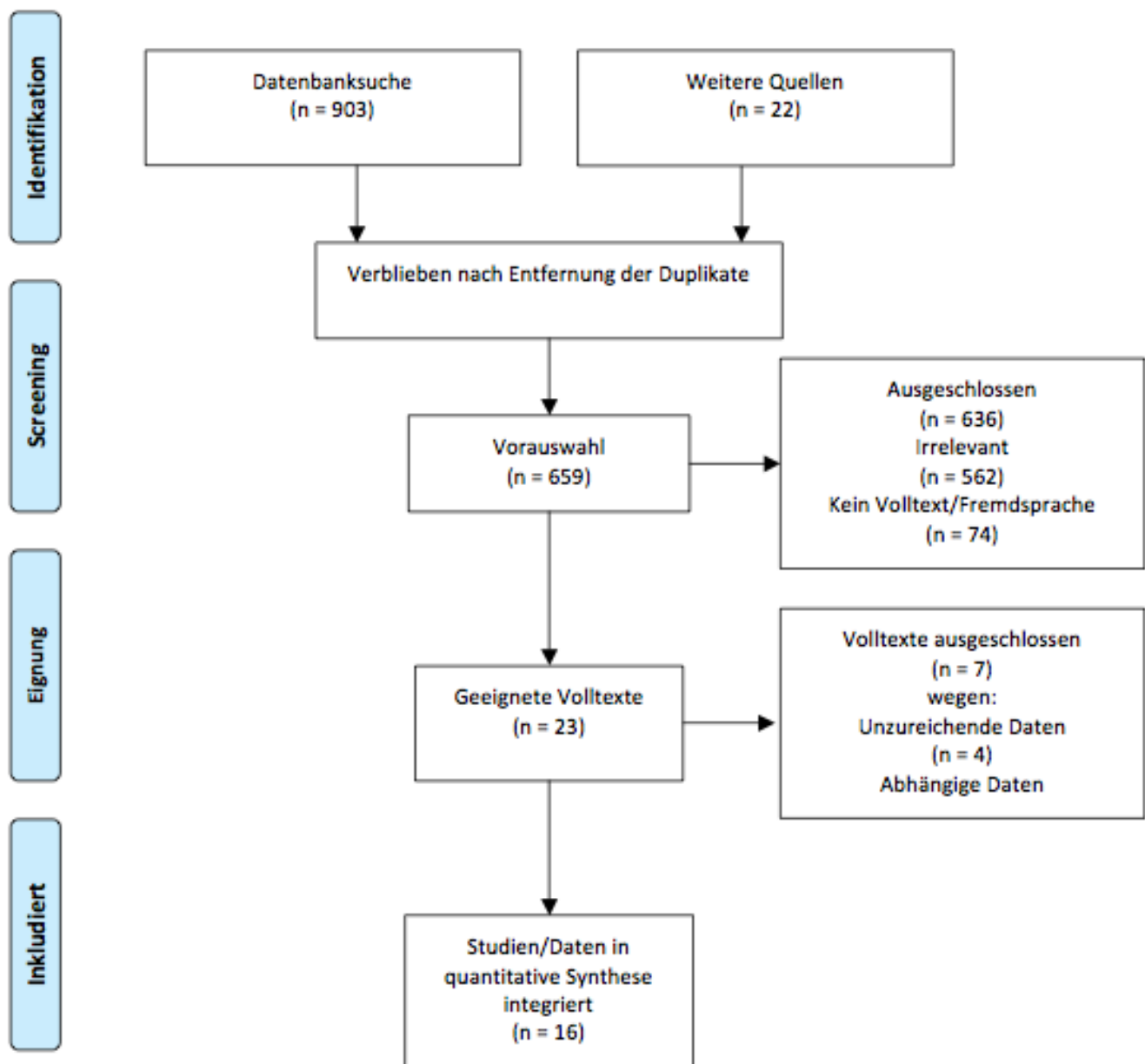


Abbildung 3. Flowchart: Selektionsvorgang der Studien. Adaptiert aus „Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses“. The PRISMA Statement von Moher, Liberti, Tetzlaff, & Altman, 2009.

3.3 Kodierung

Die Kodierung wurde von zwei Studentinnen (D.V., S.P.) unabhängig voneinander im Rahmen ihrer Masterarbeit durchgeführt. Dank der unabhängigen Kodierung war die Bestimmung der Interrater-Reliabilität mittels Cohen's Kappa (κ), möglich und dient der Prüfung der Übereinstimmung der unabhängigen Einschätzungen. Für diese Masterarbeit wird mindestens eine moderate Beurteiler Übereinstimmung angestrebt, die ab einem $\kappa = 0.41$ eine derartige Interpretation gewährleistet (Landis & Koch, 1977). Die Studien wurden in Kategorien kodiert (Land der Datenerhebung, Publikationsstatus, Publikationsjahr/ Datenerhebungsjahr, Art der Publikation, Sprache; siehe Anhang I) und Stichprobencharakteristiken als auch relevante Variablen (N , d , p , Durchschnittsalter, SD , Testinstrument) wurden berichtet.

Bei fehlenden Angaben, die für die Kodierung von Relevanz wären, wurden die Autoren kontaktiert. Bei Ausbleiben relevanter Daten um die Effektstärke berechnen zu können, wurde die Studie bei Nicht-Antwort der Autoren aus der Metaanalyse ausgeschlossen.

3.4 Narratives Review

Ein narratives Review ist eine Übersichtsarbeit, die Zusammenfassungen von Einzelstudien vorweist und somit einen Überblick zu dem interessierenden Thema bietet. Narrative Reviews sind somit hilfreich sich rapide relevante Informationen des derzeitigen Forschungsstandes zu einem bestimmten Thema einzuholen. Die nötige Selektion der zu berücksichtigenden Artikel erfolgt allerdings unsystematisch sowie subjektiv (Ressing, Blettner & Klug, 2009). Für das narrative Review wurden die, in die crosstemporale Metaanalyse, inkludierten Studien zusammenfassend aufgearbeitet um einen tieferen Einblick in das hier eruierte Thema zu gewährleisten.

3.5 Allgemeine Analyse

Statistische Daten sowie die Untersuchung der entnommenen Resultate aus der relevanten Literatur wurden mit dem Programm R analysiert. Die Veränderung des Effekts über die Zeit wurde mit RStudio errechnet, wofür die Installation des Package „metafor“ (Viechtbauer, 2010) nötig war. Deskriptivstatische Auswertungen erfolgten mit dem Programm Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), Version 22.

3.5.1 Effektstärken

Zur Effektstärkeninterpretation wurde Cohen's d (kleine Effektstärke $d = 0.2$; mittlere Effektstärke $d = 0.5$; große Effektstärke $d = 0.8$; Cohen, 1988) mit 95% Konfidenzintervall herangezogen. Cohen's d veranschaulicht den Abstand zweier Verteilungen in Einheiten der gemeinsamen Standardabweichungen (Borenstein, Hedges, Higgins & Rothstein, 2009).

Diese Berechnung von d verlangt eine Subtraktion der Mittelwerte zweier Gruppen, und eine anschließende Division des Ergebnisses durch die Standardabweichung der beiden. Handelt es sich um ungleiche Gruppengrößen kommt die gepoolte Standardabweichung zum Einsatz (Borenstein et al., 2009). Die Vorzeichensetzung der berechneten Effektstärke sind von unabdingbarer Relevanz, da ein positives Vorzeichen im Rahmen dieser Masterarbeit einen Leistungsvorteil des männlichen Geschlechts bei Aufgaben zur mentalen Rotation symbolisiert, ein negatives Vorzeichen hingegen spricht für bessere Leistungen seitens der Frauen. Fällt die Effektstärke nicht signifikant aus bzw. nimmt sogar einem Nulleffekt an, sind die Leistungen der beiden Geschlechter gleich.

3.5.2 Heterogenität

Die Q-Statistik diente zur Testung der Heterogenität, da ein signifikantes Ergebnis auf heterogene Daten hindeutet. Wegen der geringen statistischen Power bei einer kleinen Studienanzahl (Borenstein et al., 2009), wird zudem die I^2

Statistik zur Prüfung der Heterogenität angewandt, welche die Prozente der Variabilität zwischen den Effekten in Hinsicht zur wahren Heterogenität angibt (von 0% bis 100%, 0 – 24.9% = keine Heterogenität, 25 – 49.9% niedrige, 50 – 74.9% moderate und ab 75% hohe Heterogenität; Higgins, Thompson, Deeks & Altman, 2003). Darüberhinaus wird die Kenngröße R^2 angeführt, die angibt, wie viel Prozent der gegebenen Varianz erklärt wird (Borenstein et al., 2009).

3.6 Crosstemporale Metaanalyse

Das Ziel einer crosstemporalen Metaanalyse ist die Untersuchung von „Time – Trends“ - der Umfang der Veränderung, der abhängigen Variable über die Zeit ist von Interesse (Pietschnig, Voracek & Formann, 2010; Pietschnig & Gittler, 2015). Wie üblich wurde für das Publikationsjahr auf die abhängige Variable, in diesem Fall die Effektstärke, mit gewichteten *Mixed – Effects* Metaregressionen, regrediert.

3.6.1 Metaregressionen

Metaregressionen werden eingesetzt um einen signifikanten Einfluss von Moderatorvariablen auf Effektstärken zu erkennen (Borenstein et al., 2009). Es galt zu eruieren ob die Effektstärke einem moderierenden Einfluss des Publikationsjahrs unterlegen war.

Diese Berechnung wurde zunächst mit der einfachen Metaregression durchgeführt. Zusätzlich wurde an dieser Stelle die mögliche Evidenz des Decline-Effekts - daraus resultierend auch des Winner's curse - überprüft.

Der Decline-Effekt beschreibt, im ursprünglichen Sinn, das Phänomen, dass Effektstärken über die Jahre hinweg immer kleiner werden, oder sogar verschwinden (Schooler, 2011). Der Winner's curse spricht im ursprünglichen Sinn dafür, dass diejenigen Autoren, die als erstes zu einer bestimmten Forschungsfrage publizieren den größten Effekt aufweisen. Folgepublikationen beschreiben kleinere oder sogar nicht signifikante Ergebnisse (Schooler, 2011).

In vorliegender Arbeit wird davon ausgegangen, dass sich bei Evidenz des

Decline-Effekts und somit auch des Winner's curse die erste Publikation mit einem Nulleffekt von Folgepublikationen mit größer werdenden Effekten abhebt, da es in diesem speziellen Fall, das Ziel der Forschung ist den signifikanten Geschlechtsunterschied bei der mentalen Rotationsfähigkeit aufzuheben beziehungsweise erklären zu können.

Außerdem wurde daraufhin eine multiple Metaregression mit dem Publikationsjahr und der Stichprobengröße berechnet, die jeweils angibt, wie viel Einfluss das Publikationsjahr auf die Effektstärke ausübt, wenn die Variable Stichprobengröße kontrolliert wird und umgekehrt, wie viel Einfluss die Stichprobengröße auf die Effektstärke hat, wenn die Variable Publikationsjahr kontrolliert wird. Anschließend wurden beide Modelle mit Hilfe einer ANOVA verglichen. Diese Berechnungen wurden separat für alle Studien, für publizierte Studien, und für nicht-publizierte Studien angeführt, um differenziertere Ergebnisse zu erhalten.

Aufgrund der stark variierenden Stichprobengrößen wurde überdies geprüft ob die Effektstärke einem moderierenden Einfluss der Stichprobengröße unterlegen war. An dieser Stelle wurde zusätzlich die Evidenz des Small-Study-Effekts überprüft.

Der Small-Study-Effekt beschreibt das Phänomen, dass Studien mit kleineren Stichprobengrößen tendenziell größere und konformere Effekte zeigen als Studien mit größeren Stichproben (Sterne, Gavaghan & Egger, 2000). In vorliegender Arbeit wird davon ausgegangen, dass bei Evidenz des Small-Study-Effekt, Studien mit kleineren Stichproben kleinere Effekte zeigen, da diese, in diesem speziellen Fall, die konformeren sind, als Studien mit größeren Stichproben.

Auch hier wurde die einfache Metaregression herangezogen und die Berechnungen wurden separat für alle Studien, für publizierte Studien und für nicht-publizierte Studien durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Finale Stichprobe

Durch Beachtung der Inklusionskriterien konnten 16 von anfänglich 925 dargebotenen Quellen eingeschlossen werden. 13 Studien und 3 Datensätze, die in den Jahren von 1999 bis 2015 publiziert oder erhoben wurden, wurden als relevant identifiziert und erzielten zugleich Eingang in die vorliegende Analyse. Aus den 16 unabhängigen Stichproben ließ sich eine Gesamtstichprobe von $N = 1908$ ProbandInnen errechnen. Die einzelnen Studien umfassten Stichproben von mindestens 12 und höchstens 227 Personen. Von den 1908 Einzelpersonen der Gesamtstichprobe waren 994 ProbandInnen Männer und 914 ProbandInnen Frauen. Die Einzelstudien erfassten zwischen mindestens 7 und höchsten 187 männliche Probanden und zwischen mindestens 2 und 187 weibliche Probandinnen.

Die getesteten Personen wiesen ein Alter zwischen 15 bis 39 Jahren auf, woraus das Durchschnittsalter aller Testpersonen von 25.25 Lebensjahren ($SD = 5.5$) ermittelt wurde. Die ermittelten Daten entsprangen zu 88.6% aus Testungen in Österreich, zu 10.1% aus Testungen in den USA und zu 1.3% aus Testungen in Singapur.

4.2 Interrater-Reliabilität

Die Beurteiler-Übereinstimmung weist mit einem Cohens κ von $\kappa = .75$ eine gute Übereinstimmung auf (Landis & Koch, 1977). Vier Studien wurden zunächst unterschiedlich kodiert, diese Differenzen konnten jedoch nach gemeinsamer Durchsicht klassifiziert und bereinigt werden.

4.3 Narratives Review

In Folge werden in Form einer Übersichtsarbeit, die 13 Studien und 3 Datensätze, die in vorliegende crosstemporale Metaanalyse einfließen, die

verschieden angewandten Methoden zur Messung der Fähigkeit zur mentalen Rotation mit 3D-Technik vorgestellt. Eine chronologische Reihung, von der ältesten bis zur neuesten Studie wurde vorgenommen.

4.3.1 Studie 1 – Larson et al. (1999)

Larson et al. (1999) untersuchten als Pioniere den Geschlechtsunterschied der räumlichen Fähigkeiten mittels des MRT in einer virtuellen Umgebung. Den ProbandInnen wurde der MRT (Vandenberg & Kuse, 1978; modifiziert von Peters et al., 1995) einerseits als Papier-Bleistift Test in der Standardvorgabe vorgelegt und andererseits mit Virtual-Reality-Systemen dreidimensional dargeboten.

Stichprobe

Von 30 ProbandInnen (17 Frauen, 13 Männer) zwischen 18 und 40 Jahren, wobei das Durchschnittsalter bei 28 lag, wurden 17 ($M = 28.17$; $SD = 5.4$) der VRSR-Gruppe zugeteilt.

Methode

Das Virtual Reality System dieser Studie wird als ImmersaDesk-System bezeichnet und erlaubt mit dessen Anwendung eine 3D-Darstellung der Items. Das VRSR wurde auf eine Art entworfen, die ermöglichte einen Zielreiz (target stimulus, TS) innerhalb einer virtuellen Realität zu präsentieren, der aus einer spezifischen Konfiguration von 3D-Blöcken besteht. Die Stimuli erscheinen als hologrammartige, dreidimensionale Objekte, die über dem Projektionsschirm schweben. Nach Präsentation des Zielreizes wurde den Probanden dasselbe Set von Blöcken gezeigt (working stimuli, WS), das zunächst in die Orientierung des Zielreizes rotiert werden und darauffolgend damit überlagert werden musste. Die TeilnehmerInnen manipulierten das WS indem sie eine kreisförmige „cyberprop“ griffen und bewegten, die einen Tracking Mechanismus enthielt. Bei korrekter

Überlagerung der beiden Objekte ertönte ein Signalton und der nächste WS erschien, ohne dass die ProbandInnen zusätzlich interagierten.

Die Stimulusorientierung wurde mit einer einzelnen linearen Rotation um einen 3D- Vektor präsentiert und wurde als eine Gruppe mit vier Werten spezifiziert: drei definierten einen 3D-Vektor in der Einheit Länge und einer definierte die Winkel in der Einheit Grad. Das Ausmaß ist definiert als Winkelunterschied zwischen zwei Orientierungen. Der TS kann mit dem WS mit einer einzigen minimalen Rotation um einen 3D Vektor zur Übereinstimmung gebracht werden. Die verwendeten Grade reichten von 0 bis 360°. Wenn die Rotationsachse parallel zur Sicht der ProbandInnen verlief, war die Aufgabe einer 2D Aufgabe gleich zu setzen. Wenn die Achse bewegt wurde, um parallel zur Sichtebeine zu verlaufen, verlangte die Aufgabe ein volles Verständnis von der Objekterscheinung in 3D.

Geschlechtsunterschied

Der Unterschied der Leistungen beim mentalen Rotieren zwischen Männern und Frauen, innerhalb des VRSR, erreichte kein signifikantes Niveau ($p < .08$; $N = 17$).

Konklusion

So wurde von Larson et al. (1999) erstmalig gezeigt, dass bei dreidimensionaler Darbietung von Items zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit kein Geschlechtseffekt zugunsten der Männer festzustellen ist. Damit wird die Crossdimensionalität als Erklärung gestützt, da bei Wegfall der Crossdimensionalität, der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer verschwand.

4.3.2 Studie 2 – Arendasy (2000)

Arendasy (2000) untersuchte im Rahmen einer Studie auch den Geschlechtsunterschied bei der Fähigkeit des mentalen Rotierens mittels dem

Endlosschleifentest (EST) und der stereoskopisch dreidimensionalen Darstellung des Endlosschleifentest (EST-3D).

Stichprobe

163 Gymnasiastinnen (97 Frauen, 66 Männer) zwischen 14 und 18 Jahren, wobei das Durchschnittsalter bei 15.71 ($M = 15.71$; $SD = 1.26$) liegt, haben den stereoskopisch dreidimensional präsentierten EST (EST-3D) bearbeitet.

Methode

Bei diesem Test müssen die ProbandInnen die abgebildete Endlosschleife von Position I zu Position II mental rotieren – unter Angabe des gewählten Transformationsweges (siehe Abbildung 4).

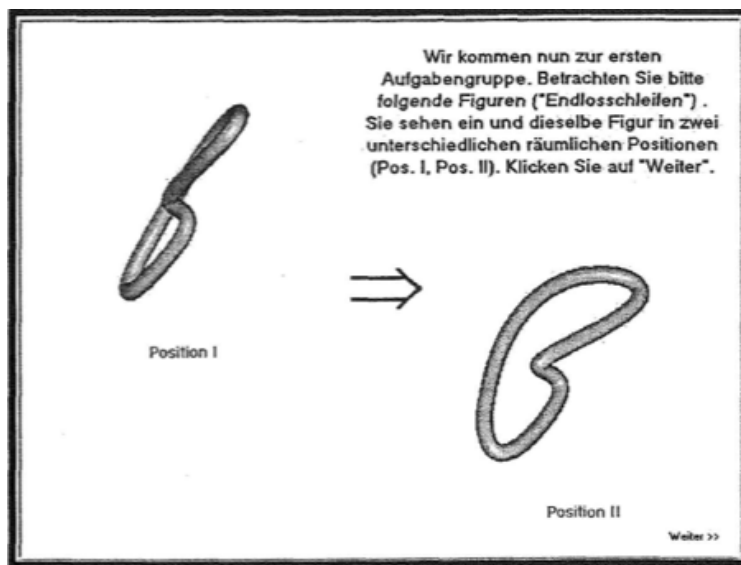


Abbildung 4. Beispielitem des EST. Adaptiert aus „Psychometrischer Vergleich computergestützter Vorgabeformen bei Raumvorstellungsaufgaben: Stereoskopisch - dreidimensionale und herkömmlich zweidimensionale Darbietung“, von Arendasy, 2000, unveröffentlichte Dissertation, S. 70.

Zwei Transformationswege werden dabei erfasst:

- 1) Die Rotation der Endlosschleife (siehe Abbildung 5)
- 2) Die Änderung der eigenen Position. (siehe Abbildung 6)

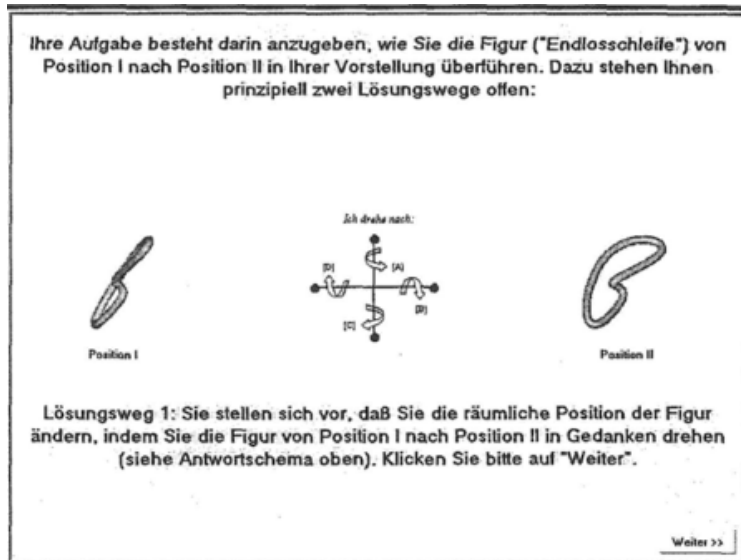


Abbildung 5. Beispiel für die Rotationsinstruktion des EST. Adaptiert aus „Psychometrischer Vergleich computergestützter Vorgabeformen bei Raumvorstellungsaufgaben: Stereoskopisch - dreidimensionale und herkömmlich zweidimensionale Darbietung“, von Arendasy, 2000, unveröffentlichte Dissertation, S. 71.

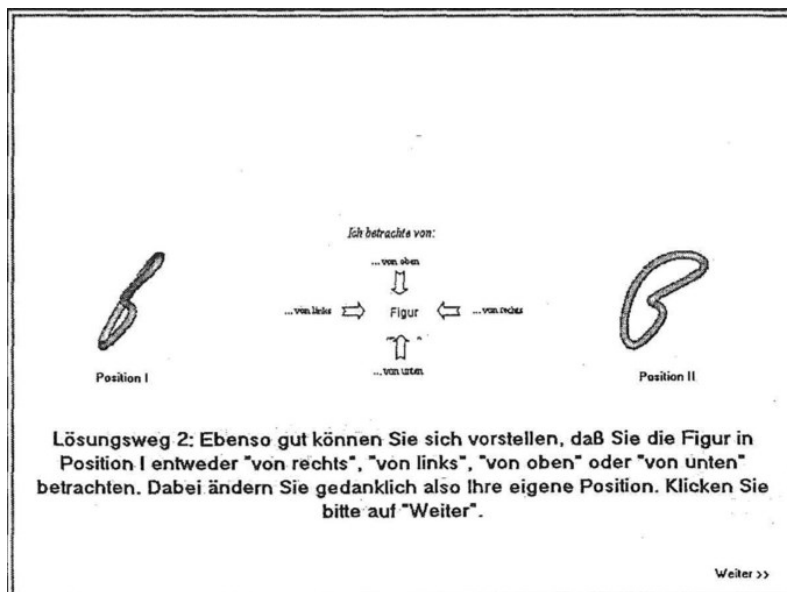


Abbildung 6. Beispiel für die Perspektivenwechselinstruktion des EST. Adaptiert aus „*Psychometrischer Vergleich computergestützter Vorgabeformen bei Raumvorstellungsaufgaben: Stereoskopisch - dreidimensionale und herkömmlich zweidimensionale Darbietung*“, von Arendasy, 2000, unveröffentlichte Dissertation, S. 71.

Geschlechtsunterschied

Im dreidimensionalen Endlosschleifentest (EST-3D) erreicht der Geschlechtsunterschied ein knapp signifikantes Niveau ($M_m = 6.17$, $SD_m = 2.28$; $M_w = 5.48$, $SD_w = 2.02$; $p = .049$) und spricht mit einem Cohens d von $d = 0.32$ ($KI [0.00; 0.63]$) für einen kleinen Geschlechtseffekt zugunsten der Männer.

Konklusion

Der Wegfall der Crossdimensionalität wurde von Arendasy (2000) mit rot-blauen Anaglyphenbrillen gewährleistet, weshalb der Geschlechtsunterschied zugunsten der Männer verschwinden sollte. Jedoch blieb der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer auch nach Wegfall der Crossdimensionalität bestehen, was gegen die Crossdimensionalität als Erklärung spricht. Allerdings konnte ein Aufgabenerleichtender in der 3D-Bedingung festgestellt werden.

4.3.3 Studie 3 – Gamper (2002)

Gamper (2002) untersuchte mit ihrer Diplomarbeit nicht explizit den Geschlechtsunterschied bei den Leistungen zur mentalen Rotation anhand einer dreidimensional präsentierten EST-Form, jedoch erlaubten ihre erhobenen Daten die Berechnung des Geschlechtseffekts.

Stichprobe

199 ProbandInnen, bei welchen ein Ungleichgewicht der Geschlechterverteilung zu vermerken ist (12 Frauen, 187 Männer), von der höheren technischen Lehranstalt Innsbruck zwischen 14 und 20 Jahren, wobei das Durchschnittsalter bei 16.53 ($M = 16.53$; $SD = 1.32$) lag, haben den modifizierten stereoskopisch dreidimensional präsentierten EST (EST-3D) bearbeitet.

Methode

Eine EST-Version wurde entwickelt, die mehr als vier Raumansichten als Antwortmöglichkeit bietet, um das Auftreten von erratenen Antworten zu verringern (siehe Abbildung 7).

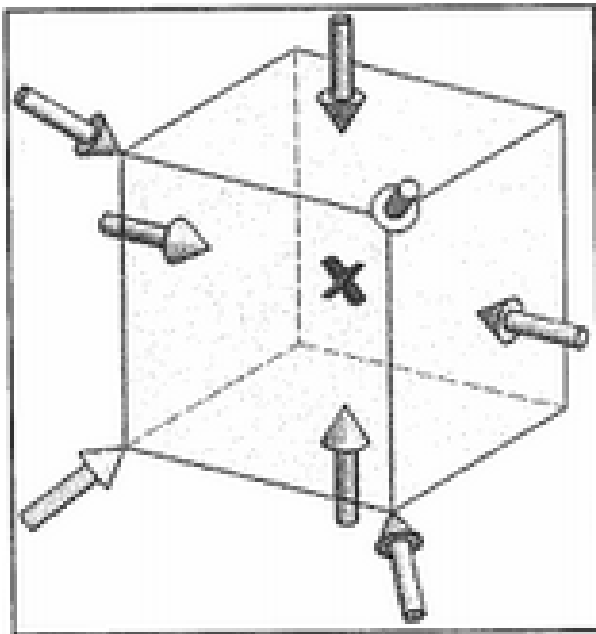


Abbildung 7. Beispiel für die Darstellung des neuen Antwortformats. Adaptiert aus „Die Analyse verschiedener Antwortsysteme in einem Rasch-homogenen Raumvorstellungstest“ von Gamper, 2002, unveröffentlichte DA, S. 53.

Bei der 3D-Bedingung wurden neun 3D-Aufgaben mit den acht Antwortmöglichkeiten „*von oben, von unten, von rechts, von links, von oben rechts, von oben links, von unten rechts und von unten links*“, sowie einem *Fragezeichen*, das für „Ich weiß die Lösung nicht“ steht vorgelegt (siehe Abbildung 8).

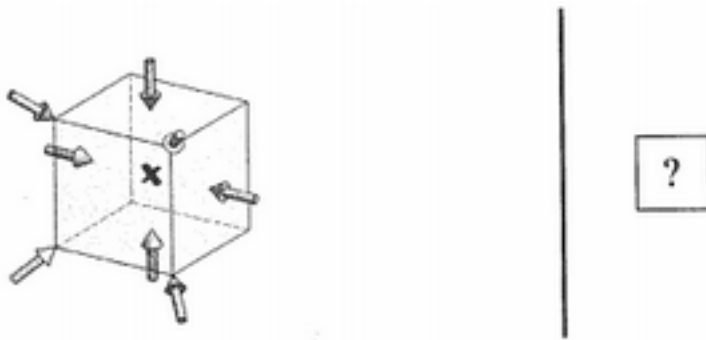


Abbildung 8. Beispielitem mit acht Antwortmöglichkeiten und dem Fragezeichen = „ich weiß es nicht“. Adaptiert aus „*Die Analyse verschiedener Antwortsysteme in einem Rasch-homogenen Raumvorstellungstest*“ von Gamper, 2002, unveröffentlichte DA, S. 57.

Die Instruktionen erfolgten erst mit Alltagsgegenständen wie zum Beispiel einem Sessel bevor diese auch mit Endlosschleifen erfolgten. Die Vorgabe der Items erfolgte am Bildschirm, wobei eine rot-blaue Anaglyphenbrille getragen werden musste. Die Antworten wurden händisch in ein Antwortheft eingetragen, Instruktionen erfolgten via Overheadprojektor.

Geschlechtsunterschied

Im EST-3D erreichte der Geschlechtsunterschied kein signifikantes Niveau ($M_m = 4.25$, $SD_m = 1.89$; $M_w = 4.00$, $SD_w = 2.56$) und sprach mit einem Cohen's d von $d = 0.13$, ($KI [-0.46; 0.71]$) für keinen signifikanten Geschlechtseffekt.

Konklusion

Der Wegfall der Crossdimensionalität wurde von Gamper (2000) mit rot-blauen Anaglyphenbrillen gewährleistet, weshalb der Geschlechtsunterschied zugunsten der Männer verschwinden sollte. Jedoch blieb der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer auch nach Wegfall der Crossdimensionalität bestehen, was gegen die Crossdimensionalität als Erklärung spricht. Zudem ist erwähnenswert, dass ein großes Ungleichgewicht der Geschlechterverteilung der StudienteilnehmerInnen vorlag (12 Frauen und 187 Männer), die für die Eruierung des Geschlechtseffekt verzerrende Wirkung zeigen hätte können.

4.3.4 Studie 4 – Lembacher (2002)

Lembacher (2002) untersuchte im Rahmen ihrer Diplomarbeit auch den Geschlechtsunterschied in der mentalen Rotation mittels dem EST-3D.

Stichprobe

200 ProbandInnen (100 Frauen, 100 Männer) mit einem Durchschnittsalter von 32.95 ($M = 32.59$; $SD = 8.56$) wurden für diese Studie rekrutiert und haben den stereoskopisch dreidimensional präsentierten EST (EST-3D) bearbeitet.

Methode

Die ProbandInnen mussten die abgebildete Endlosschleife von Position 1 zu Position 2 mental anpassen. Dazu standen zwei Antwortschemata zur Verfügung. Diese Schemata waren:

- Mentale Rotation der Endlosschleife von Position 1 zu Position 2
- Gedankliche Änderung der eigenen Position um die Endlosschleife in

Position 1 (vgl. Arendasy, 2000; die möglichen Antwortschemata für Perspektivenwechsel ("ich betrachte von:") und Mental Rotation ("drehe nach:") sind in der Version von Lembacher (2002) nicht inkludiert.).

Geschlechtsunterschied

Im EST-3D wurde ein signifikanter Geschlechtsunterschied ($M_m = 10.64$, $SD_m = 3.43$; $M_w = 8.47$ $SD_w = 3.71$) ersichtlich und sprach mit einem Cohens d von $d = 0.61$ ($KI [0.32; 0.89]$) für einen mittleren Geschlechtseffekt zugunsten der Männer.

Konklusion

Auch Lembacher (2002) erreichte den Wegfall der Crossdimensionalität mit der Verwendung von rot-blauen Anaglyphenbrillen, weshalb der Geschlechtsunterschied zugunsten der Männer verschwinden sollte. Jedoch blieb der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer auch nach Wegfall der Crossdimensionalität bestehen, was gegen die Crossdimensionalität als Erklärung spricht.

4.3.5 Studie 5 – Parsons et al. (2004)

Parsons et al. (2004) untersuchten in ihrer Studie mit einem Virtual-Reality-Spatial-Rotation-System mit dem MRT Geschlechtsunterschiede im mentalen Rotieren.

Stichprobe

22 ProbandInnen (12 Frauen, 10 Männer) im Alter von 18 bis 41, mit einem Durchschnittsalter von 29.09 ($M = 29.09$; $SD = 5.56$) wurden mit der VRSR-Bedingung getestet.

Methode

Das Virtual Reality System ist das ImmersaDesk-System. Hierbei handelt es sich um eine semi-immersive virtuelle Umwelt. Die Testitems schwebten hologrammartig vor den Projektionsbildschirmen. Die ProbandInnen hatten die Möglichkeit mit Hilfe einer Vorrichtung Objekte so lange zu rotieren, bis sie das Zielobjekt korrekt positionierten. Sobald die richtige Position erreicht wurde, erklang ein Ton als Feedback.

Geschlechtsunterschied

Für den VRSR wurden keine Unterschiede zwischen Männern und Frauen in der Effizienz ($t(20) = 0.37$; $p = .72$) gefunden.

Konklusion

Parsons et al. (2004) replizierten die Primärstudie von Larson et al. (1999) und verwendeten ein Virtual-Reality-System um den Wegfall der Crossdimensionalität zu gewährleisten. Bei dreidimensionaler Darbietung von Items zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit wurde kein Geschlechtseffekt festgestellt.

Damit wird die Crossdimensionalität als Erklärung gestützt, da bei Wegfall der Crossdimensionalität, der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer verschwand.

4.3.6 Studie 6 – Lehmann et al. (2008)

Lehmann et al. (2008) untersuchten in ihrer Studie auch den Geschlechtseffekt beim mentalen Rotieren innerhalb eines Virtual-Reality-Setup.

Stichprobe

12 ProbandInnen (5 Frauen, 7 Männer), zwischen 21 und 33 Jahren nahmen an dieser Studie teil.

Methode

Das Experiment wurde in einem Virtual-Reality-Setup durchgeführt, das den ProbandInnen erlaubte in eine teilweise virtuelle Umgebung einzutauchen. Die virtuelle Umgebung bestand aus einem detaillierten Modell eines rechteckigen Raumes (2 m breit × 3 m lang).

Den TeilnehmerInnen wurden jeweils die selben 5 Objekte (Mobiltelefon, Schuh, Bügeleisen, Teddybär, Film) dreidimensional präsentiert und mussten von diesen im Gedächtnis behalten werden. Im weiteren Verlauf unterlagen diese dreidimensionalen Objekte einer Verschiebung von 4 cm und die Aufgabe der TeilnehmerInnen war, die nun verschobenen Objekte so lange zu rotieren, bis diese ihre anfängliche Position erreichten. Dank der Touchscreenfunktion konnten die TeilnehmerInnen das dreidimensional präsentierte Objekt mit dem Zeigefinger der dominanten Hand berühren.

Geschlechtsunterschied

Es gab keinen signifikanten Effekt von Geschlecht auf die mentale Rotationsleistung ($M_m = 0.54$, $SD_m = 0.12$; $M_w = 0.59$, $SD_w = 0.12$).

Konklusion

Lehmann et al. (2008) verwendeten Anaglyphenbrillen um den Wegfall der Crossdimensionalität zu gewährleisten. Bei dreidimensionaler Darbietung von Items zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit wurde kein Geschlechtseffekt festgestellt. Damit wird die Crossdimensionalität als Erklärung gestützt, da bei Wegfall der Crossdimensionalität, der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer verschwand.

4.3.7 Studie 7 – Fachliteratureseminardaten I

Hierbei handelt es sich um Fachliteratureseminardaten, die Berechnungen bezüglich des Geschlechtseffekts beim mentalen Rotieren mittels des EST-3D zuließen.

Stichprobe

179 ProbandInnen (93 Frauen, 86 Männer), mit einem Durchschnittsalter von 32.17 ($M = 32.17$; $SD = 11.262$) wurden rekrutiert.

Geschlechtsunterschied

Ein signifikanter Geschlechtsunterschied wurde errechnet ($M_m = 4.91$, $SD_m = 2.35$; $M_w = 3.38$, $SD_w = 2.345$) der mit einem Cohens d von $d = 0.72$ ($KI [0.42; 1.02]$) einem moderaten Geschlechtseffekt zugunsten der Männer entsprach.

Konklusion

Der Wegfall der Crossdimensionalität wurde mit Anaglyphenbrillen gewährleistet, weshalb der Geschlechtsunterschied zugunsten der Männer verschwinden sollte. Jedoch blieb der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer auch nach Wegfall der Crossdimensionalität bestehen, was gegen die Crossdimensionalität als Erklärung spricht.

4.3.8 Studie 8 – Fachliteratureseminardaten II

Hierbei handelt es sich um Fachliteratureseminardaten, die Berechnungen bezüglich des Geschlechtseffekts beim mentalen Rotieren mittels des EST-3D zuließen.

Stichprobe

222 ProbandInnen (110 Männer, 112 Frauen), mit einem Durchschnittsalter von 29.72 ($M = 29.72$, $SD = 11.77$) wurden rekrutiert.

Geschlechtsunterschied

Ein signifikanter Geschlechtsunterschied wurde errechnet ($M_m = 6.05$, $SD_m = 2.22$; $M_w = 4.90$, $SD_w = 2.41$) der mit einem Cohens d von $d = 0.49$ ($KI [0.23; 0.76]$) einem nahezu moderaten Geschlechtseffekt zugunsten der Männer entspricht.

Konklusion

Der Wegfall der Crossdimensionalität wurde mit Anaglyphenbrillen gewährleistet, weshalb der Geschlechtsunterschied zugunsten der Männer verschwinden sollte. Jedoch blieb der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer auch nach Wegfall der Crossdimensionalität bestehen, was gegen die Crossdimensionalität als Erklärung spricht.

4.3.9 Studie 9 – Fachliteratureseminardaten III

Hierbei handelt es sich um Fachliteratureseminardaten, die Berechnungen bezüglich des Geschlechtseffekts beim mentalen Rotieren mittels des EST-3D zuließen.

Stichprobe

85 ProbandInnen (43 Frauen, 42 Männer), mit einem Durchschnittsalter von 31.29 ($M = 31.29$, $SD = 11.835$) wurden rekrutiert.

Geschlechtsunterschied

Ein signifikanter Geschlechtsunterschied wurde errechnet ($M_m = 6.33$, $SD_m = 2.30$; $M_w = 4.79$, $SD_w = 2.31$) der mit einem Cohens d von $d = 0.66$ ($KI [0.22; 1.10]$) einem moderaten Geschlechtseffekt zugunsten der Männer entspricht.

Konklusion

Der Wegfall der Crossdimensionalität wurde mit Anaglyphenbrillen gewährleistet, weshalb der Geschlechtsunterschied zugunsten der Männer verschwinden sollte. Jedoch blieb der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer auch nach Wegfall der Crossdimensionalität bestehen, was gegen die Crossdimensionalität als Erklärung spricht.

4.3.10 Studie 10 – Heider (2010)

Haider (2010) wollte einen Raumvorstellungstest entwickeln der Raschhomogen ist. Die Aufgaben sollten somit derselben Fähigkeitsdimension angehören und das Konstrukt mentale Rotation wurde auch stereoskopisch getestet und untersuchte unter anderem den Geschlechtsunterschied beim mentalen Rotieren mit dem 3D präsentierten MRT.

Stichprobe

Heider (2010) rekrutierte 227 Personen (127 Frauen, 100 Männer), die an der Studie teilnahmen. Das Alter der Probanden befand sich zwischen 18 und 30 Jahren, wobei das Durchschnittsalter aller Teilnehmer 21.45 ($M = 21.45$, $SD = 2.57$) war.

Methode

Die Aufgaben des modifizierten MRT bestanden aus 6 bis 10 Würfeln pro Item, die mindestens zwei Abzweigungen im Raum zeigen, das bedeutet auf allen Ebenen des Koordinatensystems – x-y-z – zumindest einmal vorkommen. Diese Maßnahme diente dazu, dass die gespiegelten Aufgaben eindeutig von den nicht gespiegelten Aufgaben zu unterscheiden waren. Die Ausgangsfigur des MRT musste mit vier Antwortfiguren verglichen werden, wobei 0-4 Antwortmöglichkeiten richtig sein konnten. Die Aufgabentypen wiesen gleich lange als auch unterschiedlich lange Enden auf. Die Gradanzahl sowie die Rotationswinkel variierten, um verschiedene Itemschwierigkeiten zu ermöglichen. Das ursprünglich existierende Gitternetz wurde aus den Aufgaben ausgeblendet um eine reine Messung der mentalen Rotationsleistung zu gewährleisten. Für die 3D-Version des MRT wurde ein starker räumlicher Eindruck angewandt, um „realitätsnahes Testen“ messen zu können.

Geschlechtsunterschied

Ein signifikanter Geschlechtsunterschied wurde festgestellt ($t(225) = 4.389$, $p < .001$). Der Geschlechtseffekt ist somit mit einem Cohens d von $d = 0.59$ ($KI [0.32; 0.86]$) als moderat für die 3D-Präsentation zu bewerten.

Konklusion

Der Wegfall der Crossdimensionalität wurde mit Anaglyphenbrillen gewährleistet, weshalb der Geschlechtsunterschied zugunsten der Männer verschwinden sollte. Jedoch blieb der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer auch nach Wegfall der Crossdimensionalität bestehen, was gegen die Crossdimensionalität als Erklärung spricht.

4.3.11 Studie 11 – Neubauer et al. (2010)

Neubauer et al. (2010) untersuchten in ihrer Studie unter anderem den Geschlechtsunterschied bei mentaler Rotation mit 3D präsentierten Shepard-Metzler-Figuren.

Stichprobe

77 TeilnehmerInnen (39 Frauen, 38 Männer) wurden für diese Studie rekrutiert. Im Durchschnitt waren die TeilnehmerInnen 15.02 Jahre alt ($M = 15.02$, $SD = 0.55$). Alle TeilnehmerInnen waren Rechtshänder.

Methode

Für die experimentellen Aufgaben wurden Shepard-Metzler (SM) in 3D präsentiert. Dafür wurde ein 3D-Projektor verwendet, der zwei leicht verschiedene (z.B.: verschiedener Winkel) Bilder projizierte. Für den gewünschten 3D-Effekt wurden aktive 3D-Brillen verwendet.

Geschlechtsunterschied

Es gab keinen signifikanten Effekt von Geschlecht auf die mentale Rotationsfähigkeit ($Mm = 38.79$, $SDm = 4.69$; $Mw = 37.05$, $SDw = 3.88$).

Konklusion

Neubauer et al. (2010) verwendeten LCD-Shutterbrillen um den Wegfall der Crossdimensionalität zu gewährleisten. Bei dreidimensionaler Darbietung von Items zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit wurde kein signifikanter Geschlechtseffekt festgestellt.

Damit wird die Crossdimensionalität als Erklärung gestützt, da bei Wegfall der Crossdimensionalität, der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer verschwand.

4.3.12 Studie 12 – Strasser et al. (2010)

Strasser et al. (2010) berichteten unter anderem auch den Geschlechtsunterschied beim mentalen Rotieren mittels eines dreidimensionalen Test zur Messung der räumlichen Fähigkeiten. Dieser Test wurde mit der d*star Ausführung durchgeführt.

Stichprobe

Es wurden 136 (71 Frauen, 65 Männer) Studierende von der Universität Klagenfurt rekrutiert. Das Alter der ProbandInnen reichte von 19 - 74 Jahren, wobei das Durchschnittsalter 28 Jahre ($M = 28$) betrug.

Methode

Der Test wurde in einer 3D virtuellen Umwelt (d*star: Dynamic spatial test in augmented reality) durchgeführt, durch welches unterschiedliche Objekte eben dreidimensional präsentiert wurden. Die ProbandInnen hatten zur Aufgabe die präsentierten Objekte in Position des gegebenen Zielobjekts zu bringen. Die Lösungen wurden in diesem Fall konstruiert und nicht wie üblich aus Antwortmöglichkeiten gewählt. Eine dynamische Einschätzung räumlicher Fähigkeiten wurde mittels Pretest, Trainingsphase und Posttest ermöglicht.

Geschlechtsunterschied

Signifikante Geschlechtsunterschiede in d*star-Ausführung wurden beobachtet ($M_m = 4.0$, $SD_m = 1.59$; $M_w = 3.1$, $SD_w = 1.52$ Männer lösten im Schnitt ein Item mehr als Frauen ($t(134) = 3.519$, $p = .001$). Mit einem Cohens d von $d = 0.58$ ($KI [0.23; 0.92]$) ist ein moderater Geschlechtseffekt zugunsten der Männer zu vermerken.

Konklusion

Der Wegfall der Crossdimensionalität wurde von Strasser et al. (2010) mit einem Virtual-Reality-System gewährleistet, weshalb der Geschlechtsunterschied zugunsten der Männer verschwinden sollte. Jedoch blieb der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer auch nach Wegfall der Crossdimensionalität bestehen, was die Crossdimensionalität als Erklärung in Frage stellt.

4.3.13 Studie 13 – Zobler (2012)

Zobler (2012) untersuchte unter anderem, im Rahmen ihrer Diplomarbeit, ob geschlechtsspezifische Leistungsunterschiede zugunsten der Männer bei stereoskopisch dreidimensionaler Darbietung von Endlosschleifen (Gittler & Arendasy, 2003), auftreten.

Stichprobe

191 ProbandInnen (92 Frauen, 99 Männer) im Alter zwischen 16 – 60 Jahren wurden für die Studie rekrutiert. Das durchschnittliche Lebensalter der Testpersonen betrug 27.78 ($M = 27.78$, $SD = 11.58$), allerdings lag der Altersmedian bei 23 Jahren.

Methode

Eine computergenerierte Version des EST, welcher sich aus insgesamt 24 zweidimensional sowie dreidimensional präsentierten Endlosschleifen zusammensetzt, vorgegeben. Die dreidimensional dargebotenen Endlosschleifen waren mit einem starken Stereoeffekt versehen worden und mussten mit einer rot-blauen Anaglyphenbrille bearbeitet werden. Bei jeder Aufgabe befand sich links die Ausgangsposition, die als „Startansicht“ bezeichnet wurde und einer „Zielansicht“ die sich rechts befand und zugleich nach unten versetzt wurde, was der optischen Verstärkung diene. Die Testpersonen wurden aufgefordert, anzugeben, um wie viel Grad (90° oder 180°) und um welche Achse (nach oben, unten, rechts oder

links) die Endlosschleife der „Startansicht“ zu rotieren ist, um der Position der „Zielansicht“ zu entsprechen. Die Antwortmöglichkeit „Ich weiß nicht“ wurde für jedes Item angeführt. Der Rohwert ergibt sich getrennt sowohl für die zwei- als auch dreidimensional präsentierten Aufgaben aus der Anzahl gelöster Items.

Geschlechtsunterschied

Ein kleiner, nicht signifikanter Niveauunterschied der Leistungen zugunsten der Männer bei stereoskopisch dreidimensionaler Darbietung der Endlosschleifen wurde beobachtet. Im EST-3D um dreiviertel Rohwerte (Personenparameter der Männer: 0.440; der Frauen: 0.153). Allerdings erwiesen sich diese Unterschiede im EST-3D als nicht signifikant ($t(189) = 1.401$, $p = .163$).

Konklusion

Zobler (2012) verwendeten Anaglyphenbrillen um den Wegfall der Crossdimensionalität zu gewährleisten. Bei dreidimensionaler Darbietung von Items zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit wurde kein Geschlechtseffekt festgestellt. Damit wird die Crossdimensionalität als Erklärung gestützt, da bei Wegfall der Crossdimensionalität, der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer verschwand.

4.3.14 Studie 14 – Foroughi et al. (2015)

Das Ziel dieser Forschung war es den Geschlechtseffekt für die Fähigkeit der mentalen Rotation innerhalb einer virtuellen Umwelt unter Verwendung eines auf Vergleichen basierenden Test mit der Nutzung neuerer VR Technologie (Oculus Rift DK1) zu explorieren. Hierfür wurde der Virtual Mental Rotation Task (VMRT) entwickelt, der auf dem Papier- und Bleistifttest zur Mentalen Rotation Version A (MRT-A) von Peters et al. (1995) basiert. MRT-A ist die erneuerte des klassischen Mental Rotation Test von Vandenberg und Kuse (1978).

Stichprobe

128 (79 Frauen, 49 Männer) Studierende der Universität George Mason mit einem Durchschnittsalter von 21.1 ($M = 21.1$, $SD = 2.1$) wurden für diese Studie rekrutiert.

Methode

Der Virtual Mental Rotation Task (VMRT) ist ein neu gezeichneter Mental Rotation Test Version A (MRT-A; Peters et al. 1995). Der MRT-A basiert wiederum auf dem Mental Rotation Test von Vandenberg und Kuse (1978).

Der Unterschied zwischen VMRT und MRT-A liegt darin, dass beim VMRT die ProbandInnen mittels Oculus Rift DK1 die Items betrachten und mit Hilfe der Computertasten ihre Antworten geben. Der MRT-A hingegen ist ein Papier-Bleistift Test.

Geschlechtsunterschied

Ein signifikanter Geschlechtseffekt beim VMRT ließ sich beobachten $t(126) = 5.048$, $p < .001$, (Männer: $M = 13.04$, $SD = 4.40$; Frauen: $M = 9.37$, $SD = 3.74$). Mit einem Cohens d von $d = 0.91$ ($KI [0.54; 1.28]$) ist ein großer Geschlechtseffekt zugunsten der Männer zu vermerken.

Konklusion

Mit dem Oculus Rift DK1, was ein Virtual-Reality-System ist, wurde der Wegfall der Crossdimensionalität gewährleistet, weshalb der Geschlechtsunterschied zugunsten der Männer verschwinden sollte. Jedoch blieb der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer auch nach Wegfall der Crossdimensionalität bestehen, was die Crossdimensionalität als Erklärung in Frage stellt.

4.3.15 Studie 15 – Kozhevnikov et al. (2015)

Kozhevnikov et al. (2015) untersuchten unter anderem in ihrer Studie den Geschlechtsunterschied beim mentalen Rotieren mit Shepard-Metzler-Figuren mithilfe eines konventionellen 2D-Desktop-Display (2D), mithilfe von einer 3D stereoskopischen großen Leinwand (3DP) und mithilfe einer 3D stereoskopischen großen Projektion mit Tracking (3DPT).

Stichprobe

25 Studierende (13 Frauen, 12 Männer) im Alter zwischen 19-25 Jahren von der National University of Singapore wurden für die Studie rekrutiert.

Methode

Eine computergestützte Anpassung des Shepard- und Metzler-Tests (1971) wurde in dieser Studie angewandt. Die TeilnehmerInnen betrachteten zwei räumliche Figuren, von denen eine gegen die Position der anderen rotiert wurde.

Die ProbandInnen hatten die Aufgabe sich vorzustellen, eine Figur zu drehen, um herauszufinden, ob diese mit der anderen Figur übereinstimmte oder nicht. Um darzustellen, ob die ProbandInnen annahmen, dass die Figuren gleich oder unterschiedlich waren, drückten sie auf einer Fernbedienung die linke Taste, um Gleichheit zu signalisieren bzw. die rechte Taste um Unterschiedlichkeit zu signalisieren.

Das Vizard Virtual Reality Toolkit v. 3.0 wurde genutzt, um die gewollten Szenen zu erstellen und die abhängigen Variablen Antwortzeit und Genauigkeit zu messen. In den 3DP- und 3DPT-Bedingungen wurde die stereoskopische Anzeige der Reize von einem Projektor auf eine Wand gestrahlt.

Geschlechtsunterschied

Der Geschlechtsunterschied von Männern und Frauen in der 3DP-Bedingung erwies sich als nicht signifikant ($F(1,23) = 0.98, p = .33$).

Konklusion

Kozhevnikov et al. (2015) verwendeten LCD-Shutterbrillen um den Wegfall der Crossdimensionalität zu gewährleisten. Bei dreidimensionaler Darbietung von Shepard-Metzler-Figuren zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit wurde kein Geschlechtseffekt festgestellt. Damit wird die Crossdimensionalität als Erklärung gestützt, da bei Wegfall der Crossdimensionalität, der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer verschwand.

4.3.16 Studie 16 – McIntire (2015)

McIntire et al. (2015) untersuchten unter anderem in ihrer Studie in einem "Virtual Object Precision Placement Task" den Geschlechtsunterschied des mentalen Rotierens bei der Nutzung eines stereoskopischen 3D (S3D) Displays.

Stichprobe

12 ProbandInnen (2 Frauen, 10 Männer) im Alter von 21 bis 51 Jahren, wobei das Durchschnittsalter bei $M = 39$ Jahren lag.

Methode

Für jede Aufgabe benutzten die ProbandInnen ein räumliches Eingabegerät (TUI), das mit der Hand gehalten wurde, um die, zu steuernden Objekte, also die Kontrollobjekte in die korrekte Zielposition zu bringen.

Die Messung zur Rotationsleistung inkludierte Genauigkeit und Dauer, wobei der Genauigkeit mehr Priorität zugeordnet wurde. Die Startpositionen wurden für jede Übung zufällig innerhalb des bestimmten 3D-Raums ausgewählt.

Geschlechtsunterschied

Der Geschlechtunterschied stellte sich als signifikant heraus ($r = 0.375$, $p = .035$). Mit einem Cohens d von $d = 0.81$ (KI [-0.47; 2.08]) ist ein großer Geschlechtseffekt zugunsten der Männer zu vermerken.

Konklusion

Der Wegfall der Crossdimensionalität wurde von McIntire et al. (2015) mit LCD-Shutterbrillen gewährleistet, weshalb der Geschlechtsunterschied zugunsten der Männer verschwinden sollte. Jedoch blieb der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer auch nach Wegfall der Crossdimensionalität bestehen, was gegen die Crossdimensionalität als Erklärung spricht. Die kleine Stichprobengröße ($N = 12$), sowie die ungleiche (2 Frauen, 10 Männer) Geschlechterverteilung ist zu beachten, da dies den Small-Study-Effekt sowie verzerrte Ergebnisse signalisieren könnte.

In Tabelle 2 sind die einzelnen Studien des narrativen Reviews zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 2

Zusammenfassung des narrativen Reviews

Studie	Test	3D - Darstellung	Geschlechtseffekt
Larson et al. (1999)	MRT	Virtual-Reality-System	-
Arendasy (2000)	EST	Anaglyphenbrille	+
Gamper (2002)	EST	Anaglyphenbrille	-
Lembacher (2002)	EST	Anaglyphenbrille	+
Parsons et al. (2004)	MRT	Virtual-Reality-System	-
Lehmann et al. (2008)	Objekte solange rotieren bis anfängliche Position erreicht	Anaglyphenbrille	-
Fachliteraturseminardaten I (2009)	EST	Anaglyphenbrille	+
Fachliteraturseminardaten II (2009)	EST	Anaglyphenbrille	+
Fachliteraturseminardaten III (2010)	EST	Anaglyphenbrille	+
Heider (2010)	modifizierter MRT	Anaglyphenbrille	+
Neubauer et al. (2010)	Shepard-Metzler- Figuren	LCD - Schutterbrille	-
Strasser et al. (2010)	Objekte in die Position des Zielobjekts bringen	Virtual-Reality-System	+
Zobler (2012)	EST	Anaglyphenbrille	-
Foroughi et al. (2015)	MRT	Virtual-Reality-System	+
Kozhevnikov et al. (2015)	Shepard-Metzler- Figuren	LCD - Schutterbrille	-
McIntire et al. (2015)	Kontrollobjekte in korrekte Zielposition bringen	LCD - Schutterbrille	+

Anmerkung. - = kein signifikanter Geschlechtsunterschied; + = signifikanter Geschlechtsunterschied

4.4 Metaregressionen

Im folgenden werden einfache und multiple Metaregressionen separat für alle Studien, publizierte Studien und für nicht-publizierte Studien präsentiert um eine differenziertere Ergebnisdarstellung zu ermöglichen. Positive Vorzeichen der Ergebnisse der Regressionsanalysen zeigen einen positiven Zusammenhang der abhängigen (Cohen's d) und unabhängigen Variablen (Jahr/Stichprobengröße).

4.4.1 Gesamtanalyse – Alle Studien

Einfache Metaregression „Publikationsjahr/ Fertigstellungsjahr“

Die einfache Metaregression aller Studien, bei der das Publikationsjahr/ Fertigstellungsjahr als Prädiktor fungierte, zeigte keine statistische Signifikanz ($b_{\text{Publikationsjahr/ Fertigstellungsjahr}} = 0.019$, $p = .116$; siehe Abbildung 9). Dieses Modell erklärt 7.27% der Varianz ($R^2 = 7.27\%$), und zeigt, dass eine triviale Varianz von $I^2 = 21.17\%$ noch erklärt werden kann.

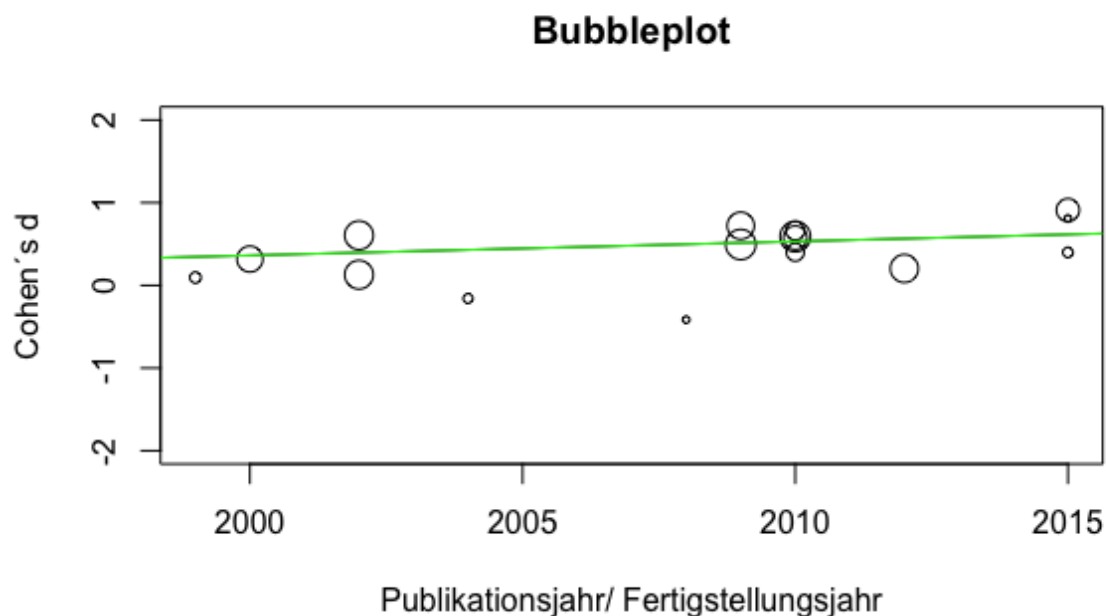


Abbildung 9. Darstellung der einfachen Metaregression aller Studien mit einem Bubbleplot. *Anmerkung.* Publikationsjahr bzw. Fertigstellungsjahr = Prädiktorvariable. Größe der Bubbles = gewichtet nach Stichprobengröße.

Einfache Metaregression Stichprobengröße

Bei der einfachen Meta-Regression aller Studien, bei der die Stichprobengröße als Prädiktor fungierte, ergab sich kein statistisch signifikantes Ergebnis ($b_{\text{Stichprobengröße}} = 0.0008$, $p = .4387$; siehe Abbildung 10). Dieses Modell erklärt weniger als .01% der Varianz ($R^2 < .01\%$), und zeigt, dass eine triviale Varianz von $I^2 = 24.53\%$ noch erklärt werden kann. Dieses Ergebnis besagt, dass kein Small-Study-Effekt vorliegend ist.

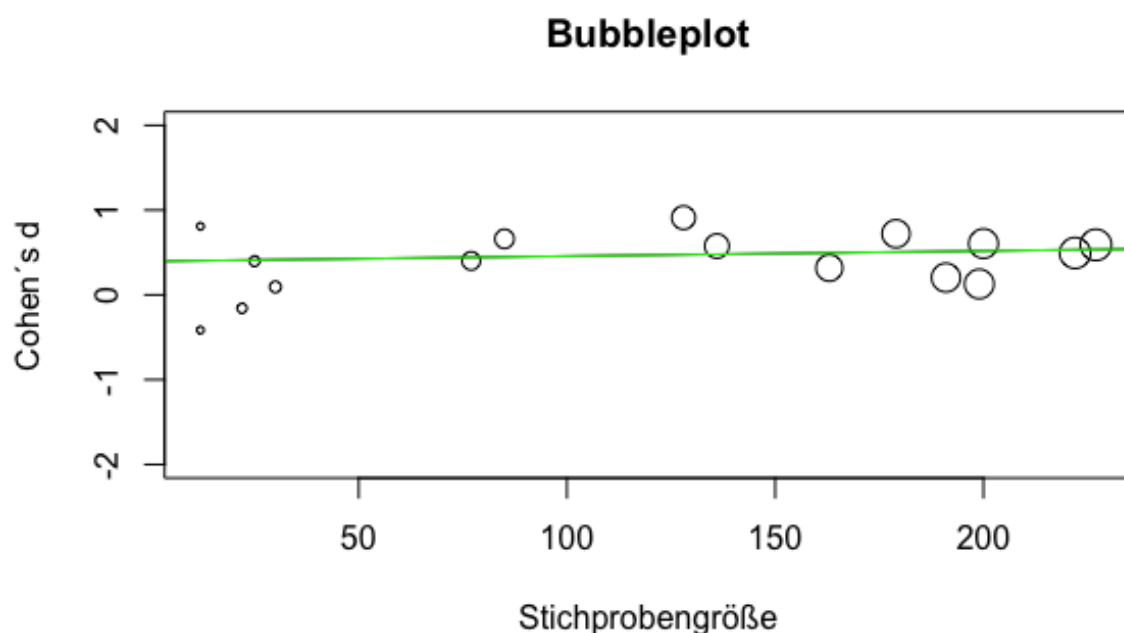


Abbildung 10. Darstellung der einfachen Metaregression aller Studien mit einem Bubbleplot. *Anmerkung.* Stichprobengröße = Prädiktorvariable. Größe der Bubbles = gewichtet nach Stichprobengröße.

Multiple Regression „Publikationsjahr bzw. Fertigstellungsjahr“ und „Stichprobengröße“

Auch die multiple Metaregression aller Studien, bei der das Publikationsjahr bzw. Fertigstellungsjahr und die Stichprobengröße als Prädiktoren fungierten, erwies sich als statistisch nicht signifikant ($b_{\text{Publikationsjahr/Fertigstellungsjahr}} = 0.0212$; $p = .0998$; $b_{\text{Stichprobengröße}} = 0.0009$, $p = .3566$). Dieses Modell erklärt weniger als .01% der Varianz ($R^2 < .01\%$), und zeigt, dass eine triviale Varianz von $I^2 = 23.02\%$ noch erklärt werden kann.

Vergleich der einfachen Metaregression mit der multiplen Metaregression

Der abschließende Vergleich der einfachen Metaregression bei der das Publikationsjahr bzw. Abgabejahr als Prädiktor fungierte mit der multiplen Metaregression lieferte mit einem p -Wert von $p = .3582$ kein signifikantes Ergebnis. Mit einem p -Wert von $p = .0999$ erlangte der Vergleich der einfachen Metaregression, bei der die Stichprobengröße als Prädiktor fungierte mit der multiplen Metaregression, ebenfalls keine statistische Signifikanz. Dies implizierte in beiden Fällen die Annahme der einfachen Metaregression. Hier ist anzumerken, dass die Ergebnisse der einfachen Metaregressionen ebenfalls nicht signifikant waren.

4.4.2 Teilanalyse – Publierte Studien

Einfache Metaregression „Publikationsjahr“

Als statistisch signifikant stellte sich die einfache Metaregression publizierter Studien heraus, bei der das Publikationsjahr als Prädiktor fungierte ($b_{\text{Publikationsjahr}} = 0.0586$, $p = .0094$; siehe Abbildung 11). Dieses Modell erklärt mehr als 99.99% der Varianz ($R^2 > 99.99\%$), und zeigt, dass eine triviale Varianz von $I^2 < .01\%$ noch erklärt werden kann. Dieses Ergebnis zeigt die Evidenz des verkehrten Decline-Effekts.

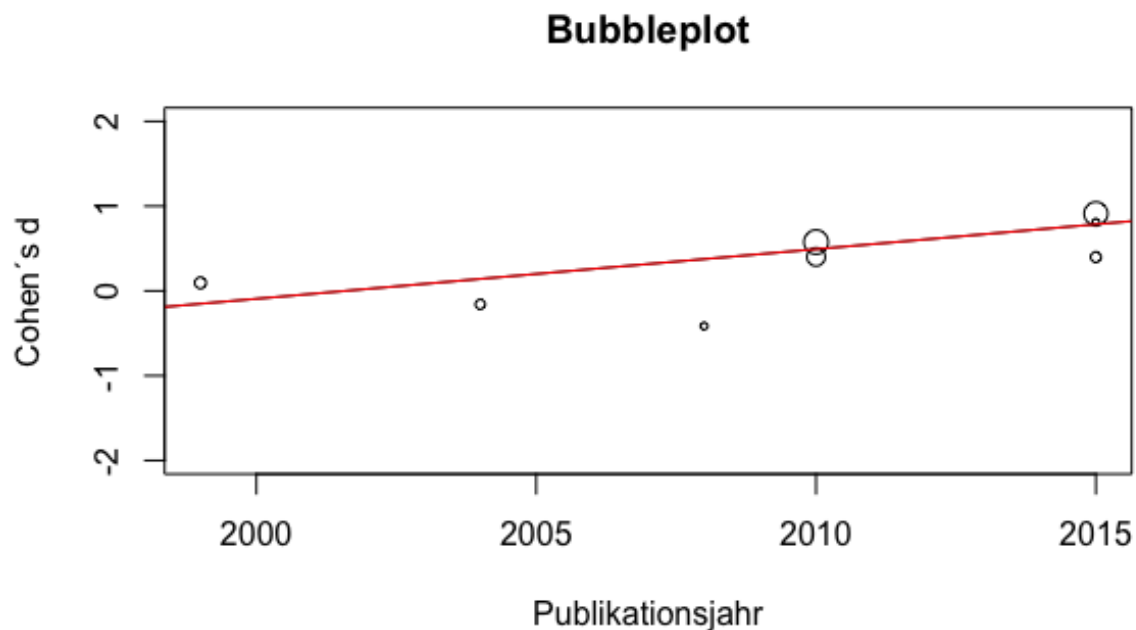


Abbildung 11. Darstellung der einfachen Metaregression publizierter Studien mit einem Bubbleplot. *Anmerkung.* Publikationsjahr = Prädiktorvariable. Größe der Bubbles = gewichtet nach Stichprobengröße.

Einfache Metaregression „Stichprobengröße“

Statistische Signifikanz zeigte die einfache Metaregression publizierter Studien, bei der die Stichprobengröße als Prädiktor fungierte ($b_{\text{Stichprobengröße}} = -0.0054$, $p = .0127$; siehe Abbildung 12). Dieses Modell erklärte mehr als 99.99% der Varianz ($R^2 > 99.99\%$), und zeigte, dass eine triviale Varianz von $I^2 < .01\%$ noch erklärt werden kann. Dieses Ergebnis zeigte die Evidenz des verkehrten Small-Study-Effekts.

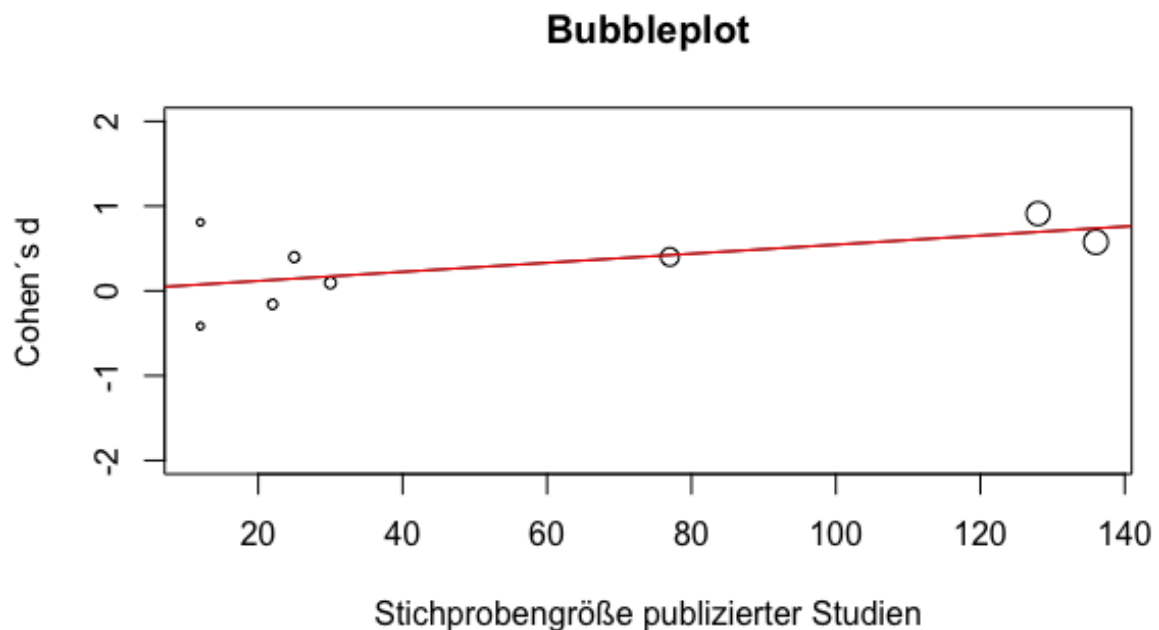


Abbildung 12. Darstellung der einfachen Metaregression publizierter Studien mit einem Bubbleplot. *Anmerkung.* Stichprobengröße publizierter Studien = Prädiktorvariable. Größe der Bubbles = gewichtet nach Stichprobengröße.

Multiple Metaregression „Publikationsjahr“ und „Stichprobengröße“

Bei der multiplen Metaregression, bei der die Stichprobengröße und das Publikationsjahr als Prädiktoren fungierten, konnte dagegen keine statistische Signifikanz festgestellt werden ($b_{\text{Publikationsjahr}} = 0.0416$; $p = .1015$; $b_{\text{Stichprobengröße}} = 0.0035$, $p = .1429$). Dieses Modell erklärte mehr als 99.99% der Varianz ($R^2 > 99.99\%$), und zeigte, dass eine triviale Varianz von $I^2 < .01\%$ noch erklärt werden kann.

Vergleich der einfachen Metaregression mit der multiplen Metaregression

Der weitere Vergleich der einfachen Regression, bei der das Publikationsjahr als Prädiktor fungierte, mit der multiplen Metaregression führte mit einem p -Wert von $p = .1429$ zu keinem signifikantem Resultat. Mit dem weiteren Vergleich der einfachen Regression, bei der die Stichprobengröße als Prädiktor fungierte, mit der multiplen Metaregression konnte mit einem p -Wert von $p = .1015$ auch keine statistische Signifikanz festgestellt werden.

In beiden Fällen kann die einfache Metaregression angenommen werden.

4.4.3 Teilanalyse – Nicht-publizierte Studien

Einfache Metaregression „Fertigstellungsjahr“

Keine statistische Signifikanz erwies sich bei der einfachen Metaregression nicht-publizierter Studien, bei der das Fertigstellungsjahr als Prädiktor fungierte ($b_{\text{Fertigstellungsjahr}} = 0.0048$, $p = .7536$; siehe Abbildung 13). Dieses Modell erklärte weniger als .01% der Varianz ($R^2 < .01\%$), und zeigte, dass eine triviale Varianz von $I^2 = 23.13\%$ noch erklärt werden kann.

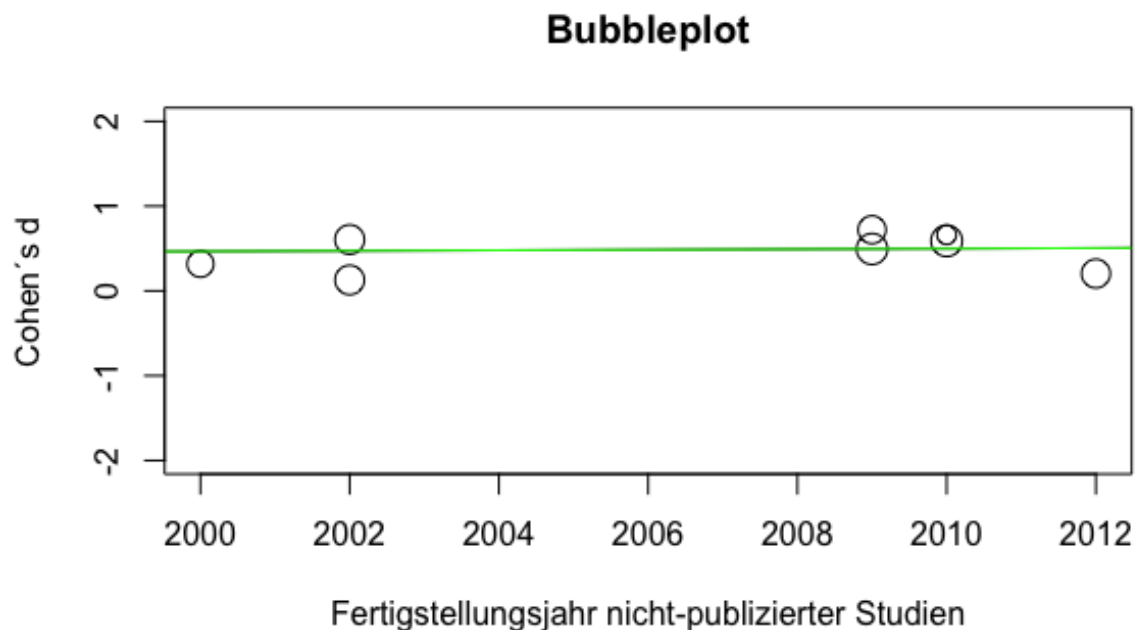


Abbildung 13. Darstellung der einfachen Metaregression nicht-publizierter Studien mit einem Bubbleplot. *Anmerkung.* Fertigstellungsjahr nicht-publizierter Studien = Prädiktorvariable. Größe der Bubbles = gewichtet nach Stichprobengröße.

Einfache Metaregression „Stichprobengröße“

Die einfache Metaregression nicht-publizierter Studien, bei der die Stichprobengröße als Prädiktor fungierte, erwies sich als statistisch nicht signifikant ($b_{\text{Stichprobengröße}} = -0.0004$, $p = .8400$; siehe Abbildung 14). Dieses Modell erklärte weniger als .01% der Varianz ($R^2 < .01\%$), und zeigte, dass eine triviale Varianz von $I^2 = 23.51\%$ noch erklärt werden kann.

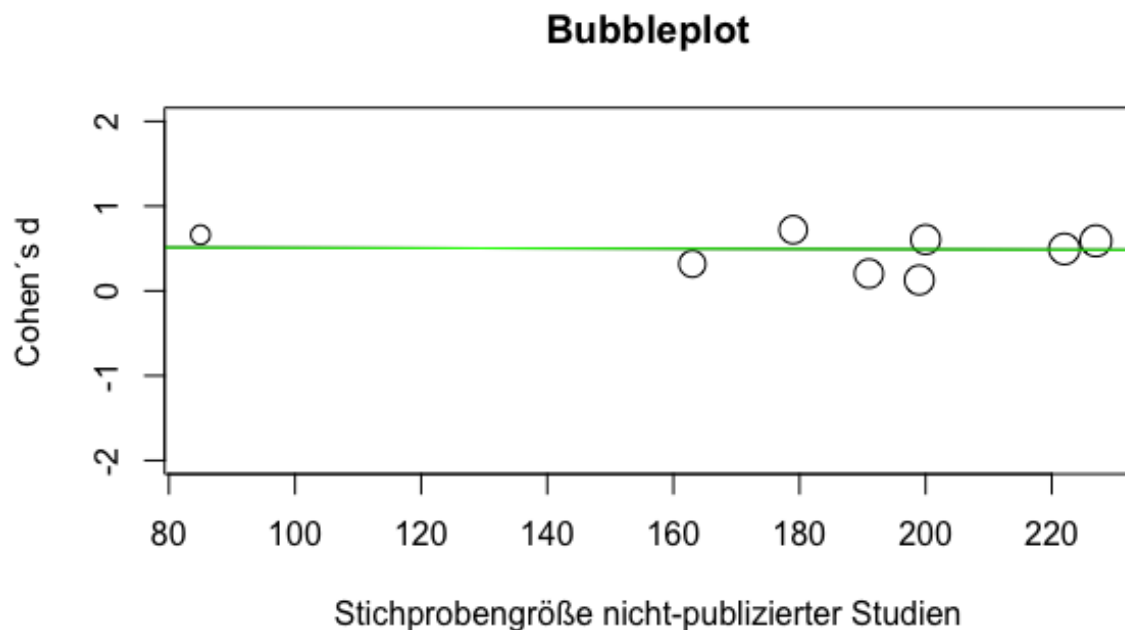


Abbildung 14. Darstellung der einfachen Metaregression nicht-publizierter Studien mit einem Bubbleplot. *Anmerkung.* Stichprobengröße nicht publizierter Studien = Prädiktorvariable. Größe der Bubbles = gewichtet nach Stichprobengröße.

Multiple Metaregression „Fertigstellungsjahr“ und „Stichprobengröße“

Gleichermaßen ergab die multiple Metaregression, bei der das Fertigstellungsjahr und die Stichprobengröße als Prädiktoren fungierten, keine statistische Signifikanz ($b_{\text{Fertigstellungsjahr}} = 0.0053$; $p = .7331$; $b_{\text{Stichprobengröße}} = -0.0004$, $p = .8090$). Dieses Modell erklärt weniger als .01% der Varianz ($R^2 < .01\%$), und zeigt, dass eine triviale Varianz von $I^2 = 24.76\%$ noch erklärt werden kann.

Vergleich der einfachen Metaregressionen mit der multiplen Metaregression

Zudem zeigte der anschließende Vergleich der einfachen Metaregression, bei der das Fertigstellungsjahr als Prädiktor fungierte, mit der multiplen Metaregression mit einem p -Wert von $p = .8100$ kein signifikantes Ergebnis. Auch der folgende Vergleich der einfachen Metaregression, bei der die Stichprobengröße als Prädiktor fungierte, mit der multiplen Metaregression zeigte mit einem p -Wert von $p = .7344$ ebenfalls kein statistisch signifikantes Resultat.

In beiden Fällen kann die einfache Metaregression angenommen werden. Hier ist anzumerken, dass die Ergebnisse der einfachen Metaregressionen ebenfalls nicht signifikant waren.

5 Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war es die Veränderung des Geschlechtseffekts über die Zeit, bei 3D dargestellten Aufgabensets zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit, zu untersuchen.

Zunächst wurde mit dem narrativen Review eine Übersicht der inkludierten Literatur dargestellt. Beschrieben wurde:

- 1) Stichprobe
- 2) Methode
- 3) Geschlechtsunterschied
- 4) Konklusion – Gültigkeit der Crossdimensionalität als Erklärungsansatz

Anschließend wurde die crosstemporale Metaanalyse berechnet, die die beschriebenen Ergebnisse des narrativen Reviews stützte und erweiterte.

Die zentrale Hypothese dieser Untersuchung, dass sich der Geschlechtseffekt über die Zeit vom Nulleffekt der Primärstudie von Larson et al. (1999) abhebt, konnte bestätigt werden. Ein signifikantes Resultat zeigte sich bei

der Regressionsberechnung mit Ergebnissen der publizierten Studien und bestätigte die Existenz des Decline-Effekts und somit auch des Winner's curse. Dadurch wurde auch gezeigt, dass die Crossdimensionalität als Erklärung des Leistungsunterschied zugunsten der Männer nicht ausreichend ist, da sich der anfängliche Nulleffekt unter der 3D-Bedingung bei Aufgaben zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit, im Laufe der Zeit wieder zu einem großen Geschlechtseffekt ($d = 0.91$, Foroughi et al., 2015) zugunsten der Männer wandelte.

Der Decline-Effekt beschreibt, im ursprünglichen Sinn, das Phänomen, dass Effektstärken über die Jahre hinweg immer kleiner werden, oder sogar verschwinden (Schooler, 2011). Der Decline-Effekt wird oft auf die statistische Selbstkorrektur ursprünglich, übersteigter Ergebnisse, die auch als Regression zur Mitte bezeichnet wird, zurückgeführt. Diese Interpretation ist allerdings weder sicher, noch kann sie getestet werden, da im Grunde kein Zugang zu experimentellen Ergebnissen, die nicht nennenswert oder konsistent genug waren, um ein Peer-Review-Verfahren zu bestehen und veröffentlicht zu werden, besteht (Schooler, 2011). Graue Literatur hingegen bringt tentative Ergebnisse.

Der Winner's curse spricht im ursprünglichen Sinn dafür, dass diejenigen Autoren, die als erstes zu einer bestimmten Forschungsfrage publizieren den größten Effekt aufweisen. Folgepublikationen beschreiben kleinere oder sogar nicht signifikante Ergebnisse (Schooler, 2011).

In vorliegender Arbeit wird davon ausgegangen, dass sich bei Evidenz des Decline-Effekts und somit auch des Winner's curse die erste Publikation mit einem Nulleffekt von Folgepublikationen mit größer werdenden Effekten abhebt, da es in diesem speziellen Fall, das Ziel der Forschung ist die Nullhypothese: „Es gibt keinen Unterschied zwischen den Geschlechtern bei 3D-Aufgaben zur mentalen Rotation“, zu bestätigen. Durch diese crosstemporale Metaanalyse konnte ein verkehrter Decline-Effekt, somit auch ein verkehrter Winner's curse der publizierten Studien entdeckt werden, da sich der anfängliche Nulleffekt (Larson et al. 1999) mit Folgepublikationen wiederholt zu einem signifikanten Effekt gewandelt hat (siehe Abbildung 15).

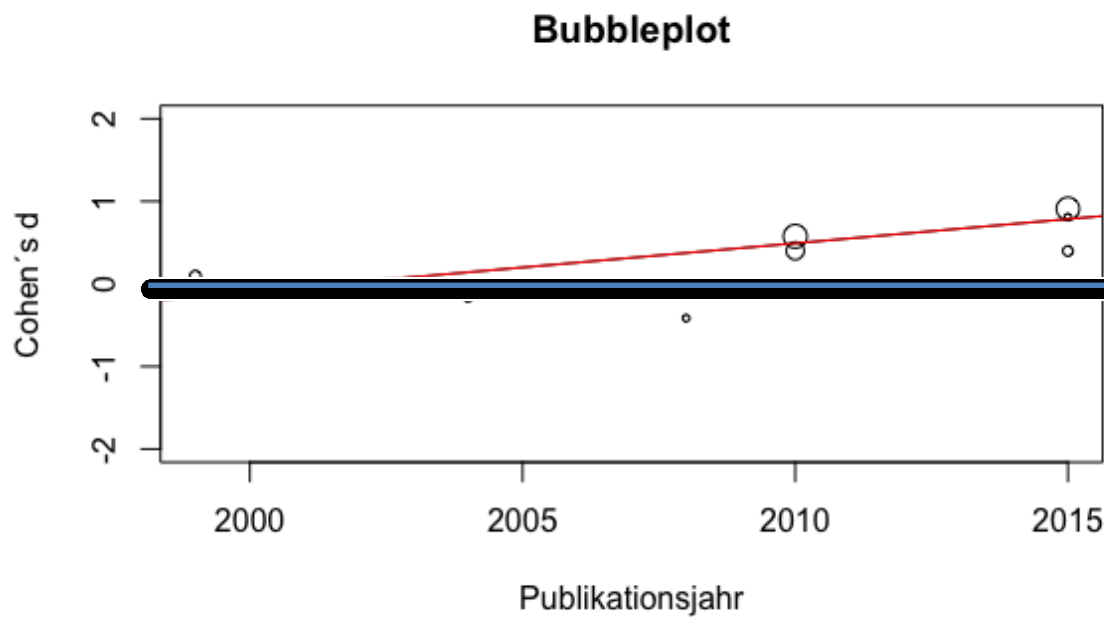


Abbildung 15. Darstellung des verkehrten Decline-Effekts. *Anmerkung.* Die Bubbles symbolisieren die einzelnen Studien, der erste Bubble von links entspricht der Studie von Larson et al. 1999 mit Nulleffekt. Größe der Bubbles = gewichtet nach Stichprobengröße. Die blaue Linie symbolisiert den Platz an dem sich die Kreise befinden müssten, wäre der Effekt im Laufe der Jahre gleich geblieben. Die rote Linie symbolisiert den Anstieg des Effekts im Laufe der Zeit und zeugt daher von einem verkehrten Decline-Effekt in diesem speziellen Fall.

Pichler (2017) ermittelte zudem das Vorhandensein eines Publikationsbias, welcher in diesem speziellen Fall fehlende signifikante Studien anzeigte (normalerweise werden fehlende nicht signifikante Studien angezeigt, hier ist es umgekehrt), was ebenfalls für eine Verzerrung in Richtung des gewünschten Resultats und/oder für selektive Berichte spricht (Pichler, 2017).

Zusätzlich wurde der Einfluss der Stichprobengröße auf den Geschlechtseffekt errechnet und führte bei publizierten Studien zu einem signifikanten Ergebnis und somit zu dem Schluss, je größer die Stichprobengröße ist, desto größer der Geschlechtseffekt (siehe Abbildung 9). Dies bestätigt das Vorhandensein eines verkehrten Small-Study-Effekts, der das Phänomen beschreibt, dass Studien mit kleineren Stichprobengrößen tendenziell kleinere,

was in diesem Fall konforere, Effekte sind, zeigen, als Studien mit größeren Stichproben (Sterne, Gavaghan & Egger, 2000).

Die Richtung der zeitlichen Veränderung widerspricht also der Annahme, dass der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer bei Aufgaben zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit, die mittels 3D-Techniken präsentiert wurden, verschwindet (Bergner & Neubauer, 2011; Kozhevnikov et al., 2015; Larson et al., 1999; Lehmann et al., 2008; McWilliams et al., 1997; Neubauer et al., 2010; Parsons et al., 2004). Als Pioniere in diesem, mit einem Winner's curse belasteten, Forschungsbereich können McWilliams et al. (1997) genannt werden, die mit realen Shepard-Metzler-Figuren, welche einer dreidimensionalen Darstellung entsprechen, keinen Niveauunterschied in der mentalen Rotationsfähigkeit zwischen Männern und Frauen fanden. Dies brachte zukünftige Untersuchungen dazu sich mit der Dimensionalität der Stimuli zu beschäftigen und das Verschwinden des Leistungsunterschieds zugunsten der Männer mit dreidimensional präsentierten Items wurde bald darauf von der Studie von Larson et al. (1999), die Items des MRT mit Hilfe eines Virtual-Reality-Systems hologrammartig darstellten, bestätigt.

Das Ergebnis vorliegender crosstemporaler Metaanalyse spricht weiterhin für einen signifikanten Leistungsunterschied zugunsten des männlichen Geschlechts (Arendasy, 2000; Arendasy et. al., 2010; Arendasy et al., 2011; Connolly et al., 2010; Foroughi et al., 2015; Heider, 2010; Lembacher, 2002; Strasser et al., 2010), welcher schon im Jahre 2000 mit der Forschung von Arendasy zu demselben Thema unter Anwendung von Anaglyphenbrillen um Items des Endlosschleifentests dreidimensional darzustellen, die Ergebnisse von Larson et al. (1999) nicht stützen konnte.

Auch Pichler (2017) errechnete den metaanalytischen, mittleren Gesamteffekt der vorliegenden Studien ($d = 0.49$) und stützt mit einem mittleren Gesamteffekt nach Cohen (1988), die Resultate dieser Analyse. Mit der vorliegenden Sachlage ist das Verschwinden des Geschlechtsunterschieds aufgrund der, in Verwendung getretenen 3D-Techniken bei Aufgabensets zur mentalen Rotation, unwahrscheinlich und stellt somit den Prozess der Crossdimensionalität, der laut einigen Studien, für Frauen schwieriger

durchzuführen sein soll (Neubauer et al., 2010; McWilliams et al., 1997; Parsons et al., 2004), als Erklärungsansatz, in Frage. Zur Erinnerung: Crossdimensionalität ist derjenige Prozess, bei dem zweidimensional präsentierte Items in einem ersten Schritt, mental in eine dreidimensionale Repräsentation transformiert werden, in dieser Form rotiert werden und abschließend in eine zweidimensionale Form zurückgewandelt werden (Arendasy, 2000; Voyer et al., 1995).

Der Versuch Geschlechtsunterschiede auf Basis des Prozesses der Crossdimensionalität zu erklären, wird somit als nicht ausreichend eingestuft, da der Geschlechtsunterschied, der sich durch bessere Leistungen der Männer widerspiegelt, auch bei Fehlen der Crossdimensionalität vorhanden bleibt. Positive Auswirkungen der Überbrückung der Crossdimensionalität, also bei Testungen mit echten Objekten oder einer 3D-Darbietung der Items, sind als eine allgemeine Verbesserung der Leistung beider Geschlechter ersichtlich (Arendasy, 2000; Neubauer et al., 2010; McWilliams et al., 1997; Parsons et al., 2004, Zobler, 2012). Dafür würde im Prinzip auch der Vergleich der metaanalytischen mittleren Gesamteffekte, der eine Reduktion von einem errechneten Cohens d von $d = 0.94$, basierend auf anderen Tests (Voyer et al. 1995), was für einen großen Effekt spricht (Cohen, 1988) bei Papier-Bleistift Testungen der mentalen Rotation auf ein Cohens d von $d = 0.49$ (Pichler, 2017), was für einen knapp mittleren Effekt steht (Cohen, 1988) bei 3D-Präsentationstechniken der Testungen der mentalen Rotation, sprechen.

An dieser Stelle ist festzuhalten, dass die Anwendung von 3D-Techniken den Leistungsunterschied der Geschlechter, bei dem das männliche Geschlecht im Vorteil liegt, zwar nicht beseitigt, jedoch einen leistungsverbessernden Effekt für beide Geschlechter mit sich bringt (vgl. Arendasy, 2000; Neubauer et al., 2010; Parsons et al., 2004) und das Training der mentalen Rotationsfähigkeit mittels 3D-Techniken sogar den Leistungserfolg beider Geschlechter in der klassischen zweidimensionalen Art von Aufgaben des mentalen Rotierens begünstigt (Bergner & Neubauer, 2011; Neubauer et. al., 2010).

Auch die Arbeit im medizinischen Bereich mit Virtual Reality Systemen rückt immer mehr in den Vordergrund der Forschung, da bereits einige Studien aufzeigen konnten, dass neue ChirurgInnen stark von Training in virtuellen

Umwelten profitieren (Seymour, 2008; Seymour et al., 2002). Es wird nämlich angenommen, dass simulierte chirurgische Eingriffe, die Operationsfertigkeiten zukünftiger ChirurgInnen in realen Umwelten fördert (Nguyen, Nelson & Wilson, 2012). Spannend wäre es, an diesem Punkt durch zukünftige Forschung, zu erfahren ob virtuelle Aufgaben zur mentalen Rotation die Performanz innerhalb virtueller Umwelten voraussagt und spezifischer ob die Leistung bei virtuellen Aufgaben zur mentalen Rotation, die Performanz in simulierten chirurgischen Aufgaben voraussagt (Foroughi et al., 2015).

Das Verfahren eines narrativen Reviews ähnelt dem einer Metaanalyse; einschlägige Literatur wurde zu dem, jetzt relevanten, Thema strukturiert vorgestellt und verglichen. Somit wurden nochmals alle Studien, mit deren großen Methodenvielfalt bei der Anwendung dreidimensionaler Techniken zusammengefasst, erlaubten zudem eine übersichtliche Reihung der Ergebnisse, und zeigte wiederholt diejenigen Studien auf, bei denen der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer, auch bei Verwendung von 3D-Aufgabensets zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit, bestehen blieb (Arendasy, 2000; Foroughi et al., 2015; Heider, 2010; Lembacher, 2002; McIntire, 2015; Strasser et al., 2010), und somit mit dem Ergebnis dieser Untersuchung gestützt wurden, als auch diejenigen bei denen der Geschlechtseffekt zugunsten der Männer bei Verwendung von 3D-Aufgabensets zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit verschwand, und somit den Prozess der Crossdimensionalität als Erklärungsmechanismus stützte (Kozhevnikov et al., 2015; Larson et al. 1999; Lehmann et al., 2008; Neubauer et al., 2010; Parsons et al., 2004; Zabler, 2012).

Auch lässt das narrative Review nach erstmaliger Durchsicht die Replikationsproblematik in Erinnerung treten. Es wird nämlich zwischen einer direkten und konzeptuellen Replikation unterschieden (Pashler & Harris, 2012). Die direkte Replikation verfolgt das Ziel, die bestehende Originalstudie möglichst präzise zu wiederholen. Derartige Replikationen werden allerdings nur karg in der psychologischen Literatur publiziert, was einen Nachteil für die Vergleichbarkeit und Prüfung von Studien mit sich bringt (Makel, Plucker & Hegarty, 2012). Auch in diesem Fall sind direkte Replikationen kaum vorhanden und konzeptuelle Replikationen übernehmen die Überhand.

Für die konzeptuelle Replikation ist die Verallgemeinerung eines Effekts, der praktisch sehr nützlich zu sein scheint oder theoretisch als sehr aufschlussreich gilt, vordergründig. Die konzeptuelle Replikation unterliegt vermehrtem Ansehen in der Wissenschaft. Eine nicht-gelungene konzeptuelle Replikation, stellt den originalen Effekt jedoch nicht in Frage, sondern lässt den Glauben wachsen, dass dieser nur einen beschränkteren Gültigkeitsbereich hat (Ulrich et al., 2016).

Abschließend ist noch von Relevanz, dass der berichtete Geschlechtseffekt mit einem Cohens d von $d = -0.11$ von dem Paper von Parsons et al. (2004) ungeklärt bleibt. Bei den anfänglichen Berechnungen zur Ermittlung der relevanten Effektstärken wurde im Rahmen dieser crosstemporalen Metaanalyse für Parsons et al. (2004) ein Effekt von $d = -0.16$ errechnet. Das negative Vorzeichen erschloss sich durch eine Negativisierung des berichteten t -Werts, was in der Originalarbeit mit einem positiven t -Wert von $t(20) = 0.37$ nicht der Fall war. Die Tatsache, dass die Stichprobengröße bei Durchsicht des Papers nicht eindeutig kenntlich ist (zunächst wurden 60 ProbandInnen als Gesamtstichprobe beschrieben, dies reduzierte sich folglich auf 44 ProbandInnen, von denen 22 Personen die Virtual-Reality-Bedingung bearbeiteten), legt den Schluss nahe, dass Parsons et al. (2004) die Stichprobengrößen bei der Ermittlung des Geschlechtseffekt vertauschten und folglich auch vermutlich inkorrekte Ergebnisse veröffentlichten.

5.1 Limitationen

Die geringe Anzahl der inkludierten Studien verringerte die Power der Analyse und machte Berechnungen multipler Metaregressionen mit mehr als zwei Prädiktoren unzuverlässig (Borenstein et al., 2009).

Weiters wurden nur Studien inkludiert, die in englischer und deutscher Sprache verschriftlicht vorlagen. wie dies auch in anderen Metaanalysen der Fall ist, da die meisten Artikel in englischer Sprache veröffentlicht werden und darüberhinaus englische Artikel einen höheren Journal Impact Factor vorweisen, wodurch anderssprachige Artikel vernachlässigt werden (Winkmann, Schlutius & Schweim, 2002). Daher kann ein language bias nicht ausgeschlossen werden. Ein language bias sollte allerdings für die Originalhypothese wirken und deshalb für die

vorliegenden Schlussfolgerungen nicht sehr problematisch sein. Die Studien wurden großteils in den USA und in Österreich durchgeführt - dies erschwert die Übertragung der Originalhypothese auf andere Länder, sollte aber für die vorliegenden Schlussfolgerungen ebenfalls nicht sehr problematisch sein.

Einige Studien wurden ausgeschlossen, da kein Volltextzugriff über die Datenbanken gestattet war und die daraufhin kontaktierten AutorInnen, auf Anfragen der Zusendung relevanter Daten ihrer Studien, damit diese in die Analyse miteinbezogen werden könnten, nicht reagierten. Damit erschwerte sich das Anliegen, mögliche Verzerrungen effektiver zu kontrollieren beziehungsweise auszuschließen.

Durch Einschluss der grauen Literatur konnte von Vornherein zumindest teilweise einem möglichen Publikationsbias entgegenwirkt werden. Es ist allerdings nicht zu vernachlässigen, dass die, in diese Arbeit inkludierte, graue Literatur allesamt von der Universität Wien stammte, was eine weitere Verzerrung signalisieren könnte. Trotzdem zeigte sich ein Winner's curse und Decline-Effekt in publizierten Studien.

5.2 Konklusion

Insgesamt konnte vorliegende crosstemporale Metaanalyse die Existenz des verkehrten Decline-Effekts sowie des verkehrten Winner's curse und des verkehrten Small-Study-Effekts nachweisen.

Auch wurde gezeigt, dass die Crossdimensionalität als Erklärung des Leistungsunterschieds bei der mentalen Rotationsfähigkeit zugunsten der Männer nicht ausreichend ist. Der anfängliche Nulleffekt unter der 3D-Bedingung bei Aufgaben zur Messung der mentalen Rotationsfähigkeit wandelte sich, im Laufe der Zeit wieder zu einem großen Geschlechtseffekt zugunsten der Männer.

6 Literaturverzeichnis

6.1 Literatur und Datensätze – inkludiert in Berechnungen

- Arendasy, M. (2000). *Psychometrischer Vergleich computergestützter Vorgabeformen bei Raumvorstellungsaufgaben: Stereoskopisch - dreidimensionale und herkömmlich zweidimensionale Darbietung*. Unveröffentlichte Dissertation: Universität Wien, Österreich.
- Foroughi, C. K., Wren, W. C., Barragán, D., Mead, P. R., & Boehm-Davis, D. A. (2015). Assessing mental rotation ability in a virtual environment with an Oculus Rift. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 59, 1849 – 1852. doi:10.1177/1541931215591399
- Gamper, B. (2002). *Die Analyse verschiedener Antwortsysteme in einem Rasch-homogenen Raumvorstellungstest*. Unveröffentlichte Diplomarbeit: Universität Wien, Österreich.
- Gittler (2009). [Fachliteratureseminardaten I – GesamtV4_08]. Unveröffentlichte Rohdaten: Universität Wien, Österreich.
- Gittler (2009). [Fachliteratureseminardaten II – EST2d3d_SS09]. Unveröffentlichte Rohdaten: Universität Wien, Österreich.
- Gittler (2009). [Fachliteratureseminardaten III – est2d3d&Andro_WS09]. Unveröffentlichte Rohdaten: Universität Wien, Österreich.
- Heider, C. (2010). *SPACE 2d/3d. Entwicklung eines Rasch-homogenen Raumvorstellungstests*. Unveröffentlichte Diplomarbeit: Universität Wien, Österreich.
- Kozhevnikov, M., Cheng, L. R., & Kozhevnikov, M. (2015). Effect of environment immersivity on encoding strategies of spatial tasks. *Procedia Manufacturing*, 3, 5059 – 5066. doi:10.1016/j.promfg.2015.07.519
- Larson, P., Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., Van Rooyen, A., Kratz, K., Neumann, U., ... Van Der Zaag, C. (1999). Gender issues in the use of virtual environments. *CyberPsychology & Behavior*, 2, 113 – 123. doi:10.1089/cpb.1999.2.113

- Lehmann, A., Vidal, M., & Bühlhoff, H. H. (2008). A high-end virtual reality setup for the study of mental rotations. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 17, 365 – 375. doi:10.1162/pres.17.4.365
- Lembacher, P. (2002). *Geschlechtsunterschiede in verschiedenen Formen des EST: EST-2D versus EST-3D*. Unveröffentlichte Diplomarbeit: Universität Wien, Österreich.
- McIntire, J. P., Wright, S. T., Harrington, L. K., Havig, P. R., Watamaniuk, S. N. J., & Heft, E. L. (2015). Binocular fusion ranges and stereoacuity predict positional and rotational spatial task performance on a stereoscopic 3D display. *Journal of Display Technology*, 11, 959 – 966. doi:10.1109/JDT.2014.2367161
- Neubauer, A. C., Bergner, S., & Schatz, M. (2010). Two- vs. three-dimensional presentation of mental rotation tasks: Sex differences and effects of training on performance and brain activation. *Intelligence*, 38, 529 – 539. doi:10.1016/j.intell.2010.06.001
- Parsons, T. D., Larson, P., Kratz, K., Thiebaut, M., Bluestein, B., Buckwalter, J. G., & Rizzo, A. A. (2004). Sex differences in mental rotation and spatial rotation in a virtual environment. *Neuropsychologia*, 42, 555 – 562. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2003.08.014
- Strasser, I., Koller, I., Strauß, S., Csisinko, M., Kaufmann, H., & Glück, J. (2010). Use of strategy in a 3-dimensional spatial ability test. *Journal of Individual Differences*, 31, 74 – 77. doi:10.1027/1614-0001/a000013
- Zobler, L. (2012). *Raumvorstellung und Geschlechtsrollenidentität*. Unveröffentlichte Diplomarbeit: Universität Wien, Österreich.

6.2 Literatur

- Arendasy, M. E., & Sommer, M. (2010). Evaluating the contribution of different item features to the effect size of the gender difference in three-dimensional mental rotation using automatic item generation. *Intelligence*, 38, 574 – 581. doi:10.1016/j.intell.2010.06.004
- Arendasy, M. E., Sommer, M., & Gittler, G. (2010). Combining automatic item generation and experimental designs to investigate the contribution of cognitive components to the gender difference in mental rotation. *Intelligence*, 38, 506 – 512. doi:10.1016/j.intell.2010.06.006
- Arendasy, M., Sommer, M., Hergovich, A., & Feldhammer, M. (2011). Evaluating the impact of depth cue salience in working three-dimensional mental rotation tasks by means of psychometric experiments. *Learning and Individual Differences*, 21, 403 – 408. doi:10.1016/j.lindif.2011.04.002
- Asendorpf, J. (2003). *Geschlechtsunterschiede. Psychologie der Persönlichkeit*. Heidelberg, Deutschland: Springer.
- Asendorpf, J. B., & Neyer, F. J. (2012). *Psychologie der Persönlichkeit*. Berlin, Heidelberg, Deutschland: Springer. doi:10.1007/978-3-642-30264-0
- Bergner, S., & Neubauer, A. C. (2011). Sex and training differences in mental rotation: a behavioral and neurophysiological comparison of gifted achievers, gifted underachievers and average intelligent achievers. *High Ability Studies*, 22, 155 – 177. doi:10.1080/13598139.2011.628849
- Bilge, A. R., & Taylor, H. A. (2017). Framing the figure: Mental rotation revisited in light of cognitive strategies. *Memory & Cognition*, 45, 63 – 80. doi:10.3758/s13421-016-0648-1
- Booth, J. R., MacWhinney, B., Thulborn, K. R., Sacco, K., Voyvodic, J. T., Feldman, H. M. (2000). Developmental and lesion effects in brain activation during sentence comprehension and mental rotation. *Developmental neuropsychology*, 18, 139 – 169. doi:10.1207/S15326942DN1802_1
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to Meta-Analysis*. New York, USA: John Wiley & Sons.

- Bruce, C. D., & Hawes, Z. (2015). The role of 2D and 3D mental rotation in mathematics for young children: What is it? Why does it matter? And what can we do about it? *ZDM*, 47, 331 – 343. doi:10.1007/s11858-014-0637-4
- Bülthoff, H. & Bülthoff, I. (2017). Mentale Rotation. In M. A. Wirtz (Hrsg.), *Dorsch – Lexikon der Psychologie*, 18, 1016. Abgerufen unter <https://portal.hogrefe.com/dorsch/mentale-rotation/>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, USA: Lawrence Erlbaum Associates.
- Collins, D. W., & Kimura, D. (1997). A large sex difference on a two-dimensional mental rotation task. *Behavioral Neuroscience*, 111, 845 – 849. doi:10.1037/0735-7044.111.4.845
- Connolly, P., Beeler, J., Connaughton, P., Price, J., & Trefz, B. (2010). Spatial ability testing with augmented reality. *American Society for Engineering Education*, 15, 1 – 10.
- Courbois, Y. (2000). The role of stimulus axis salience in children's ability to mentally rotate unfamiliar figures. *European Journal of Cognitive Psychology*, 12, 261 – 269. doi:10.1080/09541446.2000.10708706
- Delgado, A. R., & Prieto, G. (1996). Sex differences in visuospatial ability: Do performance factors play such an important role? *Memory and Cognition*, 24, 504 – 510. doi:10.3758/BF03200938
- Dünser, A. (2005). *Trainierbarkeit der Raumvorstellung mit Augmented Reality*. Unveröffentlichte Dissertation: Universität Wien, Österreich.
- Feingold, A. (1988). Cognitive gender differences are disappearing. *American Psychologist*, 43, 95 – 103. doi:10.1037/0003-066X.43.2.95
- Freina, L., & Canessa, A. (2015). *Immersive vs desktop virtual reality in game based learning*. Paper presented at the 9th European Conference on Games Based Learning, Steinkjer, Norway. Abgerufen unter https://www.researchgate.net/publication/282859373_Immersive_vs_Desktop_Virtual_Reality_in_Game_Based_Learning
- Geiser, C., Lehmann, W., & Eid, M. (2008). A note on sex differences in mental rotation in different age groups. *Intelligence*, 36, 556 – 563. doi:10.1016/j.intell.2007.12.003

- Gittler, G., & Arendasy, M. (2003). Endlosschleifen: Psychometrische Grundlagen des Aufgabentyps EP. *Diagnostica*, 49, 164 – 175. doi:10.1026//0012-1924.49.4.164
- Gittler, G., & Glück, J. (1998). Differential transfer of learning: Effects of instruction in Descriptive Geometry on spatial test performance. *Journal for Geometry and Graphics*, 2, 71-84.
- Glück, J. (2001). Strategieaspekte: Ein unterschätzter Faktor in der Raumvorstellungsforschung? [Abstract]. Vortrag auf der Fachgruppentagung Differentielle Psychologie, Persönlichkeitspsychologie und Psychologische Diagnostik, Leipzig, Deutschland. Abgerufen unter http://www.dgps.de/fachgruppen/diff_psy/Abstracts/Abstracts/glueck.htm
- Glück, J., & Fabrizii, C. (2010). Gender differences in the mental rotations test are partly explained by response format. *Journal of Individual Differences*, 31, 106 – 109. doi:10.1027/1614-0001/a000019
- Glück, J., & Fitting, S. (2003). Spatial strategy selection: Interesting incremental information. *International Journal of Testing*, 3, 293 – 308.
- Glück, J., Kaufmann, H., Dünser, A., & Steinbügl, K. (2005). *Geometrie und Raumvorstellung-Psychologische Perspektiven*. Abgerufen von http://www.ims.tuwien.ac.at/publication_detail.php?ims_id=158
- Goldstein, D., Haldane, D., & Mitchell, C. (1990). Sex differences in visual-spatial ability: The role of performance factors. *Memory & Cognition*, 18, 546 – 550. doi:10.3758/BF03198487.pdf
- Halpern, D. F., & Tan, U. (2001) Stereotypes and steroids: using a psychobiosocial model to understand cognitive sex differences. *Brain Cogn*, 45, 392 – 414. 10.1006/brcg.2001.1287
- Hausmann, M. (2007). Kognitive Geschlechtsunterschiede. In S. Lautenbacher, O. Güntürkün, & M. Hausmann (Hrsg.), *Gehirn und Geschlecht* (S. 105 – 123). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. doi: 10.1007/978-3-540-71628-0_6
- Hausmann, M., Schoofs, D., Rosenthal, H. E. S., & Jordan, K. (2009). Interactive effects of sex hormones and gender stereotypes on cognitive sex differences – A psychobiosocial approach. *Psychoneuroendocrinology*, 34, 389 – 401. doi:10.1016/j.psyneuen.2008.09.019

- Hegarty, M., & Waller, D. (2005). Individual differences in spatial abilities. *The Cambridge handbook of visuospatial thinking*, 121 – 169.
- Heil, M., & Jansen-Osmann, P. (2008). Sex differences in mental rotation with polygons of different complexity: Do men utilize holistic processes whereas women prefer piecemeal ones? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 683 – 689. doi:10.1080/17470210701822967
- Higgins, J. P. T., Thompson, S. G., Deeks, J. J., & Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ: British Medical Journal*, 327, 557 – 560. doi:10.1136/bmj.327.7414.557
- Hines, M., Fane, B. A., Pasterski, V. L., Matthews, G. A., Conway, G. S., & Brook, C. (2003). Spatial abilities following prenatal androgen abnormality: Targeting and mental rotations performance in individuals with congenital adrenal hyperplasia. *Psychoneuroendocrinology*, 28, 1010 – 1026. doi:10.1016/S0306-4530(02)00121-X
- Hirnstien, M. & Hausmann, M. (2010). Kognitive Geschlechtsunterschiede. In G. Steins (Hrsg.), *Handbuch Psychologie und Geschlechterforschung* (S. 69 – 86). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. doi:10.1007/978-3-531-92180-8_5
- Hirnstien, M., Bayer, U., & Hausmann, M. (2009). Sex-specific response strategies in mental rotation. *Learning and Individual Differences*, 19, 225 – 228.
- Hooven, C. K., Chabris, C. F., Ellison, P. T., Kievit, R. A., & Kosslyn, S. M. (2008). The sex difference on mental rotation tests is not necessarily a difference in mental rotation ability. Manuscript submitted for publication. Abgerufen unter www.wjh.harvard.edu/~cfc/Hooven2008.pdf
- Horan, P. F., & Rosser, R. A. (1984). A multivariable analysis of spatial abilities by sex. *Developmental Review*, 4, 387 – 411. doi:10.1016/0273-2297(84)90023-6
- Hugdahl, K., Thomsen, T., & Erslund, L. (2006). Sex differences in visuo-spatial processing: An fMRI study of mental rotation. *Neuropsychologia*, 44, 1575 – 1583. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.026

- Jansen-Osmann, P., & Heil, M. (2007). Developmental aspects of parietal hemispheric asymmetry during mental rotation. *Neuroreport*, 18, 175 – 178. doi: 10.1097/WNR.0b013e328010ff6b
- Kail, R., Pellegrino, J., & Carter, P. (1980). Developmental changes in mental rotation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 29, 102 – 116.
- Kerkman, D. D., Wise, J. C., & Hardwood, E. A. (2000). Impossible „ mental rotation“ problems. A mismeasure of women´s spatial abilities? *Learning and Individual Differences*, 12, 253 – 269. Abgerufen unter <http://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/71493.pdf>
- Kimura, D. (2002). Sex hormones influence human cognitive pattern. *Neuro Endocrinol Lett*, 23, 67 – 77. Abgerufen unter <http://europepmc.org/abstract/MED/12496737>
- Kozhevnikov, M., Royan, J., Blazhenkova, O., & Gorbunov, A. (2008). The role of immersivity in three-dimensional mental rotation. *Design Computing and Cognition '08*, 143 – 157. doi:10.1007/978-1-4020-8728-8_8
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159 – 174. doi:10.2307/2529310
- Lautenbacher, S., Güntürkün, O., & Hausmann, M. (2007). *Gehirn und Geschlecht. Neurowissenschaft des kleinen Unterschieds zwischen Frau und Mann*. Heidelberg, Deutschland: Springer Science.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56, 1479 – 1498. doi:10.2307/1130467
- Lombardo, E. (2014). Study of an interactive and total immersive device with a personal 3D viewer and its effects on the explicit long-term memories of the subjects. In R. Shumaker & S. Lackey (Eds.), *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Designing and Developing Virtual and Augmented Environments: 6th International Conference, VAMR 2014, Held as Part of HCI International 2014, Heraklion, Crete, Greece, June 22-27, 2014, Proceedings, Part I* (pp. 75–84). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-07458-0_8

- Lufler, R. S., Zumwalt, A. C., Romney, C. A., & Hoagland, T. M. (2012). Effect of visual-spatial ability on medical students' performance in a gross anatomy course. *Anatomical sciences education*, 5, 3 – 9. doi:10.1002/ase.264
- Maccoby, E. E., & Jacklin, C. N. (1974). *The Psychology of Sex Differences*. Stanford University Press.
- Makel, M. C., Plucker, J. A., & Hegarty, B. (2012). Replications in psychology research: How often do they really occur?. *Perspectives on Psychological Science*, 7, 537 – 542. doi: 10.1177/1745691612460688
- Masters, M.S. (1998). The gender difference on the Mental Rotations test is not due to performance factors. *Memory & Cognition*, 26, 444 – 448. doi:10.3758/BF03201154
- Masters, M. S., & Sanders, B. (1993). Is the gender difference in mental rotation disappearing? *Behavior genetics*, 23, 337 – 341. Abgerufen unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F01067434.pdf>
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86, 889 – 918. doi:10.1037/0033-2909.86.5.889
- McWilliams, W., Hamilton, C. J., & Muncer, S. J. (1997). On mental rotation in three dimensions. *Perceptual and Motor Skills*, 85, 297 – 298. doi:10.2466/pms.1997.85.1.297
- Moè, A., & Pazzaglia, F. (2006). Following the instructions!: Effects of gender beliefs in mental rotation. *Learning and Individual Differences*, 16, 369 – 377. doi:10.1016/j.lindif.2007.01.002
- Moher, D., Liberatti, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA Statement. *Annals of Internal Medicine*, 151, 264 – 269. doi:10.1371/journal.pmed.1000097
- Monahan, J.S., Harke, M. A., & Shelley, J.R. (2008). Computerizing the mental rotations test: Are gender differences maintained ? *Behavior Research Methods*, 40, 422 – 427. doi:10.3758/BRM.40.2.422

- Nguyen, N., Nelson, A. J., & Wilson, T. D. (2012). Computer visualizations: Factors that influence spatial anatomy comprehension. *Anatomical Sciences Education*, 5, 98 – 108. doi:10.1002/ase.1258
- Pashler, H., & Harris, C. R. (2012). Is the replicability crisis overblown? Three arguments examined. *Perspectives on Psychological Science*, 7, 531 – 536. doi:10.1177/1745691612463401
- Peters, M. (2005). Sex differences and the factor of time in solving Vandenberg and Kuse mental rotation problems. *Brain and Cognition*, 57, 176 – 184. doi:10.1016/j.bandc.2004.08.052
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R., & Richardson, C. (1995). A Redrawn Vandenberg and Kuse Mental Rotations Test - Different versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition*, 28, 39 – 58. doi:10.1006/brcg.1995.1032
- Pietschnig, J., & Gittler, G. (2015). A reversal of the Flynn effect for spatial perception in German-speaking countries: Evidence from a cross-temporal IRT-based meta-analysis (1977–2014). *Intelligence*, 53, 145 – 153. doi:10.1016/j.intell.2015.10.004
- Pietschnig J, Voracek M, Formann AK (2010) Pervasiveness of the IQ Rise: A Cross-Temporal Meta-Analysis. *PLoS ONE*, 5, e14406. doi:10.1371/journal.pone.0014406
- Quaiser-Pohl, C., & Lehmann, W. (2002). Girls' spatial abilities: Charting the contributions of experience and attitudes in different academic groups. *British Journal of Educational Psychology*, 72, 245 – 260. doi: 10.1348/000709902158874
- Resnick, S. M. (1993). Sex differences in mental rotations: an effect of time limits? *Brain and Cognition*, 21, 71 – 79. doi:10.1006/brcg.1993.1005
- Roca-González, C., Martin-Gutierrez, J., García-Dominguez, M., & del Carmen Mato Carrodeguas, M. (2017). Virtual technologies to develop visual-spatial ability in engineering students. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 13, 441 – 468. doi:10.12973/eurasia.2017.00625a

- Rochford, K. (1985). Spatial learning disabilities and underachievement among university anatomy students. *Medical education*, 19, 13 – 26.
doi:10.1111/j.1365-2923.1985.tb01134.x
- Rost, D. H. (1977). *Raumvorstellung - Psychologische und Pädagogische Aspekte*. Weinheim, Deutschland: Beltz
- Sanders, B., & Soares, M. P. (1986). Sexual maturation and spatial ability in college students. *Developmental Psychology*, 22, 199 – 203.
doi:10.1037/0012-1649.22.2.199
- Schöning, S., Engelen, A., Kugel, H., Schafer, S. Schiffbauer, H., Zwitterlood, P., ... Konrad, C. (2007). Functional anatomy of visuo-spatial working memory during mental rotation is influenced by sex, menstrual cycle, and sex steroid hormones. *Neuropsychologia*, 45, 3203 – 3214.
doi:10.1016/j.neuropsychologia.2007.06.011
- Schooler, J. (2011). Unpublished results hide the decline effect: some effects diminish when tests are repeated. Jonathan Schooler says being open about findings that don't make the scientific record could reveal why. *Nature*, 470, 437.
- Seymour, N. E. (2008). VR to OR: a review of the evidence that virtual reality simulation improves operating room performance. *World journal of surgery*, 32, 182 – 188. doi:10.1007/s00268-007-9307-9
- Seymour, N. E., Gallagher, A. G., Roman, S. A., O'Brien, M. K., Bansal, V. K., Andersen, D. K., & Satava, R. M. (2002). Virtual reality training improves operating room performance. *Annals of Surgery*, 236, 458 – 464.
doi:10.1097/01.SLA.0000028969.51489.B4
- Shea, D. L., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2001). Importance of assessing spatial ability in intellectually talented young adolescents: A 20-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 93, 604 – 614. doi:10.1037/0022-0663.93.3.604
- Shepard, R. N. L., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701 – 703. Abgerufen unter <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5540314>

- Shepard, S., & Metzler, D. (1988). Mental rotation: effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 3 – 11. Abgerufen unter <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2964504>
- Stumpf, H. (1993). Performance factors and gender-related differences in spatial ability: Another assessment. *Memory and Cognition*, 21, 826 – 836.
- Stumpf, H., & Fay, E. (1983). *Schlauchfiguren- Ein Test zur Beurteilung des räumlichen Vorstellungsvermögens*. Göttingen, Deutschland: Hogrefe.
- Terlecko, M. S., & Newcombe, N. S. (2005). How important is the digital divide? The relation of computer and videogame usage to gender differences in mental rotation ability. *Sex Roles*, 53, 433 – 441.
doi:10.1007/s11199-005-6765-0
- Ulrich, R., Erdfelder, E., Deutsch, R., Strauß, B., Brüggemann, A., Hannover, B., ... & Rief, W. (2016). Inflation von falsch-positiven Befunden in der psychologischen Forschung. *Psychologische Rundschau*, 67, 163 – 174.
doi:10.1026/0033-3042/a000296.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 599 – 604.
- Viechtbauer, W. (2010). Conducting meta-analyses in R with the metafor package. *Journal of Statistical Software*, 36, 1 – 48. doi:10.18637/jss.v036.i03
- Voyer, D. (1997). Scoring procedure, performance factors, and magnitude of sex differences in spatial performance. *American Journal of Psychology*, 110, 259 – 276. Abgerufen unter <https://search.proquest.com/docview/224848677/citation/DB5F8FE3B57F4F62PQ/1?accountid=14682>
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117, 250 – 270. doi:10.1037/0033-2909.117.2.250
- Voyer, D., & Hou, J. (2006). Type of items and the magnitude of gender differences on the Mental Rotations Test. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie experimentale*, 60, 91 – 100.

- Voyer, D., & Saunders, K. A. (2004). Gender differences on the mental rotations test: A factor analysis. *Acta Psychologica*, 117, 79 – 94.
doi:10.1016/j.actpsy.2004.05.003
- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101, 817 – 835.
doi:10.1037/a0016127
- Winkler, P. (2007). *Die praktische Relevanz von Raumvorstellung*.
Unveröffentlichte Diplomarbeit: Universität Wien, Österreich.
- Winkmann, G., Schlutius, S., & Schweim, H. G. (2002). [Publication languages of Impact Factor journals and of medical bibliographic databanks (reprint)]. *Klinische Monatsblätter Für Augenheilkunde*, 219, 65 – 71. doi:10.1055/s-2002- 23504

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Beispielitem des Mental Rotation Test (Vandenberg & Kuse, 1978, S. 600)	17
Abbildung 2 Beispielitem des Endlosschleifentests (Gittler & Arendasy, 2003, S. 169)	18
Abbildung 3 Selektionsprozess der Studien: Flowchart Diagramm (Moher et al., 2009, S. e10000979)	29
Abbildung 4 Beispielitem des EST (Arendasy, 2000, S. 70)	37
Abbildung 5 Beispiel für die Rotationsinstruktion des EST (Arendasy, 2000, S. 71)	38
Abbildung 6 Beispiel für die Perspektivenwechselinstruktion des EST (Arendasy, 2000, S. 71)	38
Abbildung 7 Beispiel für die Darstellung des neuen Antwortformats (Gamper, 2002, S. 53)	40
Abbildung 8 Beispielitem mit acht Antwortmöglichkeiten und dem Fragezeichen (Gamper, 2002, S. 53)	41
Abbildung 9 Darstellung der einfachen Metaregression aller Studien mit einem Bubbleplot	59
Abbildung 10 Darstellung der einfachen Metaregression aller Studien mit einem Bubbleplot.	60
Abbildung 11 Darstellung der einfachen Metaregression publizierter Studien mit einem Bubbleplot	62
Abbildung 12 Darstellung der einfachen Metaregression publizierter Studien mit einem Bubbleplot	63
Abbildung 13 Darstellung der einfachen Metaregression nicht-publizierter Studien mit einem Bubbleplot	65
Abbildung 14 Darstellung der einfachen Metaregression nicht-publizierter Studien mit einem Bubbleplot	66
Abbildung 15. Darstellung des verkehrten Decline-Effekts	69

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Studiencharakteristiken	28
Tabelle 2 Zusammenfassung des narrativen Reviews	58

Anhang I

Kodierschema

3D, Sex and Mental Rotation		
Country of data collection		
Study ID		
Reference of article		
Publication status		
Publication / data collection year		
Publication type		
Language		
Sample description	Page number	
	Sample type	
	Test instrument	
	<i>N</i> / sex / statistics / mean age / <i>SD</i>	
	<i>d</i> , <i>p</i>	
Comments		

Anhang II

Ausgeschlossene Literatur:

Keine dreidimensional dargestellten Aufgaben zur mentalen Rotationsfähigkeit:

- Abbasi, S., Burkhardt, J.-M., & Denis, M. (2009). Spatial problem solving: Assembling three-dimensional puzzles in real and virtual environments. *Cognitive Processing*, 10, 179 – 181. doi:10.1007/s10339-009-0298-3
- Ahlborg, L., Hedman, L., Murkes, D., Westman, B., Kjellin, A., Felländer-Tsai, L., & Enochsson, L. (2011). Visuospatial ability correlates with performance in simulated gynecological laparoscopy. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 157, 73–77. doi:10.1016/j.ejogrb.2011.02.007
- Akhutina, T., Foreman, N., Krichevets, A., Matikka, L., Narhi, V., Pylaeva, N., & Vahakuopus, J. (2003). Improving spatial functioning in children with cerebral palsy using computerized and traditional game tasks. *Disability and Rehabilitation*, 25, 1361 – 1371. doi:10.1080/09638280310001616358
- Andrade, A. D., Cifuentes, P., Mintzer, M. J., Roos, B. A., Anam, R., & Ruiz, J. G. (2012). Simulating geriatric home safety assessments in a three-dimensional virtual world. *Gerontology & Geriatrics Education*, 33, 233 – 252. doi:10.1080/02701960.2011.611553
- Ashworth III, A. R., & Dror, I. E. (2000). Object identification as a function of discriminability and learning presentations: The effect of stimulus similarity and canonical frame alignment on aircraft identification. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6, 148 – 157. doi:10.1037/1076-898X.6.2.148
- Bauer, B. (2005). „Two- and three-dimensional mental rotation tasks lead to different parietal laterality for men and women“ (*Letter to the Editor*). *International Journal of Psychophysiology*, 57, 151 – 152. doi:10.1016/j.ijpsycho.2005.03.019

- Baumgartner, T., Valko, L., Esslen, M., & Jäncke, L. (2006). Neural correlate of spatial presence in an arousing and noninteractive virtual reality: An EEG and psychophysiology study. *CyberPsychology & Behavior*, 9, 30 – 45. doi:10.1089/cpb.2006.9.30
- Bennett, T. P. (2002). The 1817 Florida expedition of the academy of natural sciences. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 152, 1 – 21. doi:10.1635/0097-3157(2002)152[0001:HFTFEO]2.0.CO;2
- Berney, S., Bétrancourt, M., Molinari, G., & Hoyek, N. (2015). How spatial abilities and dynamic visualizations interplay when learning functional anatomy with 3D anatomical models: Interplay of spatial ability and dynamic visualization. *Anatomical Sciences Education*, 8, 452 – 462. doi:10.1002/ase.1524
- Bianchini, F., Palermo, L., Piccardi, L., Incoccia, C., Nemmi, F., Sabatini, U., & Guariglia, C. (2014). Where am i? A new case of developmental topographical disorientation. *Journal of Neuropsychology*, 8, 107 – 124. doi:10.1111/jnp.12007
- Borst, G., Standing, G., & Kosslyn, S. M. (2012). Fear and anxiety modulate mental rotation. *Journal of Cognitive Psychology*, 24, 665 – 671. doi:10.1080/20445911.2012.679924
- Boyle, G. J., Furedy, J. J., Neumann, D. L., & Westbury, H. R. (2010). Sex Differences in verbal and visual-spatial tasks under different hemispheric visual-field presentation conditions. *Perceptual and Motor Skills*, 110, 396 – 410. doi:10.2466/pms.110.2.396-410
- Bruce, C. D., & Hawes, Z. (2015). The role of 2D and 3D mental rotation in mathematics for young children: What is it? Why does it matter? And what can we do about it? *ZDM*, 47, 331 – 343. doi:10.1007/s11858-014-0637-4
- Burkitt, J., Widman, D., & Saucier, D. M. (2007). Evidence for the influence of testosterone in the performance of spatial navigation in a virtual water maze in women but not in men. *Hormones and Behavior*, 51, 649 – 654. doi:10.1016/j.yhbeh.2007.03.007
- Buschkuehl, M., Jaeggi, S. M., & Jonides, J. (2012). Neuronal effects following working memory training. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2, S167 – S179. doi:10.1016/j.dcn.2011.10.001

- Campbell, J. I., Hepner, I. J., & Miller, L. A. (2014). The influence of age and sex on memory for a familiar environment. *Journal of Environmental Psychology*, 40, 1–8. doi:10.1016/j.jenvp.2014.04.007
- Campos, A. (2014). Gender differences in imagery. *Personality and Individual Differences*, 59, 107–111. doi:10.1016/j.paid.2013.12.010
- Cantero, M., Naya, F., Saorín Pérez, J. L., & others. (2006). Learning support tools for developing spatial abilities in engineering design. doi:10.1.1.157.8104
- Carlisle, D., Tyson, J., & Nieswandt, M. (2015). Fostering spatial skill acquisition by general chemistry students, 16, 478–517. doi:10.1039/C4RP00228H
- Carrillo, B., Gómez-Gil, E., Rametti, G., Junque, C., Gomez, Á., Karadi, K., ... Guillaumon, A. (2010). Cortical activation during mental rotation in male-to-female and female-to-male transsexuals under hormonal treatment. *Psychoneuroendocrinology*, 35, 1213–1222. doi:10.1016/j.psyneuen.2010.02.010
- Chen, Y.-C., & Yang, F.-Y. (2014). Probing the relationship between process of spatial problems solving and science learning: An eye tracking approach. *International Journal of Science & Mathematics Education*, 12, 579–603. doi:10.1007/s10763-013-9504-y
- Chraif, M. (2013). Gender differences in mental rotation at young romanian students at psychology: A pilot study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 78, 692–696. doi:10.1016/j.sbspro.2013.04.377
- Christie, G. J., Cook, C. M., Ward, B. J., Tata, M. S., Sutherland, J., Sutherland, R. J., & Saucier, D. M. (2013). Mental rotational ability is correlated with spatial but not verbal working memory performance and P300 amplitude in males. *PLOS ONE*, 8, e57390. doi:10.1371/journal.pone.0057390
- Cohen, C. A., & Hegarty, M. (2012). Inferring cross sections of 3D objects: A new spatial thinking test. *Learning and Individual Differences*, 22, 868–874. doi:10.1016/j.lindif.2012.05.007

- Collins, A., Tomlinson, Z., Oman, C., Liu, A., & Natapoff, A. (2008). Investigating the effects of frame disparity on the performance of telerobotic tasks. Abgerufen unter http://web.mit.edu/amliu/www/Papers/CollinsEtAl_FrameDisparityTeleroboticsPerf_IAC2008.pdf
- Colom, R., Quiroga, M. Á., Solana, A. B., Burgaleta, M., Román, F. J., Privado, J., ... Karama, S. (2012). Structural changes after videogame practice related to a brain network associated with intelligence. *Intelligence*, 40, 479–489. doi:10.1016/j.intell.2012.05.004
- Coxon, M., Kelly, N., & Page, S. (2016). Individual differences in virtual reality: Are spatial presence and spatial ability linked? *Virtual Reality*, 20, 203–212. doi:10.1007/s10055-016-0292-x
- Cuendet, S., Dehler-Zufferey, J., Arn, C., Bumbacher, E., & Dillenbourg, P. (2014). A study of carpenter apprentices' spatial skills. *Empirical Research in Vocational Education and Training*, 6, 1–16. doi:10.1186/s40461-014-0003-3
- Cutzu, F., & Edelman, S. (1994). Canonical views in object representation and recognition. *Vision Research*, 34, 3037–3056. doi:10.1016/0042-6989(94)90277-1
- Danckert, J., Aliev, I., Quehl, N., & Carson, L. (2014). Angle-based drawing accuracy analysis and mental models of three-dimensional space. *Art & Perception*, 2, 183–212. doi:10.1163/22134913-00002019
- Danziger, E. (2011). Distinguishing three-dimensional forms from their mirror-images: Whorfian results from users of intrinsic frames of linguistic reference. *Language Sciences*, 33, 853–867. doi:10.1016/j.langsci.2011.06.008
- David, N., Aumann, C., Santos, N. S., Bewernick, B. H., Eickhoff, S. B., Newen, A., ... Vogeley, K. (2008). Differential involvement of the posterior temporal cortex in mentalizing but not perspective taking. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3, 279–289. doi:10.1093/scan/nsn023

- David, N., Bewernick, B. H., Cohen, M. X., Newen, A., Lux, S., Fink, G. R., ... Vogeley, K. (2006). Neural Representations of self versus other: Visual-spatial perspective taking and agency in a virtual ball-tossing game. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 898–910. doi:10.1162/jocn.2006.18.6.898
- de Bruin, N., Bryant, D. C., MacLean, J. N., & Gonzalez, C. L. R. (2016). Assessing visuospatial abilities in healthy aging: A novel visuomotor task. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8, 7. doi:10.3389/fnagi.2016.00007
- de Castell, S., Larios, H., Jenson, J., & Smith, D. H. (2015). The role of video game experience in spatial learning and memory. *Journal of Gaming & Virtual Worlds*, 7, 21–40. doi:10.1386/jgvw.7.1.21_1
- Dean, A. M., Oh, J., Thomson, C. J., Norris, C. J., & Durgin, F. H. (2016). Do individual differences and aging effects in the estimation of geographical slant reflect cognitive or perceptual effects? *I-Perception*, 7, 1–18. doi:10.1177/2041669516658665
- Debarnot, U., Piolino, P., Baron, J.-C., & Guillot, A. (2013). Mental rotation: Effects of gender, training and sleep consolidation. *PLOS ONE*, 8, e60296. doi:10.1371/journal.pone.0060296
- Dey, A., Barnsley, N., Mohan, R., McCormick, M., McAuley, J. H., & Moseley, G. L. (2012). Are children who play a sport or a musical instrument better at motor imagery than children who do not? *British Journal of Sports Medicine*, 46, 923–926. doi:10.1136/bjsports-2011-090525
- Dishman, E., & Carrillo, M. C. (2007). Perspective on everyday technologies for Alzheimer's care: Research findings, directions, and challenges. *Alzheimer's & Dementia*, 3, 227–234. doi:10.1016/j.jalz.2007.04.387
- Dong, S., Wang, C., Xie, Y., Hu, Y., Weng, J., & Chen, F. (2016). The impact of abacus training on working memory and underlying neural correlates in young adults. *Neuroscience*, 332, 181–190. doi:10.1016/j.neuroscience.2016.06.051
- Donohue, S. K. (2011). Effectiveness of technology education learning activities on the improvement of spatial skills. *Frontiers in Education Conference, 2011*, T3H–1. doi:10.1109/FIE.2011.6143013

- Dünser, A. (2005). *Trainierbarkeit der Raumvorstellung mit Augmented Reality*. Unveröffentlichte Dissertation: Universität Wien.
- Dünser, A., Steinbügl, K., Kaufmann, H., & Glück, J. (2006). Virtual and augmented reality as spatial ability training tools. *Proceedings of the 7th ACM SIGCHI New Zealand chapter's international conference on Computer-human interaction: Design centered HCI*, 125–132. doi:10.1145/1152760.1152776
- Dunst, B., Benedek, M., Koschutnig, K., Jauk, E., & Neubauer, A. C. (2014). Sex differences in the IQ-white matter microstructure relationship: A DTI study. *Brain and Cognition*, 91, 71–78. doi:10.1016/j.bandc.2014.08.006
- Durdiaková, J., Hodosy, J., Kubranská, A., Ostatníková, D., & Celec, P. (2012). The effect of mental rotation on changes in plasma testosterone and cortisol levels. *Open Life Sciences*, 7, 1005–1012. doi:10.2478/s11535-012-0084-6
- Felix, M. C., Parker, J. D., Lee, C., & Gabriel, K. I. (2011). Real three-dimensional objects: Effects on mental rotation. *Perceptual and Motor Skills*, 113, 38–50. doi:10.2466/03.22.PMS.113.4.38-50
- Feng, J., Spence, I., & Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological Science*, 18, 850–855. doi:10.1111/j.1467-9280.2007.01990.x
- Ferguson, C., Cruz, A., & Rueda, S. (2008). Gender, video game playing habits and visual memory tasks. *Sex Roles*, 58, 279–286. doi:10.1007/s11199-007-9332-z
- Fields, A. W., & Shelton, A. L. (2006). Individual skill differences and large-scale environmental learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32, 506–515. doi:10.1037/0278-7393.32.3.506
- Flanders, M., & Kavanagh, R. C. (2014). Visualizing compound rotations with virtual reality. *Engineering Design Graphics Journal*, 77, 15–30. Abgerufen unter <http://www.edgj.org/index.php/EDGJ/article/viewFile/388/281>
- Foster, D. H., & Gilson, S. J. (2002). Recognizing novel three-dimensional objects by summing signals from parts and views. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 269, 1939–1947. doi:10.1098/rspb.2002.2119

- Gaggioli, A., Meneghini, A., Morganti, F., Alcaniz, M., & Riva, G. (2006). A strategy for computer-assisted mental practice in stroke rehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 20, 503–507.
doi:10.1177/1545968306290224
- Gauthier, I., & Tarr, M. J. (1997). Orientation priming of novel shapes in the context of viewpoint-dependent recognition. *Perception*, 26, 51–73.
doi:10.1068/p260051
- Gecu, Z., & Cagiltay, K. (2015). Mental rotation ability and computer game experience. *International Journal of Game-Based Learning (IJGBL)*, 5, 15–26. doi:10.4018/IJGBL.2015100102
- Geiser, C., Lehmann, W., & Eid, M. (2008). A note on sex differences in mental rotation in different age groups. *Intelligence*, 36, 556–563.
doi:10.1016/j.intell.2007.12.003
- Glück, J., & Fabrizii, C. (2010). Gender differences in the mental rotations test are partly explained by response format. *Journal of Individual Differences*, 31, 106–109. doi:10.1027/1614-0001/a000019
- Gong, P., Li, J., Wang, J., Lei, X., Chen, D., Zhang, K., ... Zhang, F. (2011). Variations in 5-HT_{2A} Influence Spatial Cognitive Abilities and Working Memory. *Canadian Journal of Neurological Sciences / Journal Canadien Des Sciences Neurologiques*, 38, 303–308.
doi:10.1017/S0317167100011513
- Grabherr, L., Karmali, F., Bach, S., Indermaur, K., Metzler, S., & Mast, F. W. (2007). Mental own-body and body-part transformations in microgravity. *Journal of Vestibular Research*, 17, 279–287. Abgerufen unter https://www.researchgate.net/publication/5224548_Mental_own-body_and_body-part_transformations_in_microgravity
- Guerrieri, G. M., Wakim, P. G., Keenan, P. A., Schenkel, L. A., Berlin, K., Gibson, C. J., ... Schmidt, P. J. (2016). Sex differences in visuospatial abilities persist during induced hypogonadism. *Neuropsychologia*, 81, 219–229.
doi:10.1016/j.neuropsychologia.2015.12.021

- Guillot, A., Champely, S., Batier, C., Thiriet, P., & Collet, C. (2007). Relationship between spatial abilities, mental rotation and functional anatomy learning. *Advances in Health Sciences Education*, 12, 491–507. doi:10.1007/s10459-006-9021-7
- Halari, R., Sharma, T., Hines, M., Andrew, C., Simmons, A., & Kumari, V. (2006). Comparable fMRI activity with differential behavioural performance on mental rotation and overt verbal fluency tasks in healthy men and women. *Experimental Brain Research; Heidelberg*, 169, 1–14. doi:10.1007/s00221-005-0118-7
- Han, J., Cao, B., Cao, Y., Gao, H., & Li, F. (2016). The role of right frontal brain regions in integration of spatial relation. *Neuropsychologia*, 86, 29–37. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2016.04.008
- Hansen, S., & Elliott, D. (2009). Three-dimensional manual responses to unexpected target perturbations during rapid aiming. *Journal of Motor Behavior; Washington*, 41, 16–29. doi:10.1080/00222895.2009.10125917
- Hansen, S., Elliott, D., & Tremblay, L. (2007). Online control of discrete action following visual perturbation. *Perception*, 36, 268–287. doi:10.1068/p5629
- Hartman, N. W., & Bertoline, G. R. (2005). Spatial visualization tests and their relationship to contemporary CAD tools: Advocating more than just mental rotations tests. *Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition*. Abgerufen unter https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwit_5qu3lrVAhUEWRQKHQ0gDLgQFgg5MAE&url=https%3A%2F%2Fpeer.asee.org%2Fusing-solid-modeling-and-multimedia-software-to-improve-spatial-visualization-skills.pdf&usg=AFQjCNHidQTtNlasJPIZTYqi1DyRARE3OA
- Hauptman, H., & Cohen, A. (2011). The synergetic effect of learning styles on the interaction between virtual environments and the enhancement of spatial thinking. *Computers & Education*, 57, 2106–2117. doi:10.1016/j.compedu.2011.05.008

- Hausmann, M., Schoofs, D., Rosenthal, H. E. S., & Jordan, K. (2009). Interactive effects of sex hormones and gender stereotypes on cognitive sex differences—A psychobiosocial approach. *Psychoneuroendocrinology*, *34*, 389–401. doi:10.1016/j.psyneuen.2008.09.019
- Havlik, A. M., Carmichael, D. A., & Simner, J. (2015). Do sequence-space synaesthetes have better spatial imagery skills? Yes, but there are individual differences. *Cognitive processing*, *16*, 245–253. doi:10.1007/s10339-015-0657-1
- Hawes, Z., LeFevre, J.-A., Xu, C., & Bruce, C. D. (2015). Mental rotation with tangible three-dimensional objects: A new measure sensitive to developmental differences in 4-to 8-year-old children. *Mind, Brain, and Education*, *9*, 10–18. doi:10.1007/s11858-014-0637-4
- Hegarty, M., Montello, D. R., Richardson, A. E., Ishikawa, T., & Lovelace, K. (2006). Spatial abilities at different scales: Individual differences in aptitude-test performance and spatial-layout learning. *Intelligence*, *34*, 151–176. doi:10.1016/j.intell.2005.09.005
- Hoppe, C., Fliessbach, K., Stausberg, S., Stojanovic, J., Trautner, P., Elger, C. E., & Weber, B. (2012). A key role for experimental task performance: Effects of math talent, gender and performance on the neural correlates of mental rotation. *Brain and Cognition*, *78*, 14–27. doi:10.1016/j.bandc.2011.10.008
- Huang, T.-C., & Lin, C.-Y. (2017). From 3D modeling to 3D printing: Development of a differentiated spatial ability teaching model. *Telematics and Informatics*, *34*, 604–613. doi:10.1016/j.tele.2016.10.005
- Hugdahl, K., Thomsen, T., & Ersland, L. (2006). Sex differences in visuo-spatial processing: An fMRI study of mental rotation. *Neuropsychologia*, *44*, 1575–1583. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.026
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *Journal of Computer Assisted Learning*, *22*, 392–404. doi:10.1111/j.1365-2729.2006.00180.x
- Hyde, J. S. (2016). Sex and cognition: Gender and cognitive functions. *Current Opinion in Neurobiology*, *38*, 53–56. doi:10.1016/j.conb.2016.02.007

- Iaria, G., Bogod, N., Fox, C. J., & Barton, J. J. S. (2009). Developmental topographical disorientation: Case one. *Neuropsychologia*, 47, 30–40. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.08.021
- Ikeya, Y., Fujita, M., Kani, J., Yoneyama, Y., & Nishigaki, M. (2014). An image-based CAPTCHA using sophisticated mental rotation. In T. Tryfonas & I. Askoxylakis (Eds.), *International Conference on Human Aspects of Information Security, Privacy, and Trust* (pp. 57–68). Berlin: Springer Verlag. doi:10.1007/978-3-319-07620-1_6
- Iwanowska, K., & Voyer, D. (2013). Dimensional transformation in tests of spatial and environmental cognition. *Memory & Cognition*, 41, 1122–1131. doi:10.3758/s13421-013-0314-9
- Jansen, P., Wiedenbauer, G., & Hahn, N. (2010). Manual rotation training improves direction-estimations in a virtual environmental space. *European Journal of Cognitive Psychology*, 22, 6–17. doi:10.1080/09541440802678487
- Jansen-Osmann, P., & Heil, M. (2007). Suitable stimuli to obtain (no) gender differences in the speed of cognitive processes involved in mental rotation. *Brain and Cognition*, 64, 217–227. doi:10.1016/j.bandc.2007.03.002
- Jansen-Osmann, P., Wiedenbauer, G., & Heil, M. (2008). Spatial cognition and motor development: A study of children with spina bifida. *Perceptual and motor skills*, 106, 436–446. doi:10.2466/pms.106.2.436-446
- Jaušovec, N., & Jaušovec, K. (2012). Sex differences in mental rotation and cortical activation patterns: Can training change them? *Intelligence*, 40, 151–162. doi:10.1016/j.intell.2012.01.005
- Jeng, H.-L., & Liu, G.-F. (2016). Test interactivity is promising in promoting gender equity in females' pursuit of STEM careers. *Learning and Individual Differences*, 49, 201–208. doi:10.1016/j.lindif.2016.06.018
- Jola, C., & Mast, F. W. (2005). mental object rotation and egocentric body transformation: Two dissociable processes? *Spatial Cognition & Computation*, 5, 217–237. doi:10.1080/13875868.2005.9683804
- Jordan, K., Heinze, H.-J., Lutz, K., Kanowski, M., & Jäncke, L. (2001). Cortical activations during the mental rotation of different visual objects. *NeuroImage*, 13, 143–152. doi:10.1006/nimg.2000.0677

- Jordan, K., Wuestenberg, T., Lutz, K., Heinze, H.-J., & Jancke, L. (2000). Mental rotation of 3D, verbal and non-verbal visual objects: An fMRI study. *NeuroImage*, 11, S92. doi:10.1016/S1053-8119(00)91025-5
- Jordan, K., Wüstenberg, T., Jaspers-Feyer, F., Fellbrich, A., & Peters, M. (2006). Sex differences in left/right confusion. *Cortex*, 42, 69–78. doi:10.1016/S0010-9452(08)70323-X
- Kaas, A. L., & Mier, H. I. V. (2006). Haptic spatial matching in near peripersonal space. *Experimental Brain Research; Heidelberg*, 170, 403–13. doi:10.1007/s00221-005-0223-7
- Kadam, K., & Iyer, S. (2015). Impact of blender based 3d mental rotation ability training on engineering drawing skills. *Proceedings of the IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 370–374. doi:10.1109/ICALT.2015.70
- Kaiser, S., Walther, S., Nennig, E., Kronmüller, K., Mundt, C., Weisbrod, M., ... Vogeley, K. (2008). Gender-specific strategy use and neural correlates in a spatial perspective taking task. *Neuropsychologia*, 46, 2524–2531. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.04.013
- Kashihara, K. (2009). Optimal camera angles in mental imaging of three-dimensional structures from plane figures and the effects of depth cues. *Proceedings of the IEEE International Conference on*, 436–441. doi:10.1109/ICSMC.2009.5346733
- Kasten, F. H., & Herrmann, C. S. (2017). Transcranial alternating current stimulation (TACS) enhances mental rotation performance during and after stimulation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 1683. doi:10.3389/fnhum.2017.00002
- Katsioloudis, P., Jovanovic, V., & Jones, M. (2014). A comparative analysis of spatial visualization ability and drafting models for industrial and technology education students. *Journal of Technology Education*, 26, 88–101. doi: 10.21061/jte.v26i1.a.6

- Keehner, M., Lippa, Y., Montello, D. R., Tendick, F., & Hegarty, M. (2006). Learning a spatial skill for surgery: How the contributions of abilities change with practice. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 487–503. doi:10.1002/acp.1198
- Komlódi, A., Józsa, E., Hercegf, K., Kucsora, S., & Borics, D. (2011, July). *Empirical usability evaluation of the Wii controller as an input device for the VirCA immersive virtual space*. Paper presented at the Second International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), Budapest, Hungary. Abstract abgerufen unter <http://ieeexplore.ieee.org/document/5999481/>
- Krüger, J. K., & Suchan, B. (2016). You should be the specialist! Weak mental rotation performance in aviation security screeners – reduced performance level in aviation security with no gender effect. *Frontiers in Psychology*, 7, 33. doi:10.3389/fpsyg.2016.00333
- Landgraf, S., Krebs, M.-O., Olié, J.-P., Committeri, G., van der Meer, E., Berthoz, A., & Amado, I. (2010). Real world referencing and schizophrenia: Are we experiencing the same reality? *Neuropsychologia*, 48, 2922–2930. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.05.034
- Langlois, J., Wells, G. A., Lecourtois, M., Bergeron, G., Yetisir, E., & Martin, M. (2013). Sex differences in spatial abilities of medical graduates entering residency programs. *Anatomical Sciences Education*, 6, 368–375. doi:10.1002/ase.1360
- León, I., Cimadevilla, J. M., & Tascón, L. (2014). Developmental gender differences in children in a virtual spatial memory task. *Neuropsychology*, 28, 485–495. doi:10.1037/neu0000054
- Li, H., Zhang, Y., Wu, C., & Mei, D. (2016). Effects of field dependence-independence and frame of reference on navigation performance using multi-dimensional electronic maps. *Personality and Individual Differences*, 97, 289–299. doi:10.1016/j.paid.2016.03.078

- Lipp, I., Benedek, M., Fink, A., Koschutnig, K., Reishofer, G., Bergner, S., ... Neubauer, A. (2012). Investigating neural efficiency in the visuo-spatial domain: An fMRI study. *PLOS ONE*, 7, e51316.
doi:10.1371/journal.pone.0051316
- Lizana, P. A., Merino, C., Bassaber, A., Henríquez, R., Vega-Fernández, G., & Binvignat, O. (2015). Aprendizaje de la anatomía humana utilizando modelos tridimensionales a escala: Experiencia con la articulación de rodilla en profesores de biología en formación. *International Journal of Morphology*, 33, 1299–1306. doi:10.4067/S0717-95022015000400018
- Lobben, A., Lawrence, M., & Pickett, R. (2014). The map effect. *Annals of the Association of American Geographers*, 104, 96–113.
doi:10.1080/00045608.2013.846172
- Lütke, N., & Lange-Küttner, C. (2017). Keeping it in three dimensions: Measuring the development of mental rotation in children with the rotated colour cube test (RCCT). *International Journal of Developmental Science*, 9, 95–114.
doi:10.3233/DEV-14154
- Macedonio, M. F., Parsons, T. D., Digiuseppe, R. A., Weiderhold, B. A., & Rizzo, A. A. (2007). Immersiveness and physiological arousal within panoramic video-based virtual reality. *CyberPsychology & Behavior*, 10, 508–515.
doi:10.1089/cpb.2007.9997
- Madan, C. R., & Singhal, A. (2015). No sex differences in the TAMI. *Cognitive Processing*, 16, 203–209. doi:10.1007/s10339-014-0644-y
- Martin-Dorta, N., Sanchez-Berriel, I., Bravo, M., Hernandez, J., Saorin, J. L., & Contero, M. (2014). Virtual Blocks: A serious game for spatial ability improvement on mobile devices. *Multimedia Tools and Applications*, 73, 1575–1595. doi:10.1007/s11042-013-1652-0
- Mazalek, A., Nitsche, M., Chandrasekharan, S., Welsh, T., Clifton, P., Quitmeyer, A., ... Kirschner, F. (2012). Recognising your self in virtual avatars. *International Journal of Arts and Technology*, 6, 83–105.
doi:10.1504/IJART.2013.050693

- McNamara, A., Moakes, K., Aston, P., Gavin, C., & Sterr, A. (2014). The importance of the derivative in sex-hormone cycles: A reason why behavioural measures in sex-hormone studies are so mercurial. *PLOS ONE*, 9, e111891. doi:10.1371/journal.pone.0111891
- Meijer, F., & van den Broek, E. L. (2010). Representing 3D virtual objects: Interaction between visuo-spatial ability and type of exploration. *Vision Research*, 50, 630–635. doi:10.1016/j.visres.2010.01.016
- Mellet, E., Jobard, G., Zago, L., Crivello, F., Petit, L., Joliot, M., ... Tzourio-Mazoyer, N. (2014). Relationships between hand laterality and verbal and spatial skills in 436 healthy adults balanced for handedness. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 19, 383–404. doi:10.1080/1357650X.2013.796965
- Meneghetti, C., Borella, E., & Pazzaglia, F. (2016). Mental rotation training: transfer and maintenance effects on spatial abilities. *Psychological Research*, 80, 113–127. doi:10.1007/s00426-014-0644-7
- Meneghetti, C., Cardillo, R., Mammarella, I. C., Caviola, S., & Borella, E. (2017). The role of practice and strategy in mental rotation training: transfer and maintenance effects. *Psychological Research*, 81, 415–431. doi:10.1007/s00426-016-0749-2
- Metzler, R., Stein, D., Tetzlaff, R., Bruckner, T., Meinzer, H.-P., Büchler, M. W., ... Fischer, L. (2012). Teaching on three-dimensional presentation does not improve the understanding of according CT images: A randomized controlled study. *Teaching and Learning in Medicine*, 24, 140–148. doi:10.1080/10401334.2012.664963
- Moè, A. (2016). Teaching motivation and strategies to improve mental rotation abilities. *Intelligence*, 59, 16–23. doi:10.1016/j.intell.2016.10.004
- Moreau, D. (2013). Differentiating two- from three-dimensional mental rotation training effects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66, 1399–1413. doi:10.1080/17470218.2012.744761
- Muffato, V., Meneghetti, C., & De Beni, R. (2016). Not all is lost in older adults' route learning: The role of visuo-spatial abilities and type of task. *Journal of Environmental Psychology*, 47, 230–241. doi:10.1016/j.jenvp.2016.07.003

- Münzer, S., & Zadeh, M. V. (2016). Acquisition of spatial knowledge through self-directed interaction with a virtual model of a multi-level building: Effects of training and individual differences. *Computers in Human Behavior*, 64, 191–205. doi:10.1016/j.chb.2016.06.047
- Nekovarova, T., Nedvidek, J., Klement, D., Rokyta, R., & Bures, J. (2013). Mental transformations of spatial stimuli in humans and in monkeys: Rotation vs. translocation. *Behavioural Brain Research*, 240, 182–191. doi:10.1016/j.bbr.2012.11.008
- Neuburger, S., Ruthsatz, V., Jansen, P., & Quaiser-Pohl, C. (2015). Can girls think spatially? Influence of implicit gender stereotype activation and rotational axis on fourth graders' mental-rotation performance. *Learning and Individual Differences*, 37, 169–175. doi:10.1016/j.lindif.2014.09.003
- Nguyen, A., & Rank, S. (2016). Spatial involvement in training mental rotation with minecraft. *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play Companion Extended Abstracts*, 245–252. doi:10.1145/2968120.2987747
- Nguyen, N., Mulla, A., Nelson, A. J., & Wilson, T. D. (2014). Visuospatial anatomy comprehension: The role of spatial visualization ability and problem-solving strategies: Spatial anatomy task performance. *Anatomical Sciences Education*, 7, 280–288. doi:10.1002/ase.1415
- Nilsson, T., Hedman, L., & Ahlqvist, J. (2007). Visual-spatial ability and interpretation of three-dimensional information in radiographs. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 36, 86–91. doi:10.1259/dmfr/56593635
- Norman, J. F., Bartholomew, A. N., & Burton, C. L. (2008). Aging preserves the ability to perceive 3D object shape from static but not deforming boundary contours. *Acta Psychologica*, 129, 198–207. doi:10.1016/j.actpsy.2008.06.002
- Nowak, N. T., & Moffat, S. D. (2011). The relationship between second to fourth digit ratio, spatial cognition, and virtual navigation. *Archives of Sexual Behavior*, 40, 575–585. doi:10.1007/s10508-010-9668-2

- Olsen, B. I., Laeng, B., Kristiansen, K.-A., & Hartvigsen, G. (2013). Size does matter: Women mentally rotate large objects faster than men. *Scandinavian Journal of Psychology*, 54, 196–204. doi:10.1111/sjop.12043
- Otero Dadín, C., Rodríguez Salgado, D., & Andrade Fernández, E. (2009). Natural sex hormone cycles and gender differences in memory. *Actas Espanolas De Psiquiatria*, 37, 68–74. Abgerufen unter <https://pdfs.semanticscholar.org/4d17/7f9f93dd581b6649b7122e5475e9adc8d4c1.pdf>
- Palermo, L., Iaria, G., & Guariglia, C. (2008). Mental imagery skills and topographical orientation in humans: A correlation study. *Behavioural Brain Research*, 192, 248–253. doi:10.1016/j.bbr.2008.04.014
- Parsons, T. D. (2014). Virtual teacher and classroom for assessment of neurodevelopmental disorders. In A. L. Brooks, S. Brahnam, & L. C. Jain (Eds.), *Technologies of Inclusive Well-Being* (pp. 121–137). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. doi:10.1007/978-3-642-45432-5_7
- Parsons T.D., Courtney C., Cosand L., Iyer A., Rizzo A.A., Oie K. (2009) Assessment of Psychophysiological Differences of West Point Cadets and Civilian Controls Immersed within a Virtual Environment. In: Schmorow D.D., Estabrooke I.V., Grootjen M. (Eds.) *Foundations of Augmented Cognition. Neuroergonomics and Operational Neuroscience. FAC 2009. Lecture Notes in Computer Science*, vol 5638 (pp. 514–523). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag
- Parsons, T. D., Iyer, A., Cosand, L., Courtney, C., & Rizzo, A. A. (2009). Neurocognitive and psychophysiological analysis of human performance within virtual reality environments. *Studies in Health Technology and Informatics*, 142, 247–252. doi:10.3233/978-1-58603-964-6-247
- Parsons, T. D., & Rizzo, A. A. (2008). Initial validation of a virtual environment for assessment of memory functioning: Virtual reality cognitive performance assessment test. *CyberPsychology & Behavior*, 11, 17–25. doi:10.1089/cpb.2007.9934

- Parsons, T. D., Silva, T. M., Pair, J., & Rizzo, A. A. (2008). Virtual environment for assessment of neurocognitive functioning: Virtual reality cognitive performance assessment test. *Medicine Meets Virtual Reality 16*, 132, 351–356. Abgerufen unter <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.720.8339&rep=rep1&type=pdf>
- Pilz, K. S., Konar, Y., Vuong, Q. C., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (2011). Age-related changes in matching novel objects across viewpoints. *Vision Research*, 51, 1958–1965. doi:10.1016/j.visres.2011.07.009
- Roach, V. A., Brandt, M. G., Moore, C. C., & Wilson, T. D. (2012). Is three-dimensional videography the cutting edge of surgical skill acquisition? *Anatomical Sciences Education*, 5, 138–145. doi:10.1002/ase.1262
- Roach, V. A., Fraser, G. M., Kryklywy, J. H., Mitchell, D. G. V., & Wilson, T. D. (2016). The eye of the beholder: Can patterns in eye movement reveal aptitudes for spatial reasoning?: The eye of the beholder. *Anatomical Sciences Education*, 9, 357–366. doi:10.1002/ase.1583
- Roca-González, C., Martín-Gutierrez, J., García-Dominguez, M., & del Carmen Mato Carrodegua, M. (2017). Virtual technologies to develop visual-spatial ability in engineering students. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 13. doi:10.12973/eurasia.2017.00625a
- Rodán, A., Contreras, M. J., Elosúa, M. R., & Gimeno, P. (2016). Experimental but not sex differences of a mental rotation training program on adolescents. *Frontiers in Psychology*, 7. doi:10.3389/fpsyg.2016.01050
- Rodrigues, P. C., Vasconcelos, O., Barreiros, J., Barbosa, R., & Trifilio, F. (2009). Functional asymmetry in a simple coincidence-anticipation task: Effects of handedness. *European Journal of Sport Science*, 9, 115–123. doi:10.1080/17461390802603903
- Ruddle, R. A., & Jones, D. M. (2001). Manual and virtual rotation of three-dimensional object. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7, 286–296. doi:10.1037//1076-898X.7.4.286

- Schoenfeld, R., Lehmann, W., & Lepow, B. (2010). Effects of age and sex in mental rotation and spatial learning from virtual environments. *Journal of Individual Differences*, 31, 78–82. doi:10.1027/1614-0001/a000014
- Schöning, S., Engelen, A., Kugel, H., Schäfer, S., Schiffbauer, H., Zwitterlood, P., ... Konrad, C. (2007). Functional anatomy of visuo-spatial working memory during mental rotation is influenced by sex, menstrual cycle, and sex steroid hormones. *Neuropsychologia*, 45, 3203–3214. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2007.06.011
- Sekiguchi, A., Yokoyama, S., Kasahara, S., Yomogida, Y., Takeuchi, H., Ogawa, T., ... Kawashima, R. (2011). Neural bases of a specific strategy for visuospatial processing in rugby players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43, 1857–1862. doi:10.1249/MSS.0b013e31821920f3
- Seurinck, R., Vingerhoets, G., de Lange, F. P., & Achten, E. (2004). Does egocentric mental rotation elicit sex differences? *NeuroImage*, 23, 1440–1449. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.08.010
- Shafqat, A., Ferguson, E., Thanawala, V., Bedford, N. M., Hardman, J. G., & McCahon, R. A. (2015). Visuospatial ability as a predictor of novice performance in ultrasound-guided regional anesthesia. *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 123, 1188–1197. doi:10.1097/ALN.0000000000000870.
- Shakeshaft, N. G., Rimfeld, K., Schofield, K. L., Selzam, S., Malanchini, M., Rodic, M., ... Plomin, R. (2016). Rotation is visualisation, 3D is 2D: Using a novel measure to investigate the genetics of spatial ability. *Scientific Reports*, 6, 30545. doi:10.1038/srep30545
- Shavali, M. (2004). The effects of cad-like software on the spatial ability of middle school students. *Journal of Educational Computing Research*, 31, 37–49. doi:10.2190/X8BU-WJGY-DVRU-WE2L
- Shepard, R. N., L., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701–703. doi:10.1126/science.171.3972.701
- Shute, V. J., Ventura, M., & Ke, F. (2015). The power of play: The effects of portal 2 and lumosity on cognitive and noncognitive skills. *Computers & Education*, 80, 58–67. doi:10.1016/j.compedu.2014.08.013

- Sidhu, R. S., Tompa, D., Jang, R., Grober, E. D., Johnston, K. W., Reznick, R. K., & Hamstra, S. J. (2004). Interpretation of three-dimensional structure from two-dimensional endovascular images: implications for educators in vascular surgery. *Journal of Vascular Surgery*, 39, 1305–1311. doi:10.1016/j.jvs.2004.02.024
- Smith, G. G., & Olkun, S. (2005). Why interactivity works: Interactive priming of mental rotation. *Journal of Educational Computing Research*, 32, 93–111. doi:10.2190/4KA5-03UX-A70E-E53W
- Sneider, J. T., Hamilton, D. A., Cohen-Gilbert, J. E., Crowley, D. J., Rosso, I. M., & Silveri, M. M. (2015). Sex differences in spatial navigation and perception in human adolescents and emerging adults. *Behavioural Processes*, 111, 42–50. doi:10.1016/j.beproc.2014.11.015
- Steele (1997). A threat in the air: How stereotypes shape intellectual identity and performance. *American Psychologist*, 52, 613–629. doi:10.1037/0003-066X.52.6.613
- Steele, C. M., & Aronson, J. (1995). Stereotype threat and the intellectual test performance of African Americans. *Journal of Personality and Social Psychology*, 69, 797–811. doi:10.1037/0022-3514.69.5.797
- Steinisch, M., Sulpizio, V., Iorio, A. A., Di, N. A., Haueisen, J., Committeri, G., & Comani, S. (2011). A virtual environment for egocentric and allocentric mental transformations: A study on a nonclinical population of adults with distinct levels of schizotypy. *Biomedizinische Technik/Biomedical Engineering*, 56, 291–299. doi:10.1515/BMT.2011.107
- Strelnikov, K., Rouger, J., Lagleyre, S., Fraysse, B., Deguine, O., & Barone, P. (2009). Improvement in speech-reading ability by auditory training: Evidence from gender differences in normally hearing, deaf and cochlear implanted subjects. *Neuropsychologia*, 47, 972–979. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.10.017

- Ström, P., Hedman, L., Särnå, L., Kjellin, A., Wredmark, T., & Felländer-Tsai, L. (2006). Early exposure to haptic feedback enhances performance in surgical simulator training: a prospective randomized crossover study in surgical residents. *Surgical Endoscopy And Other Interventional Techniques*, 20, 1383–1388. doi:10.1007/s00464-005-0545-3
- Stull, A. T., & Hegarty, M. (2016). Model manipulation and learning: Fostering representational competence with virtual and concrete models. *Journal of Educational Psychology*, 108, 509–527. doi:10.1037/edu0000077
- Sukumar, M. K., Zhou, M. Z., & Mohler, J. L. (2017). Strategy variability in solving spatial visualization tasks: Rethinking the purdue spatial visualization test-developments. *Proceedings of the Spatial Visualization Within Engineering Design Graphics*. Abgerufen unter <https://peer.asee.org/strategy-variability-in-solving-spatial-visualization-tasks-rethinking-the-purdue-spatial-visualization-test-developments.pdf>
- Taillade, M., N’Kaoua, B., & Sauzéon, H. (2016). Age-related differences and cognitive correlates of self-reported and direct navigation performance: The effect of real and virtual test conditions manipulation. *Frontiers in Psychology*, 6. 2030. doi:10.3389/fpsyg.2015.02034
- ter Horst, A. C., Jongsma, M. L. A., Janssen, L. K., van Lier, R., & Steenbergen, B. (2012). Different mental rotation strategies reflected in the rotation related negativity. *Psychophysiology*, 49, 566–573. doi:10.1111/j.1469-8986.2011.01322.x
- Thomsen, T., Hugdahl, K., Ersland, L., Barndon, R., Lundervold, A., Smievolll, A. I., ... Sundberg, H. (2000). Functional magnetic resonance imaging (fMRI) study of sex differences in a mental rotation task. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 6, 1186–1196. Abgerufen unter <https://www.medscimonit.com/download/index/idArt/421166>
- Tonelli, A., Gori, M., & Brayda, L. (2016). The influence of tactile cognitive maps on auditory space perception in sighted persons. *Frontiers in Psychology*, 7, 1683. doi:10.3389/fpsyg.2016.01683

- Toptas, V., Çelik, S., & Karaca, E. T. (2012). Improving 8th grades spatial thinking abilities through a 3D modeling program. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 11, 128-134. Abgerufen unter <http://www.tojet.net/articles/v11i2/11213.pdf>
- Torner, J., Alpiste, F., & Brigos, M. (2015). Spatial ability in computer-aided design courses. *Computer-Aided Design and Applications*, 12, 36–44.
doi:10.1080/16864360.2014.949572
- Tremblay, L., & Elliott, D. (2007). Sex differences in judging self-orientation: the morphological horizon and body pitch. *BMC Neuroscience*, 8, 6–14.
doi:10.1186/1471-2202-8-6
- van der Vloed, G., Csathó, Á., & van der Helm, P. A. (2005). Symmetry and repetition in perspective. *Acta Psychologica*, 120, 74–92.
doi:10.1016/j.actpsy.2005.03.006
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations: a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 599–604.
doi:10.2466/pms.1978.47.2.599
- Verde, P., Piccardi, L., Bianchini, F., Trivelloni, P., Guariglia, C., & Tomao, E. (2013). Gender effects on mental rotation in pilots vs. nonpilots. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 84, 726–729.
doi:10.3357/ASEM.3466.2013
- Vidal, M., & Berthoz, A. (2005). Navigating in a virtual 3D maze: Body and gravity, two possible reference frames for perceiving and memorizing. *Spatial Cognition & Computation*, 5, 139–161.
doi:10.1080/13875868.2005.9683801
- Wagemans, J., Vanden Bossche, P., Segers, N., & d'Ydewalle, G. (1994). An affine group model and the perception of orthographically projected planar random polygons. *Journal of Mathematical Psychology*, 38, 59–72.
doi:10.1006/jmps.1994.1003

- Wallet, G., Sauzéon, H., Pala, P. A., Larrue, F., Zheng, X., & N’Kaoua, B. (2011). Virtual/real transfer of spatial knowledge: Benefit from visual fidelity provided in a virtual environment and impact of active navigation. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, *14*, 417–423.
doi:10.1089/cyber.2009.0187
- Webb, R. M., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2007). Spatial ability: A neglected dimension in talent searches for intellectually precocious youth. *Journal of Educational Psychology*, *99*, 397–420. doi:10.1037/0022-0663.99.2.397
- Wei, W., Chen, C., Dong, Q., & Zhou, X. (2016). Sex differences in gray matter volume of the right anterior hippocampus explain sex differences in three-dimensional mental rotation. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*.
doi:10.3389/fnhum.2016.00580
- Weinberger, A. B., Iyer, H., & Green, A. E. (2016). Conscious augmentation of creative state enhances “real” creativity in open-ended analogical reasoning. *PLOS ONE*, *11*, e0150773. doi:10.1371/journal.pone.0150773
- Weisberg, S. M., & Newcombe, N. S. (2016). How do (some) people make a cognitive map? Routes, places, and working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *42*, 768–785.
doi:10.1037/xlm0000200
- Weisberg, S. M., Schinazi, V. R., Newcombe, N. S., Shipley, T. F., & Epstein, R. A. (2014). Variations in cognitive maps: Understanding individual differences in navigation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *40*, 669–682. doi:10.1037/a0035261
- Wharton, W., Gleason, C. E., Miller, V. M., & Asthana, S. (2013). Rationale and design of the Kronos Early Estrogen Prevention Study (KEEPS) and the KEEPS cognitive and affective sub study (KEEPS Cog). *Brain Research*, *1514*, 12–17. doi:10.1016/j.brainres.2013.04.011
- Wiebe, E. N. (1994). Evaluation of alternative methods of representing three-dimensional objects on computer displays. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *38*, 1326–1330.
Abgerufen unter <http://pro.sagepub.com/content/38/19/1326.short>

- Wiederhold, B. K. (2005, July). *A decade of VR*. Paper presented at the 10th Annual Cybertherapy, Basel, Schweiz. Abstract abgerufen unter <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA436129>
- Wilkins, R. A. (1999). *Piaget in 3Space: Using the three mountains test to design a constructivist learning environment*. Unveröffentlichte Dissertation: Ohio State University.
- Wilkins, L. K., Girard, T. A., King, J., King, M. J., Herdman, K. A., Christensen, B. K., & King, J. (2013). Spatial-memory deficit in schizophrenia spectrum disorders under viewpoint-independent demands in the virtual courtyard task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 35, 1082–1093. doi:10.1080/13803395.2013.857389
- Willems, B., & Wagemans, J. (2001). Matching multicomponent objects from different viewpoints: Mental rotation or normalization? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 1090–1115. doi:10.1037/0096-1523.27.5.1090
- Yeh, S. C., Wang, L. J., Wang, C. –Y., Lin, P. –H., Chen, G. –D., & Rizzo, A. (2014). Motion controllers for learners to manipulate and interact with 3D objects for mental rotation training. *British Journal of Educational Technology*, 45, 666–675. doi:10.1111/bjet.12059
- Yurt, E. & Tunkler V. (2016). A study on the spatial abilities of prospective social studies teachers: A mixed method research. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 16, 965–986. doi:10.12738/estp.2016.3.0324
- Ziemek, T., Creem-Regehr, S., Thompson, W., & Whitaker, R. (2012). Evaluating the effectiveness of orientation indicators with an awareness of individual differences. *ACM Transactions on Applied Perception*, 9, 1–23. doi:10.1145/2207216.2207218
- Ziemek, T. R., Creem-Regehr, S. H., & Thompson, W. B. (2008). Using mental rotation as a methodology to evaluate shape perception in computer graphics. *Proceedings of the 5th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*, 201–201. doi:10.1145/1394281.1394327

Tiere untersucht:

- Cross, F. R., & Jackson, R. R. (2014). Specialised use of working memory by *Portia africana*, a spider-eating salticid. *Animal Cognition*, 17, 435–444. doi:10.1007/s10071-013-0675-2
- Ge, J.-F., Qi, C.-C., Qiao, J.-P., Wang, C.-W., & Zhou, J.-N. (2013). Sex differences in ICR mice in the Morris water maze task. *Physiological research*, 62, 107–117. Abgerufen unter <https://search.proquest.com/docview/1348590819?accountid=14682>.
- Hodosy, J., Páleš, J., Ostatníková, D., & Celec, P. (2010). The effects of exogenous testosterone on spatial memory in rats. *Central European Journal of Biology*, 5, 466–471. doi:10.2478/s11535-010-0037-x
- Locklear, M. N., & Kritzer, M. F. (2014). Assessment of the effects of sex and sex hormones on spatial cognition in adult rats using the Barnes maze. *Hormones and Behavior*, 66, 298–308. doi:10.1016/j.yhbeh.2014.06.006
- Murty, N. A. R., & Arun, S. P. (2015). Dynamics of 3D view invariance in monkey inferotemporal cortex. *Journal of Neurophysiology*, 113, 2180–2194. doi:10.1152/jn.00810.2014
- Salmaso, N., Nadeau, J., & Woodside, B. (2009). Steroid hormones and maternal experience interact to induce glial plasticity in the cingulate cortex. *The European Journal of Neuroscience*, 29, 786–794. doi:10.1111/j.1460-9568.2009.06627.x
- Schluessel, V., Kranietakes, H., & Bleckmann, H. (2014). Visual discrimination of rotated 3D objects in Malawi cichlids (*Pseudotropheus* sp.): A first indication for form constancy in fishes. *Animal Cognition*, 17, 359–371. doi:10.1007/s10071-013-0667-2
- Spritzer, M. D., Daviau, E. D., Coneeny, M. K., Engelman, S. M., Prince, W. T., & Rodriguez-Wisdom, K. N. (2011). Effects of testosterone on spatial learning and memory in adult male rats. *Hormones and behavior*, 59, 484–496. doi:10.1016/j.yhbeh.2011.01.009

Spritzer, M. D., Fox, E. C., Larsen, G. D., Batson, C. G., Wagner, B. A., & Maher, J. (2013). Testosterone influences spatial strategy preferences among adult male rats. *Hormones and Behavior*, 63, 800–812.
doi:10.1016/j.yhbeh.2013.03.018

PatientInnen untersucht:

Agarwal, S. M., Danivas, V., Amaresha, A. C., Shivakumar, V., Kalmady, S. V., Bose, A., ... Venkatasubramanian, G. (2015). Cognitive mapping deficits in schizophrenia: Evidence from clinical correlates of visuospatial transformations. *Psychiatry Research*, 228, 304–311.

doi:10.1016/j.psychres.2015.05.096

Baron, S., Ulstein, I., & Werheid, K. (2015). Psychosocial interventions in Alzheimer's disease and amnesic mild cognitive impairment: Evidence for gender bias in clinical trials. *Aging & Mental Health*, 19, 290–305.

doi:10.1080/13607863.2014.938601

Beacher, F. D. C. C., Radulescu, E., Minati, L., Baron-Cohen, S., Lombardo, M. V., Lai, M.-C., ... Critchley, H. D. (2012). Sex differences and autism: Brain function during verbal fluency and mental rotation. *PLOS ONE*, 7, e38355.

doi:10.1371/journal.pone.0038355

Binkofski, F., Buccino, G., Dohle, C., Seitz, R. J., & Freund, H.-J. (1999). Mirror agnosia and mirror ataxia constitute different parietal lobe disorders. *Annals of Neurology*, 46, 51–61. doi:10.1002/1531-8249(199907)46:1<51::AID-ANA9>3.0.CO;2-Q

Broadbent, H., Farran, E. K., Chin, E., Metcalfe, K., Tassabehji, M., Turnpenny, P., ... Karmiloff-Smith, A. (2014). Genetic contributions to visuospatial cognition in Williams syndrome: Insights from two contrasting partial deletion patients. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 6, 1-13. doi:10.1186/1866-1955-6-18

- Broeren, J., Samuelsson, H., Stibrant-Sunnerhagen, K., Blomstrand, C., & Rydmark, M. (2007). Neglect assessment as an application of virtual reality. *Acta Neurologica Scandinavica*, 116, 157–163. doi:10.1111/j.1600-0404.2007.00821.x
- David, N., Aumann, C., Bewernick, B. H., Santos, N. S., Lehnhardt, F.-G., & Vogeley, K. (2010). Investigation of mentalizing and visuospatial perspective taking for self and other in Asperger syndrome. *Journal of Autism & Developmental Disorders*, 40, 290–299. doi:10.1007/s10803-009-0867-4
- Intraub, H. (2004). Anticipatory spatial representation of 3D regions explored by sighted observers and a deaf-and-blind-observer. *Cognition*, 94, 19–37. doi:10.1016/j.cognition.2003.10.013
- King, J. A., Burgess, N., Hartley, T., Vargha-Khadem, F., & O’Keefe, J. (2002). Human hippocampus and viewpoint dependence in spatial memory. *Hippocampus*, 12, 811–820. doi:10.1002/hipo.10070
- Lenroot, R. K., & Yeung, P. K. (2013). Heterogeneity within Autism spectrum disorders: What have we learned from neuroimaging studies? *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 733. doi:10.3389/fnhum.2013.00733
- Marková, H., Laczó, J., Andel, R., Hort, J., & Vlček, K. (2015). Perspective taking abilities in amnesic mild cognitive impairment and Alzheimer’s disease. *Behavioural Brain Research*, 281, 229–238. doi:10.1016/j.bbr.2014.12.033
- Ong, J. C., Seel, R. T., Carne, W. F., Brown, R., Pegg, P. O., & Jehle, P. J. (2005). A brief neuropsychological protocol for assessing patients with Parkinson’s disease. *Neurorehabilitation*, 20, 191–203. doi:10.1016/j.resuscitation.2004.11.021
- Ransome, M. I. (2012). Could androgens maintain specific domains of mental health in aging men by preserving hippocampal neurogenesis? *Neural Regeneration Research*, 7, 2227–2239. doi:10.3969/j.issn.1673-5374.2012.028.009
- Riepe, M. W., Karl, J., Tumani, H., & Von Arnim, C. A. F. (2010). Tau-proteins as gender-specific state markers in amnesic mild cognitive impairment. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 30, 93–100. doi:10.1159/000318738

- Simner, J., Mayo, N., & Spiller, M.-J. (2009). A foundation for savantism? Visuo-spatial synaesthetes present with cognitive benefits. *Cortex*, 45, 1246–1260. doi:10.1016/j.cortex.2009.07.007
- Stewart, J. C., Yeh, S.-C., Jung, Y., Yoon, H., Whitford, M., Chen, S.-Y., ... Winstein, C. J. (2007). Intervention to enhance skilled arm and hand movements after stroke: A feasibility study using a new virtual reality system. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 4, 21–27. doi:10.1186/1743-0003-4-21

Räumliche Navigation / Orientierung / Merkfähigkeit untersucht:

- Ajaj, R., Vernier, F., & Jacquemin, C. (2009). Navigation modes for combined table/screen 3D scene rendering. *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, 141–148. doi: 10.1145/1731903.1731931
- Ambosta, A. H., Reichert, J. F., & Kelly, D. M. (2013). Reorienting in virtual 3D environments: Do adult humans use principal axes, medial axes or local geometry? *PLOS ONE*, 8, e78985. doi:10.1371/journal.pone.0078985
- Andersen, N. E., Dahmani, L., Konishi, K., & Bohbot, V. D. (2012). Eye tracking, strategies, and sex differences in virtual navigation. *Neurobiology of Learning and Memory*, 97, 81–89. doi:10.1016/j.nlm.2011.09.007
- Aoki, H., Oman, C. M., & Natapoff, A. (2007). Virtual-reality-based 3D navigation training for emergency egress from spacecraft. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78, 774–783. Abgerufen unter <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17760285>
- Astur, R. S., Purton, A. J., Zaniewski, M. J., Cimadevilla, J., & Markus, E. J. (2016). Human sex differences in solving a virtual navigation problem. *Behavioural Brain Research*, 308, 236–243. doi:10.1016/j.bbr.2016.04.037

- Astur, R. S., Tropp, J., Sava, S., Constable, R. T., & Markus, E. J. (2004). Sex differences and correlations in a virtual Morris water task, a virtual radial arm maze, and mental rotation. *Behavioural Brain Research*, 151, 103–115. doi:10.1016/j.bbr.2003.08.024
- Bombeke, K., Van Looy, J., Szmalec, A., & Duyck, W. (2013). Leaving the third dimension: No measurable evidence for cognitive aftereffects of stereoscopic 3D movies: Aftereffects of stereoscopic 3D movies. *Journal of the Society for Information Display*, 21, 159–166. doi:10.1002/jsid.164
- Borsci, S., Lawson, G., Jha, B., Burges, M., & Salanitri, D. (2016). Effectiveness of a multidevice 3D virtual environment application to train car service maintenance procedures. *Virtual Reality*, 20, 41–55. doi:10.1007/s10055-015-0281-5
- Borsci, S., Lawson, G., Salanitri, D., & Jha, B. (2016). When simulated environments make the difference: The effectiveness of different types of training of car service procedures. *Virtual Reality*, 20, 83–99. doi:10.1007/s10055-016-0286-8
- Cao, C. G. L. (2000). Augmented reality displays for endoscopic orientation and navigation. *Proceedings of the CHI '00 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 91–92. doi:10.1145/633292.633346
- Castelli, L., Latini Corazzini, L., & Geminiani, G. C. (2008). Spatial navigation in large-scale virtual environments: Gender differences in survey tasks. *Computers in Human Behavior*, 24, 1643–1667. doi:10.1016/j.chb.2007.06.005
- Chai, X. J., & Jacobs, L. F. (2012). Digit ratio predicts sense of direction in women. *PLOS ONE*, 7, e32816. doi:10.1371/journal.pone.0032816
- Chandrasekera, T., Yoon, S.-Y., & D'Souza, N. (2015). Virtual environments with soundscapes: A study on immersion and effects of spatial abilities. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 42, 1003–1019. doi:10.1068/b130087p
- Dahmani, L., Ledoux, A.-A., Boyer, P., & Bohbot, V. D. (2012). Wayfinding: The effects of large displays and 3-D perception. *Behavior Research Methods*, 44, 447–454. doi:10.3758/s13428-011-0158-9

- Darken, R. P., & Cevik, H. (1999). Map usage in virtual environments: Orientation issues. *Proceedings of the IEEE Virtual Reality*, 133–140. Abgerufen unter <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/756944/>
- Daividsdottir, S., Wagenaar, R., Young, D., & Cronin-Golomb, A. (2008). Impact of optic flow perception and egocentric coordinates on veering in Parkinson's disease. *Brain*, 131, 2882–2893. doi:10.1093/brain/awn237
- de Condappa, O., & Wiener, J. M. (2016). Human place and response learning: Navigation strategy selection, pupil size and gaze behavior. *Psychological Research*, 80, 82–93. doi:10.1007/s00426-014-0642-9
- Driscoll, I., Hamilton, D. A., Yeo, R. A., Brooks, W. M., & Sutherland, R. J. (2005). Virtual navigation in humans: The impact of age, sex, and hormones on place learning. *Hormones and Behavior*, 47, 326–335. doi:10.1016/j.yhbeh.2004.11.013
- Foreman, N., Stirr, J., Pohl, J., Mandelkow, L., Lehnung, M., Herzog, A., & Leplow, B. (2000). Spatial information transfer from virtual to real versions of the Kiel locomotor maze. *Behavioural Brain Research*, 112, 53–61. doi:10.1016/S0166-4328(00)00159-5
- Furman, A. J., Clements-Stephens, A. M., Marchette, S. A., & Shelton, A. L. (2014). Persistent and stable biases in spatial learning mechanisms predict navigational style. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 14, 1375–1391. doi:10.3758/s13415-014-0279-6
- Goeke, C., Kornpetpanee, S., Köster, M., Fernández-Revelles, A. B., Gramann, K., & König, P. (2015). Cultural background shapes spatial reference frame proclivity. *Scientific Reports*, 5, 1-13. doi:10.1038/srep11426
- Gonzalez-Sanchez, J., Christopherson, R. M., Chavez-Echeagaray, M. E., Gibson, D. C., Atkinson, R., & Burleson, W. (2011). How to do multimodal detection of affective states? *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2011*. doi:10.1109/ICALT.2011.206

- Gramann, K., Müller, H. J., Eick, E.-M., & Schönebeck, B. (2005). Evidence of separable spatial representations in a virtual navigation task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 1199–1223. doi:10.1037/0096-1523.31.6.1199
- Gras, D., Daniel, M.-P., Labiale, G., Piolino, P., & Gyselinck, V. (2012). Effect of aging on real route memorization: The role of working memory and episodic memory. *Geriatric Et Psychologie Neuropsychiatrie Du Vieillissement*, 10, 463–470. doi:10.1684/pnv.2012.0370
- Hussain, D., Hanafi, S., Konishi, K., Brake, W. G., & Bohbot, V. D. (2016). Modulation of spatial and response strategies by phase of the menstrual cycle in women tested in a virtual navigation task. *Psychoneuroendocrinology*, 70, 108–117. doi:10.1016/j.psyneuen.2016.05.008
- Kim, J.-S., Gračanin, D., Yang, T., & Quek, F. (2015). Action-transferred navigation technique design approach supporting human spatial learning. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 22, 30:1–30:42. doi:10.1145/2811258
- Kitson, A., Sproll, D., & Riecke, B. E. (2016). Influence of ethnicity, gender and answering mode on a virtual point-to-origin task. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 10. doi:10.3389/fnbeh.2016.00022
- Kober, S. E., & Neuper, C. (2011). Sex differences in human EEG theta oscillations during spatial navigation in virtual reality. *International Journal of Psychophysiology*, 79, 347–355. doi:10.1016/j.ijpsycho.2010.12.002
- Koenig, S., Crucian, G., Dalrymple-Alford, J., & Dünser, A. (2011). Assessing navigation in real and virtual environments: A validation study. *International Journal on Disability and Human Development*, 10, 325–330. doi:10.1515/IJDHD.2011.050
- Korthauer, L. E., Nowak, N. T., Frahmmand, M., & Driscoll, I. (2017). Cognitive correlates of spatial navigation: Associations between executive functioning and the virtual Morris Water Task. *Behavioural Brain Research*, 317, 470–478. doi:10.1016/j.bbr.2016.10.007

- Larios, H. (2011). *Gender differences in virtual route learning*. Unveröffentlichte Dissertation: School of Interactive Arts and Technology.
- Lawton, C. A., & Morrin, K. A. (1999). Gender differences in pointing accuracy in computer-simulated 3D mazes. *Sex Roles*, 40, 73–92. doi:10.1023/A:1018830401088
- Lin, P.-C., & Chen, S.-I. (2013). The effects of gender differences on the usability of automotive on-board navigation systems – A comparison of 2D and 3D display. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 19, 40–51. doi:10.1016/j.trf.2013.03.001
- Lobben, A. K. (2007). Navigational map reading: Predicting performance and identifying relative influence of map-related abilities. *Annals of the Association of American Geographers*, 97, 64–85. doi:10.1111/j.1467-8306.2007.00524.x
- Long, J. R. (2011). *Search, inference and opponent modelling in an expert-caliber skat player*. Unveröffentlichte Dissertation: University of Alberta. Abgerufen unter <https://era.library.ualberta.ca/files/3t945r31n>
- McKenzie, G., & Klippel, A. (2016). The interaction of landmarks and map alignment in you-are-here maps. *The Cartographic Journal*, 53, 43–54. doi:10.1179/1743277414Y.0000000101
- Merrill, E. C., Yang, Y., Roskos, B., & Steele, S. (2016). Sex differences in using spatial and verbal abilities influence route learning performance in a virtual environment: A comparison of 6- to 12-year old boys and girls. *Frontiers in Psychology*, 7. doi:10.3389/fpsyg.2016.00258
- Moffat, S. D., Zonderman, A. B., & Resnick, S. M. (2001). Age differences in spatial memory in a virtual environment navigation task. *Neurobiology of Aging*, 22, 787–796. doi:10.1016/S0197-4580(01)00251-2
- Newhouse, P., Newhouse, C., & Astur, R. S. (2007). Sex differences in visual-spatial learning using a virtual water maze in pre-pubertal children. *Behavioural Brain Research*, 183, 1–7. doi:10.1016/j.bbr.2007.05.011

- Nowak, N. T., Diamond, M. P., Land, S. J., & Moffat, S. D. (2014). Contributions of sex, testosterone, and androgen receptor CAG repeat number to virtual Morris water maze performance. *Psychoneuroendocrinology*, *41*, 13–22. doi:10.1016/j.psyneuen.2013.12.003
- Parsons, T. D., McPherson, S., & Interrante, V. (2013). Enhancing neurocognitive assessment using immersive virtual reality. *Proceedings of the Virtual and Augmented Assistive Technology (VAAT), 2013 1st Workshop on*, 27–34. doi:10.1109/VAAT.2013.6786190
- Picucci, L., Caffò, A. O., & Bosco, A. (2011). Besides navigation accuracy: Gender differences in strategy selection and level of spatial confidence. *Journal of Environmental Psychology*, *31*, 430–438. doi:10.1016/j.jenvp.2011.01.005
- Previc, F. H., Krueger, W. W., Ross, R. A., Roman, M. A., & Siegel, G. (2014). The relationship between vestibular function and topographical memory in older adults. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *8*. doi:10.3389/fnint.2014.00046
- Rahman, Q., & Koerting, J. (2008). Sexual orientation-related differences in allocentric spatial memory tasks. *Hippocampus*, *18*, 55–63. doi:10.1002/hipo.20375
- Richardson, A. E., & Collaer, M. L. (2011). Virtual navigation performance: The relationship to field of view and prior video gaming experience. *Perceptual and Motor Skills*, *112*, 477–498. doi:10.2466/22.24.PMS.112.2.477-498
- Richardson, A. E., Powers, M. E., & Bousquet, L. G. (2011). Video game experience predicts virtual, but not real navigation performance. *Computers in Human Behavior*, *27*, 552–560. doi:10.1016/j.chb.2010.10.003
- Rizk-Jackson, A. M., Acevedo, S. F., Inman, D., Howieson, D., Benice, T. S., & Raber, J. (2006). Effects of sex on object recognition and spatial navigation in humans. *Behavioural Brain Research*, *173*, 181–190. doi:10.1016/j.bbr.2006.06.029
- Šafhalter, A., Vukman, K. B., & Glodež, S. (2016). The effect of 3D-modeling training on students' spatial reasoning relative to gender and grade. *Journal of Educational Computing Research*, *54*, 395–406. doi:10.1177/0735633115620430

- Sakamoto, M., & Spiers, M. V. (2014). Sex and cultural differences in spatial performance between Japanese and North Americans. *Archives of Sexual Behavior*, 43, 483–91. doi:10.1007/s10508-013-0232-8
- Sauzeon, H., N' Kaoua, B., Arvind Pala, P., Taillade, M., & Guitton, P. (2016). Age and active navigation effects on episodic memory: A virtual reality study. *British Journal of Psychology*, 107, 72–94. doi:10.1111/bjop.12123.
- Schreiber, B. T., Wickens, C. D., Renner, G. J., Alton, J. D., & Hickox, J. C. (1998). Navigational checking using 3D maps: The influence of elevation angle, azimuth; foreshortening. *Human Factors*, 40, 209–223. doi:10.1518/001872098779480497
- Shelton, A. L., & Pippitt, H. A. (2007). Fixed versus dynamic orientations in environmental learning from ground-level and aerial perspectives. *Psychological Research*, 71, 333–46. doi:10.1007/s00426-006-0088-9
- Sjölander, M., Höök, K., Nilsson, L.-G., & Andersson, G. (2005). Age differences and the acquisition of spatial knowledge in a three-dimensional environment: Evaluating the use of an overview map as a navigation aid. *International Journal of Human-Computer Studies*, 63, 537–564. doi:10.1016/j.ijhcs.2005.04.024
- Tkacz, S. (1998). Learning map interpretation: Skill acquisition and underlying abilities. *Journal of Environmental Psychology*, 18, 237–249. doi:10.1006/jevp.1998.0094
- Tlauka, M., Williams, J., & Williamson, P. (2008). Spatial ability in secondary school students: Intra-sex differences based on self-selection for physical education. *British Journal of Psychology*, 99, 427–440. doi:10.1348/000712608X282806
- Ventura, M., Shute, V., Wright, T. J., & Zhao, W. (2013). An investigation of the validity of the virtual spatial navigation assessment. *Frontiers in Psychology*, 4, 1–7. doi:10.3389/fpsyg.2013.00852
- Waller, D. (2005). The WALKABOUT: Using virtual environments to assess large-scale spatial abilities. *Computers in Human Behavior*, 21, 243–253. doi:10.1016/j.chb.2004.02.022

- Yamamoto, N., & DeGirolamo, G. J. (2012). Differential effects of aging on spatial learning through exploratory navigation and map reading. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 4. doi:10.3389/fnagi.2012.00014
- Zancada-Menendez, C., He, Q., Sampedro-Piquero, P., Lopez, L., & McNamara, T. P. (2016). Influence of bidirectional perspective on learning routes and spatial layout. *Journal of Cognitive Psychology*, 28, 474–485. doi:10.1080/20445911.2016.1143476

Kinder, jünger als 13 Jahre untersucht:

- Anwar, A., Rahman, M. M., Ferdous, S. M., Anik, S. A., & Ahmed, S. I. (2011). A computer game based approach for increasing fluency in the speech of the autistic children. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 17–18. doi:10.1109/ICALT.2011.13
- Broadbent, H. J., Farran, E. K., & Tolmie, A. (2014). Egocentric and allocentric navigation strategies in Williams syndrome and typical development. *Developmental Science*, 17, 920–934. doi:10.1111/desc.12176
- Chen, M., Zhang, Y., & Zhang, Y. (2014). Effects of a 3D printing course on mental rotation ability among 10-year-old primary students. *International Journal of Psychophysiology*, 94, 240. doi:10.1016/j.ijpsycho.2014.08.925
- Christodoulou, J., Johnson, S. P., Moore, D. M., & Moore, D. S. (2016). Seeing double: 5-month-olds' mental rotation of dynamic, 3D block stimuli presented on dual monitors. *Infant Behavior and Development*, 45, 64–70. doi:10.1016/j.infbeh.2016.09.005
- Ittyerah, M., Gaunet, F., & Rossetti, Y. (2007). Pointing with the left and right hands in congenitally blind children. *Brain and Cognition*, 64, 170–183. doi:10.1016/j.bandc.2007.02.002
- Kerns, K. A., & Berenbaum, S. A. (1991). Sex differences in spatial ability in children. *Behavior Genetics*, 21, 383–396. doi:10.1007/BF01065974

- Passig, D., & Eden, S. (2001). Virtual reality as a tool for improving spatial rotation among deaf and hard-of-hearing children. *CyberPsychology & Behavior*, 4, 681–686. doi:10.1089/109493101753376623
- Roberts, J. E., & Bell, M. A. (2002). The effects of age and sex on mental rotation performance, verbal performance, and brain electrical activity. *Developmental Psychobiology*, 40, 391–407. doi:10.1002/dev.10039
- Soska, K. C., & Johnson, S. P. (2013). Development of three-dimensional completion of complex objects. *Infancy*, 18, 325–344. doi:10.1111/j.1532-7078.2012.00127.x
- Wiedenbauer, G. & Jansen-Osmann, P. (2006). Spatial knowledge of children with spina bifida in a virtual large-scale space. *Brain and Cognition*, 62, 120–127. doi:10.1016/j.bandc.2006.04.003

Irrelevantes Thema:

- Amano, T., Kurogi, S., Eguchi, A., Nishida, T., Fuchikawa, Y., & Ida, T. (2017). A neural network model for storing and retrieving 2D images of rotated 3D object using principal components. Abgerufen unter https://www.researchgate.net/profile/Takeshi_Nishida/publication/251755086_A_Neural_Network_Model_for_Storing_and_Retrieving_2D_Images_of_Rotated_3D_Object_Using_Principal_Components/links/004635297d824573e3000000.pdf
- Amorim, M.-A. (2003). „What is my avatar seeing?": The coordination of „out-of-body“ and „embodied“ perspectives for scene recognition across views. *Visual Cognition*, 10, 157–199. doi:10.1080/713756678
- Barkowsky, T., Freksa, C., & Knauff, M. (2005). Special issue: „Spatial and visual components in mental reasoning about space“ Editorial. *Spatial Cognition & Computation*, 5, 115–117. doi:10.1080/13875868.2005.9683799

- Barnett, K. J., Finucane, C., Asher, J. E., Bargary, G., Corvin, A. P., Newell, F. N., & Mitchell, K. J. (2008). Familial patterns and the origins of individual differences in synaesthesia. *Cognition*, 106, 871–893.
doi:10.1016/j.cognition.2007.05.003
- Barnett-Cowan, M., Dyde, R. T., Thompson, C., & Harris, L. R. (2010). Multisensory determinants of orientation perception: Task-specific sex differences. *The European Journal of Neuroscience*, 31, 1899–1907.
doi:10.1111/j.1460-9568.2010.07199.x
- Bayraktar, F., & Amca, H. (2012). Interrelations between virtual-world and real-world activities: Comparison of genders, age groups, and pathological and nonpathological internet users. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 15, 263–269. doi:10.1089/cyber.2011.0337
- Bestmann, S., Thilo, K. V., Sauner, D., Siebner, H. R., & Rothwell, J. C. (2002). Parietal magnetic stimulation delays visuomotor mental rotation at increased processing demands. *NeuroImage*, 17, 1512–1520.
doi:10.1006/nimg.2002.1266
- Bhattacharya, P., Guo, M., Tao, L., Fu, Y., & Qian, K. (2011). A collaborative interactive cyber-learning platform for anywhere anytime Java programming learning. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 14–16. doi:10.1109/ICALT.2011.12
- Bhattacharya, P., Guo, M., Tao, L., Wu, B., Qian, K., & Palmer, E. K. (2011). A cloud-based cyberlearning environment for introductory computing programming education. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 12–13. doi:10.1109/ICALT.2011.11
- Cadieux, M. L., Barnett-Cowan, M., & Shore, D. I. (2010). Crossing the hands is more confusing for females than males. *Experimental Brain Research*, 204, 431–446. doi:10.1007/s00221-010-2268-5
- Cai, Y. (Ed.). (2005). *Ambient intelligence for scientific discovery: Foundations, theories, and systems*. Berlin, New York: Springer Verlag.

- Champalle, O., Sehaba, K., Mille, A., & Prie, Y. (2011). A framework for observation and analysis of learners' behavior in a full-scope simulator of a nuclear power plant – approach based on modelled traces. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 30–31. doi:10.1109/ICALT.2011.17
- Chang, W. H., Yang, J. C., & Wu, Y. C. (2011). A keyword-based video summarization learning platform with multimodal surrogates. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 37–41. doi:10.1109/ICALT.2011.19
- Chen, K. C., Wu, C. J., & Chen, G. D. (2011). A digital board game based learning system for authentic learning. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 25–29. doi:10.1109/ICALT.2011.16
- Deroualle, D., Toupet, M., van Nechel, C., Duquesne, U., Hautefort, C., & Lopez, C. (2017). Anchoring the self to the body in bilateral vestibular failure. *Plos One*, 12, e0170488. doi:10.1371/journal.pone.0170488
- Dhindsa, K., Drobinin, V., King, J., Hall, G. B., Burgess, N., & Becker, S. (2014). Examining the role of the temporo-parietal network in memory, imagery, and viewpoint transformations. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1–13. doi:10.3389/fnhum.2014.00709
- Duarte-Guterman, P., Yagi, S., Chow, C., & Galea, L. A. M. (2015). Hippocampal learning, memory, and neurogenesis: Effects of sex and estrogens across the lifespan in adults. *Hormones and Behavior*, 74, 37–52. doi:10.1016/j.yhbeh.2015.05.024

- Durdiakova, J., & Ostatnikova, D. (2015). Role of testosterone in cognitive functions modulation and etiology of above-average intellect endowment. *Ceskoslovenska Psychologie*, 59, 549–561. Abgerufen unter <http://web.b.ebscohost.com/abstract?site=ehost&scope=site&jrnl=0009062X&AN=112325640&h=OYJTY8WzFHP5jMYNyNhaKg3ZNqzU6WiR7njOz6PJ5GjgpZOnfwOouS49e5yPXp31EwvBK3%2fe8wnz6EmB4Saw%2bg%3d%3d&crl=c&resultLocal=ErrCrlNoResults&resultNs=Ehost&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d0009062X%26AN%3d112325640>
- Efremova, N., Asakura, N., Inui, T., & Abdikeev, N. (2011). Inferotemporal network model for 3D object recognition. *Proceedings of the 2011 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering*, 555–560. doi:10.1109/ICCME.2011.5876803
- Eifuku, S., De Souza, W. C., Tamura, R., Nishijo, H., & Ono, T. (2003). On the organization of face memory. *International Congress Series*, 1250, 73–85. doi:10.1016/S0531-5131(03)01011-2
- Ferguson, C. J. (2010). The modern hunter–gatherer hunts aliens and gathers power-ups: The evolutionary appeal of violent video games and how they can be beneficial. In N. Kock (Ed.), *Evolutionary Psychology and Information Systems Research* (pp. 329–342). New York: Springer Verlag.
- Fitting, S., Wedell, D. H., & Allen, G. L. (2008). External cue effects on memory for spatial location within a rotated task field. *Spatial Cognition & Computation*, 8, 219–251. doi:10.1080/13875860802039216
- Francuz, P. (2010). Eye movements during mental rotation of 2D and full-3D objects of varying types and degrees of complexity. *Perception* 39, 70–70.
- Gicquel, P. Y., & Lenne, D. (2011). A contextualized annotation model for mobile learning. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 22–24. doi:10.1109/ICALT.2011.15
- Giovannella, C., & Carcone, S. (2011). A new application to detect „emotional perception and styles“ of primary school children, and their evolution with age. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 53–55. doi:10.1109/ICALT.2011.23

- Gras, D., Gyselinck, V., Perrussel, M., Orriols, E., & Piolino, P. (2013). The role of working memory components and visuospatial abilities in route learning within a virtual environment. *Journal of Cognitive Psychology*, 25, 38–50. doi:10.1080/20445911.2012.739154
- Green, D., & Appleyard, R. (2011). The influence of VERT™ characteristics on the development of skills in skin apposition techniques. *Radiography*, 17, 178–182. doi:10.1016/j.radi.2011.04.002
- Gregson, R. A. (1998). Confusing rotation-like operations in space, mind and brain. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 51, 135–162. doi:10.1111/j.2044-8317.1998.tb00671.x
- Hames, E., & Baker, M. (2013). EEG-based comparisons of performance on a mental rotation task between learning styles and gender. *Proceedings of the 2013 IEEE Frontiers in Education Conference*, 1176–1182. doi:10.1109/FIE.2013.6685016
- Hartman, N., Connolly, P., & Bertoline, G. (2006). Developing a virtual reality-based spatial visualization assessment instrument. *Proceedings of the ASEE Annual Conference and Exposition*. Abgerufen unter <https://peer.asee.org/developing-a-virtual-reality-based-spatial-visualization-assessment-instrument.pdf>
- Hinckley, K., Tullio, J., Pausch, R., Proffitt, D., & Kassell, N. (1997). Usability analysis of 3D rotation techniques. *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 1–10. doi:10.1145/263407.263408
- Hippler, R. K., Klopfer, D. S., Leventhal, L. M., Poor, G. M., Klein, B. A., & Jaffee, S. D. (2011). More than speed? An empirical study of touchscreens and body awareness on an object manipulation task. In *Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Environments* (pp. 33–42). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. doi:10.1007/978-3-642-21605-3_4
- Hirose, M. (2001). *Human-computer interaction: INTERACT '01 : IFIP TC.13 International Conference on Human-Computer Interaction, 9th-13th July 2001, Tokyo, Japan*. Amsterdam: IOS Press.

- Höffler, T. N. (2010). Spatial ability: Its influence on learning with visualizations – a meta-analytic review. *Educational Psychology Review*, 22, 245–269.
doi:10.1007/s10648-010-9126-7
- Holland, J., Bandelow, S., & Hogervorst, E. (2011). Testosterone levels and cognition in elderly men: A review. *Maturitas*, 69, 322–337.
doi:10.1016/j.maturitas.2011.05.012
- Hsiao, H.-T., Li, S.-Y., Yang, Y.-P., Lin, L. L., Lin, S.-I., & Wang, J.-J. (2016). Cognitive function and quality of life in community-dwelling seniors with mild cognitive impairment in Taiwan. *Community Mental Health Journal*, 52, 493–498. doi:10.1007/s10597-016-9993-6
- Ioannidis, J. P., & Trikalinos, T. A. (2007). An exploratory test for an excess of significant findings. *Clinical Trials*, 4, 245–253.
doi:10.1177/1740774507079441
- Iyer, A., Cosand, L., Courtney, C., Rizzo, A., & Parsons, T. D. (2009). Considerations for designing response quantification procedures in non-traditional psychophysiological applications. In D. D. Schmorow, I. V. Estabrooke, & M. Grootjen (Eds.), *Foundations of Augmented Cognition. Neuroergonomics and Operational Neuroscience* (pp. 479–487). Berlin Heidelberg: Springer Verlag. doi:10.1007/978-3-642-02812-0_56
- James, K. H., Humphrey, G. K., & Goodale, M. A. (2001). Manipulating and recognizing virtual objects: Where the action is. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 55, 111–120. doi:10.1037/h0087358
- Jinjakam, C., & Hamamoto, K. (2011). Guidelines for virtual simulator sickness experimentation. *Proceedings of the 4th Biomedical Engineering International Conference*, 31–35. doi:10.1109/BMEiCon.2012.6172012
- Jinjakam, C., & Hamamoto, K. (2012). Simulator sickness in immersive virtual environment. *Proceedings of the 5th 2012 Biomedical Engineering International Conference*, 1–4. doi:10.1109/BMEiCon.2012.6465465

- Jinjakam, C., Odagiri, Y., Dejhan, K., & Kazuhiko, H. (2011). Comparative study of virtual sickness between a single-screen and three-screen from parallax affect. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, 5, 223–226. Abgerufen unter <http://waset.org/publications/9820/comparative-study-of-virtual-sickness-between-a-single-screen-and-three-screen-from-parallax-affect>
- Johnson, C., & Bui, P. (2015). Blocks in, blocks out: A language for 3D models. *Proceedings of the IEEE Blocks and Beyond Workshop (Blocks and Beyond)*, 77–82. doi:10.1109/BLOCKS.2015.7369007
- Jones, S., & Burnett, G. (2008). Spatial ability and learning to program. *Human technology*, 4, 47–61. Abgerufen unter <http://www.humantechnology.jyu.fi>
- Jong, M. S. Y., Lee, F. I., Lee, J. H. M., & Shang, J. (2011). A case study of an academic achievement-oriented student in game-based learning. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 7–11. doi:10.1109/ICALT.2011.10
- Jung, Y., Oh, H. J., Sng, J., Kwon, J. H., & Detenber, B. H. (2015). Revisiting gender preference for a first-person shooter videogame: Effects of non-verbal sensitivity and gender on enjoyment. *Interacting with Computers*, 27, 697–705. doi:10.1093/iwc/iwu024
- Kallonis, P., & Sampson, D. G. (2011). A 3D virtual classroom simulation for supporting school teachers training based on synectics - „Making the strange familiar“. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 4–6. doi:10.1109/ICALT.2011.9
- Kalloor, V., & Mohan, P. (2011). A mobile learning study in high school mathematics: Challenges, lessons learned and recommendations. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 45–47). doi:10.1109/ICALT.2011.21
- Koslucher, F., Haaland, E., Malsch, A., Webeler, J., & Stoffregen, T. A. (2015). Sex differences in the incidence of motion sickness induced by linear visual oscillation. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 86, 787–793. doi:10.3357/AMHP.4243.2015

- Koslucher, F., Haaland, E., & Stoffregen, T. A. (2016). Sex differences in visual performance and postural sway precede sex differences in visually induced motion sickness. *Experimental Brain Research*, 234, 313–322.
doi:10.1007/s00221-015-4462-y
- Koss, W. A., & Frick, K. M. (2017). Sex differences in hippocampal function. *Journal of Neuroscience Research*, 95, 539–562. doi:10.1002/jnr.23864
- Lange-Küttner, C., & Ebersbach, M. (2013). Girls in detail, boys in shape: Gender differences when drawing cubes in depth. *British Journal of Psychology*, 104, 413–437. doi:10.1111/bjop.12010
- Lawton, C. A. (2010). Gender, spatial abilities, and wayfinding. In J. C. Chrisler & D. R. McCreary (Ed.), *Handbook of Gender Research in Psychology* (pp. 317–341). New York: Springer Verlag.
- Llanos, C., Rodriguez, M., Rodriguez-Sabate, C., Morales, I., & Sabate, M. (2013). Mu-rhythm changes during the planning of motor and motor imagery actions. *Neuropsychologia*, 51, 1019–1026.
doi:10.1016/j.neuropsychologia.2013.02.008
- Logothetis, N. K., & Pauls, J. (1995). Psychophysical and physiological evidence for viewer-centered object representations in the primate. *Cerebral Cortex*, 5, 270–288. doi:10.1093/cercor/5.3.270
- Majerske, C. W., Mihalik, J. P., Ren, D., Collins, M. W., Reddy, C. C., Lovell, M. R., & Wagner, A. K. (2008). Concussion in sports: Postconcussive activity levels, symptoms, and neurocognitive performance. *Journal of Athletic Training*, 43, 265–274. doi:10.4085/1062-6050-43.3.265
- Masters, M. S., & Sanders, B. (1993). Is the gender difference in mental rotation disappearing? *Behavior genetics*, 23, 337–341. doi:10.1007/BF01067434
- McDermott, P. L., Riley, J. M., Gillan, D. J., Cuevas, H. M., Chintamani, K., Cao, A., ... Pandya, A. K. (2011). An analysis of teleoperator performance in conditions of display-control misalignments with and without movement cues. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 5, 139–155.
doi:10.1177/1555343411409348

- McIntire, J. P., Havig, P. R., & Geiselman, E. E. (2014). Stereoscopic 3D displays and human performance: A comprehensive review. *Displays*, 35, 18–26. doi:10.1016/j.displa.2013.10.004
- Mohr, C., Blanke, O., & Brugger, P. (2006). Perceptual aberrations impair mental own-body transformations. *Behavioral Neuroscience*, 120, 528–534. doi:10.1037/0735-7044.120.3.528
- Mohr, C., Rowe, A. C., & Blanke, O. (2010). The influence of sex and empathy on putting oneself in the shoes of others. *British Journal of Psychology*, 101, 277–291. doi:10.1348/000712609X457450
- Nardi, D., Meloni, R., Orlandi, M., & Olivetti-Belardinelli, M. (2014). Where is uphill? Exploring sex differences when reorienting on a sloped environment presented through 2-D images. *Perception*, 43, 249–264. doi:10.1068/p7622
- Neguț, A., Matu, S.-A., Sava, F. A., & David, D. (2016). Task difficulty of virtual reality-based assessment tools compared to classical paper-and-pencil or computerized measures: A meta-analytic approach. *Computers in Human Behavior*, 54, 414–424. doi:10.1016/j.chb.2015.08.029
- Neguț, A., Matu, S.-A., Sava, F. A., & David, D. (2016). Virtual reality measures in neuropsychological assessment: A meta-analytic review. *The Clinical Neuropsychologist*, 30, 165–184. doi:10.1080/13854046.2016.1144793
- Otero Dadin, C., & Rodriguez Salgado, D. (2008). Neuropsychological performance based on gender and natural variations in sexual hormones: A review. *Psicologia Conductual*, 16, 69–81.
- Parsons, T. D. (2011). Neuropsychological assessment using virtual environments: Enhanced assessment technology for improved ecological validity. In S. Brahnam, & L. C. Jain (Eds.), *Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare 6. Virtual Reality in Psychotherapy, Rehabilitation, and Assessment* (pp. 271–289). Berlin Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-642-17824-5
- Parsons, T. D., Carlew, A., & Sullivan, E. (2014). A case for the development and use of virtual reality measures for assessment of executive function. In P. Cipresso & S. Serino (Eds.), *Virtual reality: Technologies, Medical Applications and Challenges* (pp. 177–193). New York: Nova Publishers.

- Peters, M., & Battista, C. (2008). Applications of mental rotation figures of the Shepard and Metzler type and description of a mental rotation stimulus library. *Brain and Cognition*, 66, 260–264. doi:10.1016/j.bandc.2007.09.003
- Phelps, M. B. (2012). Ac 2012-3268: The effects of hands-on activities on middle school females' spatial skills and interest in technology-based careers. *Proceedings of the 2012 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, 1–16. Abgerufen unter <https://peer.asee.org/the-effects-of-hands-on-activities-on-middle-school-females-spatial-skills-and-interest-in-technology-based-careers.pdf>
- Plante, E., Boliek, C., Mahendra, N., Story, J., & Glaspey, K. (2001). Right hemisphere contribution to developmental language disorder: Neuroanatomical and behavioral evidence. *Journal of Communication Disorders*, 34, 415–436. doi:10.1016/S0021-9924(01)00059-4
- Potgieser, A. R., & de Jong, B. M. (2016). Visuomotor dissociation in cerebral scaling of size. *PloS one*, 11, e0151484. doi:10.1371/journal.pone.0151484
- Puja, J. C., & Parsons, D. (2011). A location-based mobile game for business education. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 42–44. doi:10.1109/ICALT.2011.20
- Rafi, A., Anuar, K., Samad, A., Hayati, M., & Mahadzir, M. (2005). Improving spatial ability using a Web-based Virtual Environment (WbVE). *Automation in Construction*, 14, 707–715. doi:10.1016/j.autcon.2004.12.003
- Richards, Oman, C. M., Shebilske, W., Beall, A., Liu, A., & Natapoff, A. (2003). Training, transfer, and retention of three-dimensional spatial memory in virtual environments. *Journal of Vestibular Research*, 12, 223–238. Abgerufen unter https://www.researchgate.net/publication/9087933_Training_transfer_and_retention_of_three-dimensional_spatial_memory_in_virtual_environments
- Rickus, K. (2012). Anatomies of affect: An examination of emotions as processes. Veröffentlichte Dissertation: Columbia University. doi:10.7916/D8FN1D90 Abgerufen unter <https://academiccommons.columbia.edu/catalog/ac:178937>

- Rizzo, A. A., & Buckwalter, J. G. (1997). Virtual reality and cognitive assessment and rehabilitation: The state of the art. *Studies in Health Technology and Informatics*, 44, 123–145. doi:10.3233/978-1-60750-888-5-123
- Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., & Neumann, U. (1997). Virtual reality and cognitive rehabilitation: A brief review of the future: The Journal of Head Trauma Rehabilitation. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 12, 1–15. doi:10.1097/00001199-199712000-00002
- Rizzo, A. a., Buckwalter, J. g., Neumann, U., Chua, C., Van Rooyen, A., Larson, P., ... Humphrey, L. (1999). Virtual environments for targeting cognitive processes: An overview of projects at the University of Southern California. *CyberPsychology & Behavior*, 2, 89–100. doi:10.1089/cpb.1999.2.89
- Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., Neumann, U., Kesselman, C., & Thiebaut, M. (1998). Basic issues in the application of virtual reality for the assessment and rehabilitation of cognitive impairments and functional disabilities. *CyberPsychology & Behavior*, 1, 59–78. doi:10.1089/cpb.1998.1.59
- Rousselet, G. A., Macé, M. J.-M., & Fabre-Thorpe, M. (2003). Is it an animal? Is it a human face? Fast processing in upright and inverted natural scenes. *Journal of Vision*, 3, 440–455. doi:10.1167/3.6.5
- Rousselet, G. A., Macé, M. J.-M., & Fabre-Thorpe, M. (2004). Comparing animal and face processing in the context of natural scenes using a fast categorization task. *Neurocomputing*, 58–60, 783–791. doi:10.1016/j.neucom.2004.01.127
- Saracini, C., Franke, R., Blümel, E., & Belardinelli, M. O. (2009). Comparing distance perception in different virtual environments. *Cognitive Processing*, 10, 294–296. doi:10.1007/s10339-009-0314-7
- Sawada, K., Horiuchi-Hirose, M., Saito, S., & Aoki, I. (2015). Sexual dimorphism of sulcal morphology of the ferret cerebrum revealed by MRI-based sulcal surface morphometry. *Frontiers in Neuroanatomy*, 9, 1–14. doi:10.3389/fnana.2015.00055

- Sharan, D., Ajeesh, P. S., Rameshkumar, R., Mathankumar, M., Paulina, R. J., & Manjula, M. (2012). Virtual reality based therapy for post operative rehabilitation of children with cerebral palsy. *Work*, 41, 3612–3615. doi:10.3233/WOR-2012-0667-3612
- Shi, L., & Yamanka, T. (2008). *Knowledge library - Design and Emotion*. Paper presented at the 6th Conference on Design and Emotion, Hong Kong. Abstract abgerufen unter <http://www.designandemotion.org/library/page/viewDoc/240>
- Shin, H., & Kim, K. (2015). Virtual reality for cognitive rehabilitation after brain injury: a systematic review. *Journal of Physical Therapy Science*, 27, 2999–3002. doi:10.1589/jpts.27.2999
- Shumaker, R. & Lackey, S. (Eds.). (2014). *Virtual, augmented and mixed reality. Designing and developing virtual and augmented environments* (Bd. 8525). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-642-39405-8
- Simon-Dack, S. L., Friesen, C. K., & Teder-Sälejärvi, W. A. (2009). Sex differences in auditory processing in peripersonal space: An event-related potential study. *Neuroreport*, 20, 105–110. doi:10.1097/WNR.0b013e32831befc1
- Smith, G. G., Ritzhaupt, A. D., & Tjoe, E. (2010). Strategies in visuospatial working memory for learning virtual shapes. *Applied Cognitive Psychology*, 24, 1095–1114. doi:10.1002/acp.1620
- Song, W. H., Han, D. H., & Shim, H. J. (2013). Comparison of brain activation in response to two dimensional and three dimensional online games. *Psychiatry Investigation*, 10, 115–120. doi:10.4306/pi.2013.10.2.115
- Stull, A. T., Hegarty, M., & Mayer, R. E. (2010). Anatomy learning with virtual objects. Paper presented at the *AAAI Spring Symposium: Cognitive Shape Processing*. Abgerufen unter <https://www.aaai.org/ocs/index.php/SSS/SSS10/paper/viewFile/1073/1381>
- Takaoka, R., Shimokawa, M., & Okamoto, T. (2011). A framework of educational control in game-based learning environment. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 32–36. doi:10.1109/ICALT.2011.18

- Valladares-Rodríguez, S., Pérez-Rodríguez, R., Anido-Rifón, L., & Fernández-Iglesias, M. (2016). Trends on the application of serious games to neuropsychological evaluation: A scoping review. *Journal of Biomedical Informatics*, 64, 296–319. doi:10.1016/j.jbi.2016.10.019
- Vian, J., Campos, R. L. R., Palomino, C. E. G., & Silveira, R. A. (2011). A multiagent model for searching learning objects in heterogeneous set of repositories. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 48–52. doi:10.1109/ICALT.2011.22
- Wang, L., & Carr, M. (2014). Working memory and strategy use contribute to gender differences in spatial ability. *Educational Psychologist*, 49, 261–282. doi:10.1080/00461520.2014.960568
- Wang, L., Cohen, A. S., & Carr, M. (2014). Spatial ability at two scales of representation: A meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, 36, 140–144. doi:10.1016/j.lindif.2014.10.006
- Weng, M. M., Fakinlede, I., Lin, F., Shih, T. K., & Chang, M. (2011). A conceptual design of multi-agent based personalized quiz game. *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 19–21. doi:10.1109/ICALT.2011.14
- Wraga, M., Creem-Regehr, S. H., & Proffitt, D. R. (2004). Spatial updating of virtual displays. *Memory & Cognition*, 32, 399–415. doi:10.3758/BF03195834
- Wyeld, T. (2009). The correlation between the ability to read and manually reproduce a 3D image: Some implications for 3D information visualisation. *Proceedings of the 13th Information Visualisation International Conference*, 496–501. doi:10.1109/IV.2009.79
- Wyeld, T., Calder, P., & Shen, H. (Eds.). (2015). *Computer-Human Interaction. Cognitive Effects of Spatial Interaction, Learning, and Ability* (Bd. 8433). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. doi:10.1007/978-3-319-16940-8
- Wyeld, T., & Williams, B. (2013). A non-domain specific spatial ability test for gamers using drawing and a mental rotation task. In T. Wyeld, P. Cader, & H. Shen (Eds.). *Computer-Human Interaction. Cognitive Effects of Spatial Interaction, Learning, and Ability: Vol. 8433* (pp. 114–132). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. doi:10.1007/978-3-319-16940-8_6

- Zahedi, K., Ashayeri, H., & Rahimzadeh, F. (2009). The effect of gender on affective prosody of speech. Abgerufen unter <http://en.journals.sid.ir/ViewPaper.aspx?ID=140471>
- Zhao, S., & Ooi, W. T. (2016). Modeling 3D synthetic view dissimilarity. *The Visual Computer*, 32, 429–443. doi:10.1007/s00371-015-1069-z
- Ziegler, M., & Greiff, S. (2016). A look back and a glimpse forward. *European Journal of Psychological Assessment*, 32, 251–254. doi:10.1027/1015-5759/a000387

Kein Volltext Zugriff / Fremdsprache:

- Allen, L. K., Eagleson, R., & de Ribaupierre, S. (2016). Evaluation of an online three- dimensional interactive resource for undergraduate neuroanatomy education. *Anatomical Sciences Education*, 9, 431–439. doi:10.1002/ase.1604
- Amesz, S., Tessari, A., Ottoboni, G., & Marsden, J. (2016). An observational study of implicit motor imagery using laterality recognition of the hand after stroke. *Brain Injury*, 30, 999–1004. doi:10.3109/02699052.2016.1147600
- Amorim, M.-A., Lang, W., Lindinger, G., Mayer, D., Deecke, L., & Berthoz, A. (2000). Modulation of spatial orientation processing by mental imagery instructions: A MEG study of representational momentum. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 569–582. doi:10.1162/089892900562345
- Balota, D. A., & Marsh, E. J. (2004). *Cognitive Psychology: Key Readings*. New York: Psychology Press.
- Barfield, W., Salvendy, G., & Sorkin, R. D. (1994). Judgments of orientation for computer-generated images as a function of type of rotation and level of figure complexity. *Studia Psychologica; Bratislava*, 36. Abgerufen unter <http://search.proquest.com/docview/1306141172?pq-origsite=gscholar>

- Bashir, A. M., & Bicker, R. (2013). Subjective measures to human performance in virtual environment with kinaesthetic feedback. *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Science and Information Technology*, 334–338. doi:10.1109/CSIT.2013.6588800
- Billen, E. (2004). *Gender differences in spatial ability within virtual reality*. Unveröffentlichte Dissertation: University of Abertay Dundee. Abgerufen unter <http://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.404645>
- Cai, H., & Yang, Z. (1998). A primary study on effects of the characteristics of 3-dimensional mental rotation tasks. *Psychological Science*, 21, 153–158.
- Cantero, J. de la T., Saorín, J. L., Carbonell, C., Cossío, M. D. del C., & Contero, M. (2012). Modelado 3d como herramienta educativa para el desarrollo de competencias de los nuevos grados de Bellas Artes. *Arte, Individuo y Sociedad*, 24, 179–193. doi:10.5209/rev_ARIS.2012.v24.n2.39025
- Chou, T.-L., Luh, W.-M., Cheng, C.-C., & Wu, J.-T. (1996). Effect of stimulus complexity and presentation type on mental rotation process. *Chinese Journal of Psychology*, 38, 31–40.
- Clayton, S. D. (2012). *The Oxford Handbook of Environmental and Conservation Psychology*. Oxford: Oxford University Press.
doi:10.1093/oxfordhb/9780199733026.001.0001
- Cooper, L. A. (1975). Mental rotation of random two-dimensional shapes. *Cognitive Psychology*, 7, 20–43. doi:10.1016/0010-0285(75)90003-1
- Corballis, M., C., & Sergent, J. (2017). Imagery in a commissurotomed patient. Abgerufen unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0028393288900279>
- Cui, D. (2016). *Development and evaluation of 3D stereoscopic models of vasculature of head and neck for anatomy education*. Jackson: University of Mississippi Medical Center
- de la Torre Cantero, J., Saorín, J. L., Carbonell, C., Del Castillo Cossío, M. D., & Contero, M. (2012). 3D Modeling as an educational tool for the development of skills of the new degrees in arts. *Arte, Individuo y Sociedad*, 24, 179–193. doi:10.5209/rev-ARIS.2012.v24.n2.39025

- Diaz-Orueta, U. (2016). Cognitive fitness, assessment, and cognitive rehabilitation of older population: From MMSE to computerized and VR based tools. In Y. S. Morsi, A. Shukla, & C. P. Rathore (Eds.), *Optimizing Assistive Technologies for Aging Population*, (pp. 97–128). Hershey: Medical Information Science Reference. doi:10.4018/978-1-4666-9530-6.ch005
- Drollette, E. S., Scudder, M. R., Raine, L. B., Davis Moore, R., Pontifex, M. B., Erickson, K. I., & Hillman, C. H. (2016). The sexual dimorphic association of cardiorespiratory fitness to working memory in children. *Developmental Science*, 19, 90–108. doi:10.1111/desc.12291
- Durlach, N., Allen, G., Darken, R., Garnett, R. L., Loomis, J., Templeman, J., & Wiegand, T. E. von. (2000). Virtual environments and the enhancement of spatial behavior: Towards a comprehensive research agenda. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9, 593–615. doi:10.1162/105474600300040402
- Edelman, S., & Bühlhoff, H. H. (1992). Orientation dependence in the recognition of familiar and novel views of three-dimensional objects. *Vision Research*, 32, 2385–2400. doi:10.1016/0042-6989(92)90102-O
- Fink, A., & Benedek, M. (2013). *The creative brain: Brain correlates underlying the generation of original ideas*. In O. Vartanian, A. S. Bristol, & J. C. Kaufman (Eds.), *Neuroscience of Creativity* (pp.207–232). Cambridge: MIT Press. doi: 10.7551/mitpress/9780262019583.003.0010
- Gaggioli, A., & Breining, R. (2001). perception and mental rotation of 3d-freeform surfaces in an immersive projection system. In Fröhlich, B, & designer, J. & Bullinger, H-J. (Eds.) *Proceedings of the Eurographics Workshop. Immersive Projection Technology and Virtual Environments* (pp. 71–82). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Guo, J., Jiang, G., Liu, Y., & An, M. (2016). predicting navigation performance in a multi-module space station through spatial abilities. In S. Long & B. S. Dhillon (Eds.), *Lecture Notes in Electrical Engineering: Vol. 406. Man-Machine-Environment System Engineering* (pp. 39–46). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

- Hansel, D., & Sompolinsky, H. (1996). Chaos and synchrony in a model of a hypercolumn in visual cortex. *Journal of Computational Neuroscience*, 3, 7–34. doi:10.1007/BF00158335
- Hollins, M. (1986). Haptic mental rotation: More consistent in blind subjects? *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 80, 950–952. Abgerufen unter <https://uncch.pure.elsevier.com/en/publications/haptic-mental-rotation-more-consistent-in-blind-subjects>
- Hoyek, N., Collet, C., & Guillot, A. (2010). Représentation mentale et processus moteur : Le cas de la rotation mentale. *Science & Motricité*, 71, 29–39. doi:10.1051/sm/2009013
- Hubona, G. S., & Shirah, G. W. (2006). The paleolithic stone age effect? : Gender differences performing specific computer-generated spatial tasks. *International Journal of Technology and Human Interaction (IJTHI)*, 2, 24–48. doi:10.4018/jthi.2006040102
- Isaias, P., Ifenthaler, D., Kinshuk, Sampson, D. G., & Spector, J. M. (2011). *Towards Learning and Instruction in Web 3.0: Advances in Cognitive and Educational Psychology*. New York: Springer Science & Business Media. doi:10.1007/978-1-4614-1539-8
- Jahoda, G. (1980). Sex and ethnic differences on a spatial-perceptual task: Some hypotheses tested. *British Journal of Psychology*, 71, 425–431. doi:10.1111/j.2044-8295.1980.tb01757.x
- James, K. H. (2003). *Controlling what we see: The effects of active exploration on object recognition*. Unpublizierte Dissertation: University of Western Ontario.
- Jäncke, L., Kleinschmidt, S., Mirzazade, K., Specht, H.-J., Kleinschmidt, H.-J., & Freund, H.-J. (1998). Mental rotation ability determines posterior parietal activity during tactile exploration as well as imagined and executed construction of 3D. *Neuroimage*, 7, 119.
- Jensen, U. J., Jensen, J., Ahlberg, G., & Tornvall, P. (2016). Virtual reality training in coronary angiography and its transfer effect to real-life catheterisation lab. *EuroIntervention: Journal of EuroPCR in Collaboration with the Working Group on Interventional Cardiology of the European Society of Cardiology*, 11, 1503–1510. doi:10.4244/EIJY15M06_05

- Khot, Z., Quinlan, K., Norman, G. R., & Wainman, B. (2013). The relative effectiveness of computer-based and traditional resources for education in anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 6, 211–215.
doi:10.1002/ase.1355
- Kiraly, A. (2006). The effect of solid modelling software on 3-D visualization skills. *Journal of Industrial Design and Engineering Graphics*, 1, 17–20. Abgerufen unter <http://sorging.ro/jideg/index.php/jid/article/view/16/15>
- Klonoff, E. A. (1980). Retardation Revisited. *Psyc critiques*, 25, 653–655.
doi:10.1037/018089
- Kober, S. E., Wood, G., & Neuper, C. (2013). Measuring brain activation during spatial navigation in virtual reality: A combined EEG-NIRS study. *International Journal of Computer Research*, 20, 1–24. Abgerufen unter <https://search.proquest.com/openview/3ecd26b8781f388c2396f5788561ee2a/1.pdf?pq-origsite=gscholar&cbl=2034869>
- Liu, Z. (1995). *Three-dimensional object recognition: Orientation dependence, object articulation, and surface characteristics*. Unveröffentlichte Dissertation: Brown University. Unter ACM Digital Library
- Maron, G., Barone, D. A. C., & Ramos, E. A. (2013). Spatial cognition degree of development classification using artificial neural networks and largest Lyapunov exponents. *Proceedings of the 2013 BRICS Congress on Computational Intelligence and 11th Brazilian Congress on Computational Intelligence*, 495–500. doi:10.1109/BRICS-CCI-CBIC.2013.88
- May, M., Peruch, P., & Savoyant, A. (1995). Navigating in a virtual environment with map-acquired knowledge: encoding and alignment effects. *Ecological Psychology*, 7, 21–36. doi:10.1207/s15326969eco0701_2
- McConnell, W. J. (2015). *The impact of design-based modeling instruction on seventh graders' spatial abilities and model-based argumentation*. Unveröffentlichte Dissertation: Old Dominion University. Unter ProQuest Dissertations And Theses database.

- McIntire, J. P., Havig, P. R., & Geiselman, E. E. (2012, May). *What is 3D good for? A review of human performance on stereoscopic 3D displays*. Paper presented at the SPIE 8383, Head- and Helmet-Mounted Displays XVII; and Display Technologies and Applications for Defense, Security, and Avionics VI. Abstract abgerufen unter <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=1354306>
- Merickel, M. L. (1994). The relationship between perceived realism and the cognitive abilities of children. *Journal of Research on Computing in Education*, 26, 371–381. doi:10.1080/08886504.1994.10782097
- Morganti, F., Gaggioli, A., Strambi, L., Rusconi, M. L., & Riva, G. (2006). Computer-enhanced route and survey spatial knowledge assessment in clinical neuropsychology. *Proceedings of the International Workshop on Virtual Rehabilitation*, 110–115. doi:10.1109/IWVR.2006.1707537
- Mu, X., Tian, Y., Wang, C., Guo, J., & Huang, S. (2016). Development of computerized tests for the evaluation of human three-dimensional spatial ability. In S. Long & B. S. Dhillon (Eds.), *Lecture Notes in Electrical Engineering: Vol. 406. Man-Machine-Environment System Engineering* (pp. 39–46). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Nagayama, I. (1998). An approach to free viewpoint character recognition by using modular neural network. In S. Usui & T. Omori (Eds.), *Proceedings of the 5th International Conference on Neural information processing*, 2, (pp.1098-1101). Amsterdam: IOS Press.
- Nagy-Kondor, R. (2017). Spatial ability: Measurement and development. In M. S. Khine (Ed.), *Visual-spatial Ability in STEM Education* (pp. 35–58). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. doi:10.1007/978-3-319-44385-0
- Newell, F. N., & Findlay, J. M. (1997). The effect of depth rotation on object identification. *Perception*, 26, 1231–1257. doi:10.1068/p261231
- Nilsson, T., Hedman, L., & Ahlqvist, J. (2007). Visual-spatial ability and interpretation of three-dimensional information in radiographs. *Dento-Maxillo-Facial Radiology*, 36, 86–91. doi:10.1259/dmfr/56593635

- Noël, G. P. J. C. (2013). A novel patchwork model used in lecture and laboratory to teach the three-dimensional organization of mesenteries. *Anatomical Sciences Education*, 6, 67–71. doi:10.1002/ase.1309
- Oman, C. M., Shebilske, W. L., Richards, J. T., Tubré, T. C., Beall, A. C., & Natapoff, A. (2000). Three dimensional spatial memory and learning in real and virtual environments. *Spatial Cognition and Computation*, 2, 355–372. doi:10.1023/A:1015548105563
- Parker, D. E., & Harm, D. L. (1992). Mental rotation: A key to mitigation of motion sickness in the virtual environment? *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1, 329–333. doi:10.1162/pres.1992.1.3.329
- Parsons, T. D., & Trost, Z. (2014). Virtual reality graded exposure therapy as treatment for pain-related fear and disability in chronic pain. In M. Ma, L. C. Jain, & P. Anderson (Eds.), *Virtual, Augmented Reality and Serious Games for Healthcare 1* (pp. 523–546). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. doi:10.1007/978-3-642-54816-1_25
- Patrick, C. L. (1998). *The relations among cognitive strategy, mental rotation performance and mathematical reasoning*. Unveröffentlichte Dissertation: Southern Illinois University, Carbondale. Abgerufen unter <https://elibrary.ru/item.asp?id=5524593>
- Perriault, J. (2013). Jeux virtuels. Aspects sociocognitifs et sémiotiques. *Hermès, La Revue*, 62, 92–100. Abgerufen unter <https://www.cairn.info/revue-hermes-la-revue-2012-1-p-92.htm>
- Picucci, L., Bosco, A., Caffò, A. O., D'Angelo, G., Soletti, E., Lancioni, G. E., & di Masi, M. N. (2010). A new methodology to assess individual differences in spatial memory: The computer generated version of the reorientation paradigm. In G. Salvati, & V. Rabuano (Eds.), *Perspectives on cognitive psychology* (pp. 159–196). New York: Nova Science Publishers.
- Rafi, A., & Samsudin, K. (2010). Impact of spatial ability training in desktop virtual environment. In S. Mukerji & P. Tripathi (Eds.), *Cases on Transnational Learning and Technologically Enabled Environments* (pp. 180–189). Hershey: Information Science Reference. doi:10.4018/978-1-61520-749-7.ch009

- Richardson, A. E. (2004). *Spatial representations and transformations: The influence of vision and body-based information*. Unveröffentlichte Dissertation: University of California, Santa Barbara. Abgerufen unter <https://elibrary.ru/item.asp?id=9030908>
- Riva, G. (1997). *Virtual reality in neuro-psycho-physiology: Cognitive, clinical and methodological issues in assessment and rehabilitation*. Amsterdam: IOS Press.
- Rodríguez-Melgarejo, G., Rodríguez-Angarita, Ó., Ávila-Campos, J. E., & Acevedo-Triana, C. A. (2015). Relación entre el fenómeno de la ilusión de la mano falsa y variables personales. *Suma Psicológica*, 22, 110–119. doi:10.1016/j.sumpsi.2015.07.001
- Ross, J. A., Bruce, C. D., & Sibbald, T. M. (2011). Sequencing computer-assisted learning of transformations of trigonometric functions. *Teaching Mathematics and its Applications: An International Journal of the IMA*, 30, 120–137. doi:10.1093/teamat/hrr009
- Sakurai, K. (1995). A survey of virtual reality research: From technology to psychology. *Shinrigaku kenkyu : The Japanese journal of psychology*, 66, 296–309. Abgerufen unter <http://mbbsdost.com/A-survey-virtual-reality-research-From-technology-to-psychology-Shinrigaku-kenkyu-The-Japanese-journal-psychology-Sakurai-K--1995-Oct/pubmed/11324743>
- Shani, I. (2006). Narcissistic sensations and intentional directedness: How second-order cybernetics helps dissolve the tension between the egocentric character of sensory information and the (seemingly) world-centered character of cognitive representations. *Cybernetics & Human Knowing*, 13, 87–110. Abgerufen unter <http://www.ingentaconnect.com/content/imp/chk/2006/00000013/f0020003/art00006>
- Siran, M. (2010). *Cases on transnational learning and technologically enabled environments*. Hershey: Information Science Reference. doi: 10.4018/978-1-61520-749-7

- Smith, S. S.-F. (2003). A design-based engineering graphics course for first-year students. *Engineering Design Graphics Journal*, 67, 33–42. Abgerufen unter <https://www.learntechlib.org/p/97053>
- Stachniss, C., Schill, K., & Uttal, D. (2012). *Spatial Cognition VIII: International Conference, Spatial Cognition 2012, Kloster Seeon, Germany, August 31 -- September 3, 2012, Proceedings*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Sun, G., Yao, S., & Carretero, J. A. (2013). Evaluating cognitive efficiency by measuring information contained in designers' cognitive processes. *Proceedings of the 25th International Conference on Design Theory and Methodology; ASME*, V005T06A029. doi:10.1115/DETC2013-13628
- Tafforin, C., Campan, R., & Imbert, C. (1997). Visual localization within single geometric planes of a space habitat. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 68, 192–198. Abgerufen unter <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9056026>
- Tai, S. Y., Wang, Y. W., Yeh, S. C., & Liu, T. C. (2012). The effect of stereoscopic to different spatial ability college students. *Proceedings of the 20th International Conference on Computers in Education, ICCE 2012*, 170–174. Abgerufen unter <https://scholar.lib.ntnu.edu.tw/en/publications/the-effect-of-stereoscopic-to-different-spatial-ability-college-s>
- Tanzer, N. K., Gittler, G., & E, Q. (1994). A cross-cultural comparison of a Rasch calibrated spatial ability test between Austrian and Singaporean adolescents. In A. -M, F. J. R. van, P. Boski, & P. G. Schmitz (Eds.), *Journeys into cross-cultural psychology* (pp. 96–110). Lisse, Netherlands: Swets & Zeitlinger Publishers.
- Tuzun, H., Alsancak-Sirakaya, D., Altintas-Tekin, A., & Yasar-Eren, S. (2016). An investigation of presence in three-dimensional multi-user virtual environments. *Hacettepe Universitesi Egitim Fakultesi Dergisi-Hacettepe University Journal of Education*, 31, 475–490. doi:10.16986/HUJE.2016015867
- Van Nuland, S. E., & Rogers, K. A. (2016). The anatomy of E-Learning tools: Does software usability influence learning outcomes? *Anatomical Sciences Education*, 9, 378–390. doi:10.1002/ase.1589

- Vander Heyden, K. M., M, H., & J, J. (2017). Effects of a classroom intervention with spatial play materials on children's object and viewer transformation abilities. *Developmental Psychology*, 53, 290–305. doi:10.1037/dev0000224.
- Vuk, S., Vičević, V., & Štalec, V. (2002). Mental rotation in virtual reality test. *Proceedings of the 3rd International Scientific Conference*, 640–643. Abgerufen unter <https://bib.irb.hr/prikazi-rad?&rad=134326>
- Williams, A. P. & Sutton, K. (2011). Spatial ability and its influence on the design process. *Design Principles and Practices: An International Journal*, 5, 141–152. doi:10.18848/1833-1874/CGP/v05i06/38242
- Yildiz, B., & Tüzün, H. (2011). Effects of using three-dimensional virtual environments and concrete manipulatives on spatial ability [Üç-boyutlu sanal ortam ve somut materyal kullanımının uzamsal yeteneğe etkileri]. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi H. U . Journal of Education*, 41, 498–508.

Unzureichende Daten:

- Arendasy, M. E., & Sommer, M. (2010). Evaluating the contribution of different item features to the effect size of the gender difference in three-dimensional mental rotation using automatic item generation. *Intelligence*, 38, 574–581. doi:10.1016/j.intell.2010.06.004
- Arendasy, M. E., Sommer, M., & Gittler, G. (2010). Combining automatic item generation and experimental designs to investigate the contribution of cognitive components to the gender difference in mental rotation. *Intelligence*, 38, 506–512. doi:10.1016/j.intell.2010.06.006
- Arendasy, M., Sommer, M., Hergovich, A., & Feldhammer, M. (2011). Evaluating the impact of depth cue salience in working three-dimensional mental rotation tasks by means of psychometric experiments. *Learning and Individual Differences*, 21, 403–408. doi:10.1016/j.lindif.2011.04.002

Connolly, P., Beeler, J., Connaughton, P., Price, J., & Trefz, B. (2010, June). *Spatial ability testing with augmented reality*. Paper presented at 2010 Annual Conference & Exposition, Louisville, Kentucky. Abgerufen unter: <https://peer.asee.org/15987>

Abhängige Daten:

- Bergner, S., & Neubauer, A. C. (2011). Sex and training differences in mental rotation: a behavioral and neurophysiological comparison of gifted achievers, gifted underachievers and average intelligent achievers. *High Ability Studies*, 22, 155–177. doi:10.1080/13598139.2011.628849
- Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., McGee, J. S., Bowerly, T., Zaag, C. van der, Neumann, U., ... Chua, C. (2001). Virtual environments for assessing and rehabilitating cognitive/functional performance a review of projects at the USC Integrated Media Systems Center. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10, 359–374. doi:10.1162/1054746011470226
- Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., Neumann, U., Kesselman, C., Thiébaux, M., Larson, P., & van Rooyen, A. (1998). The virtual reality mental rotation spatial skills project. *CyberPsychology & Behavior*, 1, 113–119. Abgerufen unter http://www.icdvrat.org/1998/papers/1998_25.pdf