

## **Dissertation**

# **„Blickanalysen bei mentalen Rotationsaufgaben“**

Zur Erlangung des akademischen Grades

eines Doktors der Philosophie

am Fachbereich 1 Bildungswissenschaften

der Universität Koblenz

Vorgelegt am 16.02.2024

von

Mirko Saunders, B.Sc.

Erstgutachterin: Frau Prof. Dr. Claudia Quaiser-Pohl

Zweitgutachter: Herr Prof. Dr. Wilfried Echterhoff

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	vii
Tabellenverzeichnis.....	x
Danksagung .....	xi
Zusammenfassung .....	xii
Abstract .....	xiii
1 Einleitung.....	1
2 Theoretischer Hintergrund.....	6
2.1 Mentale Rotation .....	6
2.2 Mentale Rotationstests .....	8
2.3 Leistungsunterschiede und Einflussfaktoren bei mentalen Rotationstests .....	10
2.3.1 Geschlechterunterschiede.....	11
2.3.2 Stimulusvertrautheit.....	12
2.3.3 Itemtyp.....	13
2.3.4 Komplexität der Stimuli.....	13
2.4 Lösungsstrategien .....	14
2.4.1 Ganzheitliche (holistische) Lösungsstrategien .....	15
2.4.2 Stückweise (analytische) Lösungsstrategien.....	17
2.4.3 Verbalizer vs. Visualizer .....	17
2.4.4 Blickwinkelunabhängige Strategien.....	18
2.4.5 Lösungsstrategien und Leistung.....	20

2.4.6	Herausforderungen bei der Erfassung von Lösungsstrategien.....	21
2.5	Methode des Eye-Tracking.....	22
2.5.1	Eye-Tracking und mentale Rotation .....	22
2.6	Messmethoden.....	29
2.6.1	Sakkaden .....	30
2.6.2	Fixationen.....	32
2.6.3	Fixation Duration .....	33
2.6.4	Fixation Count .....	35
2.6.5	Übergänge (Transitions).....	36
2.6.6	Area of Interest (AOI) .....	39
2.7	Ausgangslage, Zielsetzung und Fragestellungen .....	40
3	Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben .....	44
3.1	Ziele und Hypothesen.....	44
3.2	Methode.....	44
3.2.1	Teilnehmer*innen .....	44
3.2.2	Material.....	45
3.2.3	Ablauf .....	47
3.2.4	Datenanalyse .....	47
3.3	Ergebnisse.....	50
3.3.1	Beschreibung der Blickmuster.....	50
3.3.2	Häufigkeit der Blickmuster.....	54
3.3.3	Blickmuster und Testleistung.....	55

3.3.4	Blickmuster und Reaktionszeit .....	56
3.3.5	Winkel und Reaktionszeit .....	58
3.4	Diskussion .....	60
4	Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren .....	65
4.1	Ziele und Hypothesen.....	65
4.2	Weitere Fragestellungen.....	67
4.3	Methode.....	69
4.3.1	Teilnehmer*innen .....	69
4.3.2	Material.....	69
4.3.3	Messung.....	70
4.3.4	Ablauf .....	70
4.4	Ergebnisse.....	71
4.4.1	Punktzahl.....	71
4.4.2	Punktzahl und Rotationsebene.....	72
4.4.3	Punktzahl getrennt nach Rotationsebene und Geschlecht.....	73
4.4.4	Reaktionszeit.....	74
4.4.5	Reaktionszeit und Geschlecht.....	74
4.4.6	Reaktionszeit und Rotationsachse .....	75
4.4.7	Reaktionszeit nach Rotationsachse und Geschlecht.....	76
4.4.8	Reaktionszeiten von guten und schlechten Performern .....	77
4.4.9	Balanced Integration Score (BIS) zur Einteilung von guten und schlechten Performern .....	78

4.5	Analyse der Eye-Tracking Daten .....	80
4.5.1	Blickmuster.....	81
4.5.2	Anzahl der Fixationen (Gaze Count) .....	88
4.5.3	Dauer der Fixationen (Gaze Duration).....	89
4.5.4	Transitionen (Übergänge).....	91
4.5.5	Clusteranalyse der Blickmuster .....	94
4.6	Diskussion .....	99
5	Studie 3: Analyse des Blickverhaltens bei mentalen Rotationsaufgaben mit Multiple-Choice-Format .....	112
5.1	Ziele und Hypothesen.....	112
5.2	Weitere Fragestellungen.....	114
5.3	Methode.....	115
5.3.1	Teilnehmer*innen .....	115
5.3.2	Material.....	116
5.3.3	Ablauf .....	117
5.3.4	Datenanalyse .....	118
5.4	Ergebnisse.....	120
5.4.1	Punktzahl.....	120
5.4.2	Punktzahl getrennt nach Rotationsachse .....	121
5.4.3	Punktzahl getrennt nach Rotationsachse und Geschlecht .....	122
5.4.4	Bearbeitungszeit.....	123
5.4.5	Bearbeitungszeit nach Geschlecht .....	123

5.4.6	Bearbeitungszeit nach Rotationsachse .....	124
5.4.7	Bearbeitungszeit nach Rotationsachse und Geschlecht.....	125
5.4.8	Bearbeitungszeit von guten und schlechten Performern .....	126
5.4.9	Balanced Integration Score (BIS).....	127
5.5	Analyse der Eye-Tracking Daten .....	128
5.5.1	Anzahl der Fixationen (Gaze Count) .....	128
5.5.2	Transitions (Übergänge).....	130
5.6	Diskussion .....	133
6	Diskussion der Ergebnisse aller drei Studien .....	143
6.1	Identifikation und Charakterisierung von Blickmustern .....	143
6.2	Häufigkeiten der Blickmuster .....	145
6.3	Zusammenhang von Blickmuster und Leistung .....	147
6.4	Weitere Aspekte im Zusammenhang mit Blickmustern.....	148
6.5	Ergebnisse Geschlechtsunterschiede, Reaktionszeit und Leistung.....	149
6.6	Rotationsebenen .....	151
6.7	Bedeutung von Eye-Tracking für die Untersuchung der mentalen Rotation .....	153
7	Limitationen und Ausblick.....	153
	Literaturverzeichnis .....	156
	Eigenständigkeitserklärung:.....	166

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Areas of Interest (AOIs) innerhalb von Würfelfiguren von (Roach et al., 2017).....	25
Abbildung 2: Grafische Darstellung von Transitionen von (Holmqvist et al., 2015). .....	38
Abbildung 3: Beispielitems (Bürste und Schraubenschlüssel).....	45
Abbildung 4: Heatmaps der Stimuluspaare Bürste und Schraubenschlüssel. ....	49
Abbildung 5: Blickmuster 1 „Analytic“ . ....	51
Abbildung 6: Blickmuster 2 „Elaborate“ .....	52
Abbildung 7: Blickmuster 3 „Square“ .....	53
Abbildung 8: Blickmuster 4 „Uncertain“ .....	54
Abbildung 9: Häufigkeit der vier Blickmuster getrennt für die Items Schraubenschlüssel und Bürste über die verschiedenen Blickwinkel hinweg.....	55
Abbildung 10: Boxplot der Reaktionszeit und Blickmuster 1-4 für den Schraubenschlüssel .....	57
Abbildung 11: Boxplot der Reaktionszeit und Blickmuster 1-4 für die Bürste .....	58
Abbildung 12: Durchschnittliche Reaktionszeit in ms pro Winkel und Item.....	60
Abbildung 13: Boxplot der Punktzahl für Geschlechter getrennt.....	72
Abbildung 14: Raincloud mit Boxplot für die erreichte Punktzahl der auf Bild- und Tiefenebene rotierten Items .....	73
Abbildung 15: Verlauf der durchschnittlichen Reaktionszeit der Items über den Test.....	74

Abbildung 16: Verlauf der durchschnittlichen Reaktionszeit aller nicht gespiegelter Items über den Test getrennt nach Geschlecht .....	75
Abbildung 17: Raincloud mit Boxplot für die Reaktionszeit getrennt nach in Bild- und Tiefenebene rotierter Items .....	76
Abbildung 18: Beispielhafte Bereiche der AOI's für die Würfelfiguren .....	81
Abbildung 19: Blickmuster 1 „Analytic“ .....	84
Abbildung 20: Blickmuster 2 „Elaborate“ .....	85
Abbildung 21: Blickmuster 3 „Square“ .....	86
Abbildung 22: Blickmuster 4 „Uncertain“ .....	87
Abbildung 23: Blickmuster 5 „Minimal-Transition-Scan (MTS)“ .....	88
Abbildung 24: Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse .....	95
Abbildung 25: Fokussiertes Dendrogramm.....	96
Abbildung 26: Cluster Mittelwert Diagramm.....	98
Abbildung 27: Säulendiagramm und Boxplot der Punktzahl über die 3 Cluster.....	99
Abbildung 28: Screenshot eines exemplarischen Items beim computergestützten mentalenen Rotationstest. Links Ausgangsreiz, rechts die vier Vergleichsreize.....	117
Abbildung 29: Boxplot für die Gesamtpunktzahl bei männlichen und weiblichen Versuchsteilnehmern .....	121
Abbildung 30: Raincloud der durchschnittlichen Punktzahl beider Testhälften bzw. der jeweiligen Rotationsachsen .....	122
Abbildung 31: Durchschnittlichen Bearbeitungszeiten der Items während des gesamten Tests.....	123
Abbildung 32: Mittelwerte der Bearbeitungszeit pro Item getrennt nach Geschlecht .....	124

Abbildung 33: Raincloud Plot mit Boxplot der Bearbeitungszeit in Minuten aller rotierten Items beider Achsen .....	125
Abbildung 34: Prozentuale Verteilung der Fixationen für alle Stimuli .....	128
Abbildung 35: Relative Häufigkeit der Übergänge zwischen den einzelnen Stimuli .....	131

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fehlerquote der Items Schraubenschlüssel und Bürste.....	56
Tabelle 2: Ergebnisse der Bonferroni-korrigierten Post-hoc-Tests .....	59
Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Punktzahl, mittlere Reaktionszeit nicht gespiegelter Items sowie mittlere Bearbeitungszeit in Minuten für die jeweilige Kategorie .....	80
Tabelle 4: Anzahl und prozentuale Verteilung der Blickmuster.....	82
Tabelle 5: Gegenüberstellung der Anzahl korrekter und inkorrektter Lösungen nach Blickmuster.....	83
Tabelle 6: Ergebnisse berechneter multivariater Varianzanalysen für die Anzahl der Fixationen auf die vier AOI's .....	89
Tabelle 7: Ergebnisse der berechneten multivariaten Varianzanalysen für die Verweildauer auf den jeweiligen AOIs.....	90
Tabelle 8: deskriptive Statistiken der guten und schlechten Performer anhand des Mediansplits und des BIS für die Transitionen zwischen den AOIs.....	92
Tabelle 9: Unterschiede bei den Transitionen zwischen den AOI's .....	93
Tabelle 10: Ergebnisse der durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni- Tests) der Fixationen zwischen den Reizen.....	129
Tabelle 11: Relative prozentuale Häufigkeit der Übergänge von einem Stimulus zu einem anderen .....	130
Tabelle 12: Ergebnisse der durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni- Tests) für die Unterschiede bei den Übergängen (Transitionen) vom Standardreiz zu jedem der vier Vergleichsreize .....	132

## Danksagung

Mein tiefster Dank gilt zunächst meiner Doktormutter, die mich während dieses Forschungsvorhabens mit außerordentlich kompetenter Betreuung und unendlicher Geduld begleitet hat. Ihre fachliche Expertise und menschliche Wärme waren in jeder Phase dieser Arbeit unverzichtbar und eine Quelle der Inspiration.

Ein besonderer Dank gebührt auch meinen Studierenden, deren Engagement bei der Datensammlung entscheidend für den Erfolg dieses Projekts war. Ihre Neugier, Hingabe und harte Arbeit haben einen unschätzbaren Beitrag zu dieser Forschung geleistet.

Ich möchte mich ebenfalls herzlich bei meinen Kolleg\*innen bedanken, die mich mit Rat und Tat unterstützt haben. Ihre konstruktiven Feedbacks, motivierenden Gespräche und die geteilten Momente der Freude und des Zweifels haben eine Arbeitsumgebung geschaffen, die durch Kollegialität und gegenseitige Unterstützung geprägt ist.

Zuletzt, aber am wichtigsten, möchte ich meiner Frau meinen tiefsten Dank aussprechen. Ihr unermüdlicher Ansporn, gerade auf der letzten Etappe, war der Schlüssel, um diese Herausforderung zu meistern. Ihre Liebe, Geduld und ihr unerschütterlicher Glaube an mich haben mir die Kraft gegeben, auch in schwierigen Zeiten durchzuhalten.

An alle, die direkt oder indirekt zu diesem Werk beigetragen haben: Mein aufrichtiger Dank. Diese Dissertation wäre ohne euch nicht möglich gewesen.

## **Zusammenfassung**

In der vorliegenden Dissertation mit dem Titel "Blickanalysen bei mentalen Rotationsaufgaben" wird eine Analyse der visuellen Verarbeitungsprozesse bei mentalen Rotationsaufgaben mittels Eye-Tracking-Technologie durchgeführt, um die zugrundeliegenden kognitiven Prozesse und Strategien, die bei der Lösung dieser Aufgaben angewandt werden, zu untersuchen. Ein Anliegen dieser Arbeit ist es, die Problemstellung zu adressieren, wie individuelle Unterschiede, insbesondere geschlechtsspezifische Differenzen in den Blickmustern, die visuelle Verarbeitung und Leistung bei mentalen Rotationsaufgaben beeinflussen. Hierzu wurden drei Studien durchgeführt, die nicht nur die Identifikation von Blickmustern und die Analyse der Leistungsunterschiede in Bezug auf Geschlecht umfassen, sondern auch die Korrelation zwischen Blickverhalten und Leistung untersuchen. Die Ergebnisse dieser Forschung bieten Einblicke in die Mechanismen der visuellen und kognitiven Verarbeitung bei mentalen Rotationsaufgaben und heben die Bedeutung des Eye-Tracking als Forschungsinstrument in der kognitiven Psychologie hervor, um ein umfassendes Verständnis der Einflussfaktoren auf räumliches Denken und Problemlösungsstrategien zu erlangen.

## **Abstract**

In the present dissertation, entitled "Gaze analyses in mental rotation tasks," an analysis of visual processing in mental rotation tasks is conducted using eye-tracking technology to investigate the underlying cognitive processes and strategies used in solving these tasks. One aim of this thesis is to address the problem of how individual differences, particularly gender differences in gaze patterns, influence visual processing and performance in mental rotation tasks. To this end, three studies were conducted that not only included the identification of gaze patterns and the analysis of performance differences in relation to gender, but also investigated the correlation between gaze behavior and performance. The results of this research provide insights into the mechanisms of visual and cognitive processing in mental rotation tasks and highlight the importance of eye-tracking as a research tool in cognitive psychology to gain a comprehensive understanding of the factors influencing spatial reasoning and problem-solving strategies.

## 1 Einleitung

Mentale Rotation, ein kognitiver Prozess, repräsentiert die Fähigkeit, innere Vorstellungen von Objekten oder räumlichen Strukturen zu verändern, indem sie mental gedreht, gespiegelt oder auf andere Art und Weise transformiert werden, ohne dass dabei eine physische Bewegung der betreffenden Objekte erfolgt. Dieser Prozess gründet auf der Fähigkeit eines Individuums, mentale Repräsentationen von Objekten oder räumlichen Beziehungen zu erschaffen und anzupassen, so als würden sie physisch manipuliert werden. Ein Schlüsselement bei der mentalen Rotation ist der Rotationswinkel, der ein Maß für die Drehung eines Objekts um eine bestimmte Achse darstellt und in Grad angegeben wird. Er beschreibt die Größe der Drehung von der Ausgangsposition bis zur Endposition des Objekts. Der Rotationswinkel kann positiv oder negativ sein, je nach Drehrichtung des Objekts – im Uhrzeigersinn oder gegen den Uhrzeigersinn. Dies ist von Bedeutung für unsere Fähigkeit zur Erkundung räumlicher Verhältnisse, für die Navigation, zur Problemlösung, für die Handlungsplanung sowie für Interaktionen in virtuellen Umgebungen. Die Bedeutung des Rotationswinkels in der mentalen Rotation wurde 1971 erstmals von Shepard und Metzler systematisch untersucht, die feststellten, dass Individuen umso mehr Zeit dafür benötigen, gedachte Objekte in ihrer Vorstellung zu rotieren, je größer der Rotationswinkel ist. Dies legt nahe, dass die mentale Rotation keine einfache Spiegelung oder Abbildung ist, sondern eine zeitintensive kognitive Transformation erfordert. Die Faszination der mentalen Rotation offenbart sich in ihrer Kapazität, das menschliche Denken zu einer ausgeprägten Domäne des räumlichen Vorstellungsvermögens und der mentalen Manipulation von Objekten zu erheben. Diese Fähigkeit, Objekte im Geist zu drehen, zu spiegeln und zu transformieren,

erweist sich als grundlegender Eckpfeiler in Bereichen wie räumlicher Orientierung, Problemlösung, Hand-Auge-Koordination und sogar der Evolution von Technologien wie der virtuellen Realität. Von räumlicher Vorstellungskraft bis hin zur Problemlösung und Hand-Auge-Koordination ist die mentale Rotation eine Schlüsselkomponente unseres kognitiven Repertoires. Die Relevanz der mentalen Rotation erstreckt sich über theoretische Aspekte hinaus, da sie auch praktische Anwendungen findet. Dies zeigt sich beispielsweise in ihrer zentralen Rolle in mathematischen und geometrischen Fähigkeiten sowie in technischen und ingenieurwissenschaftlichen Feldern, in denen räumliche Vorstellungskraft vonnöten ist. Die Untersuchung von individuellen Unterschieden in der Fähigkeit zur mentalen Rotation kann sich auf Bildungsangebote auswirken und zur Entwicklung personalisierter Lehr- und Lernstrategien beitragen, um Schüler und Studenten in der Entwicklung ihrer räumlichen Fertigkeiten zu unterstützen. Die mentale Rotation ist eine Schlüsselfähigkeit im räumlichen Denken, die nicht nur Einblicke in die kognitive Vielfalt liefert, sondern auch in die Anpassungsfähigkeit des menschlichen Gehirns an verschiedene Anforderungen. Die Wahl von Strategien bei der Lösung mentaler Rotationsaufgaben und die Anwendung von Eye-Tracking-Technologien haben unser Verständnis dieser Fähigkeit vertieft. Diese auf Forschungsarbeiten zur mentalen Rotation basierende Erkenntnisse, tragen nicht nur zum umfassenderen Verständnis der menschlichen Kognition bei, sondern weisen ebenso praktische Anwendungen in Bildung, Neuropsychologie und Technologieentwicklung auf, insbesondere in den Bereichen virtuelle Realität und Robotik.

Die Vielfalt der individuellen Herangehensweisen an mentale Rotationsaufgaben bietet Einblicke in adaptive kognitive Strategien und die Variabilität der Denkmuster. Faktoren wie kognitive Fähigkeiten, räumliche Vorstellungskraft,

Erfahrung und Kontext beeinflussen die Wahl der Strategie, und ein Verständnis dieser Aspekte könnte nicht nur die Grundlagenforschung bereichern, sondern auch individuell angepasste Lehrpläne und personalisierte Lernmethoden ermöglichen. Dabei eröffnet die Eye-Tracking-Technologie eine Möglichkeit, Einblicke in die Strategien zur Lösung mentaler Rotationsaufgaben zu gewinnen. Die Aufzeichnung der Blickbewegungen einer Person während solcher Aufgaben ermöglicht die Analyse der Verarbeitung visueller Informationen sowie die Identifizierung der fokussierten Bereiche eines Objekts oder Bildes. Diese Daten ermöglichen Rückschlüsse auf die gewählte Strategie und die zugrunde liegenden kognitiven Prozesse. Darüber hinaus können Eye-Tracking-Daten Aufschluss über die Effizienz unterschiedlicher Personen bei der Aufgabenlösung geben. Personen, die schneller und präziser sind, könnten kohärentere Blickbewegungen aufweisen, die auf eine bessere Integration und Verarbeitung visueller Informationen hinweisen. Im Kontext der Geschlechtergleichstellung gewinnen Geschlechtsunterschiede bei räumlichen Fähigkeiten eine besondere Relevanz, insbesondere vor dem Hintergrund der engen Verknüpfung mit MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik), die historisch eine überwiegend männliche Beteiligung aufweisen. Es bleibt festzuhalten, dass die mentale Rotation eine Schlüsselfähigkeit im räumlichen Denken ist, die nicht nur Einblicke in die kognitive Vielfalt liefert, sondern auch in die Anpassungsfähigkeit des menschlichen Gehirns an verschiedene Anforderungen. Forschungen zur mentalen Rotation haben zahlreiche Faktoren untersucht, die geschlechtsbedingte Unterschiede beeinflussen könnten, darunter biologische Aspekte, die mit dem biologischen Geschlecht verbunden sind, sowie soziale Einflüsse. Die Ursachen für die beobachteten Leistungsunterschiede

zwischen den Geschlechtern in Bezug auf mentale Rotation sind jedoch aufgrund der Vielfalt der eingesetzten Tests und der komplexen Zusammenhänge noch nicht abschließend geklärt. Die Wahl von Strategien bei der Lösung mentaler Rotationsaufgaben und die Anwendung von Eye-Tracking-Technologien haben unser Verständnis dieser Fähigkeit vertieft. Durch die fortlaufende Forschung in diesem Bereich konnte nicht nur das Verständnis des menschlichen Denkens erweitert, sondern auch Möglichkeiten zur Förderung räumlicher Fähigkeiten und kognitiver Flexibilität unabhängig vom Geschlecht identifiziert werden.

Die vorliegende Dissertation widmet sich einer umfassenden Untersuchung des Themas "Blickanalysen bei mentalen Rotationsaufgaben". Die Arbeit gliedert sich zur Erreichung dieses Ziels in folgende Abschnitte. Im ersten Abschnitt, dem theoretischen Hintergrund, werden grundlegende Konzepte eingeführt, um einen begrifflich-theoretischen Rahmen für die Arbeit zu schaffen. Hierbei werden die folgenden Themenbereiche behandelt: Mentale Rotation, definiert als die Fähigkeit, Objekte in der Vorstellung zu drehen und zu manipulieren, ohne physische Bewegungen auszuführen, sowie Strategien bei mentalen Rotationsaufgaben, darunter verschiedene kognitive Ansätze von mentaler Drehung bis zu alternativen Ansätzen der Forschung. Ebenso wird eine Analyse der Forschung potenzieller Geschlechtsunterschiede bei der mentalen Rotation durchgeführt, um insbesondere die Frage zu untersuchen, ob Männer und Frauen unterschiedliche Herangehensweisen wählen oder präferenziell bestimmte Strategien verwenden. Des Weiteren wird die Rolle des Eye-Trackings als Methode zur Erfassung visueller Aufmerksamkeit und Verarbeitung beleuchtet, einschließlich seiner Grundlagen, Funktionsweisen und Anwendungsgebiete. Schließlich erfolgt eine detaillierte Betrachtung verschiedener Messmethoden und -designs sowie von

Auswertungsmethoden, die in der Forschung zur Untersuchung von Blickanalysen bei mentalen Rotationsaufgaben angewendet werden. Hier wird ein systematischer Überblick über den aktuellen Forschungsstand zum Thema mentale Rotation und Eye-Tracking gegeben. Anschließend werden drei Studien präsentiert, die sich mit dieser Thematik beschäftigen. Eine Diskussion der Ergebnisse aller drei Studien schließt sich an sowie eine Darstellung ihrer Limitationen. Ein Fazit und ein Ausblick auf mögliche weitere Forschungen zu diesem Thema schließen die Arbeit ab.

## 2 Theoretischer Hintergrund

Der folgende Abschnitt bietet eine Einleitung in die Themen mentale Rotation und Eye-Tracking. Im speziellen Kontext der mentalen Rotation liegt ein besonderes Augenmerk auf den in der Literatur dokumentierten Lösungsstrategien, da diese als fundamentale Grundlage für die in dieser Arbeit durchgeführten Forschungsstudien dienen. Die Integration von Eye-Tracking-Verfahren in die Untersuchungen fügt der Analyse eine zusätzliche Dimension hinzu, indem sie die visuellen Aufmerksamkeitsmuster während der mentalen Rotationsprozesse genauer betrachtet und weitere Hinweise auf die zugrundeliegenden kognitiven Prozesse liefert.

### 2.1 Mentale Rotation

Mentale Rotation beschreibt die kognitive Fähigkeit, zwei- und dreidimensionale Objekte im Raum mental transformieren zu können (R. N. Shepard & Metzler, 1971). Ein Objekt wird also gedanklich bis zur finalen Ausrichtung gedreht. Es handelt sich um eine grundlegende Fähigkeit des räumlichen Denkens, welche auch bei alltäglichen Aufgaben Anwendung findet. Erstmals beschrieben wurde dieser bei der Objektwahrnehmung und -erkennung stattfindende Prozess von Shepard und Metzler (1971). Jene operationalisierten diesen Prozess mit der zur Lösung einer mentalen Rotationsaufgabe notwendigen Reaktionszeit. In den darauffolgenden Jahrzehnten fanden zahlreiche Untersuchungen statt, welche die mentalen Rotationsfähigkeiten in verschiedenen Bevölkerungsgruppen analysierten. Hierbei wurden Geschlechtsunterschiede (Richardson, 1994), Altersunterschiede und Unterschiede in kognitiven Fähigkeiten, sowie der Einfluss unterschiedlichen Stimulusmaterials untersucht. Es wurde beobachtet, dass Männer tendenziell höhere Leistungen in

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

mentaler Rotation aufweisen als Frauen, wobei diese Unterschiede auf biologische, soziale und kulturelle Einflüsse zurückgeführt werden können. Ebenfalls beeinflusst die Vertrautheit in das Stimulusmaterial die Rotationsleistung wie diverse Untersuchungen zeigten.

Die Studienergebnisse von Smith und Dror (2001) deuten darauf hin, dass die Vertrautheit, insbesondere mit abstrakten Stimuli, generell zu einer Verringerung von Fehlern führte. Sie merken jedoch an, dass die Vertrautheit mit der Rotationsaufgabe als solcher sich von der Vertrautheit mit den Stimuli selbst unterscheiden könnte. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Ruthsatz et al. (2015). Sie postulieren, dass ihre Ergebnisse auf allgemeine Unterschiede in der Komplexität der Stimuli zurückzuführen sein könnten, es aber Hinweise darauf gibt, dass die Vertrautheit mit den Stimuli die Leistung beeinflusst und ein höherer Grad an Vertrautheit die Verarbeitung zu beschleunigen scheint.

Amorim, Isableu und Jarraya (2006) wiesen nach, dass die physischen Merkmale des verwendeten Reizes die kognitive Leistung in Bezug auf mentale Rotation beeinflussen. Amorim et al. (2006) postulieren, dass Bilder des menschlichen Körpers oder ähnlich strukturierte Abbildungen aufgrund der projizierten persönlichen Körperachsen eine erleichterte räumliche Ausrichtung erfahren. Diese Erleichterung der Ausrichtung unterstützt die Kohärenz des Stimulus während seiner Rotation und befähigt die Versuchspersonen dazu, latente motorische Prozesse zu nutzen, um die repräsentierte Körperhaltung zu emulieren.

Die neurowissenschaftlichen Grundlagen der mentalen Rotation wurden ebenfalls geprüft. Studien unter Einsatz bildgebender Verfahren wie der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRI) haben gezeigt, dass spezifische Gehirnareale,

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

darunter der prämotorische Kortex und der parietale Kortex, während der mentalen Rotation aktiviert sind.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass mentale Rotationsleistungen von verschiedenen Faktoren und ihren Wechselwirkungen beeinflusst werden. Als Beispiele sind hier der Einfluss des Stimulusmaterials (Cooper, 1975; Jansen-Osmann & Heil, 2007), des Alters (Berg, Hertzog & Hunt, 1982; Cerella, Poon & Fozard, 1981; Gaylord & Marsh, 1975), des Geschlechts (Jansen-Osmann & Heil, 2007; Voyer, 2011; Voyer & Hou, 2006) sowie die Anwendung verschiedener Rotationsstrategien (Kosslyn, 1981; Yuille & Steiger, 1982) zu nennen.

Neben der experimentellen Forschung zur mentalen Rotation wurden in den letzten Jahrzehnten auch verschiedene diagnostische Tests entwickelt, die die mentale Rotationsfähigkeit erfassen. Auf diese Testverfahren soll im Folgenden eingegangen werden.

### **2.2 Mentale Rotationstests**

Für die Forschung sind insbesondere zwei Arten des mentale Rotationstests zur Bewertung der Leistung von Relevanz. Der sogenannte chronometrische Test nach Shepard und Metzler (1971) und der psychometrische Test von Vandenberg und Kuse (1978a). Dabei bezieht sich "chronometrisch" auf die Messung von Zeitintervallen oder Reaktionszeiten. Allgemein zielen chronometrische Tests darauf ab, die Zeit zu messen, die eine Person benötigt, um eine bestimmte Aufgabe abzuschließen oder zu reagieren. Diese Art der Messung ist besonders nützlich, um Einblicke in die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung oder die Reaktionszeiten auf bestimmte Reize zu erhalten. Der mentale Rotationstest nach Shepard und Metzler (1971) wird als chronometrischer Test bezeichnet.

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Chronometrische Tests in der mentalen Rotation messen die Reaktionszeit, also die Zeit, die eine Person benötigt, um eine Aufgabe abzuschließen. In einem chronometrischen mentalen Rotationstest werden den Proband\*innen typischerweise zwei Reize: ein Zielreiz und ein Vergleichsreiz simultan nebeneinander präsentiert. Die Proband\*innen müssen entscheiden, ob diese Reize, unabhängig vom Rotationsgrad des Vergleichsreizes, identisch und rotiert oder gespiegelt sind. Die Reaktionszeit wird gemessen, um zu analysieren, wie sich die Reaktionszeit in Abhängigkeit von der Rotationsgradveränderung des Vergleichsreizes entwickelt. Shepard und Metzler (1971) zeigten, dass die Reaktionszeiten beim Lösen der Items linear abhängig vom Rotationswinkel des Vergleichsreizes sind. Mit zunehmender Winkeldisparität (bis  $180^\circ$ ), stieg auch die Reaktionszeit an. Diesen Effekt stellten sie sowohl bei in der Bildebene rotierten als auch bei in der Tiefenebene rotierten Items fest.

Der Begriff "psychometrisch" bezieht sich auf die Messung von psychologischen Merkmalen, wie Fähigkeiten, Fertigkeiten oder Persönlichkeitsmerkmalen. Psychometrische Tests bewerten in der Regel die Qualität oder Eigenschaften der individuellen Antworten, wie ihre Richtigkeit, Geschwindigkeit, Genauigkeit oder Art der gegebenen Antworten. Diese Tests zielen darauf ab, bestimmte psychologische Konstrukte zu quantifizieren und zu charakterisieren. Psychometrische Tests in der mentalen Rotation verwenden Fragebögen oder Aufgaben, die darauf abzielen, die räumliche Vorstellungsfähigkeit und das räumliche Denkvermögen zu bewerten. Ziel ist es, die Fähigkeit einer Person zu beurteilen, komplexe räumliche Strukturen zu analysieren, zu manipulieren und dreidimensionale Objekte zu drehen. Psychometrische mentale Rotationstests Tests umfassen oft eine Zielfigur (Ausgangsreiz) und mehrere Antwortalternativen (Vergleichsreize), von denen zwei bis auf den Drehwinkel mit der Zielfigur identisch sind. Der Test wird in der Regel so

ausgewertet, dass die beiden richtigen Reize identifiziert werden müssen, um als korrekte Antwort auf das Item zu gelten. Dieser Ansatz wurde ursprünglich von Vandenberg und Kuse (1978) als Papier und Bleistift Variante entwickelt, um das Problem der Ratewahrscheinlichkeit, das bei Paarvergleichen besteht, zu korrigieren.

### **2.3 Leistungsunterschiede und Einflussfaktoren bei mentalen Rotationstests**

Wie bei vielen kognitiven Fähigkeiten gibt es auch bei der mentalen Rotation große individuelle Leistungsunterschiede (Hyde, 2005). Diese Leistungsunterschiede manifestieren sich durch individuelle Variationen in der Fähigkeit, dreidimensionale Objekte mental zu drehen und auszurichten. Forschungen haben gezeigt, dass es geschlechtsbezogene Unterschiede in der Leistung gibt, wobei Männer oft eine geringfügige Leistungsüberlegenheit aufweisen. Dies könnte auf Unterschiede in der räumlichen Vorstellungsfähigkeit und der frühen Prägung von kulturellen Stereotypen zurückzuführen sein.

Einflussfaktoren auf die Leistung bei mentalen Rotationsaufgaben sind vielfältig. Eine bedeutende Rolle spielt die räumliche Vorstellungsfähigkeit, die es einer Person ermöglicht, komplexe räumliche Strukturen zu analysieren und zu manipulieren. Auch kognitive Belastung, kulturelle Einflüsse und Bildungsniveau können die Leistung beeinflussen. Personen mit intensiverer räumlicher Vorstellungsfähigkeit und regelmäßigerer Übung in räumlichen Aufgaben neigen dazu, besser abzuschneiden.

Des Weiteren spielen neurologische Faktoren eine Rolle. Untersuchungen haben gezeigt, dass bestimmte Hirnregionen, wie der präfrontale Kortex und der parietale Kortex, in den Prozess der mentalen Rotation involviert sind. Individuelle

Unterschiede in der Aktivität oder Effizienz dieser Gehirnregionen können die Leistung bei mentalen Rotationsaufgaben beeinflussen.

### **2.3.1 Geschlechterunterschiede**

Auf einer allgemeinen Ebene wird argumentiert, dass Geschlechtsunterschiede bei der mentalen Rotation mit dem "Niveau der räumlichen Fähigkeiten" zusammenhängen könnten (z. B. Lohman, 1986). Die Unterschiede zwischen den Geschlechtern sind in chronometrischen Tests oftmals jedoch viel geringer und meist nicht signifikant (Jansen-Osmann & Heil, 2007; Peters & Battista, 2008). Auch Voyer et al. (1995) stellten fest, dass chronometrische mentale Rotationsaufgaben zu einem geringeren Leistungsvorteil der Männer im Gegensatz zu psychometrischen Aufgaben führen. Dies stützt auch die Aussage von Hyde (2005, 2014), der argumentiert, dass die Variabilität innerhalb einer Gruppe bei vielen kognitiven Aufgaben viel größer ist als die Variabilität zwischen den Geschlechtern. Dass Männer bei Aufgaben der mentalen Rotation jedoch im Durchschnitt besser abschneiden als Frauen, ist nach wie vor ein oft gefundenes Ergebnis (Voyer et al., 1995; Voyer, 2011). Tatsächlich ist dieser Geschlechtsunterschied bei mentalen Rotationsaufgaben der größte kognitive Geschlechtsunterschied, wie durch metaanalytische Ergebnisse bestätigt wurde (Hyde, 2005). Worin dieser Unterschied begründet liegt, ist auch heute noch Gegenstand der Forschung und nicht abschließend geklärt.

Ein relevantes und anerkanntes Ergebnis ist jedoch, dass mentale Rotationsfähigkeiten formbar sind und Trainingseffekten unterliegen (Uttal et al., 2013). Geschlechtsunterschiede können daher nicht vollständig durch ein bestimmtes Niveau räumlicher Fähigkeiten erklärt werden und müssen dem Einfluss anderer Faktoren unterliegen. Aufgrund dieser Tatsache wurden in der Forschung eine Vielzahl

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

von biologischen Faktoren wie Gehirnstruktur, Hormonspiegel, Menstruationszyklus und sexuelle Orientierung (Berenbaum et al., 1995; Courvoisier et al., 2013; Hausmann et al., 2000, 2009a; Hugdahl et al., 2006; Jordan et al., 2002; Peters, Chisholm, et al., 1995; Peters et al., 2007), soziokulturelle Faktoren wie Aktivitäten in der Kindheit (Cherney & Voyer, 2010) und die Identifikation mit der Geschlechterrolle (Wraga et al., 2006), soziale Faktoren wie Geschlechterstereotype und Stimulusvertrautheit (Bethell-Fox & Shepard, 1988; Hausmann et al., 2009b; Neuburger et al., 2011; Ruthsatz et al., 2014, 2015, 2017, 2019), Bildung und akademischer Hintergrund (Peters, Chisholm, et al., 1995; Peters et al., 2007), Messvariablen wie Itemtyp (Voyer & Hou, 2006) und die Wahl der Strategie (Hegarty, 2018; Heil & Jansen-Osmann, 2008; Voyer et al., 2020) als erklärende Variablen für Geschlechtsunterschiede bei der mentalen Rotation untersucht. Es stellt sich jedoch die Frage, ob diese Leistungsunterschiede durch das biologische Geschlecht (sex), die Geschlechtszugehörigkeit (gender) oder andere Einflussfaktoren verursacht werden.

### **2.3.2 Stimulusvertrautheit**

Die Stimulusvertrautheit bezieht sich auf den Grad der Bekanntheit oder Vertrautheit eines visuellen oder räumlichen Objekts, das in mentalen Rotationsaufgaben verwendet wird. Die Stimulusvertrautheit kann die Leistung in mentalen Rotationsaufgaben beeinflussen. Wenn die zu rotierenden Objekte oder Muster vertraut und leicht erkennbar sind, kann dies die mentale Rotation erleichtern und die Aufgabe schneller und genauer lösen lassen. Dies liegt daran, dass bereits bekannte oder vertraute Objekte leichter zu mentalen Vorstellungen verarbeitet werden können.

Studien haben gezeigt, dass Personen bei mentalen Rotationsaufgaben mit vertrauten Objekten oder Mustern tendenziell schneller und genauer rotieren können im Vergleich zu unbekanntem oder abstrakten Objekten. Die Erfahrung mit bestimmten Objekttypen kann die räumliche Vorstellungsfähigkeit verbessern und somit die Leistung bei mentalen Rotationsaufgaben beeinflussen (vgl. Doyle et al., 2015; Koriat & Norman, 1985; Ruthsatz et al., 2017).

### **2.3.3 Itemtyp**

Der Itemtyp bei mentalen Rotationsaufgaben bezieht sich auf die Art der Objekte oder Muster, die in der Aufgabe verwendet werden. Dabei reichen die Itemtypen von einfachen geometrischen Formen über Buchstaben und Zahlen, komplexen Objekten bis hin zu abstrakten Mustern. Die Art des verwendeten Items beeinflusst die Schwierigkeit und die Anforderungen der Aufgabe (Bors & Vigneau, 2011).

### **2.3.4 Komplexität der Stimuli**

Die Komplexität der Stimuli bei mentalen Rotationsaufgaben spielt eine entscheidende Rolle bei der Untersuchung von räumlichen Vorstellungsfähigkeiten und kognitiven Prozessen. Diese Komplexität wird durch verschiedene Faktoren bestimmt, darunter die geometrische Struktur, Dimensionalität, Rotationsachsen, Formregelmäßigkeiten, Kombinationen von Rotationen, Drehwinkel und räumliche Anordnung der Objekte. Geometrische Komplexität bezieht sich auf die Anzahl der Ecken, Kanten und Flächen eines Objekts, wobei komplexere Strukturen die mentale Rotation erschweren. Zweidimensionale Objekte sind im Allgemeinen einfacher zu rotieren als dreidimensionale, da 2D-Objekte weniger Rotationsachsen aufweisen.

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Unregelmäßige oder asymmetrische Formen stellen eine zusätzliche Herausforderung dar, da klare Rotationsachsen fehlen. Die Kombination von Rotationen um verschiedene Achsen und größere Drehwinkel erhöhen die kognitive Belastung. Zudem beeinflusst die räumliche Anordnung der Objekte die mentale Manipulation und damit die Schwierigkeit der Aufgabe (vgl. Ariali, 2021; Lange, 2009; Stagl, 2008).

### 2.4 Lösungsstrategien

Ein wesentlicher Faktor für die Leistungsunterschiede bei mentalen Rotationsaufgaben, insbesondere für Geschlechtsunterschiede, wird in der Wahl der Strategie vermutet und in der Literatur zur mentalen Rotation ausführlich diskutiert (Heil & Jansen-Osmann, 2008; Scheer et al., 2018; vgl. Stevenson & Nonack, 2018; Voyer et al., 2020). Dabei wurde versucht, die von den Teilnehmer\*innen verwendeten Strategien zu operationalisieren, wobei jedoch eine inkonsistente Terminologie, je nach Forschungsrichtung Verwendung fand (Hegarty, 2010; Khooshabeh et al., 2013; Kozhevnikov et al., 2002; Meneghetti et al., 2017; R. N. Shepard & Metzler, 1971; ter Horst et al., 2012). So beschreiben Shepard und Metzler (S. Shepard & Metzler, 1988) beispielsweise eine kognitive Strategie während der mentalen Rotation, die der physischen Rotation von Objekten ähnelt und einem ganzheitlichen analogen Prozess gleicht. In weiteren Forschungen wurde dies angezweifelt und eine Vielzahl von Strategiedichotomien definiert, darunter holistisch vs. analytisch (Khooshabeh et al., 2013), egozentrisch vs. allozentrisch (Ganesh et al., 2015), mentale Vorstellungskraft vs. analytische Problemlösung (Stieff et al., 2014), flipping vs. spinning (Kanamori & Yagi, 2002), verbalizer vs. visualizer (Kozhevnikov et al., 2002), aber auch blickwinkelunabhängige Strategien, die von Faktoren wie Komplexität, Vertrautheit und Bedeutsamkeit der Stimuli abhängen (Folk & Luce, 1987; Just & Carpenter, 1976,

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

1985; Kail, 1985, 1986; Kail et al., 1980; Mumaw et al., 1984; S. Shepard & Metzler, 1988; Yuille & Steiger, 1982). In der Literatur zur mentalen Rotation sind holistische und analytische Strategien zwei der am häufigsten untersuchten Strategien (Heil & Jansen-Osmann, 2008; Kail et al., 1979; Khooshabeh et al., 2013).

### **2.4.1 Ganzheitliche (holistische) Lösungsstrategien**

Ganzheitliche/holistische Lösungsstrategien werden in einen objektbasierten und einen egozentrischen Ansatz unterteilt (Zacks et al., 2002). Gemein ist allen, dass die Objekte oder Körper als Ganzes und nicht teilweise betrachtet und rotiert werden. Es wird einmal davon ausgegangen, dass die mentale Vorstellung von Figuren oder Körpern aus zwei Perspektiven erfolgen kann und die Beziehung zwischen den intrinsischen Informationen des Objekts und des Betrachtenden während der mentalen Rotation aktualisiert wird.

So definiert Zack et al. (2002), dass es sich bei der objektbasierten Transformation um imaginierte Bewegungen von Objekten handelt und die Umgebung des Betrachtenden sowie das egozentrische Bezugssystem statisch bleiben, während das intrinsische Koordinatensystem des Objekts aktualisiert wird. Vereinfacht ausgedrückt, wird also das Objekt vor dem geistigen Auge rotiert. Die egozentrische Transformation beschreibt hingegen, imaginierte Bewegungen des eigenen Standpunktes und somit eine Aktualisierung des egozentrischen Koordinatensystems in Bezug auf die Umgebung des Objekts und die intrinsischen Informationen, was vereinfacht ausgedrückt eine Rotation um das Objekt beschreibt.

Die vorab beschriebene Inkonsistenz der Terminologie zeigt sich beispielhaft in der Arbeit von Ganesh et al. (2015). Jene verwenden die Begriffe egozentrisch und allozentrisch, um zwei verschiedene Rotationsperspektiven zu bezeichnen. Der

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Unterschied jener liegt zwischen den beiden Ausgangspunkten der mentalen Raumtransformation. So bezieht sich die egozentrische mentale Raumtransformation auf mentale Raumtransformationen mit dem Körper desjenigen als Ausgangspunkt, der die mentale Raumtransformation durchführt. Anders ausgedrückt bezieht sich die egozentrische mentale Raumtransformation auf die kognitive Verarbeitung von räumlichen Transformationen, bei der der individuelle Betrachtende oder Handelnde als Ausgangspunkt oder Referenzpunkt für die mentale Manipulation von räumlichen Objekten oder Szenarien fungiert. Hierbei wird die Transformation von räumlichen Informationen unter Berücksichtigung der individuellen Position und Orientierung im Raum vorgenommen. Die Bewegungen oder Veränderungen werden in Bezug auf die eigene Körperposition und -perspektive konzipiert, ähnlich der Vorstellung, wie der eigene Körper im Raum agieren würde, um das gewünschte mentale Bild zu modifizieren. Die allozentrische mentale Raumtransformation hingegen bezieht sich auf die kognitive Verarbeitung von räumlichen Transformationen, bei der ein externer oder objektbasierter Referenzpunkt außerhalb des individuellen Körpers als Ausgangspunkt für die mentale Manipulation von räumlichen Objekten oder Szenarien fungiert. Hierbei wird die Transformation von räumlichen Informationen unabhängig von der individuellen Position und Orientierung im Raum vorgenommen. Die Bewegungen oder Veränderungen werden in Bezug auf externe, objektive Referenzpunkte oder andere im Raum befindliche Elemente konzipiert, ähnlich der Vorstellung, wie diese externen Elemente im Raum interagieren würden, um das gewünschte mentale Bild zu modifizieren. Beispielhaft stellen sich bei der egozentrischen mentalen Raumtransformation die Teilnehmer\*innen vor, sich selbst in Richtung des Körpers auf einem präsentierten Foto zu drehen. Wohingegen sich bei allozentrischer Transformation die Teilnehmer\*innen vorstellen, den Körper auf dem Foto in Richtung ihres eigenen Körpers zu drehen.

### **2.4.2 Stückweise (analytische) Lösungsstrategien**

Bei der stückweisen/analytischen Strategie wird davon ausgegangen, dass Teile des zu rotierenden Objekts mental in Übereinstimmung mit dem Vergleichsobjekt gedreht und dann die gleiche Drehung auf die anderen Teile des Objekts angewendet werden, um zu sehen, ob sie übereinstimmen (Khooshabeh et al., 2013). In einer Studie von Hegarty und Kozhevnikov (1999) wurden Proband\*innen gebeten, eine Reihe von mentalen Rotationsaufgaben zu lösen, während ihre Blickbewegungen mit Eye-Tracking-Technologie aufgezeichnet wurden. Die Ergebnisse zeigten, dass die Proband\*innen, welche die stückweise Strategie anwandten, tendenziell längere Fixationsdauern aufwiesen und mehr Fixationen pro Aufgabe hatten als diejenigen, die eine andere Strategie anwendeten. Dies deutet darauf hin, dass die stückweise Strategie eine sorgfältige und detaillierte Betrachtung der Aufgabe erfordert. Die Verwendung der stückweisen Strategie hängt auch mit dem räumlichen Wissen einer Person zusammen. Menschen mit einem höheren räumlichen Wissen sind eher geneigt, die stückweise Strategie anzuwenden, während Menschen mit einem geringeren räumlichen Wissen eher dazu neigen, eine andere Strategie zu wählen (Hegarty & Kozhevnikov, 1999; Kozhevnikov et al., 2002; Linn & Petersen, 1985; Voyer et al., 1995).

### **2.4.3 Verbalizer vs. Visualizer**

Die Unterscheidung einer Verbalizer- von einer Visualizer-Strategie bei der mentalen Rotation bezieht sich auf individuelle Unterschiede in der mentalen Repräsentation von Objekten (Kozhevnikov et al., 2002; Kraemer et al., 2009). Menschen können entweder visuell oder verbal orientiert sein, d.h. sie nutzen entweder visuelle oder verbale Repräsentationen, um Informationen zu verarbeiten

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

und zu speichern. Die Unterscheidung Verbalizer/Visualizer bezieht sich darauf, welche Repräsentationen eine Person bevorzugt, wenn sie mentale Rotation durchführt. Visuelle Strategien beinhalten die Vorstellung von visuellen Bildern im Geist, während verbale Strategien die Verwendung von verbalen Beschreibungen oder Wörtern beinhalten. Beim mentalen Rotieren von Objekten kann die visuelle Strategie die Vorstellung des Objekts in verschiedenen Winkeln und Positionen im Raum beinhalten, während die verbale Strategie die Verwendung von Wörtern wie "links", "rechts", "oben" oder "unten" beinhalten kann.

In Bezug auf mentale Rotationsaufgaben gibt es Studien, die gezeigt haben, dass visuelle Strategien eine bessere Leistung ermöglichen als verbale Strategien. Zum Beispiel ergab eine Studie von Peters et al. (1995), dass Teilnehmer\*innen, die visuelle Strategien anwendeten, bei mentalen Rotationsaufgaben schneller und genauer waren als Teilnehmer\*innen, die verbale Strategien anwendeten.

### **2.4.4 Blickwinkelunabhängige Strategien**

Blickwinkelabhängige und blickwinkelunabhängige Strategien sind divergente kognitive Herangehensweisen an Aufgaben zur mentalen Rotation. Beide Arten von Strategien, sei es blickwinkelabhängig oder -unabhängig, können sowohl holistisch als auch analytisch sein. Blickwinkelabhängige Strategien manifestieren sich durch eine Rotation des mental repräsentierten Objekts, die spezifisch an den jeweiligen Blickwinkel gebunden ist. Das bedeutet, dass für jede gegebene Ansicht des Objekts eine individuelle mentale Rotation durchgeführt wird, die dem tatsächlichen Betrachtungswinkel entspricht. Auf der anderen Seite sind blickwinkelunabhängige Strategien abstrakter und beziehen sich auf die Rotation des mentalen Objekts, ohne an eine spezifische Position oder Ansicht gebunden zu sein. Hierbei wird die Rotation

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

in einem abstrakten Sinne durchgeführt, unabhängig von der konkreten Ausgangsposition oder Ansicht des Objekts. Die Wahl zwischen diesen Strategien hängt von verschiedenen Faktoren ab, darunter die Anforderungen der Aufgabe, individuelle Präferenzen und kognitive Fähigkeiten.

Vereinfacht ausgedrückt beziehen sich blickwinkelunabhängige Strategien bei der mentalen Rotation darauf, dass die Fähigkeit zur mentalen Rotation von Objekten unabhängig von deren Orientierung oder Blickwinkel ist. Das bedeutet, dass Menschen Objekte in ihrem Geist drehen und manipulieren können, unabhängig davon, ob sie in der realen Welt aufrecht oder umgekehrt positioniert sind. So werden beispielsweise die internen Beziehungen zwischen den Teilen der zu vergleichenden Objekte unabhängig von ihrer Ausrichtung untersucht (z. B. wird festgestellt, dass die beiden Endarme einer Würfelfigur in den jeweiligen Abbildungen parallel zueinander sind).

Studien deuten darauf hin, dass Menschen, die blickwinkelunabhängige Strategien anwenden, eine höhere räumliche Vorstellungskraft und eine bessere Fähigkeit zur räumlichen Orientierung haben. So untersuchten Hegarty et al. (2002) die Beziehung zwischen Blickwinkelabhängigkeit und Fähigkeit zur mentalen Rotation bei Teilnehmer\*innen mit unterschiedlichem räumlichem Wissen. Hegarty et al. (2002) zeigten, dass Personen mit einem höheren räumlichen Wissen eher dazu neigen blickwinkelunabhängige Strategien anzuwenden, während Personen mit einem geringeren räumlichen Wissen eher dazu neigen blickwinkelabhängige Strategien anzuwenden.

Mit "Wissen" in diesem Zusammenhang ist in der Regel die Fähigkeit gemeint, räumliche Informationen wahrzunehmen und zu verarbeiten. Dies umfasst sowohl die Fähigkeit mentale Rotationsaufgaben durchzuführen, als auch die Fähigkeit,

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

räumliche Beziehungen zwischen Objekten zu verstehen und zu navigieren. Personen mit einem höheren räumlichen Wissen haben in der Regel mehr Erfahrung in räumlichen Aufgaben und haben möglicherweise auch eine bessere räumliche Vorstellungskraft, was ihnen dabei hilft, blickwinkelunabhängige Strategien anzuwenden. Personen mit einem geringeren räumlichen Wissen haben weniger Erfahrung in räumlichen Aufgaben und können daher eher auf blickwinkelabhängige Strategien zurückgreifen, bei denen sie das Objekt aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten müssen, um eine mentale Rotation durchzuführen (Hegarty et al., 2002).

Eine andere Studie von Terlecki et al. (2008) untersuchte die Beziehung zwischen blickwinkelabhängigen und blickwinkelunabhängigen Strategien und der Fähigkeit zur mentalen Rotation von Objekten bei Teilnehmer\*innen mit unterschiedlichem Geschlecht. Die Ergebnisse zeigten, dass Männer eher dazu neigen blickwinkelunabhängige Strategien anzuwenden, während Frauen eher dazu neigen blickwinkelabhängige Strategien anzuwenden. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Anwendung von blickwinkelunabhängigen Strategien bei der mentalen Rotation von Objekten von individuellen Unterschieden abhängen kann, die durch die räumliche Vorstellungskraft, das räumliche Wissen oder das Geschlecht beeinflusst werden können.

### **2.4.5 Lösungsstrategien und Leistung**

Zahlreiche Autor\*innen schließen aus ihren Studienergebnissen, dass Männer und "gute" Rotierer (good performer) im Durchschnitt dazu neigen, eine effizientere holistische/ganzheitliche Strategie zu verwenden, indem sie Figuren als Ganzes betrachten und dann eine vollständige Figur drehen, während Frauen und "schlechte" Rotierer (bad performer) im Durchschnitt dazu neigen, eine weniger effiziente

stückweise Strategie zu verwenden, indem sie sich auf Teile einer Figur konzentrieren und versuchen, die verschiedenen Teile der Figur mental zu drehen (z. B. Heil & Jansen-Osmann, 2008; Khooshabeh et al., 2013; Khooshabeh & Hegarty, 2010).

### **2.4.6 Herausforderungen bei der Erfassung von Lösungsstrategien**

Eine grundsätzliche Herausforderung besteht in der Identifizierung der Strategie an sich bzw. der vermeintlich durch die Proband\*innen gewählten Strategie. Oftmals werden die Proband\*innen anhand von Selbstauskünften oder Strategiefragebögen und Checklisten dazu befragt. Dabei besteht allerdings die Problematik, dass mündliche Berichte auf unterschiedliche Weise kodiert werden können und so die Ergebnisse der Voreingenommenheit des Untersuchungsleiters/der Untersuchungsleiterin unterliegen. Weiterhin handelt es sich bei dieser Erfassung von Strategien nur um subjektive Einschätzungen einer vermeintlichen Strategie, die nicht mit der tatsächlichen übereinstimmen muss. Der Ansatz dieser Befragungen geht auf Introspektion zurück und sollte am besten nur als Ausgangspunkt für Untersuchungen mit explorativem Charakter betrachtet werden. Gesammelte Erfahrungen mit mündlichen Berichten lassen darauf schließen, dass den Teilnehmer\*innen sehr oft entweder das Bewusstsein für die verfügbaren Strategien fehlt oder sie nicht in der Lage sind, ihre eigene Strategie bzw. den Vorgang zu verbalisieren. Die zusätzlichen Aufforderungen des Versuchsleiters/der Versuchsleiterin, die solche Antworten nach sich ziehen, können die Wortwahl der Teilnehmer\*innen beeinflussen und dazu führen, dass die eigenen Vorurteile des Versuchsleiters/der Versuchsleiterin bestätigt werden. Ebenso sind Checklisten oder Fragebögen zu kognitiven Strategien und Stilen durch ihren suggestiven Charakter begrenzt (Hegarty, 2010).

### **2.5 Methode des Eye-Tracking**

Eye-Tracking ist eine Methode zur Erfassung und Analyse von Augenbewegungen. Die Methode wird verwendet, um zu verstehen, welche visuellen Reize Menschen betrachten und wie lange sie sich auf diese konzentrieren. Ein wichtiger Vorteil von Eye-Tracking ist, dass es eine Möglichkeit bietet, visuelle Informationsverarbeitungsprozesse zu erfassen, ohne dass die Proband\*innen eine explizite Rückmeldung geben müssen. Die Augenbewegungen der Proband\*innen bestehen aus schnellen Sakkaden und kurzen Fixationen auf bestimmten Bereichen des Bildes oder Textes. Die Fixationsdauer variiert je nach Art der Aufgabe und der Komplexität des Reizes. Die Fixationsdauer kann auch durch individuelle Unterschiede der Proband\*innen beeinflusst werden (Hooge & Erkelens, 1998; Rayner, 1998).

#### **2.5.1 *Eye-Tracking und mentale Rotation***

Unter Zuhilfenahme der technischen Methode des Eye-Trackings können Forschende Augenbewegungen verfolgen, um den Weg der Aufmerksamkeit der Teilnehmer\*innen entlang bestimmte Details eines visuellen Reizes zu messen. Anders ausgedrückt werden die einzelnen Komponenten des Objekts in der Reihenfolge, in der sie die Aufmerksamkeit der Teilnehmer\*innen auf sich ziehen bzw. in der sie die Person als aufmerksamkeitsrelevant erachtet, erfasst (Duchowski, 2007). Die Dauer der Fixationen kann wiederum dazu verwendet werden, den relativen Anteil der Verarbeitung zu bestimmen, der den einzelnen Komponenten des Stimulus gewidmet wird. Die zeitliche Abfolge (oder der Scanpfad) ist eine wichtige Information, die in Selbstberichts- und RT-Ansätzen fehlt; er liefert Informationen über die Phasen der Vergleichs- und Bestätigungsstrategie.

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Allein aus den Analysen zur Reaktionszeit, der Anzahl korrekt gelöster Items oder den Selbstangaben der Teilnehmer\*innen zur Strategie- bzw. Methodenwahl zur Lösung mentaler Rotationsaufgaben lassen sich schwer Schlussfolgerungen über die kognitiven Prozesse bei der mentalen Rotation ableiten. Um diese kognitiven Prozesse näher zu untersuchen und Erkenntnisse über die Messung von Genauigkeit und Reaktionszeiten hinaus zu erlangen, begann die Forschung schon früh Augenbewegungen aufzuzeichnen. So untersuchten schon Noton und Stark (1971) Augenbewegungen bei visuellen Stimuli und kamen zu dem Ergebnis, dass die interne Repräsentation durch kognitive Fokussierung auf die Winkel oder Hauptmerkmale des visuellen Stimulus entsteht und dass, wenn ein ursprünglicher Stimulus erkannt und durch Übereinstimmung wahrgenommen wird, ein ähnliches Fixationsmuster auf den übereinstimmenden Stimulus angewandt wird; insbesondere fixieren die Versuchspersonen dieselben Linien, Ecken oder Winkel des übereinstimmenden Objekts in derselben Reihenfolge wie bei der Kodierung des vorherigen Stimulus. Auch Just und Carpenter (1976) verwendeten ein Eye-Tracking-System zur Aufzeichnung von Augenbewegungen, um die Phasen der kognitiven Verarbeitung während der mentalen Rotation zu untersuchen. Dabei identifizierten sie die einzelnen Prozesse bei einer Aufgabe zur mentalen Rotation, indem sie die Fixationspfade ihrer Proband\*innen analysierten und beobachteten, wie sich diese Pfade mit der Winkeldisparität veränderten. Eine wesentliche Erkenntnis jener Studie war, dass sich die gesamte Reaktionszeit beim Lösen mentaler Rotationsaufgaben in drei Phasen aufteilen lässt: (1) Suche, (2) Transformation und Vergleich und (3) Bestätigung einer Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung zwischen den Stimuli. Studien von Cooper und Shepard (1973) kommen jedoch zu dem Schluss, dass mentale Rotationsaufgaben fünf aufeinanderfolgende kognitive Verarbeitungsphasen umfassen: (1) Wahrnehmungscodierung des Reizes, (2) Identifizierung des Reizes

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

und der Orientierung, (3) mentale Rotation des Reizes, (4) Beurteilung der Parität und (5) Reaktion und Ausführung. Paschke et al. (2012) schließen daraus, dass sich die Interpretation von Just und Carpenter (1976) hauptsächlich auf Stufe 4 (Beurteilung der Parität) des früheren Verarbeitungsmodells von Cooper und Shepard (1973) mit Elementen von Stufe 3 (mentale Rotation des Reizes) und in zweiter Linie auf Stufe 2 (Identifizierung des Reizes und der Orientierung) beziehen.

Bisherige Ergebnisse der Forschung lassen darauf schließen, dass die mentale Rotation durch Augenbewegungen verarbeitet wird, da die Fixierung des Blicks auf einen einzigen Ort eng mit der Fähigkeit zusammenhängt, räumlich verteilte Informationen visuell zu kodieren. Augenbewegungsmessungen bieten somit einen ergänzenden Ansatz, um kognitive Prozesse mit hoher Auflösung zu erfassen.

Andere Forschungen konzentrierten sich bei der Erkenntnissuche auf die Muster der Augenbewegungen. Jene können dazu beitragen, Informationen über die visuelle Aufmerksamkeit der Teilnehmer\*innen anhand der Anzahl der Fixationen sowie über die Fixationsdauer abzuleiten (Rayner, 1998). Insbesondere beim Vergleich zweier Gruppen von Teilnehmer\*innen können die Informationen über das visuelle Interesse besonders nützlich sein. So fanden Just und Carpenter (1985), dass Teilnehmer\*innen mit einer niedrigeren Punktzahl mehr Fixationen pro Versuch benötigen als Teilnehmer\*innen mit einer hohen Punktzahl. Auch Fitzhugh et al. (2008) wiesen darauf hin, dass Teilnehmer\*innen mit geringer mentaler Rotationsfähigkeit eine höhere Anzahl von Fixationen aufweisen als Teilnehmer\*innen mit hoher mentaler Rotationsfähigkeit. Anfängliche Studien zur Augenbewegung bei mentalen Rotationsaufgaben definierten traditionell jede Figur als einen eigenen Bereich von Interesse. Die Forscher bewerten beispielsweise die Anzahl der Fixationswechsel zwischen zwei Figuren (Martini et al., 2011) oder die Anzahl der Fixationen und die

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Fixationsdauer für jede Figur (Alexander & Son, 2007). Im Gegensatz dazu schlagen Roach et al. (2017) einen neuen Ansatz zur Analyse von Interessensbereichen während der mentalen Rotation vor, indem sie sog. Areas of Interest (AOIs) innerhalb der Figuren selbst definieren (vgl. Abbildung 1). Genauer gesagt definieren sie sechs AOIs, nämlich Gerade, Hintergrund, Schwanz und drei Ecken oder Biegungen in der Figur, welche Tiefen- und Positionsinformationen vermitteln, die die Orientierung der Struktur im Raum offenbaren (Roach et al., 2017). Obwohl Roach et al. (2017) ihre Analyse des Interessensbereichs auf die Region mit der größten Anzahl von Fixationen pro Versuch beschränken, stellten sie fest, dass sich Personen mit hoher und niedriger mentaler Rotationsfähigkeit in zwei Dritteln der Versuche in der am häufigsten fixierten Region unterscheiden.

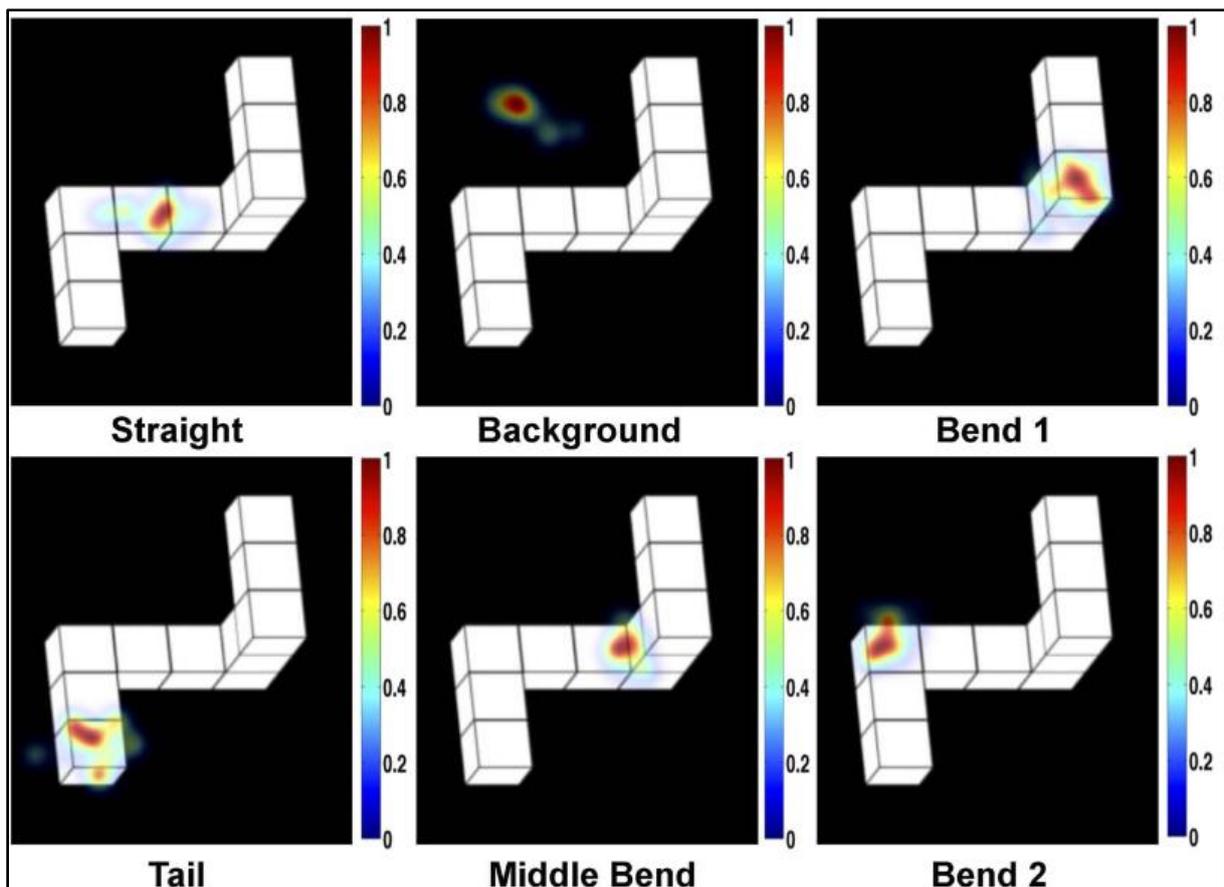


Abbildung 1: In diesen Beispielen wird die typische Salienz durch Farbtintensität illustriert, wobei Bereiche, die sich Rot nähern, eine zunehmende Salienz anzeigen. Die Regionen höchster Salienz repräsentieren die Orte, die die meiste visuelle Aufmerksamkeit auf sich ziehen und dies für die längste Dauer (Roach et al., 2017).

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Mit der raschen Weiterentwicklung der Eye-Tracking-Methoden haben auch andere Forschende begonnen, diesen Ansatz zu verwenden, um den Prozess der mentalen Rotation zu analysieren (Odean et al., 2015; Nazareth et al., 2017). Khooshabeh und Hegarty (2010) beispielsweise verwendeten Eye-Tracking, um das Verhältnis der Anzahl der Fixierungen innerhalb eines Objekts mit der Anzahl der Fixierungen zwischen Objekten zu vergleichen (Verhältnisansatz). Sie postulieren, dass ein\*e Teilnehmer\*in bei der Verwendung einer vermeintlich holistischen Strategie zuerst einmal das linke Objekt fixiert, dann zum rechten Objekt übergeht, um jenes zu fixieren, bevor er/sie eine Entscheidung trifft (Verhältnis = 1). Wohingegen eine vermeintliche piecemeal-Strategie mehrere Fixierungen auf einem Objekt erfordert, bevor ein Übergang zum nächsten Objekt für den Vergleich erfolge (Verhältnis > 1). So würden Personen mit hohem räumlichem Vorstellungsvermögen – gemessen durch eine Batterie räumlicher Tests – dazu neigen, eine holistische Strategie zu verwenden (Verhältnis = 1), und Personen mit niedrigem räumlichem Vorstellungsvermögen zu einer piecemeal-Strategie (Verhältnis > 1) tendieren. Hierbei wird allerdings nicht berücksichtigt, dass der Rotationsprozess besonders schwieriger Items wie beispielsweise in der Tiefenebene rotierter Würfelfiguren oftmals mehrere Fixierungen auf unterschiedlichen Merkmalen des Objekts bedarf, bevor eine Entscheidung getroffen werden kann. Zudem können zwei unterschiedliche Augenbewegungen fälschlicherweise als eine einzige Strategie kodiert werden, die auf dem Verhältnis zwischen Objekten und innerhalb von Objekten beruht. Beim "Verhältnis"-Ansatz zur Analyse der Augenbewegungen gehen Informationen über die Dauer und die Abfolge der Ereignisse (Scanpfad) verloren. Die Anzahl der Fixationen ist aber lediglich ein Merkmal der Augenbewegungen.

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Nazareth et al. (2019) versuchen durch einen vermeintlich neuen Ansatz zur Analyse von Blickbewegungsdaten Erkenntnisse zur Strategiewahl zu gewinnen. Durch die Aufzeichnung von Augenbewegungsparametern wie der Fixationszahl, Besuchszahl, Fixationsdauer und Besuchsdauer während der mentalen Rotation bei einer mentalen Standardrotationsaufgabe von Shepard und Metzler (1971) und der Verwendung latenter Variablenmischmodelle wie der latenten Profilanalyse, um Augenmuster zu identifizieren, versuchen sie auf eine Strategiewahl der Teilnehmer\*innen zu schließen.

Eine weitere Methode zur Untersuchung der mentalen Rotation ist das Rotationsparadigma, bei dem Proband\*innen mentale Rotationen von Objekten durchführen und ihre Reaktionszeit gemessen wird. Eye-Tracking kann hier dazu verwendet werden, um die visuelle Verarbeitung von Objekten während der mentalen Rotation zu untersuchen.

Eine Studie von Parsons et al. (1995) untersuchte die visuelle Verarbeitung während der mentalen Rotation von 3D-Objekten mittels Eye-Tracking. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass Proband\*innen während der mentalen Rotation hauptsächlich die Kanten und Ecken des Objekts betrachteten. Dies deutet darauf hin, dass diese Bereiche des Objekts für die räumliche Wahrnehmung und die mentale Rotation besonders relevant sind.

Kosslyn et al. (2001) untersuchten die Beziehung zwischen räumlicher Vorstellungskraft und der visuellen Verarbeitung während der mentalen Rotation von Objekten. Die Ergebnisse zeigten, dass Personen mit höherer räumlicher Vorstellungskraft sich mehr auf die relevanten Merkmale des Objekts konzentrierten, während Personen mit niedrigerer räumlicher Vorstellungskraft sich mehr auf irrelevante Merkmale konzentrierten.

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Eine weitere Studie von Hegarty et al. (2002) untersuchte die Beziehung zwischen mentaler Rotation und räumlicher Vorstellungskraft. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass Proband\*innen mit höherer räumlicher Vorstellungskraft weniger Zeit benötigten, um mentale Rotationen von Objekten durchzuführen. Darüber hinaus zeigten die Ergebnisse, dass Proband\*innen mit höherer räumlicher Vorstellungskraft dazu neigten, sich bei der mentalen Rotation auf die relevanten Bereiche des Objekts zu konzentrieren.

Eine weitere Studie von Just et al. (1995) untersuchte die Beziehung zwischen der visuellen Verarbeitung und der mentalen Rotation. Diese Studie zeigte, dass die visuelle Verarbeitung des Objekts während der mentalen Rotation von der Ausgangsposition des Objekts abhängt. Insbesondere betrachteten die Proband\*innen bei einer um 0 oder 180 Grad gedrehten Ausgangsposition des Objekts hauptsächlich die Kanten und Ecken, während sie bei einer um 90 oder 270 Grad gedrehten Ausgangsposition hauptsächlich die Flächen des Objekts betrachteten.

Insgesamt zeigt die Verwendung von Eye-Tracking-Systemen bei der Untersuchung der mentalen Rotation, wie visuelle Informationen während der räumlichen Wahrnehmung verarbeitet werden. Sie kann zudem dabei helfen, die Beziehung zwischen visueller Verarbeitung, räumlicher Vorstellungskraft und kognitiven Fähigkeiten besser zu verstehen.

Trotz der vielen Anwendungsmöglichkeiten gibt es auch Herausforderungen bei der Anwendung von Eye-Tracking. Eine dieser Herausforderungen ist die Interpretation der Daten. Es kann schwierig sein, die Augenbewegungen der Proband\*innen in Bezug auf die visuellen Reize, die sie betrachten, zu interpretieren. Eine weitere Herausforderung besteht darin, Eye-Tracking-Systeme an individuelle Unterschiede der Proband\*innen anzupassen.

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Die wesentlichsten Fragen bei der Lösung mentaler Rotationsaufgaben beziehen sich allerdings auf die Wahl der „Strategie“ und der scheinbar daraus oftmals resultierenden Geschlechtsunterschiede zu Gunsten der männlichen Teilnehmer\*innen. In Bezug auf die Geschlechterunterschiede ist zu erwähnen, dass Scheer et al. (2018) in einer Pilotstudie mit Eye-Tracking und EEG zu der Vermutung kommen, dass Männer und Frauen unterschiedliche Wahrnehmungs- (visuelle Suche) und Entscheidungsmechanismen, aber ähnliche mentale Rotationsprozesse haben.

### **2.6 Messmethoden**

Eye-Tracking ist eine etablierte Methodik zur Untersuchung der visuellen Wahrnehmung und Aufmerksamkeit, bei der die Augenbewegungen und Fixationen einer Person gemessen und analysiert werden. Diese Methode ermöglicht es, die Blickrichtung, Dauer von Fixationen und Sakkaden sowie andere Parameter zu quantifizieren, um Einblicke in visuelle Verarbeitungsprozesse zu gewinnen. Dabei gibt es verschiedene Ansätze zur Messung von Augenbewegungen. Einer der häufigsten ist der videobasierte Ansatz, bei dem Infrarotkameras die Pupille und die Reflexion an der Hornhaut verfolgen, um die Blickrichtung zu ermitteln. Diese Informationen werden verwendet, um Sakkaden (rasche Augenbewegungen zwischen Fixationen) und Fixationen (stabile Blickpunkte) zu identifizieren. Elektrookulographie (EOG) ist eine weitere Methode, welche die elektrische Aktivität der Augenmuskeln misst. Elektroden werden um die Augen platziert, um die Potenziale zu erfassen, die durch die Bewegung der Augen entstehen. Dieser Ansatz ist robust und kann auch bei geschlossenen Lidern angewendet werden. Eine fortschrittlichere Technologie ist die Nutzung von Infrarotlichtquellen und Kameras, um die Form und Bewegung der Hornhaut zu verfolgen, was eine präzisere Erfassung der Augenbewegungen

ermöglicht. Diese Methode, auch als „Kontaktlose Eye-Tracking“ bekannt, bietet höhere Präzision und Genauigkeit.

Zur Analyse der gesammelten Daten werden Algorithmen und Software verwendet. Heatmaps, Gaze Plots und AOIs (Areas of Interest) werden genutzt, um zu verstehen, welche Bereiche des visuellen Stimulus bevorzugt betrachtet werden. Des Weiteren können Blickmuster zwischen verschiedenen Bedingungen oder Gruppen verglichen werden. In den folgenden Unterkapiteln werden die einzelnen Messmethoden genauer erörtert.

### **2.6.1 Sakkaden**

Sakkaden sind wichtige Elemente der Augenbewegungen, die bei Eye-Tracking-Experimenten gemessen und analysiert werden. Durch die Verfolgung von Sakkaden können Forscher beispielsweise den Prozess der visuellen Aufmerksamkeit untersuchen, indem sie analysieren, welche Teile eines Stimulus am stärksten von Sakkaden erfasst werden. Sakkaden sind ruckartige, schnelle und ballistische Bewegungen der Augen, welche zur Neupositionierung der Fovea an einen neuen Standort (Fixpunkt) in der visuellen Umgebung dienen. Die Sakkaden stellen demnach die Bewegungen der Augen von einer Fixation zur anderen dar. Der Begriff ballistisch bezieht sich auf die Vermutung, dass sakkadische Destinationen vorprogrammiert sind. Es kommt daher vor, dass Sakkaden teilweise ihr Ziel knapp verfehlen und reflexartig nachkorrigiert werden. Ein Grund für diese Vermutung ist, dass es während der Sakkadenausführung nicht genügend Zeit für die visuelle Rückmeldung gibt, um das Auge auf seine endgültige Position zu bringen (Carpenter, 1977). Das heißt, sobald die sakkadische Bewegung zum nächsten gewünschten Fixierungsort berechnet wurde, können Sakkaden nicht verändert werden. Sakkadische

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Bewegungen sind freiwillig, reflexiv und treten beim Betrachten von Objekten oder beim Lesen auf. Die Dauer einer Sakkade beträgt zwischen 10 ms und 100ms. Während des Übergangs von einem Fixpunkt zum anderen ist die visuelle Wahrnehmung eingeschränkt. Dies bedeutet, dass der Ausführende effektiv blind wird und deshalb die Aufnahme von Informationen verhindert wird. Dieser Prozess wird als sakkadische Suppression bezeichnet. Folglich sind Sakkaden Blicksprünge und eine einmal eingeleitete Sakkade kann nicht willkürlich unterbrochen oder in ihrer Richtung geändert werden.

Einerseits ist ein sakkadisches Rückkopplungssystem plausibel, wenn man davon ausgeht, dass anstelle eines visuellen Feedbacks eine interne Kopie von Kopf-, Augen- und Zielposition verwendet wird, um die Augen während einer Sakkade zu führen (Fuchs et al., 1985; Laurutis & Robinson, 1986). Aufgrund ihrer schnellen Geschwindigkeiten können Sakkaden nur ballistisch erscheinen (Zee et al., 1976). Sakkaden sind als aktives Ereignis der Wahrnehmung zu betrachten und dienen der Aufnahme visueller Reize zur Suche, zur bewussten Informationserfassung oder zur Orientierung in der Umgebung. Beispielsweise werden beim Lesen von Texten zwei bis drei Buchstaben fixiert und dann überspringt das Auge in einer Sakkade, abhängig von der Lesekompetenz, circa fünf bis neun Buchstaben, um dann erneut zu fixieren. Diese Vorwärtssprünge bezeichnet man als Sakkade, während Rückwärtssprünge Regression bzw. Regressionssakkade genannt werden. Das Überspringen von Buchstaben ist der Grund, warum Tipp- und Rechtschreibfehler beim normalen Lesen nicht so gut wahrgenommen werden wie bei einer konzentrierten Suche danach. Worte und Buchstaben zwischen zwei Fixationen werden dabei anhand von Mustererkennungen erraten. Sakkaden werden bei zunehmender Komplexität oder Textschwierigkeit kürzer, während die Fixationen und Regressionen merklich

zunehmen. Sehr lange Sakkaden dagegen erfolgen vor allem bei wenig strukturierten Objekten und bei der Orientierung in der Umgebung (Maringolo, 2012; Shebilske & Fisher, 1983).

Es gibt verschiedene Methoden zur Messung von Sakkaden bei Eye-Tracking-Experimenten. Eine gängige Methode ist die Verwendung von Infrarot-Eye-Tracking-Systemen, die die Position des Auges mit hoher Genauigkeit und Geschwindigkeit aufzeichnen können. Die Verarbeitung der Rohdaten erlaubt es dann, die charakteristischen Merkmale von Sakkaden wie die Dauer, die Amplitude und die Geschwindigkeit zu quantifizieren (Holmqvist et al., 2015).

### **2.6.2 Fixationen**

Fixationen sind Augenbewegungen, bei denen das Auge stillsteht und sich auf einen bestimmten Punkt konzentriert. Eine Fixation dauert typischerweise einige hundert Millisekunden bis zu mehreren Sekunden. Während dieser Zeit sammelt das Auge Informationen aus der Umgebung und verarbeitet sie.

Fixationen spielen eine wichtige Rolle bei der Untersuchung kognitiver Prozesse wie der mentalen Rotation. Diese Art von Aufgaben erfordert komplexe kognitive Prozesse, die visuelle und räumliche Verarbeitung, Arbeitsgedächtnis und Aufmerksamkeit beinhalten.

Verschiedene Studien haben die Verwendung von Eye-Tracking-Methoden bei der Untersuchung von mentalen Rotationsaufgaben untersucht und herausgefunden, dass Fixationen ein wichtiger Indikator für kognitive Prozesse während der Durchführung der Aufgaben sind (Kosslyn et al., 1999; Parsons, 1987).

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Eine Studie von Parsons (1987) untersuchte die Beziehung zwischen Fixationen und der Leistung bei einer mentalen Rotationsaufgabe. Die Ergebnisse zeigten, dass die Anzahl der Fixationen mit der Leistung korrelierte, wobei Teilnehmer\*innen mit höherer Leistung tendenziell weniger Fixationen machten. Die Studie deutete auch darauf hin, dass Fixationen Hinweise auf kognitive Prozesse wie Strategieanpassung und Problemlösung geben können.

Eine weitere Studie von Kosslyn et al. (1999) untersuchte die Verwendung von Eye-Tracking-Methoden bei der Untersuchung von Gehirnaktivität während der Durchführung von mentalen Rotationsaufgaben. Die Ergebnisse zeigten, dass die Anzahl der Fixationen während der Aufgaben mit der Aktivität in bestimmten Gehirnregionen korrelierte, die mit räumlicher Verarbeitung und visueller Aufmerksamkeit in Verbindung stehen.

### **2.6.3 Fixation Duration**

Wie in 2.6.3 beschrieben, spielen sogenannte "Fixationen" eine wichtige Rolle bei der Untersuchung der kognitiven Prozesse während der Durchführung von mentalen Rotationsaufgaben. Eine Fixation bezieht sich auf den Zeitraum, in dem das Auge auf einem bestimmten Bereich des Bildschirms oder Objekts ruht. Die Dauer der Fixationen, fixation duration genannt, kann ein Indikator für den kognitiven Verarbeitungsprozess sein, der während der Aufgabe stattfindet.

So untersuchten Voyer et al. (1995) die Beziehung zwischen Fixationsdauer und Leistung bei einer mentalen Rotationsaufgabe. Die Ergebnisse zeigten, dass eine längere Fixationsdauer auf den rotierten Bildern mit einer höheren Leistung bei der Aufgabe korrelierte. Dies legt nahe, dass längere Fixationen mit einer tieferen Verarbeitung der räumlichen Informationen und einer besseren Leistung bei der

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

mentalen Rotationsaufgabe in Verbindung gebracht werden können. Diese Ergebnisse bestätigen die schon von Vandenberg und Kuse (1978) durchgeführten Untersuchungen, dass die Dauer der Fixationen auf Objekten während der Durchführung von mentalen Rotationsaufgaben positiv mit der Leistung korreliert. Auch Xue et al. (2017) kommen in Ihrer Studie zu dem Schluss, dass eine kürzere Fixationsdauer darauf hindeutet, dass weniger Aufmerksamkeit für die Lösung einer mentalen Rotationsaufgabe erforderlich ist. Mit anderen Worten: Das wahrnehmungsbezogene Kodieren und Durchsuchen der Merkmale eines Stimulus erforderte weniger kognitive Verarbeitungsressourcen des menschlichen Gehirns.

Eine weitere Studie von Hooge und Erkelens (1998) untersuchte die Anpassung der Fixationsdauer bei der visuellen Suche. Dabei wurde gezeigt, dass die Fixationsdauer abnimmt, wenn die Zeit für die Suche begrenzt ist. Dies deutet darauf hin, dass das visuelle System in der Lage ist, sich an unterschiedliche Anforderungen anzupassen und die Aufmerksamkeit gezielt auf wichtige Informationen zu lenken.

Graupner und Velichkovsky (2011) konzentrierten sich in ihrer Studie auf die Verarbeitung visueller Ablenkungen während einer Fixation und wie diese durch die Amplitude der vorangehenden Sakkade beeinflusst wird. In dieser Studie wurden Fixationen und ereignisbezogene Potenziale (EFRPs) während der freien visuellen Exploration von Gemälden aufgezeichnet. Es wurde festgestellt, dass jede visuelle Veränderung – sowohl ihr Beginn als auch ihr Ende – die Dauer der laufenden Fixation verlängert. Diese Erkenntnisse deuten darauf hin, dass die Dauer von Fixationen direkt durch die Stimulusinformationen gesteuert wird.

Pannasch, Schulz und Velichkovsky (2011) untersuchten, wie Fixationsdauern während der freien Betrachtung komplexer Bilder gesteuert werden. Sie konnten aufzeigen, dass visuelle Veränderungen die laufende Fixation verlängern, was stark

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

darauf hindeutet, dass die Fixationsdauern unter der direkten Kontrolle der Stimulusinformation stehen. Die stärkste Beeinflussung durch Ablenkung wurde bei Fixationen beobachtet, die auf Sakkaden im parafovealen Bereich (weniger als 5° des visuellen Winkels) folgten.

### **2.6.4 Fixation Count**

Die Anzahl der Fixationen auf ein Objekt oder Bild während einer mentalen Rotationsaufgabe kann ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Untersuchung kognitiver Prozesse spielen. Eine höhere Anzahl von Fixationen kann auf eine längere Verarbeitungszeit und/oder eine höhere Schwierigkeit der Aufgabe hinweisen.

So stellten Tang et al. (2023) in ihrer Studie fest, dass die Anzahl der Fixationen pro Sekunde bei identischen, nicht gespiegelten Stimuli höher war als bei gespiegelten Stimuli, was laut den Autoren darauf hindeutet, dass die Teilnehmer\*innen beim Vergleich identischer Objekte mehr Fixationen pro Sekunde vornehmen. Da bei jeder Fixation visuelle Informationen gewonnen wurden, verarbeiteten die Teilnehmer\*innen beim Vergleich identischer Stimuli mehr visuelle Informationen pro Sekunde. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Effizienz der visuellen Informationsaufnahme bei identischen Objekten höher war als bei gespiegelten Objekten (Tang et al., 2023).

Jarodzka et al. (2010) untersuchten die Interpretation von dynamischen Stimuli durch Experten und Laien. Dabei zeigte sich, dass Experten eine höhere Anzahl von Fixationen auf wichtige Informationen im Vergleich zu Laien aufweisen. Dies deutet darauf hin, dass Erfahrung und Expertise einen Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung haben können. Auch scheint die Anzahl der Fixationen mit der Konzentration zusammenzuhängen. So untersuchten Recarte und Nunes (2000) sowie Stapel et al. (2022) Augenbewegungen während des Autofahrens, um die Auswirkungen der

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Aufmerksamkeit des Fahrers auf das Blickverhalten zu bewerten. Dabei konnten insbesondere Recarte und Nunes (2000) beobachten, dass abgelenkte Fahrer im Vergleich zu Kontrollpersonen eine höhere Fixationsdauer, eine stärkere Pupillenerweiterung und eine geringere Fixationsanzahl auf die AOI's Spiegel und Geschwindigkeitsmesser-aufwiesen.

Eine Studie von Cooper und Shepard (1975) untersuchte die Beziehung zwischen Fixationsanzahl und Leistung bei einer mentalen Rotationsaufgabe. Die Ergebnisse zeigten, dass die Anzahl der Fixationen auf das rotierte Objekt negativ mit der Leistung bei der Aufgabe korrelierte. Das bedeutet, dass eine höhere Anzahl von Fixationen auf das Objekt mit einer schlechteren Leistung bei der mentalen Rotationsaufgabe in Verbindung gebracht wurde.

### **2.6.5 Übergänge (*Transitions*)**

Unter Transitions, auch als Blickverschiebungen bezeichnet, versteht man beim Eye-Tracking den Wechsel der visuellen Fixation von einem AOI des visuellen Stimulus auf einen anderen AOI. Transitions sind ähnlich wie Sakkaden, sie durchqueren räumliche Orte, dauern eine bestimmte Zeit und haben eine Amplitude. Aus diesen Daten lassen sich Latenzmaße ableiten. Eine Sakkade innerhalb eines AOI stellt jedoch keinen Übergang dar.

Eine Transition wird typischerweise gemessen, wenn sich der Fokus der visuellen Aufmerksamkeit von einem Objekt oder einer Region im Blickfeld (AOI) auf ein anderes Objekt oder eine andere Region verlagert. Transitions können auch als Übergänge zwischen Blickfixationen auf unterschiedliche Bereiche innerhalb eines Stimulus oder zwischen Stimuli in einer Serie von Bildern oder Szenen definiert werden. In der Regel werden Transitions im Eye-Tracking durch Verfolgung der

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Augenbewegungen eines Betrachtenden aufgezeichnet. Die Analyse von Transitions im Eye-Tracking kann dazu beitragen, die visuelle Aufmerksamkeit und Wahrnehmung zu untersuchen und zu verstehen, wie ein Betrachtender Informationen aus der Umwelt verarbeitet. Zum Beispiel können Transitions innerhalb eines Stimulus zeigen, welche Teile des Stimulus für die Betrachtenden am auffälligsten sind oder welche Informationen am meisten Aufmerksamkeit erfordern. Transitions zwischen verschiedenen Stimuli können zeigen, wie schnell Betrachtende zwischen verschiedenen Aufgaben oder Szenen wechseln können oder wie gut sie in der Lage sind, ihre Aufmerksamkeit zu fokussieren. Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung von Blickbewegungspfaden (Sakkaden) in einer Eye-Tracking-Studie. Es gibt zwei Bereiche von Interesse (AOIs), die durch Rechtecke dargestellt sind. Innerhalb der AOIs und zwischen ihnen gibt es Pfade, die durch Kreise (Fixationspunkte) und Verbindungslinien (Sakkaden) angezeigt werden. Die Bezeichnungen "Transition 1 2?" und "Transition 2 2?" fragen danach, ob die dargestellten Pfade als Übergänge zwischen den AOIs klassifiziert werden können. "Transition 1 2?" führt aus einem AOI raus ("Exit A") und dann in ein anderes AOI hinein ("Entry B"). Dies würde als Übergang zwischen zwei AOIs betrachtet. Bei "Transition 2 2?" führt der Pfad aus einem AOI heraus ("Exit B") und wieder in dasselbe AOI hinein ("Entry A"). Dies stellt keinen Übergang zwischen zwei AOIs dar, sondern wird eher als eine Bewegung innerhalb desselben AOI betrachtet (Holmqvist et al., 2015).

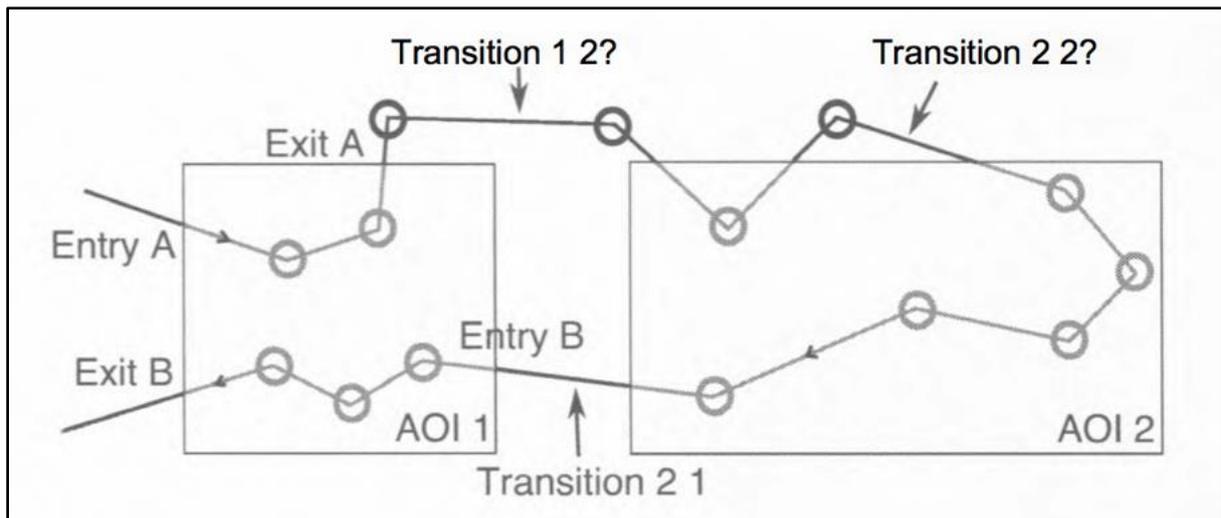


Abbildung 2: Zwei AOIs 1 & 2. Transition 2 1 zeigt einen direkten Eintritt und eine Rückkehr zu AOI 1. Bei Transition 1 2 handelt es sich der Definition nach ebenfalls um einen Übergang während es sich bei Transition 2 2 der Definition nach nicht um einen Übergang handelt (Holmqvist et al., 2015).

In der Studie von Jayawardena et al. (2020) wurde untersucht, wie Personen mit ADHS und ohne ADHS (neurotypische Personen) ihre Augenbewegungen während einer komplexen Hör- und Sehaufgabe steuern. Die Forscher fanden heraus, dass Personen mit ADHS weniger vorhersehbare Blickübergänge (Transitions) zeigten, insbesondere wenn die Aufgabe schwieriger wurde. Im Gegensatz dazu konzentrierten sich neurotypische Teilnehmer\*innen stärker auf den Mundbereich der Sprechenden, unabhängig vom Schwierigkeitsgrad der Aufgabe. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass die Variabilität und Vorhersehbarkeit von Blickbewegungen mit Faktoren wie Neugier, Interesse und Vertrautheit mit dem betrachteten Material zusammenhängen können.

Insgesamt kann die Analyse von Transitions beim Eye-Tracking dazu beitragen, die visuelle Verarbeitung und Aufmerksamkeit der Betrachtenden zu untersuchen und zu verstehen.

### **2.6.6 Area of Interest (AOI)**

Beim Eye-Tracking wird häufig das Konzept der AOI (Area of Interest) verwendet. Die AOI-Analyse ist eine Technik zur Analyse von Augenbewegungen, indem diese spezifischen Bereichen (oder Regionen) der visuellen Szene zugeordnet werden (Hessels et al., 2016; Holmqvist et al., 2015). Im Gegensatz zur Erfassung von Augenbewegungsdaten über die gesamte Szene hinweg bietet die AOI-Analyse semantisch lokalisierte Augenbewegungsdaten, die insbesondere für auf Aufmerksamkeit basierende Forschung nützlich sind (z.B. Benutzerinteraktionsforschung, Marketingforschung und Psychologieforschung) (Hessels et al., 2016). Bei der AOI-Analyse kann es schwierig sein, die Form und Grenzen eines AOI zu definieren (Hessels et al., 2016). Ideal wäre es, wenn jedes AOI die gleiche Form und Grenzen wie das tatsächliche Objekt hätte. Aufgrund praktischer Einschränkungen, wie der Schwierigkeit, beliebig geformte (und große) AOIs in Eye-Tracking-Software zu definieren, werden AOIs jedoch meist mit einfachen Formen (Rechtecke, Ellipsen usw.) definiert (Holmqvist et al., 2015). Neuere Fortschritte in der Computervision haben zu Modellen geführt, die automatisch und zuverlässig reale Objekte in visuellen Szenen identifizieren können (Redmon et al., 2016; Ren et al., 2017). Dies ermöglicht es, AOIs in realen Bildern fast ebenso leicht zu identifizieren wie bei vordefinierten Reizen, die auf einem Computerbildschirm präsentiert werden (Jayawardena & Jayarathna, 2021; Zhang et al., 2018).

Holmqvist et al. (2015) geben eine umfassende Übersicht über die Verwendung von AOIs in der Eye-Tracking-Forschung. Die Autoren betonen, dass AOIs in der Regel basierend auf Hypothesen über die relevanten Bereiche eines Stimulus definiert werden. AOIs können entweder manuell oder automatisch definiert werden, wobei automatische Methoden oft auf Bildverarbeitungsalgorithmen basieren.

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Die Verwendung von AOs hat zahlreiche Anwendungen in der Eye-Tracking-Forschung. Ein Beispiel ist die Analyse visueller Aufmerksamkeit bei der Betrachtung von mentalen Rotationsaufgaben. In diesem Fall können AOs definiert werden, um zu untersuchen, welche Teile des Stimulus die Aufmerksamkeit des Betrachtenden am meisten auf sich ziehen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass AOs ein wichtiges Konzept in der Eye-Tracking-Forschung sind. Sie ermöglichen es Forschenden, den Fokus der Betrachtung auf bestimmte Teile eines visuellen Stimulus zu messen und zu analysieren, um Einblicke in die visuelle Wahrnehmung und Aufmerksamkeit von Betrachtenden zu gewinnen.

### **2.7 Ausgangslage, Zielsetzung und Fragestellungen**

Trotz umfangreicher Forschungsbemühungen und zahlreicher Studien sind viele Fragen zur mentalen Rotation und den damit verbundenen kognitiven Prozessen noch offen. Für Untersuchungsteilnehmer\*innen ist es eine nämlich große Herausforderung kognitive Prozesse in verbaler Form auszudrücken, was die Untersuchung individueller Unterschiede und verschiedener Herangehensweisen bei der mentalen Rotation erschwert. Es ist ferner unklar, ob diese Herangehensweisen je nach Person variieren und ob Faktoren wie Expertise oder Geschlecht dabei eine Rolle spielen. Die genaue Vorgehensweise, die Personen bei der Bewältigung mentaler Rotationsaufgaben verwenden, bleibt oft verborgen. Daher stellen sich folgende Fragen: Wie gehen Personen bei der Verarbeitung von mentalen Rotationsaufgaben vor? Existieren verschiedene oder sogar strategische Ansätze zur Bewältigung solcher Aufgaben?

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Mentale Rotationsaufgaben erfordern es, dass Individuen räumliche Objekte in ihrer Vorstellung drehen und manipulieren, ohne physische Bewegungen auszuführen. Dies stellt nicht nur eine anspruchsvolle kognitive Herausforderung dar, sondern wirft auch die Frage auf, welche kognitiven Mechanismen während dieses Prozesses aktiv sind. Die bisherige Forschung hat Einblicke in die neuronale Aktivität und Zeitdynamik der Verarbeitung bei mentaler Rotation geliefert. Die konkrete Natur der kognitiven Strategien und Prozesse, die während dieser Aufgaben angewendet werden, ist jedoch bisher noch ungeklärt.

Eye-Tracking-Technologien werden in Studien zur mentalen Rotation als vielversprechende Methode betrachtet. Diese Methode bietet zahlreiche Vorteile, um das Verständnis der kognitiven Prozesse bei der mentalen Rotation zu vertiefen. Durch das präzise Verfolgen der Blickbewegungen während des mentalen Rotationsprozesses kann die visuelle Aufmerksamkeit im Detail untersucht werden. Dies ermöglicht Einblicke in die selektive visuelle Verarbeitung während dieser kognitiven Tätigkeit. Die Untersuchung der Lösungsstrategien bei mentalen Rotationsaufgaben, insbesondere in Kombination mit Eye-Tracking-Analysen, bildet die Grundlage für diese Forschungsarbeit. Dieser Ansatz eröffnet neue Perspektiven für die Untersuchung individueller Unterschiede, die durch die Wahl bestimmter Strategien und visueller Schwerpunkte während der Aufgabenbearbeitung bedingt sein könnten. Basierend auf diesen Erkenntnissen und den methodischen Möglichkeiten des Eye-Trackings werden in dieser Arbeit folgende Fragestellungen näher untersucht:

Einerseits liegt der Fokus auf der Identifizierung von Mustern in den Blickbewegungen der Proband\*innen bei mentalen Rotationsaufgaben. Weiterhin wird überprüft, ob sich eventuell vorhandene Blickmuster, den in der Literatur

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

beschriebenen Lösungsstrategien zuordnen lassen und anhand der Methode des Eye-Trackings identifizieren lassen. Die dritte Fragestellung untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen der Leistung in mentalen Rotationsaufgaben und den beobachteten Blickmustern gibt. Über die bei chronometrischen Tests gefundenen Blickmuster hinaus ermöglicht die vierte Fragestellung eine genauere Betrachtung und Beschreibung des Entscheidungsverhaltens per Blickmusteranalyse bei psychometrischen Aufgaben mit Multiple-Choice-Format. Aus diesen Erkenntnissen können ebenfalls Rückschlüsse auf die Leistung gezogen werden. Angesichts der umfassenden Forschungslage zu Geschlechtsunterschieden bei der mentalen Rotation erscheint es sinnvoll, diese Unterschiede auch in den zuvor genannten Aspekten zu untersuchen. Dies führt zur fünften Fragestellung bezüglich möglicher variierender Blickmuster zwischen den Geschlechtern.

Diese fünf Fragestellungen werden in drei durchgeführten Studien analysiert.

Die erste Studie ist eine Pilotstudie, bei der ein methodischer Ansatz für die Blickbewegungsanalyse und Identifizierung von Blickmustern bei mentalen Rotationsaufgaben entwickelt wurde. Auf Basis dieser Methode konnten vier Blickmuster identifiziert werden.

In der zweiten Studie wurde der methodische Ansatz der ersten Studie genutzt, um mit den klassischen Würfelaufgaben bei mentalen Rotationstests ebenfalls Blickbewegungen und Blickmuster zu analysieren und mit den in der Literatur beschriebenen Lösungsstrategien in Beziehung zu setzen. Dabei zeigten die Ergebnisse, dass trotz der Komplexität der abstrakten Figuren Übereinstimmungen mit den Blickmustern aus der vorangegangenen Studie vorhanden waren. Ein neues Blickmuster wurde identifiziert, das auf eine mögliche eidetische Gedächtnisleistung und einen holistischen mentalen Rotationsprozess hindeutet. Gute Performer auf

## Mentale Rotation und Eye-Tracking

Basis des Balanced Integration Scores wiesen weniger Transitionen innerhalb und zwischen den Reizen auf, was sich auch in kürzeren Reaktionszeiten widerspiegelte. Geschlechtsunterschiede konnten jedoch nicht identifiziert werden.

Die dritte Studie befasste sich mit der Analyse der Blickbewegungen pro Item in einem psychometrischen Test. Primär lag der Fokus auf dem Entscheidungsverhalten bei diesem Test im multiple-choice-Format. Dabei konnte festgestellt werden, dass es Unterschiede im Blickverhalten zwischen guten und schlechten Performern gibt. Gute Performer vergleichen den Ausgangsreiz häufiger mit den Vergleichsreizen.

Im Folgenden werden die drei Studien im Einzelnen detailliert vorgestellt.

### **3 Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben<sup>1</sup>**

#### **3.1 Ziele und Hypothesen**

In der ersten Studie wurde ein explorativer Ansatz unter der Verwendung von Eye-Tracking verfolgt, um Blickpfade der Teilnehmer\*innen beim Lösen mentaler Rotationsaufgaben mit geschlechtsstereotypisierten Objekten aufzeichnen und analysieren zu können. Ziel war es Blickmuster zu finden und zu analysieren, um aufbauend darauf Lösungsstrategien identifizieren oder ableiten zu können.

#### **3.2 Methode**

Im folgenden Abschnitt wird die angewandte Methodik zur Identifizierung der Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben beschrieben.

##### **3.2.1 Teilnehmer\*innen**

Um die Eignung dieser Methode zu überprüfen, wurde die erste Studie an einer Stichprobe von ( $N = 26$ ) Proband\*innen ( $n = 10$  Männer,  $n = 16$  Frauen) im Alter zwischen 18 und 35 Jahren durchgeführt, wobei das Durchschnittsalter 21.58 Jahre mit einer Standardabweichung ( $SD = 4.21$ ) betrug. Alle Teilnehmer\*innen waren Studierende der Universität Koblenz-Landau.

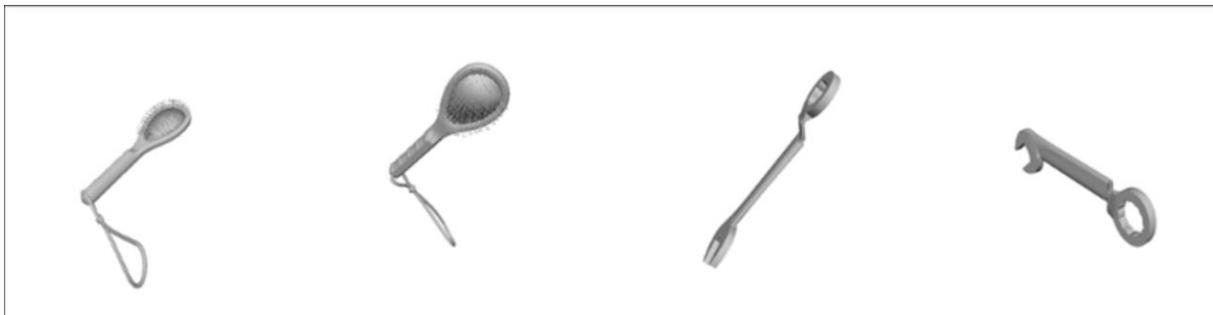
---

<sup>1</sup>Diese Studie wurde in englischer Version unter folgendem Titel: „Identifying solution strategies in a mental rotation test with gender-stereotyped objects“ (Saunders & Quaiser-Pohl, 2021).

### 3.2.2 *Material*

#### **Der Mentale Rotationstest**

Für den computergestützten mentalen Rotationstest (cMRT) wurde eine selbst programmierte App verwendet, die zur Darstellung von gedrehten Objekten in verschiedenen Winkeln entwickelt wurde (Stimulus Präsentation). Mit der App ist möglich, geschlechtsstereotype Objekte in der gewünschten Anzahl und mit den gewünschten Winkeln für den Test auszuwählen sowie einen Testdurchlauf für die Proband\*innen festzulegen. Weiterhin ist es möglich, ein Feedback zu geben, das je nach richtig oder falsch gelöster Aufgabe in Form eines grünen oder roten Quadrats direkt nach der Lösung der Aufgabe angezeigt wird. Für diesen Test wurden geschlechtsstereotype Objekte verwendet, die für frühere Papier- und Bleistift-Studien selbst entwickelt wurden (Ruthsatz et al., 2015) (Abbildung 3).



*Abbildung 3: Beispiele (Bürste und Schraubenschlüssel) der verwendeten Items im mentalen Rotationstest. Links ist jeweils der Ausgangsreiz und rechts daneben der Vergleichsreiz abgebildet.*

Der computergestützte mentale Rotation Test (cMRT) bestand aus 3 männlich-stereotypisierten Objekten (Lokomotive, Hammer, Schraubenschlüssel) und 3 weiblich-stereotypisierten Objekten (Kinderwagen, Handspiegel, Bürste). Alle Reize, sowohl die männlichen als auch die weiblichen, wurden für alle Teilnehmer\*innen paarweise und in acht verschiedenen Winkeln (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°) präsentiert. Der Ausgangsreiz jedes Paares wurde immer auf der linken Seite

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

gezeigt und bei einem Ausgangswinkel von 0°. Der Vergleichsreiz auf der rechten Seite wurde entweder gespiegelt oder ungespiegelt und um die x-Achse rotiert präsentiert. Es wurden insgesamt 96 verschiedene Paare präsentiert, davon 50 % "gespiegelt und um die x-Achse gedreht" und 50 % "nicht gespiegelt und um die x-Achse gedreht". Die Teilnehmer\*innen blickten auf einen 19"-Monitor, auf dem zwei dreidimensionale geschlechtsstereotypisierte Figuren (ein Paar) präsentiert wurden, und gaben an, ob das Paar gleich, aber gedreht, oder unterschiedlich, d. h. gespiegelt und gedreht, war. Die Zeit, die die Proband\*innen vom Beginn der Übungsphase bis zum Ende der Testphase benötigten lag zwischen 14 und 36 Minuten.

### **Eye-Tracking Messungen**

Alle Augenbewegungsdaten wurden mit dem bildschirmgestützten Tobii pro© X3-120 Eye-Tracker aufgezeichnet. Für alle Aufzeichnungen wurde eine Abtastrate von 120 Hz verwendet und vor dem Experiment bei jedem Proband\*innen eine 5-Punkt-Kalibrierung des Eye Trackers durchgeführt. Eine Kinnstütze wurde während des Versuchsaufbaus verzichtet, da der Eye-Tracker eine Kopfbewegungsfreiheit von 30cm x 22cm x 30cm (Breite x Höhe x Tiefe) bei einem Abstand vom Kopf zum Monitor von 70 cm im 120 Hz-Modus mit einer maximalen Kopfbewegungsgeschwindigkeit von 35 cm/Sekunde toleriert. Für die Aufzeichnung der Augenbewegungen verwendeten wir Tobii Studio©, eine Software zur Aufzeichnung, Analyse und Visualisierung von Daten aus monitorgestützten Eyetrackern. Die Software unterstützt den Studienprozess von der Datenerfassung über die Interpretation und Präsentation der Ergebnisse bis hin zur Ausgabe der Daten zur Weiterverarbeitung in Blickshift Analytics© (siehe Kapitel 4.2.4.1).

### **3.2.3 Ablauf**

Vor dem eigentlichen Experiment durchliefen die Proband\*innen eine Übungsphase mit zwei geschlechtsstereotypen Items, welche in allen acht Rotationswinkeln präsentiert wurden. Nach dieser Übungsphase startete der eigentliche Test. Geschlechtsstereotype Item-Paare wurden auch hier präsentiert. Alle 96 Paare wurden nach dem Zufallsprinzip und kontinuierlich nacheinander präsentiert. Die Teilnehmer\*innen mussten entscheiden, ob es sich um einen gedrehten oder gespiegelten Gegenstand handelt und ihre Antwort mit den Pfeiltasten links oder rechts auf der Computertastatur bestätigen. Ein Feedback-Zeichen in Form eines grünen oder roten Kästchens in der unteren rechten Ecke wurde daraufhin für eine Sekunde angezeigt. Im Anschluss wurde sofort das nächste Item-Paar präsentiert.

### **3.2.4 Datenanalyse**

Um die Eignung der Methode selbst zu testen, wurde die Auswertung auf die Gegenstände „Schraubenschlüssel“ und „Bürste“ beschränkt. Jene beiden Gegenstände wurden ausgewählt, da bei den anderen zur Verfügung stehenden Items die entsprechenden relevanten Marker in bestimmten Winkelpositionen verdeckt waren, so dass nicht immer ersichtlich war, ob das Objekt gedreht oder gespiegelt war. Dies ist darauf zurückzuführen, dass einige Objekte von beiden Seiten identisch "gezeichnet" sind. Daher sind die folgenden Ergebnisse aus diesen beiden Items abgeleitet. Die Auswertung der Eye-Tracking-Daten erfolgte in verschiedenen Schritten, die in den folgenden Unterkapiteln beschrieben werden.

### **Analyse der Scanpfade (scan paths)**

Eine der größten Herausforderungen bei der Analyse von Eye-Tracking-Experimenten ist die Identifikation von ähnlichem Blickverhalten. Hier bietet die Analysesoftware Blickshift Analytics© die Möglichkeit, typische Blickverläufe auf Area of Interest (AOI) Basis durch ein automatisches Verfahren zu erkennen. Darüber hinaus ist es möglich, eine direkte Suche nach gleichem oder ähnlichem Blickverhalten durchzuführen (Raschke et al., 2014).

### **Analyse der Fixationen**

Um eine Analyse der Blickmuster durchführen zu können, müssen die Rohdaten des Eyetrackers so aufbereitet werden, dass Fixationen identifiziert werden können. Die für die Analyse benutzte Software Blickshift Analytics© verwendet den dispersionsbasierten Algorithmus I-DT zur Berechnung der Rohdaten in Fixationen und Sakkaden (Salvucci & Goldberg, 2000).

### **Explorative Definitionen der AOIs**

Der zweite Schritt bestand darin die „Areas of Interest“ (AOIs) explorativ zu analysieren und zu definieren. Hierzu wurden alle Fixationen der jeweiligen Stimuli aller Proband\*innen mit sogenannten Heatmaps zusammengefasst. Jene geben einen ersten Überblick über mögliche Areas of Interest. In Abbildung 4 illustrieren die Heatmaps die Areas of Interests aller Teilnehmer\*innen über die Stimuli Bürste und Schraubenschlüssel in einem 0°-Winkel. Um die Sichtbarkeit der Stimuli zu verbessern, ist im oberen Bereich der Abbildung 4 jedes Paar so dargestellt, wie es auf dem Bildschirm erschien. Jeweils darunter ist das identische Paar mit den überlagerten Heatmaps zu sehen. Es kann festgestellt werden, dass eine Häufung von

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

Fixationen an bestimmten markanten Punkten auftritt. Zum Beispiel im Fall der Bürste ist zu erkennen, dass die Fixierungen am Bürstenkopf und am Übergang vom Griff zur Lasche kumulieren. Die Fixierungspositionen des Schraubenschlüssels sind ähnlich. Auch hier werden die markanten Punkte, die Enden des Schraubenschlüssels, berücksichtigt. Diese Bereiche werden für die Analyse als Areas of Interest definiert. Sobald die Bereiche definiert sind, werden in einem nächsten Schritt die Blickmuster in diesen Areas of Interest analysiert.

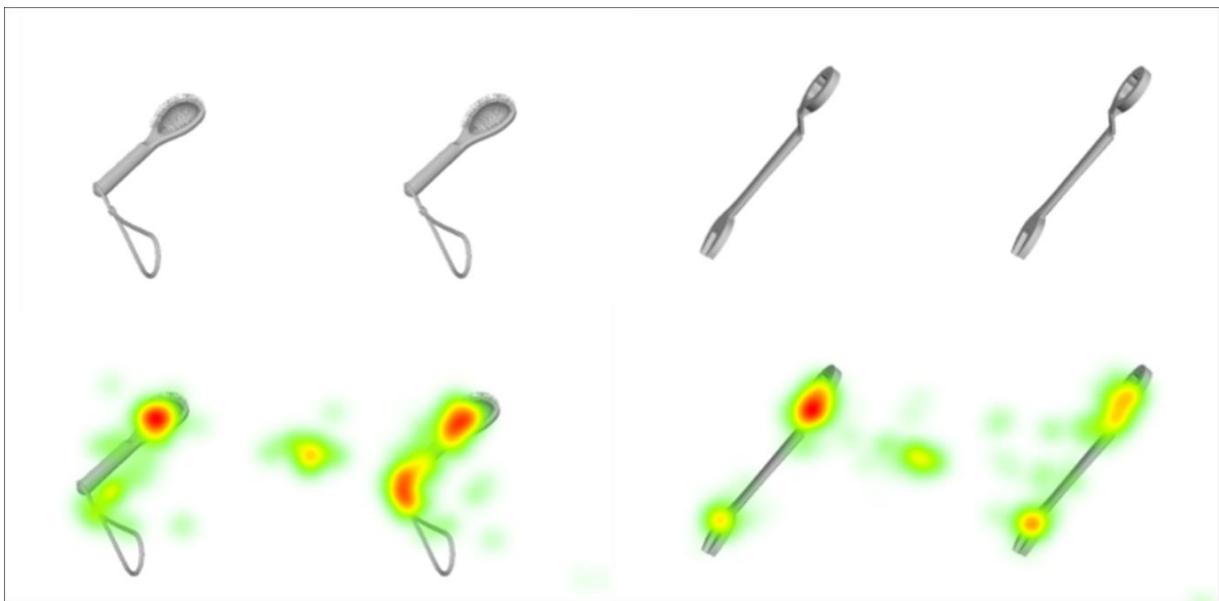


Abbildung 4: Heatmaps der Stimuluspaare Bürste und Schraubenschlüssel. Im oberen Bereich werden die Stimuli so dargestellt, wie sie auf dem Bildschirm präsentiert wurden. Im unteren Bereich ist die überlagerte Heatmap der identischen Stimuluspaare abgebildet.

### Sequenzanalyse und Sequenzsuche

Um ähnliches oder gar identisches Blickverhalten bei den Untersuchungsteilnehmer\*innen festzustellen, müssten die Blickverläufe jeder einzelnen Person optisch analysiert werden. Da diese Methode aufgrund der Beeinflussung verschiedener subjektiver Faktoren nicht präzise und objektiv ist, wurde die Software Blickshift Analytics© verwendet, um die Blickpfade aller Proband\*innen zu betrachten und diese mittels einer AOI-basierten Analysefunktion auf Muster in den

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

Blickpfaden und kategorialen Daten hin zu analysieren. Die durch diese sogenannte Sequenzanalyse aufgedeckten Blickmuster in den Blickpfaden aller Proband\*innen wurden anschließend durch eine Sequenzsuche auf Basis jener gefundenen Blickmuster über alle Proband\*innen zum Auffinden vorgegebener Muster in den Augenbewegungen genutzt. Diese Sequenzsuche auch als Vorwärtssuche bezeichnet, die parallel für alle Untersuchungs-teilnehmer\*innen durchgeführt wird, dient zum Auffinden vorgegebener Muster in den Augenbewegungen und kategorialen Daten (Raschke et al., 2012, 2014).

### 3.3 Ergebnisse

#### 3.3.1 *Beschreibung der Blickmuster*

Als Ergebnis der oben beschriebenen schrittweisen Analyse wurden bei dieser Studie vier verschiedene Blickmuster für die beiden Objekte (Schraubenschlüssel und Bürste) identifiziert, welche im Folgenden detailliert beschrieben werden. Die hierfür verwendeten Abbildungen zeigen links den Ausgangsreiz und rechts den Vergleichsreiz immer in einem Winkel von  $0^\circ$ , welcher aufgrund der Übersichtlichkeit und Einheitlichkeit halber gewählt wurde.

##### **Blickmuster 1 „Analytic“**

Der Blickpfad des ersten Musters bildet oft ein Dreieck oder verläuft nur zwischen zwei zu vergleichenden Merkmalen hin und her (Abbildung 5). Die Richtung des Blickverlaufes, d. h. von links nach rechts oder von oben nach unten, ist hierbei unerheblich. Die Analysen jenes Blickmusters zeigen, dass die wesentlichen Merkmale des Objekts durch die Proband\*innen identifiziert und verglichen werden. Dabei wird einer der vier AOI's komplett aus dem Blickpfad ausgeschlossen und durch

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

die Proband\*innen für einen Vergleich der Stimuli nicht betrachtet. Dieser Vorgang des Vergleichs deutet auf eine analytische Vorgehensweise, weshalb der Begriff „Analytic“ für dieses Blickmuster gewählt wurde. Jener bezieht sich explizit nicht auf die sogenannte analytische Lösungsstrategie mentaler Rotationsaufgaben, vielmehr geht er darüber hinaus und betrachtet die Art und Weise, wie die Proband\*innen die Objekte „gescannt“ bzw. betrachtet haben.

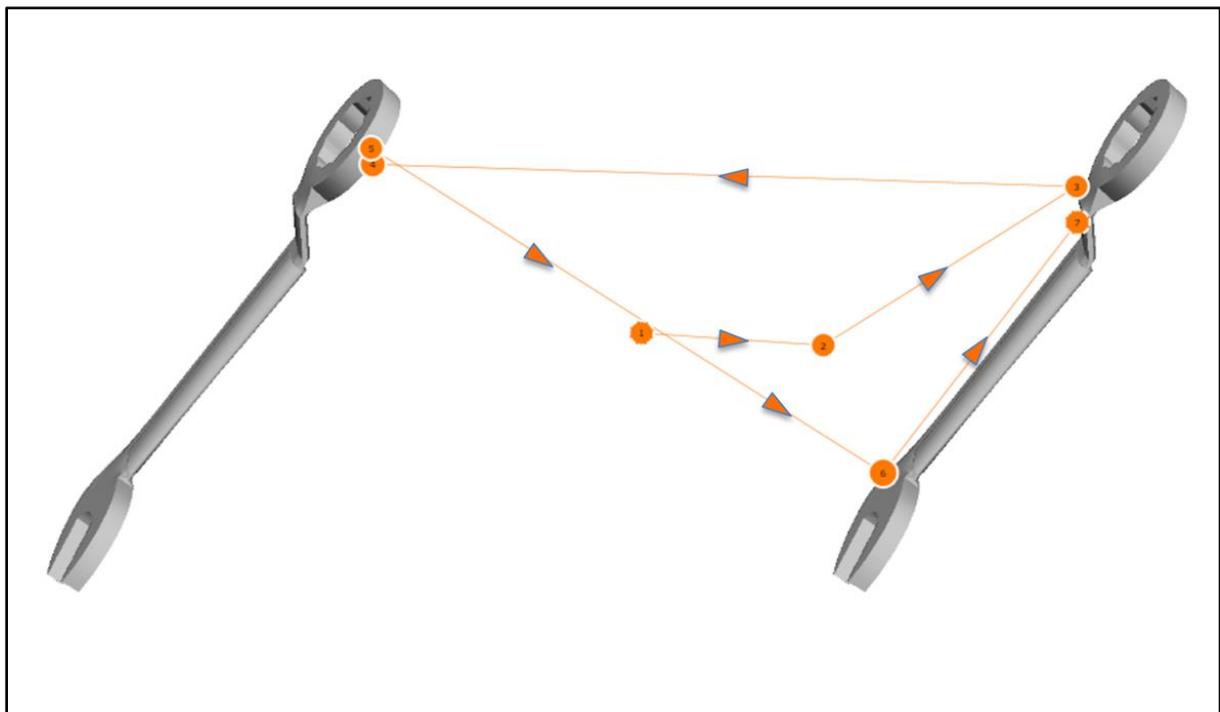


Abbildung 5: Blickmuster 1 „Analytic“.

### **Blickmuster 2 „Elaborate“**

Im Unterschied zum ersten Blickmuster werden hier alle gepaarten Merkmale der Stimuli miteinander verglichen (Abbildung 6). Der Blickverlauf der Proband\*innen verläuft dabei von einer Seite zur anderen. Der Startpunkt des Blickverlaufes ist wiederum irrelevant. Die Richtung des Blickverlaufes, in der die AOIs gescannt werden, kann jedoch unterschiedlich sein und bildet entweder eine Z-Form oder eine

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

gespiegelte Z-Form. Der Blickverlauf ähnelt damit dem Lesefluss eines Textes. Wir haben dieses Blickmuster "Elaborate" genannt.

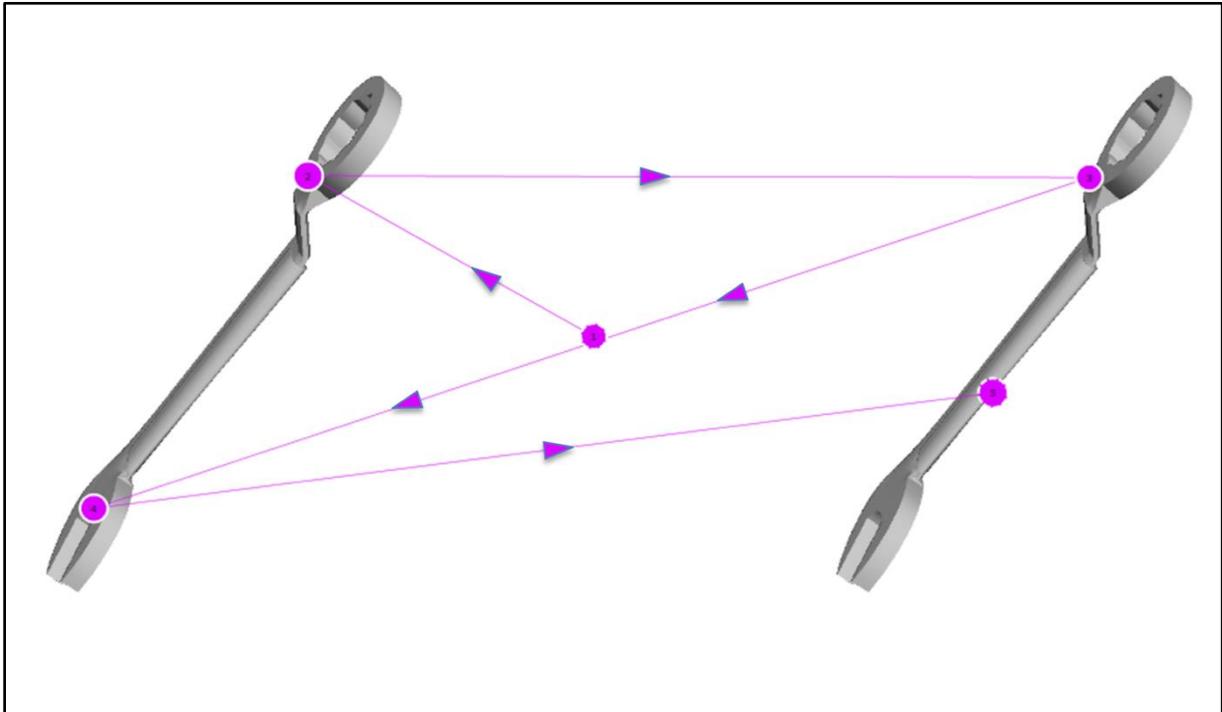


Abbildung 6: Blickmuster 2 „Elaborate“

### **Blickmuster 3 „Square“**

Im dritten Blickmuster (Abbildung 7) werden ebenfalls sämtliche Merkmale miteinander verglichen. Im Gegensatz zu Blickmuster 2 verläuft der Blick entlang der zu vergleichenden Merkmale jedoch nicht bei beiden Merkmalen von der jeweils gleichen Seite zur anderen Seite, sondern vom zweiten Stimulusdetail in die entgegengesetzte Richtung. Der Blickpfad bildet somit ein Quadrat, weshalb hierfür die Bezeichnung „Square“ Verwendung fand. Die Richtung des Verlaufes wird hier ebenfalls nicht berücksichtigt.

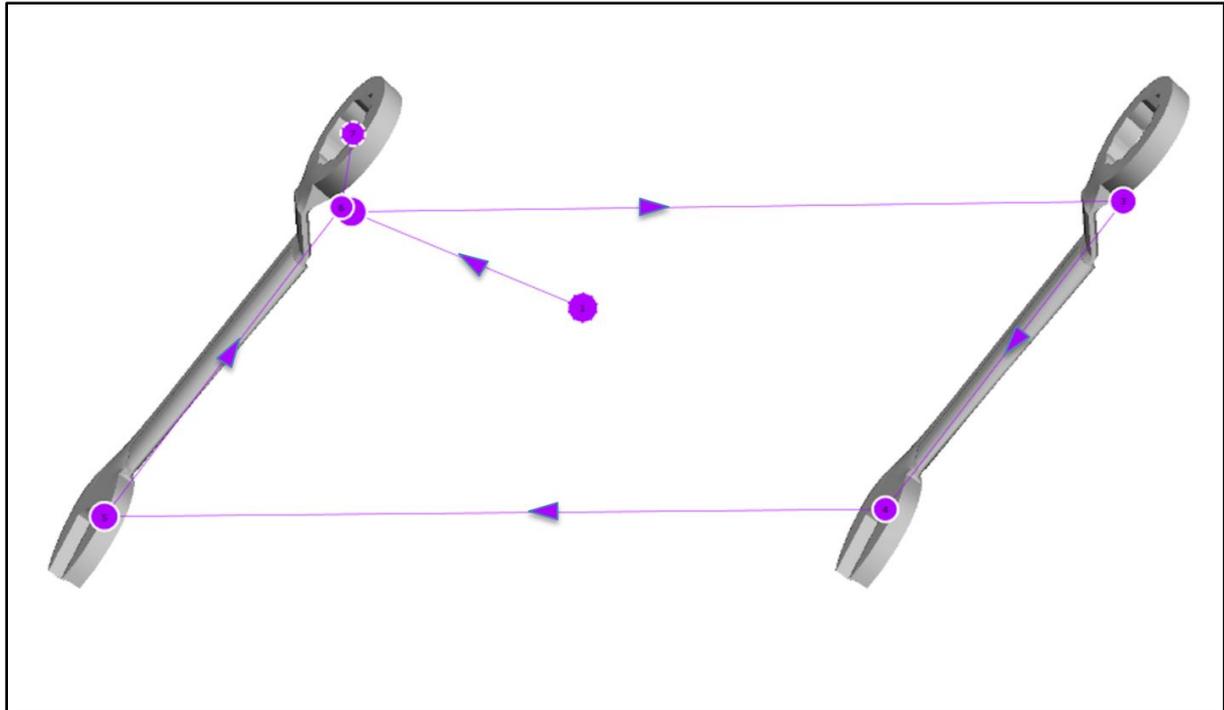


Abbildung 7: Blickmuster 3 „Square“

#### **Blickmuster 4 „Uncertain“**

Das vierte Blickmuster (Abbildung 8) zeichnet sich durch vermeintlich unstrukturierte Blickpfade aus. Hierbei werden nicht die gleichen Merkmale des jeweils gegenüberliegenden Reizes miteinander verglichen, sondern die jeweils anderen Merkmale. Der Blickpfad verläuft teilweise innerhalb eines Reizes von einem Merkmal zum anderen, um im Anschluss auf den gegenüberliegenden Reiz zu wechseln und das jeweils genau andere Merkmal zu betrachten. Ein direkter Vergleich zweier Merkmale miteinander scheint somit ausgeschlossen. Es wirkt so, als würden die relevanten Merkmale nicht erkannt und als sei der Proband/die Probandin unsicher beim Identifizieren jener. Daher wurde die Bezeichnung „Uncertain“ für dieses Blickmuster gewählt, was auch darin begründet liegt, dass aus diesem Blickmuster am häufigsten falsche Antworten resultierten.

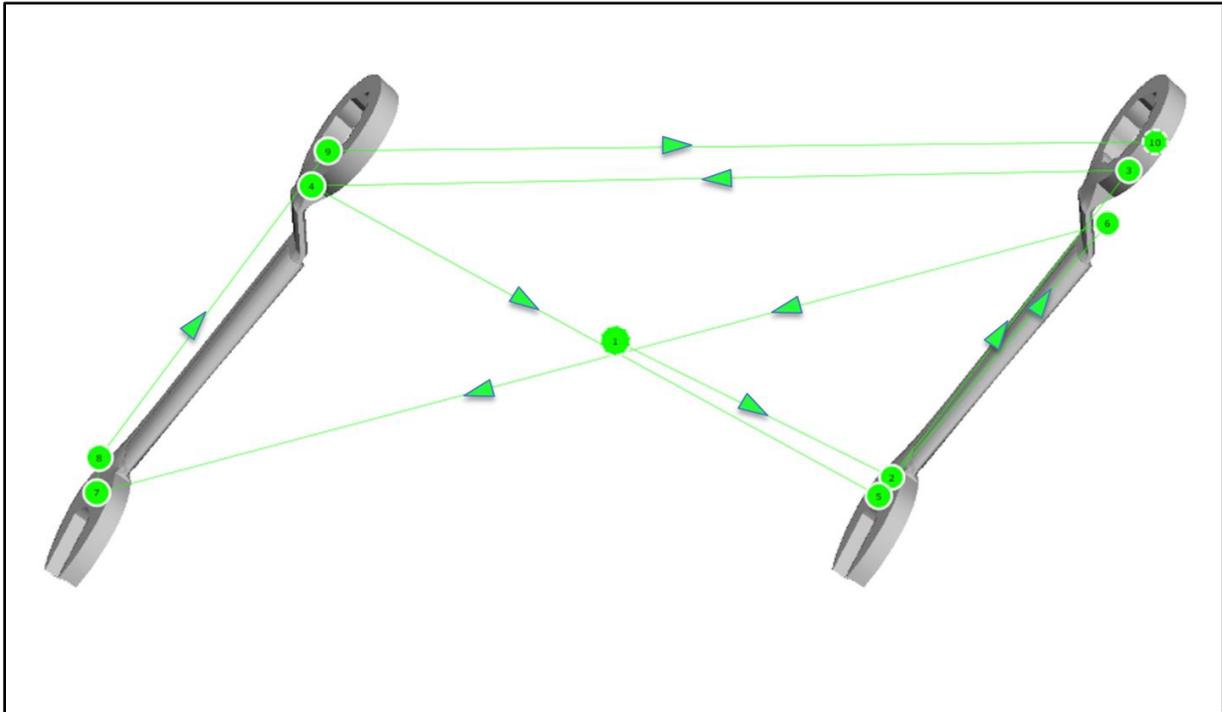


Abbildung 8: Blickmuster 4 „Uncertain“

### 3.3.2 Häufigkeit der Blickmuster

Abbildung 9 zeigt die Häufigkeiten der vier Blickmuster getrennt für die Items Schraubenschlüssel und Bürste über die verschiedenen Blickwinkel hinweg. Es ist zu erkennen, dass die Blickmuster 1 und 3 bei beiden Items am häufigsten vorkamen. Betrachtet man die beiden Items getrennt, so fällt auf, dass für den Schraubenschlüssel eine Dominanz des Blickmusters 3 über alle Winkel festzustellen ist. Das am zweithäufigsten verwendete Blickmuster beim Schraubenschlüssel ist Blickmuster 1, welches besonders bei den Winkeln  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $270^\circ$  und  $315^\circ$  Verwendung fand. Bei einem Winkel von  $135^\circ$  sind dagegen die Blickmuster 1, 3 und 4 beim Item Schraubenschlüssel fast gleichmäßig vertreten. Bei der Bürste wird hauptsächlich das Blickmuster 1 verwendet. Das Blickmuster 3 zeigt lediglich bei den Winkeln von  $45^\circ$  und  $90^\circ$  häufiger Verwendung. Ein angewandter Chi-Quadrat-Anpassungstest zeigt, dass die beobachteten Häufigkeiten der Blickmuster für das Item

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

"Schraubenschlüssel" ( $X^2(3, n = 205) = 71.195, p = .000$ ) und für das Item Bürste ( $X^2(3, n = 203) = 199,936, p = .000$ ) signifikant von den erwarteten Häufigkeiten abweichen. Ein Kruskal-Wallis-Test für das Item Schraubenschlüssel bestätigt, dass die Verteilung der Blickmuster über die Winkel nicht gleich ist ( $X^2(7, n = 205) = 14,829, p = .038$ ). Die folgenden Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) zeigen, dass sich lediglich die Winkel  $0^\circ$  und  $135^\circ$  tendenziell in Bezug auf die Blickmuster unterscheiden ( $z = -3,083, p = .057$ ). Dagegen zeigen die Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests für das Item Bürste, dass sich die Verteilung der Blickmuster über die Winkel nicht unterscheidet ( $X^2(7, n = 203) = 7.938, p = .338$ ). Insgesamt weisen die Ergebnisse der unterschiedlichen Verwendung der vier Blickmuster für die Items Schraubenschlüssel und Bürste darauf hin, dass diesen Blickmustern verschiedene Strategien zugrunde liegen, die zur Lösung der beiden Items eingesetzt werden.

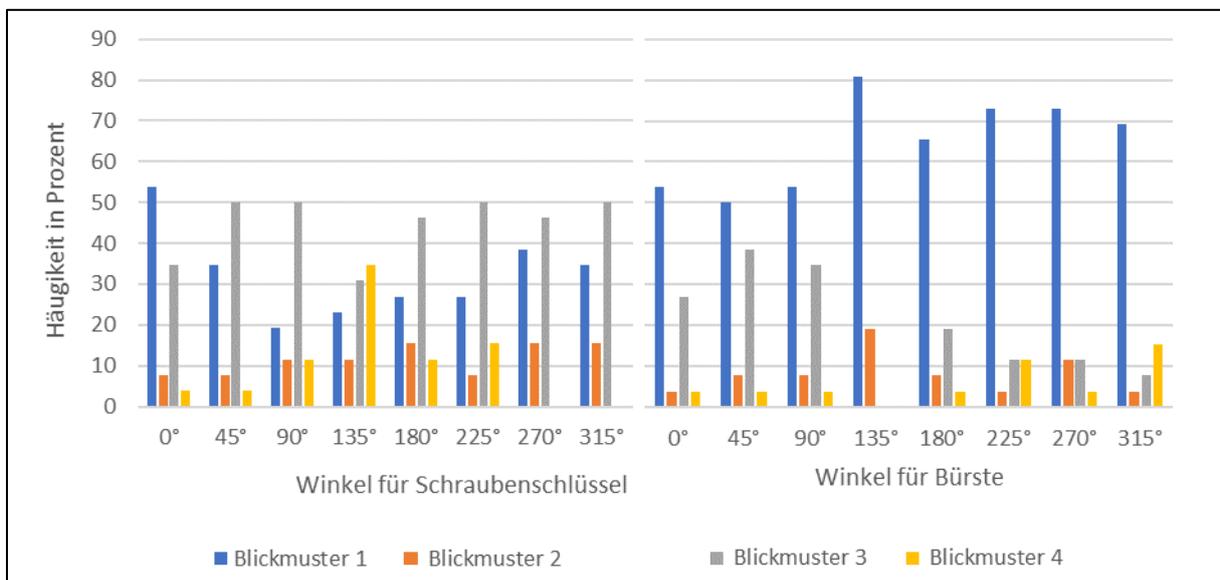


Abbildung 9: Häufigkeit der vier Blickmuster getrennt für die Items Schraubenschlüssel und Bürste über die verschiedenen Blickwinkel hinweg

### 3.3.3 Blickmuster und Testleistung

In Bezug auf die Testleistung kann angenommen werden, dass die unterschiedlichen Blickmuster oder Lösungsstrategien zu unterschiedlichen

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

Erfolgsquoten führen. Betrachtet man die Gesamterfolgsquote, so kann man feststellen, dass sie bei allen Blickmustern für die beiden Items über 80% liegt. Dennoch gibt es Unterschiede zwischen den Blickmustern in Bezug auf die Fehlerquoten (Tabelle 1). Für das Item Schraubenschlüssel ist Blickmuster 2 ("Elaborate") dasjenige mit der niedrigsten Fehlerquote (12,5 %), während Blickmuster 4 ("Uncertain") die höchste Fehlerquote aufweist (19 %). Bei dem Item Bürste weist das Blickmuster 3 ("Square") die niedrigste Fehlerquote (nur 4,5 %) auf. Auch hier hat das Blickmuster 4 ("Uncertain") die höchste Fehlerquote (16,7%).

Tabelle 1: Fehlerquote der Items Schraubenschlüssel und Bürste

ITEM GELÖST...	SCHRAUBENSCHLÜSSEL				BÜRSTE			
	Blick- muster 1 „Analytic“	Blick- muster 2 „Elaborate“	Blick- muster 3 „Square“	Blick- muster 4 „Uncertain“	Blick- muster 1 „Analytic“	Blick- muster 2 „Elaborate“	Blick- muster 3 „Square“	Blick- muster 4 „Uncertain“
NICHT KORREKT	13,4%	12,5%	14,0%	19,0%	12,6%	8,3%	4,5%	16,7%
KORREKT	86,6%	87,5%	86,0%	66,7%	87,4%	91,7%	95,5%	83,3%

### 3.3.4 Blickmuster und Reaktionszeit

Es lassen sich Unterschiede in der Beziehung zwischen der Häufigkeit der Blickmuster und der Reaktionszeit feststellen. In Bezug auf die Reaktionszeit lässt sich für den Schraubenschlüssel (Abbildung 10) feststellen, dass das Blickmuster 3 („Square“) die größte Spanne in der Reaktionszeit aufweist. Blickmuster 1 („Analytic“) hingegen hat die größte Akkumulation bei einer eher kurzen Reaktionszeit (mit Ausnahme von drei Ausreißern). Im Fall der Bürste (Abbildung 11) weist das Blickmuster 1 („Analytic“) die größte Spanne der Reaktionszeit auf, gefolgt von Blickmuster 3 („Square“). Aber auch hier zeigt Blickmuster 1 („Analytic“) die größte

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

Akkumulation bei einer kurzen Reaktionszeit. Eine durchgeführte univariate ANOVA bestätigt die Unterschiede zwischen der Reaktionszeit als Faktor innerhalb der Teilnehmer\*innen und den Blickmustern als inter-partizipativem Faktor für beiden Items. Es zeigt sich, dass die Blickmuster einen signifikanten Einfluss auf die Antwortzeit für das Item Schraubenschlüssel haben ( $F(3,205) = 13.141, p = .000, \eta_p^2 = .164$ ). Bonferroni-korrigierte Post-hoc-Tests zeigen, dass sich bei dem Item Schraubenschlüssel nur die Blickmuster „Square“ ( $M = 4609.50, SD = 2198.72$ ) und „Uncertain“ ( $M = 4848.33, SD = 2356.59$ ) signifikant von dem Blickmuster „Analytic“ ( $M = 2788.36, SD = 1475.64$ ) unterscheiden. Bei dem Item Bürste gibt es ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Blickmustern und der Reaktionszeit ( $F(3,203) = 9.530, p = .000, \eta_p^2 = .164$ ). Bonferroni-korrigierte Post-hoc-Tests zeigen, dass sich bei dem Item Bürste die Blickmuster „Elaborate“ ( $M = 4118.00, SD = 1566.85$ ) und „Square“ ( $M = 3680.64, SD = 2052.95$ ) signifikant von dem Blickmuster „Analytic“ ( $M = 2408.89, SD = 1517.65$ ) unterscheiden.

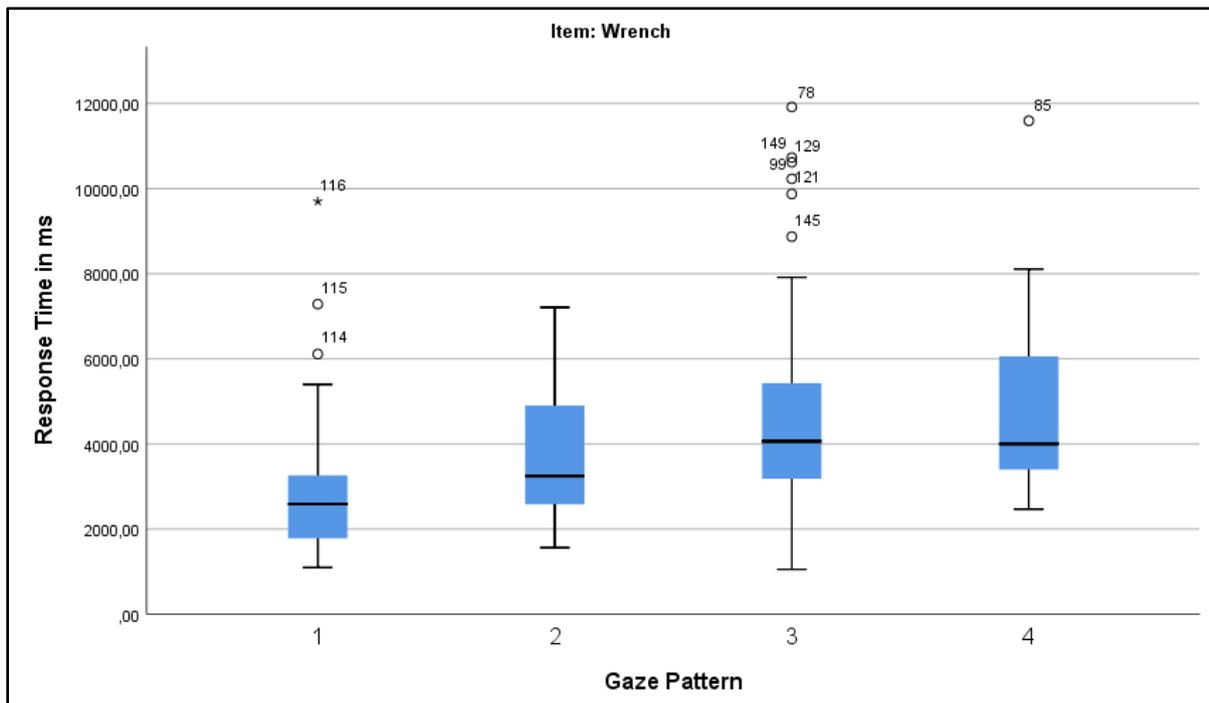


Abbildung 10: Boxplot der Reaktionszeit und Blickmuster 1-4 für den Schraubenschlüssel

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

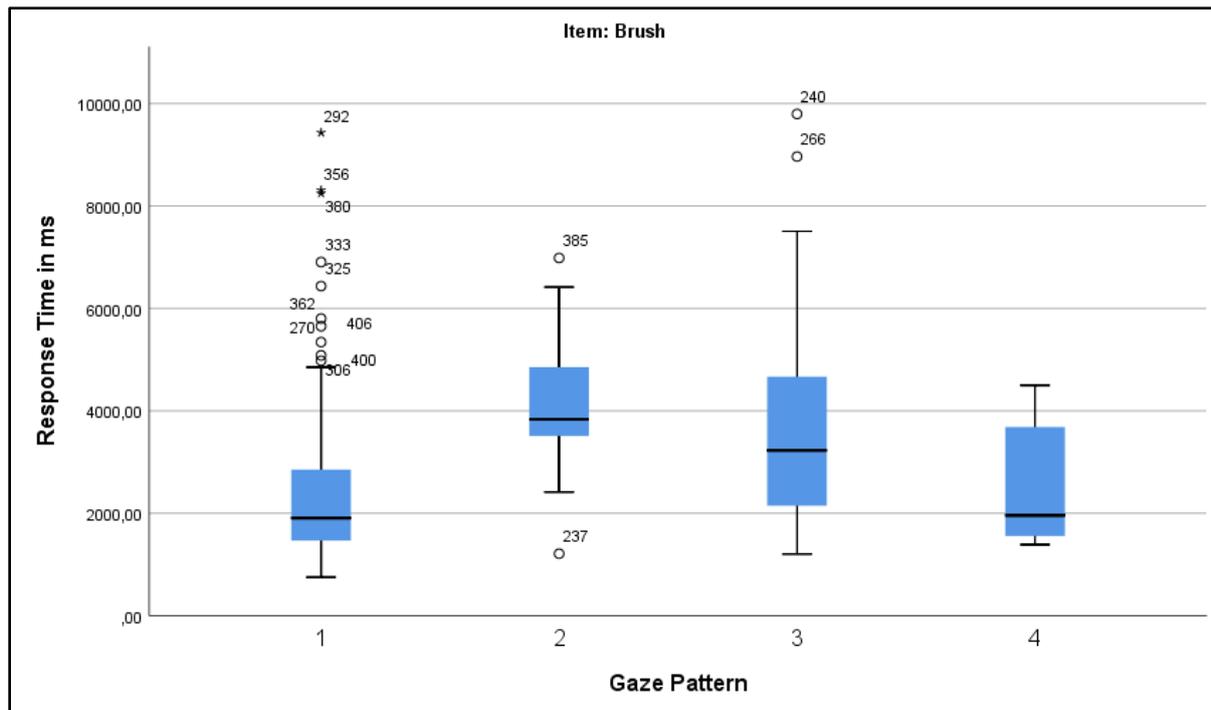


Abbildung 11: Boxplot der Reaktionszeit und Blickmuster 1-4 für die Bürste

### 3.3.5 Winkel und Reaktionszeit

Zusammenhänge zwischen den Reaktionszeiten und den Winkeln wurden untersucht, um die zugrundeliegenden Strategien, wie z. B. egozentrische und objektbasierte (Zacks et al., 2002) zu identifizieren. Um zu überprüfen, ob es Zusammenhänge zwischen den Reaktionszeiten und den Winkeln gibt, wurde eine univariate Varianzanalyse (ANOVA) mit den Reaktionszeiten als Innersubjektfaktor und den Winkeln als Zwischensubjektfaktor berechnet. Es zeigt sich, dass der Winkel einen signifikanten Einfluss auf die Antwortzeit für das Item Schraubenschlüssel hat ( $F(7.208) = 8.438, p = .000, \eta_p^2 = .228$ ). Für das Item Bürste besteht ebenfalls ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Winkel und der Antwortzeit ( $F(7.208) = 2.485, p = .018, \eta_p^2 = .080$ ). Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Bonferroni-korrigierten Post-hoc-Tests. Hier sind nur die signifikanten Unterschiede in den

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

Antwortzeiten zwischen den Winkeln angegeben. Es ist ersichtlich, dass die Unterschiede in der Reaktionszeit zwischen den Winkeln für das Item Schraubenschlüssel größer sind als für die Bürste. Das Diagramm in Abbildung 12 zeigt die durchschnittliche Reaktionszeit der Proband\*innen pro Winkel und Item. Es fällt auf, dass die Reaktionszeit für das Item Schraubenschlüssel bis zu einem Winkel von 180° steil ansteigt und dann wieder stark abfällt. Beim Item Bürste hingegen ist der Anstieg geringer und die Kurve bleibt flacher. Nach Kaltner, Jansen und Riecke (2017) sind solche Kurven für verschiedene Rotationsarten bei Gegenständen charakteristisch. Die steilere Kurve ist typisch für eine objektbezogene mentale Rotation, während die flachere Kurve auf eine eher egozentrische mentale Rotation anzeigt. Damit scheinen die ausgewählten Gegenstände Schraubenschlüssel und Pinsel zu unterschiedlichen Gruppen von Items zu gehören, was auch die Merkmale dieser Itemgruppe zeigt. Dies könnte der Grund sein, warum sich die Häufigkeit und Effektivität der verschiedenen Blickmuster zwischen den beiden Items unterscheiden. Die Befunde, die wir mit unseren Eyetracking-Datenanalysen erhoben haben, scheinen mit dieser Item- und Strategie-Klassifikation in Einklang zu stehen.

Tabelle 2: Ergebnisse der Bonferroni-korrigierten Post-hoc-Tests

ITEM	WINKEL IN GRAD (I)	WINKEL IN GRAD (J)	MITTLERE DIFFERENZ DER REAKTIONSZEIT (I-J)	SIGNIFIKANZ
SCHRAUBENSCHLÜSSEL	0°	90°	-1802.23	.018
		135°	-2811.62	.000
		180°	-3558.27	.000
		225°	-2077.38	.003
		315°	-1995.50	.005
	45°	135°	-1680.65	.040
		180°	-2427.31	.000
	90°	180°	-1756.04	.024
180°	270°	2049.54	.003	
BÜRSTE	0°	135°	-1551.58	.031
		270°	-1532.46	.036

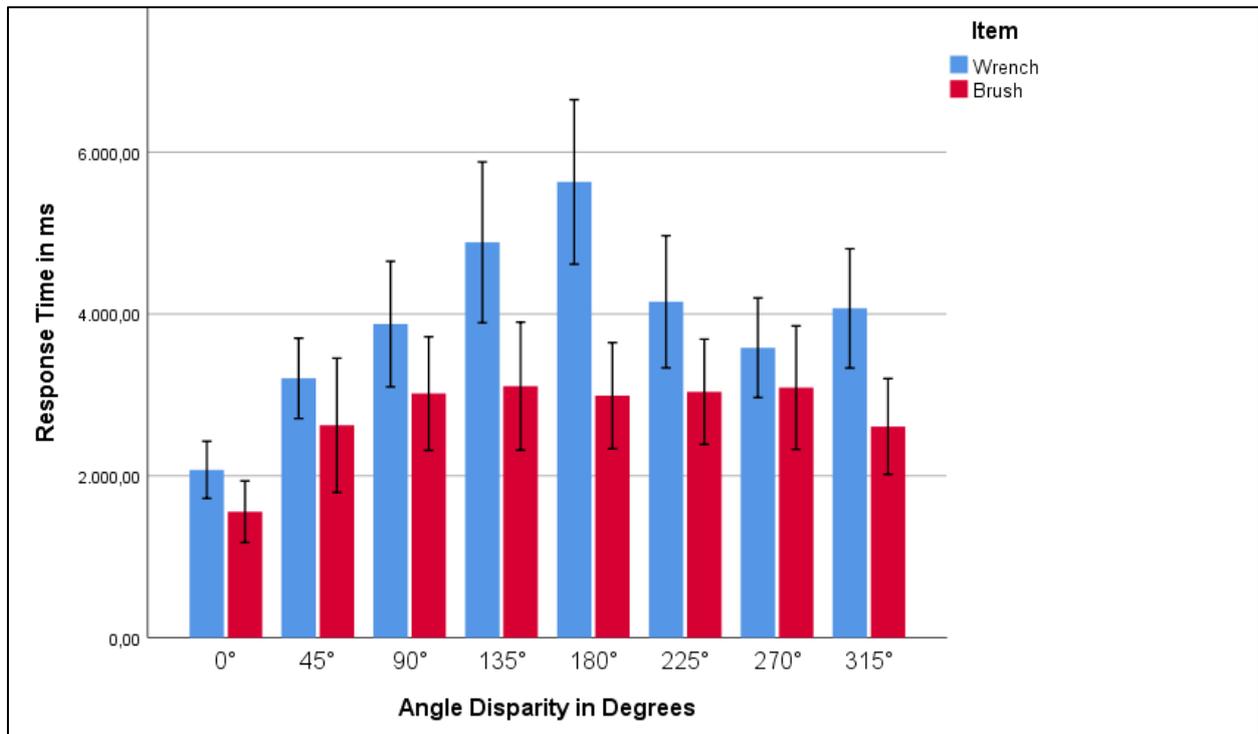


Abbildung 12: Durchschnittliche Reaktionszeit in ms pro Winkel und Item

### 3.4 Diskussion

In dieser Studie wurde ein explorativen Ansatz unter Verwendung eines Eye-Trackers verfolgt, um die Blickpfade der Proband\*innen aufzuzeichnen, während sie eine mentale Rotationsaufgabe mit geschlechtsstereotypen Objekten lösten. Es wurde versucht, Blickmuster zu analysieren, um darauf aufbauende Strategien zu bestimmen.

Nach den qualitativen Analysen lässt sich feststellen, dass sich anhand der Scanpfade vier Blickmuster ("Analytic", "Elaborate", "Square", "Uncertain") identifizieren lassen. Genauer gesagt werden diese von den Proband\*innen verwendet, wenn sie die beiden geschlechtsstereotypen Stimuli in einem Item vergleichen und entscheiden, ob sie ähnlich oder unterschiedlich sind. Erstens fanden wir einheitliche Blickmuster für geschlechtsstereotype Stimuli. Diese Blickmuster

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

wurden bei allen Blickwinkeln und bei beiden Items, nämlich Schraubenschlüssel und Bürste, gefunden. Darüber hinaus ist zu beobachten, dass sich die Häufigkeit der vier Blickmuster zwischen den Items unterscheidet: Blickmuster 3 ("Square") ist beim Item Schraubenschlüssel am häufigsten, während bei der Bürste das Blickmuster 1 ("Analytic") dominiert. Interessanterweise weisen die dominanten Blickmuster nicht die niedrigsten Fehlerquoten auf. Für das Item Schraubenschlüssel hat Blickmuster 2 ("Elaborate") die niedrigste Fehlerrate (12,5 %), während Blickmuster 3 ("Square") die niedrigste Fehlerrate für das Item Bürste aufweist. Es scheint also kein direkter Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Blickmuster und der Leistung zu bestehen. Allerdings war die Stichprobe für eine genauere Analyse zu klein, so dass dies in weiteren Studien untersucht werden sollte.

Hinsichtlich der Frage, ob sich aus den Blickmustern Lösungsstrategien ableiten lassen, haben wir in unseren Ergebnissen einige Hinweise gefunden. Werden Blickmuster bei einem Item bevorzugt und korrelieren die Blickmuster unterschiedlich mit der Leistung, können sie als Indikator für verschiedene Lösungsstrategien interpretiert werden. Dies deckt sich mit der Erkenntnis, dass es einen Zusammenhang zwischen Blickmuster, Antwortzeit und Lösungsstrategien gibt (Borst et al., 2011; Khooshabeh et al., 2013), d.h. einige Blickmuster bzw. Lösungsstrategien scheinen schneller zu sein als andere. Khooshabeh et al. (2013) stellen in ihren Ergebnissen fest, dass „gute Imager“ bei fragmentierten Figuren weniger genau waren und längere Reaktionszeiten hatten als bei vollständigen Figuren. „Schlechte Imager“ schnitten bei fragmentierten und vollständigen Figuren ähnlich ab. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass „gute Imager“ standardmäßig ganzheitliche mentale Rotationsstrategien verwenden, aber je nach Aufgabenanforderung zu alternativen Strategien wechseln, während „schlechte Imager“ weniger flexibel sind und unabhängig von den

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

Aufgabenanforderungen stückweise Strategien verwenden. Bezogen auf unsere Ergebnisse bedeutet dies, dass je nach Winkelunterschied und Schwierigkeit der zu lösenden Aufgabe die Genauigkeit abnimmt und die Reaktionszeiten länger werden. So steigen die Antwortzeiten für das Schraubenschlüssel-Item linear mit der Winkeldisparität. Dies deutet auf einen dynamischen Abbildungsprozess hin, der der tatsächlichen physischen Drehung ähnelt und für den angenommen wurde, dass die mentale Drehung auf einer visuellen Repräsentation beruht. Dieser theoretische Ansatz wiederum ist als holistisch bekannt (Cooper & Shepard, 1973; Metzler & Shepard, 1974). Detailliertere Analysen einer vermuteten Strategie erfordern jedoch eine größere Stichprobe. Diesen sollte in weiteren Studien erfolgen. Außerdem sind die Blickmuster in unserem Experiment nicht kongruent über die Proband\*innen hinweg, was auf eine Änderung der Strategie in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsgrad hinweist.

Daher haben wir einen neuen Ansatz für eine Bottom-up-Identifikation der Strategien entwickelt und beschrieben, die die Proband\*innen bei einer mentalen Rotationsaufgabe verwenden. Wir haben beschrieben, wie die Analyse der Blickmuster funktioniert und wie informativ ein solcher Ansatz für die beiden Beispielitems Schraubenschlüssel und Bürste sein kann. Darüber hinaus fanden wir Hinweise darauf, dass unsere Ergebnisse mit der Literatur zu mentalen Rotationsstrategien bzw. zu verschiedenen Itemtypen bei mentale Rotationsaufgaben korrelieren. Während die Bürste laut ihrer Winkel-Antwort-Zeit-Kurve eher eine egozentrische mentale Rotation auszulösen scheint, scheint der Schraubenschlüssel eine eher objektbasierte mentale Rotation hervorzurufen. Dies scheint mit den Erkenntnissen über die Dominanz und den Erfolg der Blickmuster, die wir für die beiden Gegenstände identifiziert haben, in Einklang zu stehen. Daher können wir

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

davon ausgehen, dass die Blickmuster und die ihnen zugrunde liegenden Lösungsstrategien mit den in der Literatur beschriebenen mentalen Rotationsstrategien übereinstimmen.

Zukünftige Studien, die mehr und andere Items als die in dieser Studie verwendeten beinhalten, sowie Studien mit größeren Stichprobengrößen sind notwendig. Damit sollte die entwickelte Methode weiter evaluiert werden und mehr Erkenntnisse über die den identifizierten Blickmustern zugrunde liegenden Strategien erzielt werden. Des Weiteren zu berücksichtigen wäre auch die Tatsache, dass sich die in der Literatur beschriebenen Strategien bei mentalen Rotationsaufgaben je nach Geschlecht zu unterscheiden scheinen (z.B. Heil & Jansen-Osmann, 2008; Nazareth et al., 2019; Voyer et al., 2020). In zukünftigen Studien mit einer größeren Anzahl von Proband\*innen sollte daher untersucht werden, ob sich die von uns gefundenen Blickmuster auch in ihrer Häufigkeit zwischen den Geschlechtern unterscheiden. Wie wir bereits festgestellt haben, ist es für zukünftige Studien zur mentalen Rotation mit der Methode des Eye-Trackings mit geschlechtsstereotypen Items notwendig, gleich schwierige Stimuli bzw. Objekte zu verwenden. Die Blickbewegungsdaten und die Verhaltensdaten haben nämlich gezeigt, dass die Bürste leichter zu lösen war als der Schraubenschlüssel. Dies könnte einen Einfluss auf die Blickmuster der Proband\*innen gehabt haben. Unsere Ergebnisse zeigen auch, dass das Blickmuster, die zugrunde liegende Strategie und die Leistung bei einem Gegenstand von den visuellen Merkmalen des Objekts und dem Winkel, in dem es gedreht wird, abhängen. Daher scheint die Auswahl der Stimuli in Abhängigkeit von den visuellen Merkmalen ein wichtiges Thema für die zukünftige Forschung zur mentalen Rotation zu sein, insbesondere wenn Eye-Tracking als Methode eingesetzt wird.

## Studie 1: Identifikation von Blickmustern in mentalen Rotationsaufgaben

Die Ergebnisse dieser ersten Studie liefern wertvolle Einsichten in die kognitiven Prozesse, die bei mentalen Rotationsaufgaben und der Anwendung von Eye-Tracking-Methoden auftreten. Insbesondere die beobachteten Muster der Blickbewegungen und die damit verbundenen Verarbeitungsstrategien haben die Komplexität des untersuchten Phänomens verdeutlicht. Trotz der Fortschritte, die wir gemacht haben, bleiben jedoch einige Fragen offen. Diese betreffen unter anderem die spezifischen Mechanismen der Aufmerksamkeitsverteilung und die Rolle von individuellen Fähigkeiten bei der mentalen Rotation. Um diese Aspekte tiefer zu untersuchen, widmet sich die zweite Studie einer differenzierteren Betrachtung der Interaktion zwischen kognitiven Strategien und den visuellen Aufmerksamkeitsmustern. Durch den Einsatz eines erweiterten Sets von Stimuli und einer modifizierten Analysemethodik zielt diese Studie darauf ab, die in der ersten Studie identifizierten Muster weiter zu untersuchen und zu verfeinern.

## 4 Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

### 4.1 Ziele und Hypothesen

Die vorliegende Studie verfolgt das Ziel, aufbauend auf der ersten Studie, ein tiefgehendes Verständnis über die kognitiven Prozesse bei mentalen Rotationstests zu entwickeln, insbesondere unter Berücksichtigung von Geschlechtsunterschieden und der Rolle der Rotationsebene. Ausgehend von der ersten Studie, die das Blickverhalten der Teilnehmenden während eines mentalen Rotationstests nach Shepard und Metzler (1971) untersuchte, zielt die zweite Studie darauf ab, zu überprüfen, ob diese Erkenntnisse auch auf Würfelfiguren übertragbar sind und zum anderen geht es darum diese weiter zu vertiefen. Dafür werden verschiedene Hypothesen aufgestellt, die auf bisherigen Forschungen basieren:

**Hypothese 1:** Basierend auf früheren Studien, wie von Richardson (1994) beschrieben, wird in dieser Studie die Hypothese aufgestellt, dass Männer im mentalen Rotationstest tendenziell höhere Leistungen erzielen als Frauen. Dies wird auf eine Kombination biologischer, sozialer und kultureller Faktoren zurückgeführt. Diese Annahme spiegelt die langjährige Debatte in der psychologischen Forschung wider, die sich mit den Unterschieden in räumlichen Fähigkeiten zwischen Männern und Frauen befasst.

**Hypothese 2:** Es wird angenommen, dass die Rotationsebene der Stimuli einen signifikanten Einfluss auf die Leistung der Teilnehmer\*innen hat. Es wird spezifisch erwartet, dass Teilnehmende bei Aufgaben, die auf der Y-Achse rotiert sind, höhere Punktzahlen erzielen als bei solchen, die auf der X-Achse rotiert sind. Begründet liegt diese Hypothese in den Forschungsergebnissen zur Komplexität und des Itemtyps.

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

Die Komplexität wird durch verschiedene Faktoren bestimmt, unter anderem auch durch die Rotationsachsen und Kombinationen von Rotationen, Drehwinkel und räumlicher Anordnung der Objekte (vgl. Ariali, 2021; Lange, 2009; Stagl, 2008).

**Hypothese 3:** Diese Hypothese baut auf den beiden vorherigen auf und untersucht den Zusammenhang zwischen Geschlecht und Rotationsebene in Bezug auf die erreichten Punktzahlen. Explizit wird angenommen, dass Männer in beiden Rotationsebenen höhere Punktzahlen erreichen als Frauen, der Geschlechtsunterschiede aber bei der Rotation in der Tiefenebene größer ist.

**Hypothese 4:** Es wird angenommen, dass es einen Unterschied in der Reaktionszeit zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmern gibt. Diese Annahme basiert auf der Erkenntnis, dass geschlechtsspezifische Unterschiede in kognitiven Prozessen existieren, die sich in der Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung manifestieren. So postulierten Scheer et al. (2018), dass viele Studien gezeigt hätten, dass das Geschlecht ein individueller Faktor ist, der die mentale Rotationsfähigkeit zugunsten der Männer beeinflusst, was sich als Vorteil von Männern gegenüber Frauen häufig in einer schnelleren Reaktionszeit (RT) und einer höheren Genauigkeit äußert. Scheer et al. (2018) berufen sich dabei auf die Metaanalyse von Voyer et al. (1995).

**Hypothese 5:** In Übereinstimmung mit der Theorie der visuellen und räumlichen Verarbeitung wird angenommen, dass die Rotationsebene die Reaktionszeit beeinflusst. Es wird erwartet, dass die Reaktionszeiten bei Aufgaben, die auf der Y-Achse rotiert wurden, kürzer sind, als bei Aufgaben, bei denen auf der X-Achse rotiert wurde. Diese Hypothese berücksichtigt, dass unterschiedliche visuelle und räumliche

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

Herausforderungen je nach Rotationsebene unterschiedliche kognitive Strategien und Verarbeitungszeiten erfordern können (vgl. Ariali, 2021; Lange, 2009; Stagl, 2008).

**Hypothese 6:** Schließlich wird untersucht, ob und wie sich die Reaktionszeiten zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmern in Abhängigkeit von der Rotationsebene unterscheiden. Diese Hypothese baut auf den vorherigen beiden Hypothesen zur Reaktionszeit und der Reaktionszeit und Geschlecht auf. Explizit wird angenommen, dass Männer die Aufgaben schneller lösen als Frauen.

**Hypothese 7:** Die Studie von Shepard und Metzler (1971) bildet eine wichtige Grundlage für die Annahme, dass gute Performer in mentalen Rotationsaufgaben schneller reagieren. Shepard und Metzler zeigten, dass die Zeit, die für die mentale Rotation dreidimensionaler Objekte benötigt wird, proportional zum Rotationswinkel ist. Dies legt nahe, dass Individuen, die mental rotierte Objekte effizienter verarbeiten können, also gute Performer schneller auf diese Aufgaben reagieren, da sie die mentale Rotation rascher durchführen können. Dieses Erkenntnis bildet eine wesentliche Grundlage für die Hypothese, dass bei mentalen Rotationsaufgaben gute Performer schnellere Reaktionszeiten aufweisen.

### 4.2 Weitere Fragestellungen

Die aktuelle Studie verfolgt das Ziel, eine systematische Untersuchung der Geschlechtsunterschiede durchzuführen. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass solche Unterschiede mittels Eye-Tracking-Methoden erfasst und mit der Testleistung in Verbindung gebracht werden können. Im Fokus der Analyse stehen das Blickverhalten der Teilnehmenden, insbesondere die Fixationen und Transitionen zwischen verschiedenen Stimuli innerhalb eines Testitems. Ein besonderes

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

Augenmerk liegt dabei auf den Blickmustern, die bereits in der vorherigen Studie (Studie 1) identifiziert wurden. Die vorliegende Studie (Studie 2) zielt darauf ab, zu überprüfen, ob diese identifizierten Blickmuster auch bei der Betrachtung komplexer und abstrakter Figuren beobachtet werden können, oder ob sich das Blickverhalten der Teilnehmenden grundlegend unterscheidet. Es wird die Hypothese aufgestellt, dass die Blickmuster konsistent mit denen aus Studie 1 sind und auch in diesem Kontext Anwendung finden.

Des Weiteren wird in dieser Studie eine **explorative** Untersuchung der Geschlechtsunterschiede im Blickverhalten durchgeführt. Ziel ist es, zu untersuchen, ob signifikante Differenzen in den Blickmustern, den Fixationen oder Transitionen in Abhängigkeit vom Geschlecht der Versuchspersonen oder ihrer Leistung als gute bzw. schlechte Performer zu beobachten sind.

Um eine tiefere Analyse der Blickmuster zu ermöglichen und ihre Bedeutung im Forschungskontext zu erschließen, kommt die Clusteranalyse als statistische Methode zum Einsatz. Diese Methode ist besonders effektiv, um Ähnlichkeiten zwischen den Blickmustern der Studienteilnehmenden zu identifizieren und diese in kohärente Gruppen zu kategorisieren. Durch diese methodische Herangehensweise soll ein vertieftes Verständnis der Blickverhaltensmuster erreicht und deren Relevanz im Rahmen der untersuchten Geschlechtsunterschiede im Entscheidungsverhalten bewertet werden.

## **4.3 Methode**

### **4.3.1 Teilnehmer\*innen**

Bei den Studienteilnehmer\*innen handelte es sich um Psychologiestudierende der Universität Koblenz-Landau, die zur Teilnahme an empirischen Studien verpflichtet sind, um sogenannte Versuchspersonenstunden zu sammeln. Insgesamt nahmen 49 Proband\*innen (34 weiblich, 15 männlich) an der Studie teil. Die ungleiche Geschlechterverteilung spiegelt die aktuelle Verteilung der Psychologiestudierenden wider. Die Teilnehmer\*innen waren zwischen 18 und 27 Jahre alt, mit einem Durchschnittsalter von 22.08 Jahren ( $SD = 2.44$ ). Basierend auf der Anzahl der im Test erreichten Leistungspunkte wurden die Teilnehmer\*innen in gute und schlechte Performer unterteilt, wobei die Aufteilung durch einen Mediansplit erfolgte. Die guten Performer (13 Männer, 13 Frauen) bildeten ungefähr die obere Hälfte (mittlere Anzahl richtiger Antworten = 85.61,  $SD = 5.15$ ) und die schlechten Performer (2 Männer, 21 Frauen) gehörten zur unteren Hälfte ( $M = 65.65$ ,  $SD = 10.94$ ).

### **4.3.2 Material**

Für den computergestützten mentalen Rotationstest (cMRT) verwendeten wir den MRT nach Shepard und Metzler (1971). Wir erstellten eine Computerversion dieses Tests mit der Software Opensesame. Der Test bestand aus insgesamt 96 Versuchen mit Würfelfiguren. Die Hälfte der 96 Aufgaben, die in zufälliger Reihenfolge präsentiert wurden, waren gespiegelt, die andere Hälfte gedreht. Außerdem wurden 48 Figuren um die Y-Achse und 48 um die X-Achse gedreht. Der Ausgangsreiz wurde auf der linken Seite und ein Vergleichsreiz auf der rechten Seite präsentiert. Die Aufgabe für die Teilnehmer\*innen bestand darin, so schnell wie möglich zu erkennen,

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

ob der Vergleichsreiz dem Ausgangsreiz entsprach (gedreht) oder nicht (gespiegelt).

Im Falle einer Übereinstimmung der beiden Reize musste bei gedrehtem Vergleichsreiz die rechte Pfeiltaste auf der Tastatur gedrückt werden. Bei einem gespiegelten Gegenstand hingegen musste die linke Pfeiltaste gedrückt werden.

### **4.3.3 Messung**

Alle Augenbewegungen wurden mit dem Tobii Pro<sup>®</sup> Spectrum Eyetracker aufgezeichnet. Für alle Aufnahmen wurde eine Abtastrate von 300 Hz verwendet. Für jede\*n Teilnehmende\*n wurde vor dem Experiment eine 5-Punkt-Kalibrierung des Eyetrackers durchgeführt. Eine Kinnstütze wurde für den Versuchsaufbau nicht verwendet, da der Eyetracker eine Bewegungsfreiheit des Kopfes von 42cm x 26cm (Breite x Höhe) bei einem Abstand vom Kopf zum Monitor von 55cm - 75cm im 300 Hz Modus toleriert. Für die Präsentation wurde ein 24"-Monitor verwendet. Die Aufzeichnung der Augenbewegungen wurde mit Opensesame<sup>©</sup> und dem Addon Pygaze<sup>©</sup> realisiert. Diese Software unterstützt die Ausgabe der aufgezeichneten Daten im TSV-Format und war damit für die weitere Datenanalyse mit Blickshift Analytics<sup>©</sup> geeignet. Die Daten wurden mit der Statistiksoftware SPSS v27 ausgewertet.

### **4.3.4 Ablauf**

Vor dem Experiment gab es eine Übungsphase mit zehn Versuchen, um sicherzustellen, dass alle Teilnehmer\*innen das Testverfahren verstanden haben. Nach ihrer Entscheidung erhielten die Teilnehmer\*innen in dieser Übungsphase eine Rückmeldung in Form eines roten Quadrats unten rechts auf dem Bildschirm für falsches Lösen und eines grünen Quadrats für richtiges Lösen. Die Struktur dieser

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

beiden Items entsprach exakt derjenigen des eigentlichen Tests. Nach dieser Übungsphase erfolgte die 5-Punkt-Kalibrierung des Eyetrackers. Wenn der Eyetracker nicht kalibriert werden konnte, wurde der Vorgang wiederholt, bis eine Kalibrierung erfolgte und der eigentliche Test stattfand. Wieder wurden Würfelfiguren in verschiedenen Winkeln präsentiert. Die Teilnehmer\*innen mussten durch Drücken der rechten oder linken Pfeiltaste auf der Tastatur entscheiden, ob es sich ihrer Meinung nach um eine gedrehte oder gespiegelte Figur handelte. Hierfür gab es kein Zeitlimit. Die Zeit jedes Entscheidungsprozesses wurde aufgezeichnet, d. h. vom Beginn der Präsentation bis zum Drücken der Pfeiltaste. Im Folgenden verwenden wir einmal die Gesamtbearbeitungszeit, die eine Kumulation der 96 Einzelbearbeitungszeiten ist, sowie die Reaktionszeit, die das arithmetische Mittel der Bearbeitungszeit der nicht gespiegelten Items ist. Die maximale Punktzahl, die im Test erreicht werden konnte, betrug 96 Punkte, wenn die Teilnehmer\*innen alle Items richtig gelöst haben.

### 4.4 Ergebnisse

#### 4.4.1 Punktzahl

Die maximal zu erreichende Punktzahl des Tests betrug 96 Punkte. Die in der Testung erzielten Punktzahlen reichten von 46 bis 96 Punkten mit einem Mittelwert von  $M = 76.245$  Punkten und einer Standardabweichung von  $SD = 13.039$ . Männer erzielten beim Gesamtttest insgesamt höhere Punktzahlen ( $M = 83.933$ ,  $SD = 13.057$ ) als Frauen ( $M = 72.853$ ,  $SD = 11.673$ ). Ein berechneter t-Test für unabhängige Stichproben zeigt, dass dieser Unterschied statistisch signifikant ist ( $t(47) = 2.954$ ,  $p = .005$ ,  $d = .92$ ). Abbildung 13 zeigt den Boxplot der erreichten Punktzahl beider Geschlechter.

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

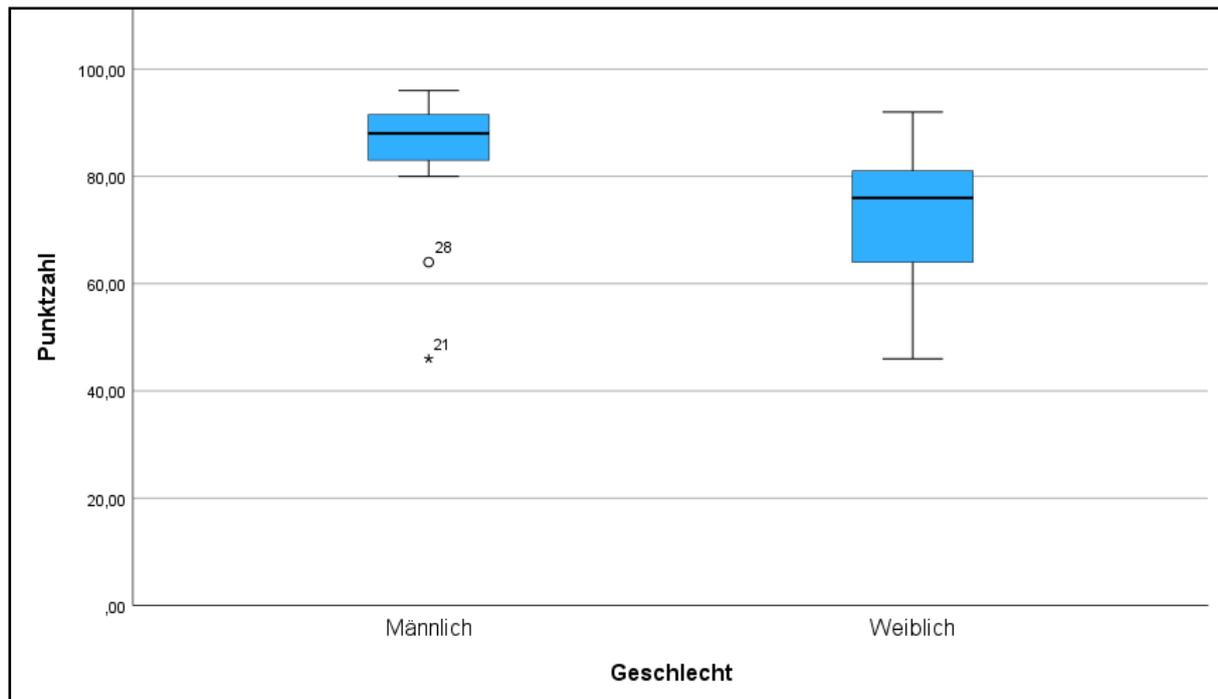


Abbildung 13: Boxplot der Punktzahl für Geschlechter getrennt

### 4.4.2 Punktzahl und Rotationsebene

Um feststellen zu können, ob es statistisch signifikante Unterschiede bei der erreichten Punktzahl zwischen den Rotationsachsen gab und damit Rückschlüsse auf die Schwierigkeit der zu lösenden Items ziehen zu können, wurde ein t-Test für verbundene Stichproben gerechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die erreichte Punktzahl zwischen den in der Y-Achse rotierten Items statistisch signifikant von jenen auf der X-Achse rotierten unterscheidet ( $t(48) = 7.558$ ,  $p = <.001$ ,  $n = 49$ ). Wie Abbildung 14 zeigt, war die erreichte Punktzahl bei Items, welche auf der Y-Achse rotiert waren höher ( $M = 40.306$ ,  $SD = 6.548$ ) als bei den Items, welche auf der X-Achse rotiert waren ( $M = 35.938$ ,  $SD = 7.175$ ). Die Effektstärke nach Cohen (1992) liegt bei  $d = .631$  und entspricht damit einem mittleren Effekt.

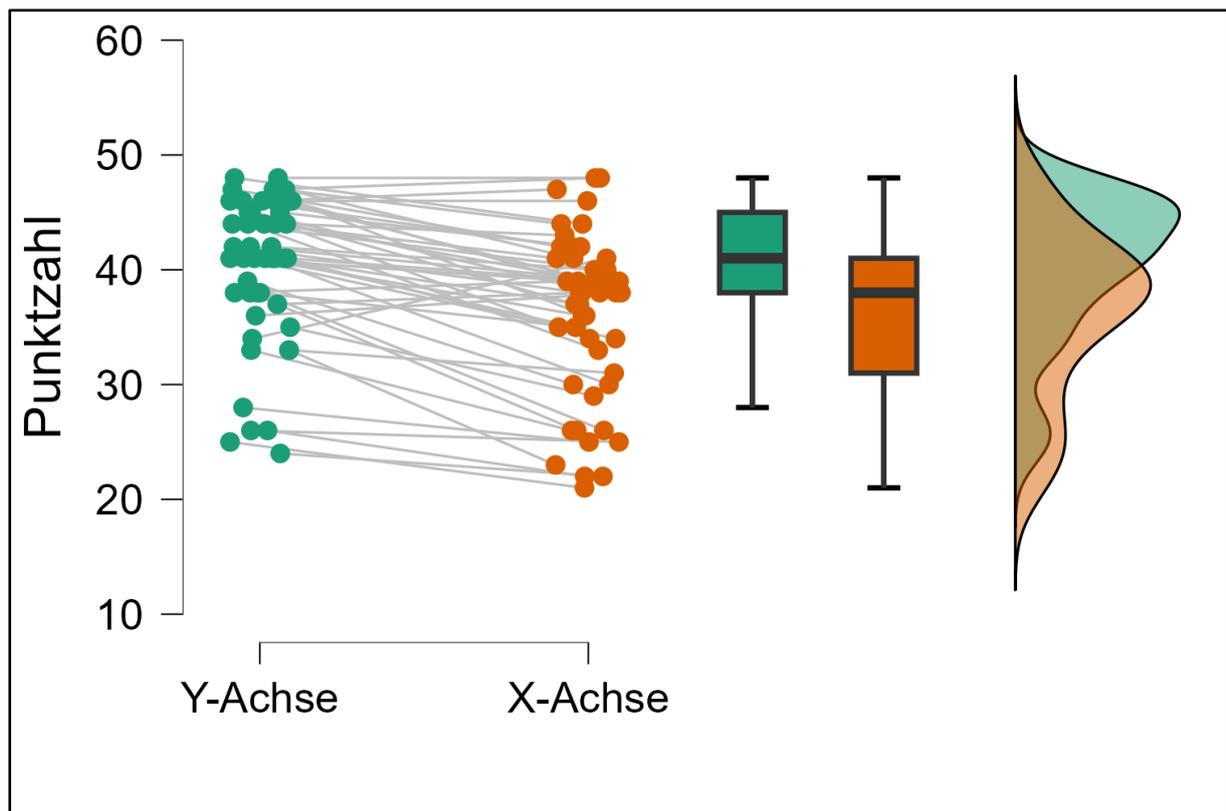


Abbildung 14: Raincloud mit Boxplot für die erreichte Punktzahl der auf Bild- und Tiefenebene rotierten Items

#### 4.4.3 Punktzahl getrennt nach Rotationsebene und Geschlecht

Statistisch signifikante Geschlechtsunterschiede bei der erreichten Punktzahl zeigen sich ebenfalls bei der separaten Betrachtung der Rotationsebenen. Berechnete t-Tests für unabhängige Stichproben zeigen, dass bei den auf der Y-Achse rotierten Items ( $t(47) = 2.789$ ,  $p = .008$ ,  $d = .865$ ) Männer statistisch signifikant höhere Punktzahlen erreichen ( $M = 43.933$ ,  $SD = 6.135$ ) als Frauen ( $M = 38.705$ ,  $SD = 6.007$ ). Das gleiche Bild zeigt sich auch bei Items, welche auf der X-Achse rotiert waren ( $t(47) = 2.815$ ,  $p = .007$ ,  $d = .873$ ). Hier erreichten Männer ( $M = 40.00$ ,  $SD = 7.329$ ) ebenfalls höhere Punktzahlen als Frauen ( $M = 34.15$ ,  $SD = 6.425$ ). Die Effektstärken liegen jeweils über  $d = .8$  was nach Cohen (1992) starken Effekten entspricht.

#### 4.4.4 Reaktionszeit

Die durchschnittliche Reaktionszeit bei den nicht gespiegelten Items liegt zwischen 2.34 und 13.417 Sekunden mit einem Mittelwert von  $M = 6.557$  und einer Standardabweichung von  $SD = 2.635$ . Abbildung 15 zeigt die grafische Darstellung der durchschnittlichen Bearbeitungszeiten während des gesamten Tests. Im Verlauf ist zu erkennen, dass die Bearbeitungszeit zur Mitte des Tests stark ansteigt und bis fast zum Ende des Tests auf diesem Niveau bleibt.

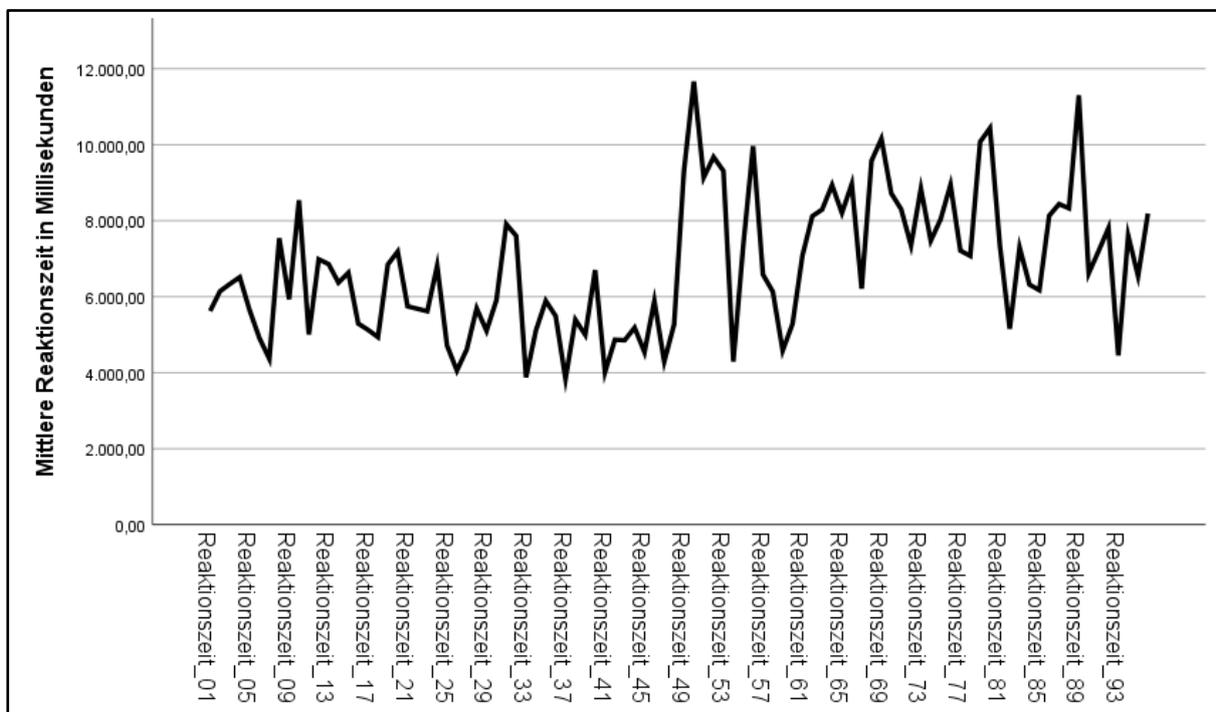


Abbildung 15: Verlauf der durchschnittlichen Reaktionszeit der Items über den Test

#### 4.4.5 Reaktionszeit und Geschlecht

Betrachtet man die Reaktionszeit nach Geschlecht, so lässt sich feststellen, dass Männer eine durchschnittlich längere Reaktionszeit ( $M = 7.13$ ,  $SD = 3.15$ ) aufweisen als Frauen ( $M = 6.30$ ,  $SD = 2.38$ ). Ein durchgeführter t-Test für unabhängige Stichproben zeigte jedoch, dass dieser Unterschied nicht statistisch

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

signifikant ist ( $t(47) = 1.495, p = .317$ ). Abbildung 16 zeigt die durchschnittliche Reaktionszeit aller nicht gespiegelten Items für beide Rotationsebenen in numerischer Aufreihung für beide Geschlechter. Item\_01 bis Item\_46 zeigt die auf der Y-Achse rotierten Items, Item\_49 bis Item\_94 jene auf der X-Achse rotierten. Die Abbildung 13 zeigt nicht die tatsächliche Reihenfolge der präsentierten Items, da jene zufällig präsentiert wurden. Sie dient zum Vergleich der mittleren Reaktionszeiten der jeweiligen Items und Rotationsebenen.

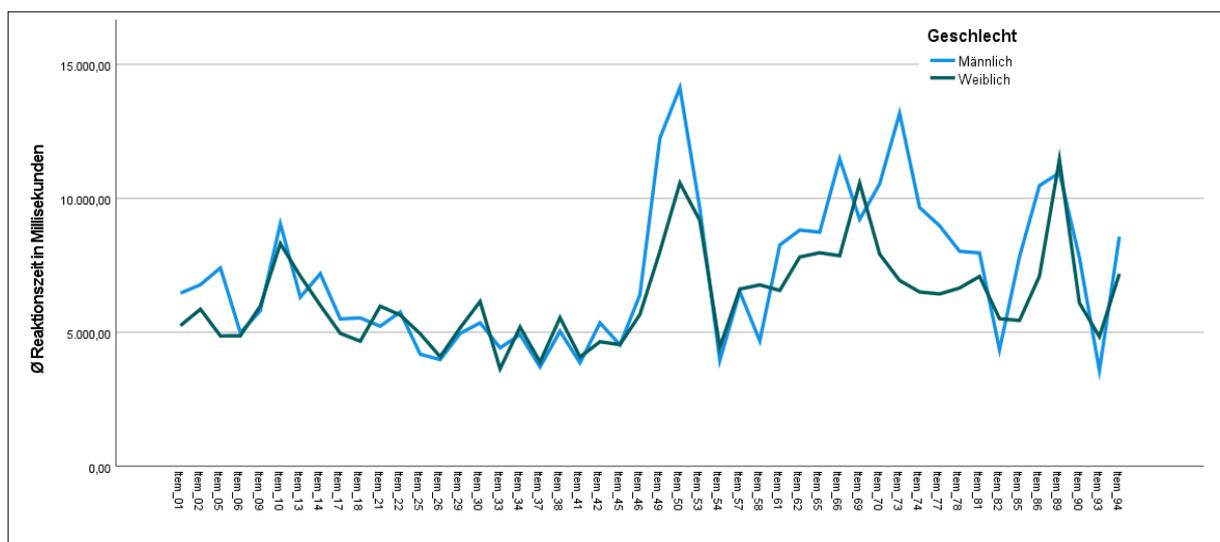


Abbildung 16: Verlauf der durchschnittlichen Reaktionszeit aller nicht gespiegelter Items über den Test getrennt nach Geschlecht

### 4.4.6 Reaktionszeit und Rotationsachse

Signifikante Unterschiede zeigten sich jedoch in den Reaktionszeiten nicht gespiegelter Items zwischen den Rotationsebenen. Wie Abbildung 17 zeigt, lag die durchschnittliche Reaktionszeit aller Proband\*innen bei den nicht gespiegelten Items, welche in der Y-Achse rotiert waren ( $M = 5.37, SD = 2.03$ ) kürzer, als die auf der X-Achse rotierten Items ( $M = 7.75, SD = 3.46$ ). Ein berechneter t-Test für verbundenen Stichproben zeigte, dass dieser Unterschied statistisch signifikant ist

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

( $t(48) = 7.853, p = <.001$ ). Die Effektstärke nach Cohen (1992) liegt bei  $d = 1.122$  und entspricht damit einem starken Effekt.

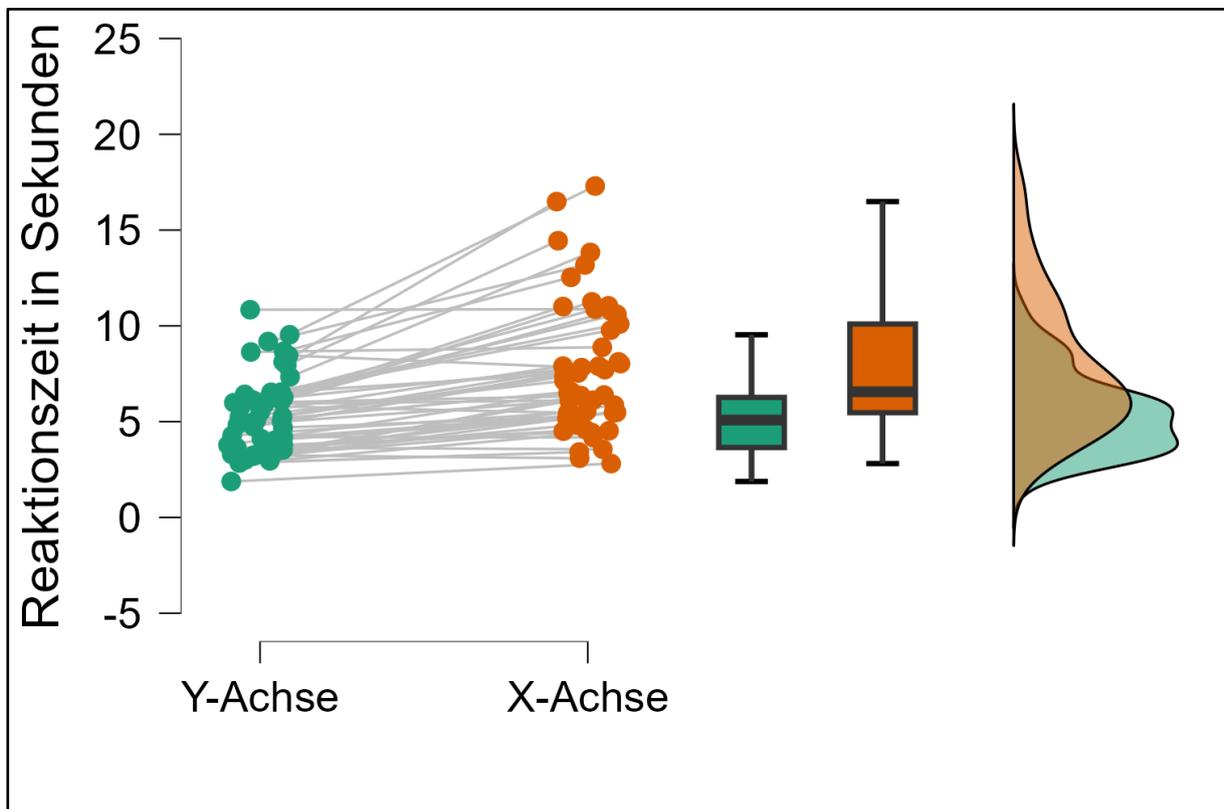


Abbildung 17: Raincloud mit Boxplot für die Reaktionszeit getrennt nach in Bild- und Tiefenebene rotierter Items

### 4.4.7 Reaktionszeit nach Rotationsachse und Geschlecht

Ähnliche Ergebnisse zeigten auch die Analysen der Reaktionszeit nicht gespiegelter Items bei den unterschiedlichen Rotationsebenen. So waren auch bei den auf der Y-Achse rotierten Items die Männer im Mittel langsamer ( $M = 5.53, SD = 2.07$ ) als die Frauen ( $M = 5.29, SD = 2.04$ ), ein berechneter t-Test für unabhängige Stichproben zeigte jedoch, dass dieser Unterschied nicht statistisch signifikant ist ( $t(47) = .371, p = .713$ ). Bei den auf der X-Achse rotierten Items zeigte sich das gleiche Bild. Wieder waren die Männer im Mittel langsamer ( $M = 8.73, SD = 4.30$ ) als die

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

Frauen ( $M = 7.31$ ,  $SD = 2.99$ ). Ein ebenfalls durchgeführter t-Test für unabhängige Stichproben zeigte, dass dieser Unterschied statistisch nicht signifikant ist ( $t(49) = 1.330$ ,  $p = .190$ ).

### 4.4.8 Reaktionszeiten von guten und schlechten Performern

Die Reaktionszeit von guten und schlechten Performern bei nicht gespiegelten Items zeigt lediglich bei den in der Tiefenebene rotierten Items statistisch signifikante Unterschiede auf. So sind gute Performer im Mittel langsamer ( $M = 8.66$ ,  $SD = 4.01$ ) als schlechte Performer ( $M = 6.71$ ,  $SD = 2.41$ ). Die Ergebnisse eines durchgeführten Welch-Tests zeigen, dass diese Unterschiede statistisch signifikant sind ( $t(41.672) = 2.090$ ,  $p = .043$ ). Die Effektstärke nach Cohen (1992) beträgt  $d = .581$  und entspricht einem mittleren Effekt.

Durchgeführte Welch-Tests zeigen, dass es weder bei den auf der Y-Achse rotierten Items statistisch signifikante Unterschiede zwischen guten und schlechten Performern gibt ( $t(46.86) = .381$ ,  $p = .705$ ), noch bei der Betrachtung aller nicht gespiegelten Items ( $t(44.05) = 1.492$ ,  $p = .143$ ).

Die Betrachtung dieser Ergebnisse lässt den Schluss zu, dass die durch einen Mediansplit der erreichten Punkte erfolgte Aufteilung in gute und schlechte Performer die Schwachstelle des zwangsläufigen Kompromisses der Teilnehmer\*innen zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit „abzuwägen“ aufweist, trotzdem jedoch ein Indikator für Unterschiede beim Entscheidungsverhalten sein kann. Auf Grundlage des zwangsläufigen Kompromisses zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit welchen die Teilnehmer\*innen eingehen müssen, soll der Balanced Integration Score (BIS)

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

nach Liesefeld und Janczyk (2019) zur Einteilung in gute und schlechte Performer für die folgenden Analysen herangezogen werden.

### **4.4.9 *Balanced Integration Score (BIS) zur Einteilung von guten und schlechten Performern***

Basierend auf der Berechnung des Balanced Integration Score (BIS) wurden die Teilnehmer\*innen nochmals neu in gute und schlechte Performer unterteilt. Der BIS hat eine Spannweite von 2.82 bis 2.64. Die guten Performer mit einem mittleren BIS von  $M = .942$ ,  $SD = .58$  setzen sich aus 10 Männern und 14 Frauen zusammen und bilden die obere Hälfte, wobei sich die schlechten Performer mit einem mittleren BIS von  $M = .905$ ,  $SD = .75$  aus 5 Männern und 20 Frauen zusammensetzen. Betrachtet man hierbei die Geschlechterverteilung, so gibt es im Gegensatz zur klassischen Aufteilung durch einen Mediansplit auf den ersten Blick lediglich eine Verschiebung von drei männlichen Teilnehmern und einer weiblichen Teilnehmerin die jeweils andere Gruppe.

Basierend auf den Berechnungen zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede. So gibt es erwartungsgemäß statistisch signifikante Unterschiede bei der erreichten Punktzahl zwischen guten ( $M = 82.75$ ,  $SD = 6.36$ ) und schlechten Performern ( $M = 70.00$ ,  $SD = 14.77$ ) wie ein berechneter Welch-Test zeigt ( $t(32.88) = -3.95$ ,  $p = <.001$ ). Die Effektstärke nach Cohen (1992) beträgt  $d = 1.113$  und entspricht einem starken Effekt.

Auch bei der Reaktionszeit in Sekunden zeigen sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen guten ( $M = 5.41$ ,  $SD = 1.64$ ) und schlechten Performern ( $M = 7.66$ ,  $SD = 2.96$ ). Die Ergebnisse eines berechneten Welch-Tests zeigen

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

( $t(37.809) = 3.305, p = .002$ ), dass gute Performer statistisch signifikant kürzere Reaktionszeiten aufweisen als schlechte Performer. Die Effektstärke nach Cohen (1992) beträgt  $d = .934$  und entspricht einem starken Effekt. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Balanced Integration Score ein probateres Mittel zur Unterteilung in gute und schlechte Performer darstellt, wie man beim Vergleich der Ergebnisse zwischen der Methode des klassischen Mediansplits und dem BIS feststellen kann. Tabelle 3 zeigt nochmals alle Mittelwerte und Standardabweichungen der Punktzahl, der mittleren Reaktionszeit nicht gespiegelter Items sowie die gesamte Bearbeitungszeit der jeweiligen Kategorien.

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

Tabelle 3 Mittelwerte und Standardabweichungen der Punktzahl, mittlere Reaktionszeit nicht gespiegelter Items sowie mittlere Bearbeitungszeit in Minuten für die jeweilige Kategorie

	Durchschnittliche MRT-Punktzahl	Mittlere Reaktionszeit in Sekunden nicht gespiegelter Items	Durchschnittliche Gesamtbearbeitungszeit in Minuten
<b>Gesamttest</b>			
Total <i>M (SD)</i>	76.24 (13.04)	6.56 (2.64)	10.84 (4.75)
Männer <i>M (SD)</i>	83.93 (13.06)	7.13 (3.15)	12.15 (6.03)
Frauen <i>M (SD)</i>	72.85 (11.67)	6.30 (2.38)	10.27 (4.03)
gute Performer <i>M (SD)</i>	85.62 (5.15)	7.07 (3.02)	12.01 (5.56)
schlechte Performer <i>M (SD)</i>	65.65 (10.94)	5.98 (2.03)	9.53 (3.27)
BIS gute Performer <i>M (SD)</i>	82.75 (6.36)	5.41 (1.64)	8.87 (2.75)
BIS schlechte Performer <i>M (SD)</i>	70.00 (14.78)	7.66 (2.96)	12.74 (5.49)
<b>Y-Achse rotierte Items</b>			
Total <i>M (SD)</i>	40.31 (6.46)	5.37 (2.03)	4.54 (1.92)
Männer <i>M (SD)</i>	43.93 (6.13)	5.53 (2.07)	4.85 (2.23)
Frauen <i>M (SD)</i>	38.71 (6.00)	5.29 (2.04)	4.40 (1.78)
gute Performer <i>M (SD)</i>	44.81 (2.17)	5.47 (2.12)	4.83 (2.19)
schlechte Performer <i>M (SD)</i>	35.22 (5.88)	5.25 (1.97)	4.22 (1.55)
BIS gute Performer <i>M (SD)</i>	43.42 (3.39)	4.34 (1.29)	3.62 (1.16)
BIS schlechte Performer <i>M (SD)</i>	37.32 (7.31)	6.36 (2.14)	5.43 (2.09)
<b>X-Achse rotierte Items</b>			
Total <i>M (SD)</i>	35.94 (7.17)	7.75 (3.46)	6.30 (2.95)
Männer <i>M (SD)</i>	40.00 (7.33)	8.73 (4.30)	7.29 (3.86)
Frauen <i>M (SD)</i>	34.15 (6.43)	7.31 (2.99)	5.86 (2.39)
gute Performer <i>M (SD)</i>	40.81 (3.68)	8.66 (4.01)	7.18 (3.41)
schlechte Performer <i>M (SD)</i>	30.43 (6.10)	6.71 (2.41)	5.31 (1.95)
BIS gute Performer <i>M (SD)</i>	39.33 (3.93)	6.49 (2.10)	5.25 (1.64)
BIS schlechte Performer <i>M (SD)</i>	32.68 (8.09)	8.96 (4.08)	7.32 (3.56)

### 4.5 Analyse der Eye-Tracking Daten

Um die Reize der jeweiligen Items mit den Eye-Tracking Daten auswerten zu können, wurden wie schon bei der Studie 1 Areas of Interest definiert, die mit den Armen der Reize bzw. den jeweils relevanten Bereichen ähnlich wie bei den geschlechtsstereotypisierten Reizen kongruent sind. Abbildung 18 zeigt an einem Item beispielhaft die jeweiligen Bereiche der Areas of Interest, welche zur weiteren Analyse

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

der Blickmuster, Fixationen und Transitionen Verwendung fanden. So wurden für die Reize, wie auch bei den geschlechtsstereotypisierten Items, zwei AOIs definiert, wobei sich die AOIs bei den abstrakten Würfelfiguren im Hinblick auf die geschlechtsstereotypisierten Items dahingehend unterscheiden, dass es keine freien Bereiche innerhalb der Reize gibt. Dies ist damit zu begründen, dass bei den geschlechtsstereotypisierten Items eindeutige Präferenzen der Fixationen auf die relevanten Ausprägungen der Reize erkennbar waren. Bei den abstrakten Würfelfiguren gehen diese relevanten Bereiche teilweise ineinander über bzw. grenzen direkt aneinander an, weshalb hier keine Leerräume vorhanden sind, die bei den Analysen irrelevant wären.

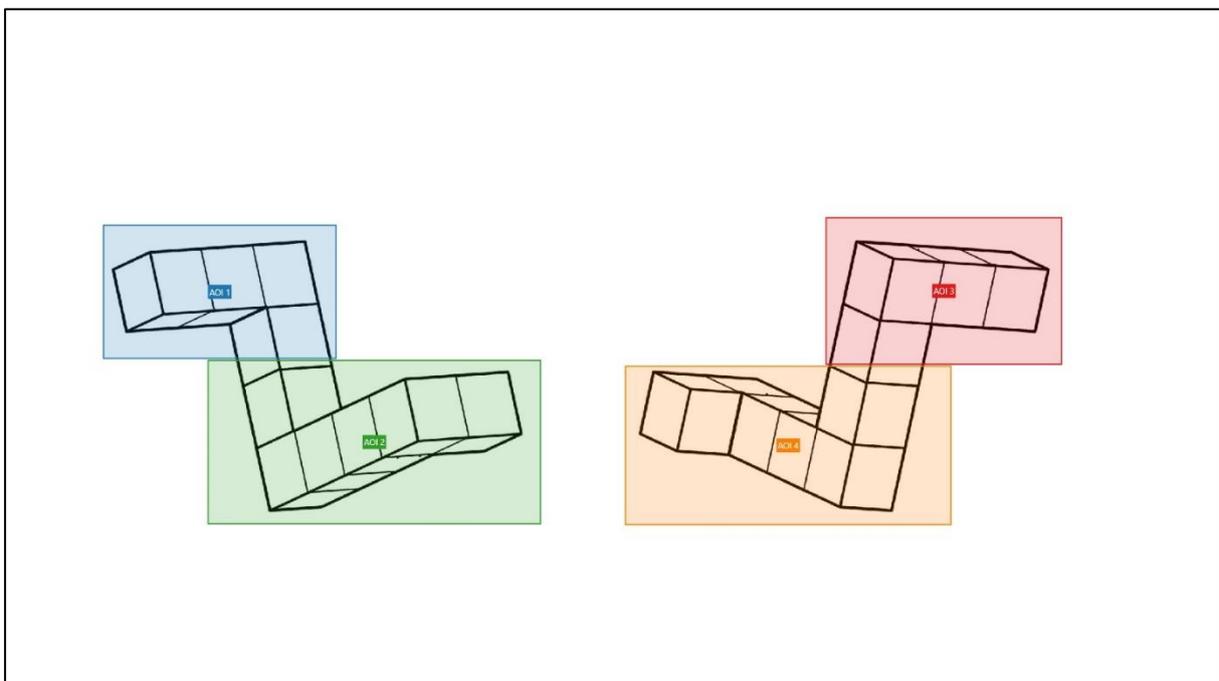


Abbildung 18: Beispielhafte Bereiche der AOI's für die Würfelfiguren

### 4.5.1 Blickmuster

Bezugnehmend auf die vorangegangene Studie wurde untersucht, ob die dort gefundenen Blickmuster auch bei abstrakten Figuren, wie den Würfelfiguren zur

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

Anwendung kommen. Generell lässt sich feststellen, dass alle vier Blickmuster unterschiedlich gehäuft vorkommen, wie man Tabelle 4 entnehmen kann. So zeigt sich am häufigsten Blickmuster 4 „Uncertain“ mit einem Anteil von 50,20% gefolgt von Blickmuster 3 „Square“ mit 26,48%. Im Vergleich zu den Items Bürste und Schraubenschlüssel der ersten Studie zeigt dies, dass die Würfelfiguren zu den schwerer zu lösenden Items gezählt werden können. Zusätzlich wurde ein weiteres Blickmuster (Blickmuster 5) identifiziert, welches auf einen vollkommen anderen kognitiven Prozess bei der mentalen Rotation hindeutet.

Auch die prozentuale Verteilung korrekt und inkorrekt gelöster Items nach Blickmuster zeigt Ähnlichkeiten mit der von Studie 1, obwohl festgehalten werden muss, dass die erreichten Punktzahlen insgesamt sehr hoch sind. So weisen Blickmuster 2 („Elaborate“) und 3 („Square“) die höchste Erfolgsrate auf, welche bei beiden über 80% ist. Die geringste Erfolgsrate zeigt sich bei Blickmuster 5 mit 75,10%. Alle Werte können Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 4: Anzahl und prozentuale Verteilung der Blickmuster

	Antworten		
	N	Prozent	
Blickmuster	1 „Analytic“	625	13.46%
	2 „Elaborate“	196	4.2%
	3 „Square“	1229	26.48%
	4 „Uncertain“	2330	50.20%
	5 „Minimal- Transition-Scan (MTS)“	261	5.62%
Total	4641	100.0%	

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

Tabelle 5: Gegenüberstellung der Anzahl korrekter und inkorrekt Lösungen nach Blickmuster

Item gelöst...	Blickmuster 1 „Analytic“	Blickmuster 2 „Elaborate“	Blickmuster 3 „Square“	Blickmuster 4 „Uncertain“	Blickmuster 5 „Minimal- Transition- Scan (MTS)“	Über alle 4641 Fälle
Nicht korrekt	24.00%	17.35%	17.01%	20.64%	24.90%	20.58%
korrekt	76.00%	82.65%	82.99%	79.36%	75.10%	79.42%

Nachfolgend sind alle identifizierten Blickmuster aufgelistet und beschrieben. Die Beschreibung der ersten vier Blickmuster bezieht sich folglich auf die erste Studie, werden der Übersichtlichkeit halber aber nochmals aufgeführt.

### **Blickmuster 1 „Analytic“**

Der Blickpfad des ersten Musters bildet wie schon bei den geschlechtsstereotypisierten Items oft ein Dreieck oder verläuft nur zwischen zwei zu vergleichenden Merkmalen hin und her (Abbildung 19). Die Richtung des Blickverlaufes, d. h. von links nach rechts oder von oben nach unten, ist hierbei unerheblich. Die Analysen jenes Blickmusters zeigen, dass die kongruenten wesentlichen Merkmale des Objekts durch die Proband\*innen identifiziert und verglichen werden. Wie auch bei Studie 1 wird dabei einer der vier AOI's komplett aus dem Blickpfad ausgeschlossen und durch die Proband\*innen für einen Vergleich der Stimuli nicht betrachtet. Dieser Vorgang des Vergleichs deutet auf eine analytische Vorgehensweise, weshalb der Begriff „Analytic“ für dieses Blickmuster gewählt wurde. Jener bezieht sich explizit nicht auf die sogenannte analytische Lösungsstrategie mentaler Rotationsaufgaben, vielmehr geht er darüber hinaus und betrachtet die Art und Weise, wie die Proband\*innen die Objekte „gescannt“ bzw. betrachtet haben.

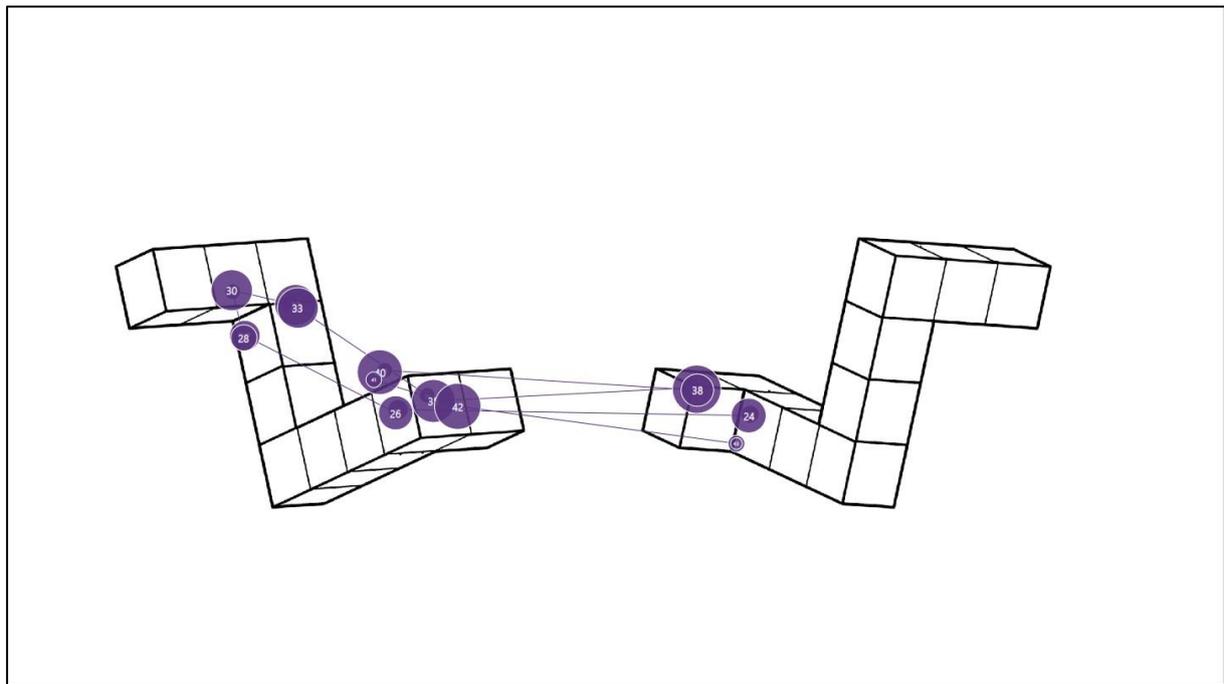


Abbildung 19: Blickmuster 1 „Analytic“

### **Blickmuster 2 „Elaborate“**

Ähnlich wie bei den geschlechtsstereotypisierten Items findet sich auch hier ein Blickmuster, in dem alle gepaarten Merkmale der Stimuli miteinander verglichen werden (Abbildung 20). Der Blickverlauf der Proband\*innen verläuft dabei von einer Seite zur anderen. Der Startpunkt des Blickverlaufes ist wiederum irrelevant. Die Richtung des Blickverlaufes, in der die AOIs gescannt werden, kann jedoch unterschiedlich sein und bildet entweder eine Z-Form oder eine gespiegelte Z-Form.

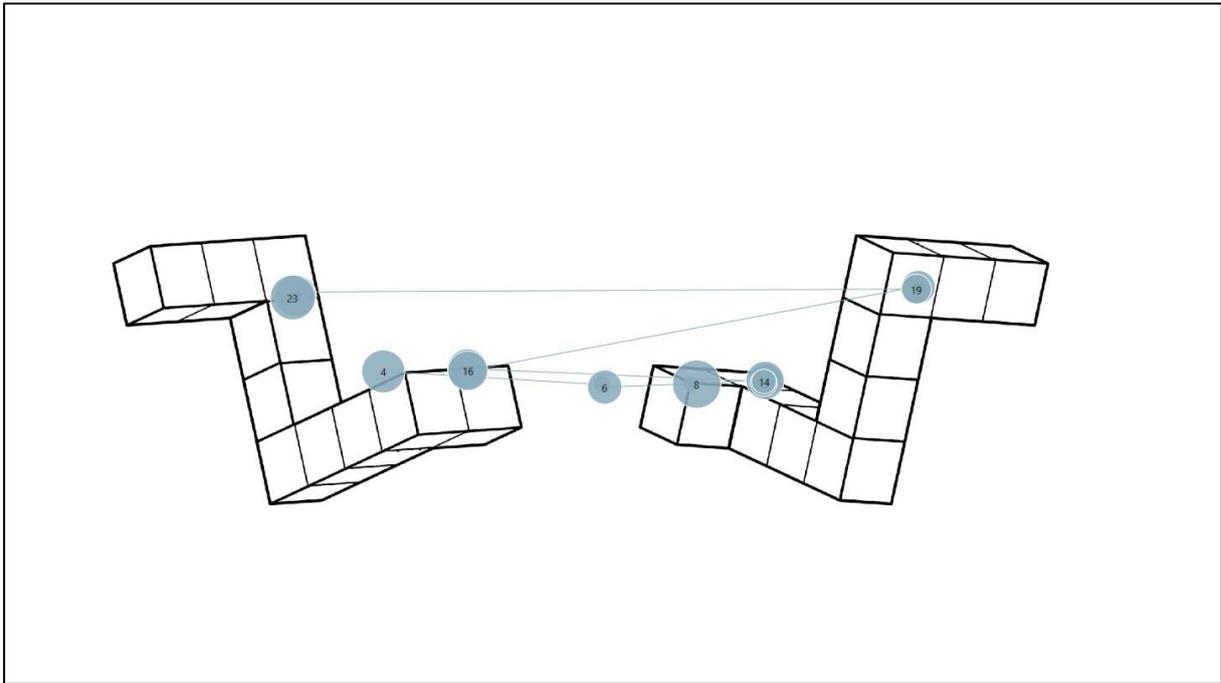


Abbildung 20: Blickmuster 2 „Elaborate“

### **Blickmuster 3 „Square“**

Im dritten Blickmuster werden ebenfalls sämtliche Merkmale miteinander verglichen (Abbildung 21). Im Gegensatz zu Blickmuster 2 verläuft der Blick entlang der zu vergleichenden Merkmale jedoch nicht bei beiden Merkmalen von der jeweils gleichen Seite zur anderen Seite, sondern vom zweiten Stimulusdetail in die entgegengesetzte Richtung. Der Blickpfad bildet somit ein Quadrat, weshalb hierfür die Bezeichnung „Square“ Verwendung fand. Die Richtung des Verlaufes wird hier ebenfalls nicht berücksichtigt.

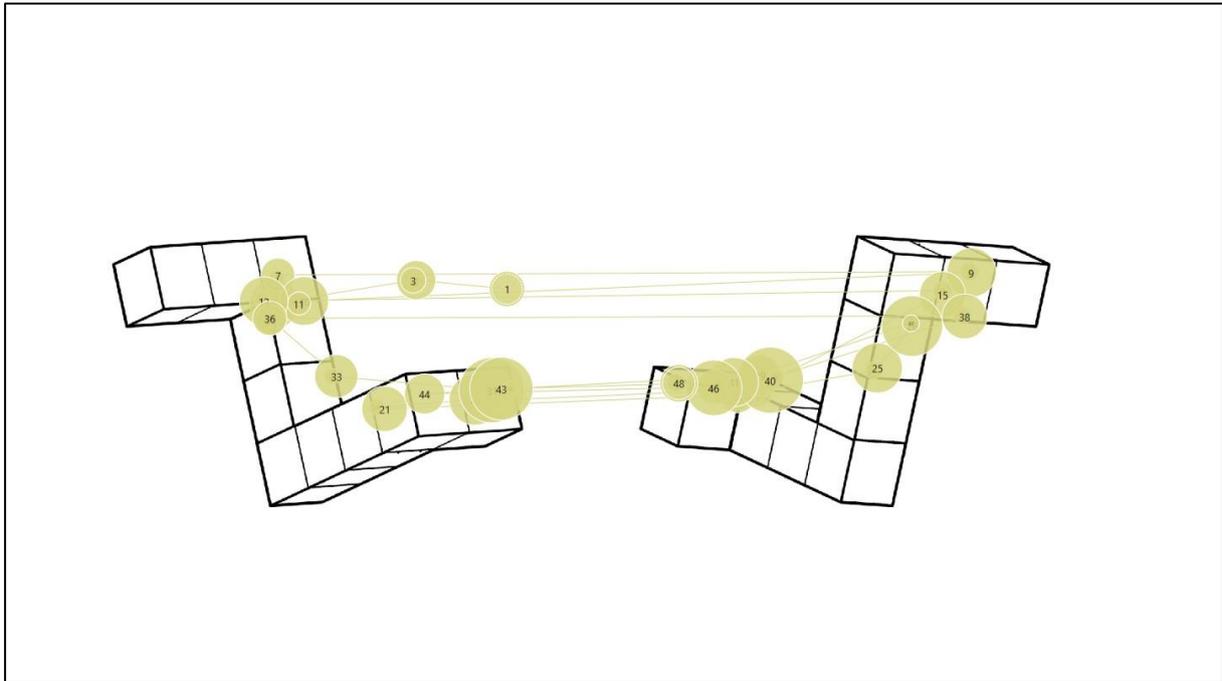


Abbildung 21: Blickmuster 3 „Square“

#### **Blickmuster 4 „Uncertain“**

Das vierte Blickmuster zeichnet sich durch vermeintlich unstrukturierte Blickpfade aus (Abbildung 22). Wobei teilweise nicht die gleichen Merkmale des jeweils gegenüberliegenden Reizes miteinander verglichen werden, sondern die jeweils anderen Merkmale des gegenüberliegenden Reizes. Der Blickpfad verläuft teilweise innerhalb eines Reizes von einem Merkmal zum anderen, um im Anschluss auf den gegenüberliegenden Reiz zu wechseln und das jeweils genau andere Merkmal zu betrachten. Ein direkter Vergleich zweier Merkmale miteinander scheint somit ausgeschlossen. Es wirkt so, als würden die relevanten Merkmale nicht erkannt und der Proband sei unsicher beim Identifizieren jener. Daher wurde die Bezeichnung „unsicher“ für dieses Blickmuster gewählt.

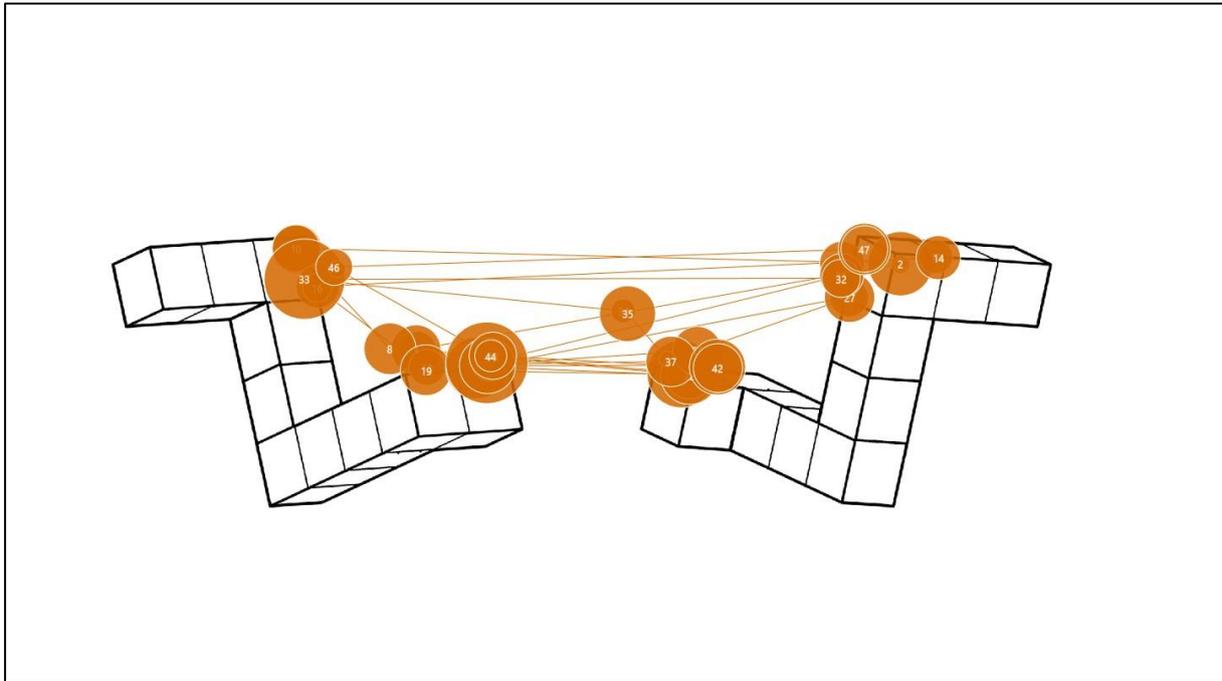


Abbildung 22: Blickmuster 4 „Uncertain“

### **Blickmuster 5 „Minimal-Transition-Scan (MTS)“**

Ein weiteres, sich von den anderen unterscheidendes Blickmuster konnte identifiziert werden (Abbildung 23). Dieses Blickmuster zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass nur sehr wenige Transitionen zwischen den Reizen durchgeführt werden. Bei einzelnen Proband\*innen gab es lediglich eine Transition. Die Proband\*innen betrachteten oftmals den Ausgangsreiz von oben nach unten, um dann eine Transition zum nicht kongruenten Teil des Vergleichsreizes durchzuführen und jenen ebenfalls von oben nach unten zu betrachten. Direkt im Anschluss erfolgte die Entscheidung darüber, ob es sich um ein gespiegeltes oder rotiertes Item handelte. Durch die geringe Anzahl an Transitionen und das systematische Scannen des Reizes wurde das Muster als „Minimal-Transition-Scan (MTS)“ bezeichnet.

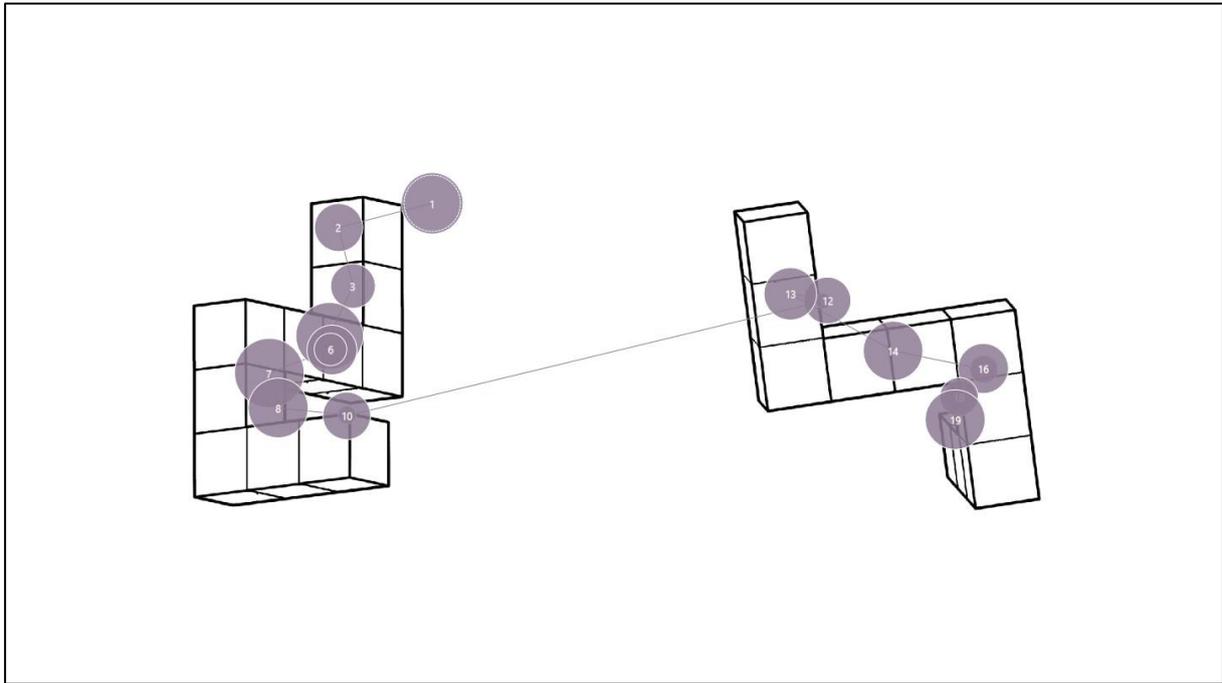


Abbildung 23: Blickmuster 5 „Minimal-Transition-Scan (MTS)“

#### 4.5.2 Anzahl der Fixationen (Gaze Count)

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse einer berechneten multivariaten Varianz-analyse für die Anzahl der Fixationen auf die vier AOIs. Jene zeigten weder statistisch signifikante Unterschiede zwischen den guten und schlechten Performern auf Basis des Mediansplits noch zwischen den guten und schlechten Performern auf Basis des BIS noch zwischen den Geschlechtern.

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

Tabelle 6: Ergebnisse berechneter multivariater Varianzanalysen für die Anzahl der Fixationen auf die vier AOI's

### Test der Zwischensubjekteffekte

Quelle	Abhängige Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model für Performer	GazeCount_AOI1	106134,676 <sup>a</sup>	1	106134.676	0.042	0.838	0.001
	GazeCount_AOI2	246181,643 <sup>b</sup>	1	246181.643	0.875	0.354	0.018
	GazeCount_AOI3	257378,563 <sup>c</sup>	1	257378.563	0.755	0.389	0.016
	GazeCount_AOI4	42677,693 <sup>d</sup>	1	42677.693	0.033	0.857	0.001
Performer	GazeCount_AOI1	106134.676	1	106134.676	0.042	0.838	0.001
	GazeCount_AOI2	246181.643	1	246181.643	0.875	0.354	0.018
	GazeCount_AOI3	257378.563	1	257378.563	0.755	0.389	0.016
	GazeCount_AOI4	42677.693	1	42677.693	0.033	0.857	0.001
Corrected Model für BIS Performer	GazeCount_AOI1	492059,753 <sup>a</sup>	1	492059.753	0.195	0.661	0.004
	GazeCount_AOI2	442514,004 <sup>b</sup>	1	442514.004	1.597	0.213	0.033
	GazeCount_AOI3	777291,459 <sup>c</sup>	1	777291.459	2.356	0.131	0.048
	GazeCount_AOI4	1938390,161 <sup>d</sup>	1	1938390.161	1.550	0.219	0.032
BIS_Performer	GazeCount_AOI1	492059.753	1	492059.753	0.195	0.661	0.004
	GazeCount_AOI2	442514.004	1	442514.004	1.597	0.213	0.033
	GazeCount_AOI3	777291.459	1	777291.459	2.356	0.131	0.048
	GazeCount_AOI4	1938390.161	1	1938390.161	1.550	0.219	0.032
Corrected Model für Geschlecht	GazeCount_AOI1	85622,651 <sup>a</sup>	1	85622.651	0.034	0.855	0.001
	GazeCount_AOI2	753935,840 <sup>b</sup>	1	753935.840	2.787	0.102	0.056
	GazeCount_AOI3	13805,261 <sup>c</sup>	1	13805.261	0.040	0.843	0.001
	GazeCount_AOI4	4000,800 <sup>d</sup>	1	4000.800	0.003	0.956	0.000
Geschlecht	GazeCount_AOI1	85622.651	1	85622.651	0.034	0.855	0.001
	GazeCount_AOI2	753935.840	1	753935.840	2.787	0.102	0.056
	GazeCount_AOI3	13805.261	1	13805.261	0.040	0.843	0.001
	GazeCount_AOI4	4000.800	1	4000.800	0.003	0.956	0.000

### 4.5.3 Dauer der Fixationen (Gaze Duration)

Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse der berechneten multivariaten Varianzanalysen für die Verweildauer auf den jeweiligen AOIs. Jene zeigten weder statistisch

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

signifikante Unterschiede zwischen den guten und schlechten Performern auf Basis des Mediansplits, den guten und schlechten Performern auf Basis des BIS noch zwischen den Geschlechtern.

Tabelle 7: Ergebnisse der berechneten multivariaten Varianzanalysen für die Verweildauer auf den jeweiligen AOIs

### Test der Zwischensubjekteffekte

Quelle	Abhängige Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model für Performer	Gaze_Duration_AOI1	3106,015 <sup>a</sup>	1	3106.015	1.532	.222	.032
	Gaze_Duration_AOI2	3261,897 <sup>b</sup>	1	3261.897	0.856	.359	.018
	Gaze_Duration_AOI3	1065,330 <sup>c</sup>	1	1065.330	0.455	.503	.010
	Gaze_Duration_AOI4	6032,699 <sup>d</sup>	1	6032.699	1.695	.199	.035
<b>Performer</b>	Gaze_Duration_AOI1	3106.015	1	3106.015	1.532	.222	.032
	Gaze_Duration_AOI2	3261.897	1	3261.897	0.856	.359	.018
	Gaze_Duration_AOI3	1065.330	1	1065.330	0.455	.503	.010
	Gaze_Duration_AOI4	6032.699	1	6032.699	1.695	.199	.035
Corrected Model für BIS Performer	Gaze_Duration_AOI1	2876,850 <sup>a</sup>	1	2876.850	1.415	.240	.029
	Gaze_Duration_AOI2	3402,253 <sup>b</sup>	1	3402.253	0.894	.349	.019
	Gaze_Duration_AOI3	1795,040 <sup>c</sup>	1	1795.040	0.773	.384	.016
	Gaze_Duration_AOI4	2974,612 <sup>d</sup>	1	2974.612	0.821	.370	.017
<b>BIS_Performer</b>	Gaze_Duration_AOI1	2876.850	1	2876.850	1.415	.240	.029
	Gaze_Duration_AOI2	3402.253	1	3402.253	0.894	.349	.019
	Gaze_Duration_AOI3	1795.040	1	1795.040	0.773	.384	.016
	Gaze_Duration_AOI4	2974.612	1	2974.612	0.821	.370	.017
Corrected Model für Geschlecht	Gaze_Duration_AOI1	,002 <sup>a</sup>	1	0.002	0.000	.999	.000
	Gaze_Duration_AOI2	75,190 <sup>b</sup>	1	75.190	0.019	.890	.000
	Gaze_Duration_AOI3	73,531 <sup>c</sup>	1	73.531	0.031	.861	.001
	Gaze_Duration_AOI4	90,799 <sup>d</sup>	1	90.799	0.025	.876	.001
<b>Geschlecht</b>	Gaze_Duration_AOI1	0.002	1	0.002	0.000	.999	.000
	Gaze_Duration_AOI2	75.190	1	75.190	0.019	.890	.000
	Gaze_Duration_AOI3	73.531	1	73.531	0.031	.861	.001
	Gaze_Duration_AOI4	90.799	1	90.799	0.025	.876	.001

#### 4.5.4 Transitionen (Übergänge)

Tabelle 8 zeigt die deskriptiven Statistiken der guten und schlechten Performer anhand des Mediansplits und des BIS für die Transitionen zwischen den AOIs. Auffällig ist hierbei, dass die Werte der Performergruppen je nach Ermittlungsmethode genau gegensätzlich sind. So weisen schlechte Performer auf Basis des Mediansplits weniger Übergänge zwischen den AOIs auf als gute Performer. Wohingegen bei den Performern auf Basis des BIS die schlechten Performer mehr Übergänge zwischen den AOIs aufweisen.

Bei den Transitionen von einem AOI zu einem anderen AOI innerhalb eines Items gibt es unterschiedliche Ergebnisse. Tabelle 9 ist zu entnehmen, dass bei den Performern auf Basis des Mediansplits keine statistisch signifikanten Unterschiede bei den Übergängen innerhalb des Ausgangsreizes, von AOI 1 zu AOI 2 ( $F(1,47) = .129, p = .721$ ) sowie von AOI 2 zu AOI 1 ( $F(1,47) = .334, p = .556$ ), erkennbar sind. Bei den Performern auf Basis des BIS hingegen finden sich keine statistisch signifikanten Unterschiede bei den Transitionen zwischen den Reizen von AOI 4 zu AOI 2 ( $F(1,47) = 2.450, p = .124$ ) und umgekehrt von AOI 2 zu AOI 4 ( $F(1,47) = 2.237, p = .141$ ) sowie von AOI 2 zu AOI 3 ( $F(1,47) = 3.083, p = .086$ ) und umgekehrt von AOI 3 zu AOI 2 ( $F(1,47) = 3.393, p = .072$ ). Bei allen weiteren Transitionen lassen sich statistisch signifikante Unterschiede mit hohen Effektstärken feststellen.

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

Tabelle 8: deskriptive Statistiken der guten und schlechten Performer anhand des Mediansplits und des BIS für die Transitionen zwischen den AOIs

### Descriptive Statistics

	<b>Performer Mediansplit</b>	Mean	Std. Deviation	N	<b>Performer BIS</b>	Mean	Std. Deviation	N
From_AOI1_AOI2	bad performer	98.1304	38.62207	23	bad performer	113.4800	50.88395	25
	good performer	102.8077	50.68256	26	good performer	87.2083	34.07789	24
	Total	100.6122	45.02352	49	Total	100.6122	45.02352	49
From_AOI1_AOI3	bad performer	109.8696	39.80898	23	bad performer	157.3200	75.61345	25
	good performer	156.9231	76.46747	26	good performer	111.4167	44.25609	24
	Total	134.8367	65.83861	49	Total	134.8367	65.83861	49
From_AOI1_AOI4	bad performer	64.7826	23.22803	23	bad performer	86.2800	35.32648	25
	good performer	85.8077	36.27232	26	good performer	65.1667	25.32170	24
	Total	75.9388	32.32543	49	Total	75.9388	32.32543	49
From_AOI2_AOI1	bad performer	79.4348	32.13017	23	bad performer	97.0000	42.98255	25
	good performer	85.6923	42.21731	26	good performer	67.9167	23.81982	24
	Total	82.7551	37.56857	49	Total	82.7551	37.56857	49
From_AOI2_AOI3	bad performer	54.6522	17.85703	23	bad performer	70.5200	34.27720	25
	good performer	71.8077	33.06844	26	good performer	56.7083	17.95036	24
	Total	63.7551	28.11623	49	Total	63.7551	28.11623	49
From_AOI2_AOI4	bad performer	114.1304	57.08073	23	bad performer	152.3200	83.19842	25
	good performer	158.8462	74.52983	26	good performer	122.7917	50.28007	24
	Total	137.8571	69.96279	49	Total	137.8571	69.96279	49
From_AOI3_AOI1	bad performer	103.2174	41.33561	23	bad performer	150.9600	79.00658	25
	good performer	149.3462	79.93144	26	good performer	103.4583	44.64642	24
	Total	127.6939	68.20380	49	Total	127.6939	68.20380	49
From_AOI3_AOI2	bad performer	43.5217	17.99715	23	bad performer	59.6000	32.66114	25
	good performer	61.0000	31.14097	26	good performer	45.7083	17.61047	24
	Total	52.7959	27.04085	49	Total	52.7959	27.04085	49
From_AOI3_AOI4	bad performer	96.3913	45.08350	23	bad performer	135.0000	69.22187	25
	good performer	134.3846	68.04826	26	good performer	97.3333	44.58667	24
	Total	116.5510	60.91253	49	Total	116.5510	60.91253	49
From_AOI4_AOI1	bad performer	55.3913	20.77748	23	bad performer	78.2400	36.89318	25
	good performer	77.2308	37.33342	26	good performer	55.2500	21.89352	24
	Total	66.9796	32.32742	49	Total	66.9796	32.32742	49
From_AOI4_AOI2	bad performer	96.5652	47.84903	23	bad performer	138.9600	79.09829	25
	good performer	149.6538	70.35109	26	good performer	109.9167	45.68885	24
	Total	124.7347	65.90674	49	Total	124.7347	65.90674	49
From_AOI4_AOI3	bad performer	96.5652	51.66045	23	bad performer	133.6800	72.67434	25
	good performer	130.8462	67.99864	26	good performer	95.0417	43.54556	24
	Total	114.7551	62.69155	49	Total	114.7551	62.69155	49

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

Tabelle 9: Unterschiede bei den Transitionen zwischen den AOI's

*Tests der Zwischensubjekteffekte*

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	d f	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model für Performer	From_AOI1_AOI2	266,985 <sup>a</sup>	1	266.985	0.129	.721	.003
	From_AOI1_AOI3	27020,239 <sup>b</sup>	1	27020.239	7.015	.011	.130
	From_AOI1_AOI4	5394,865 <sup>c</sup>	1	5394.865	5.665	.021	.108
	From_AOI2_AOI1	477,871 <sup>d</sup>	1	477.871	0.334	.566	.007
	From_AOI2_AOI3	3591,805 <sup>e</sup>	1	3591.805	4.914	.032	.095
	From_AOI2_AOI4	24402,007 <sup>f</sup>	1	24402.007	5.447	.024	.104
	From_AOI3_AOI1	25968,611 <sup>g</sup>	1	25968.611	6.186	.016	.116
	From_AOI3_AOI2	3728,220 <sup>h</sup>	1	3728.220	5.586	.022	.106
	From_AOI3_AOI4	17616,490 <sup>i</sup>	1	17616.490	5.159	.028	.099
	From_AOI4_AOI1	5820,886 <sup>j</sup>	1	5820.886	6.170	.017	.116
	From_AOI4_AOI2	34396,014 <sup>k</sup>	1	34396.014	9.285	.004	.165
	From_AOI4_AOI3	14342,024 <sup>l</sup>	1	14342.024	3.867	.055	.076
Performer	From_AOI1_AOI2	266.985	1	266.985	0.129	.721	.003
	From_AOI1_AOI3	27020.239	1	27020.239	7.015	.011	.130
	From_AOI1_AOI4	5394.865	1	5394.865	5.665	.021	.108
	From_AOI2_AOI1	477.871	1	477.871	0.334	.566	.007
	From_AOI2_AOI3	3591.805	1	3591.805	4.914	.032	.095
	From_AOI2_AOI4	24402.007	1	24402.007	5.447	.024	.104
	From_AOI3_AOI1	25968.611	1	25968.611	6.186	.016	.116
	From_AOI3_AOI2	3728.220	1	3728.220	5.586	.022	.106
	From_AOI3_AOI4	17616.490	1	17616.490	5.159	.028	.099
	From_AOI4_AOI1	5820.886	1	5820.886	6.170	.017	.116
	From_AOI4_AOI2	34396.014	1	34396.014	9.285	.004	.165
	From_AOI4_AOI3	14342.024	1	14342.024	3.867	.055	.076
Corrected Model für BIS Performer	From_AOI1_AOI2	8451,434 <sup>a</sup>	1	8451.434	4.471	.040	.087
	From_AOI1_AOI3	25801,421 <sup>b</sup>	1	25801.421	6.653	.013	.124
	From_AOI1_AOI4	5458,443 <sup>c</sup>	1	5458.443	5.740	.021	.109
	From_AOI2_AOI1	10357,228 <sup>d</sup>	1	10357.228	8.482	.005	.153
	From_AOI2_AOI3	2335,863 <sup>e</sup>	1	2335.863	3.083	.086	.062
	From_AOI2_AOI4	10676,602 <sup>f</sup>	1	10676.602	2.237	.141	.045
	From_AOI3_AOI1	27629,490 <sup>g</sup>	1	27629.490	6.637	.013	.124
	From_AOI3_AOI2	2363,001 <sup>h</sup>	1	2363.001	3.393	.072	.067
	From_AOI3_AOI4	17372,789 <sup>i</sup>	1	17372.789	5.080	.029	.098
	From_AOI4_AOI1	6471,920 <sup>j</sup>	1	6471.920	6.962	.011	.129
	From_AOI4_AOI2	10328,758 <sup>k</sup>	1	10328.758	2.450	.124	.050
	From_AOI4_AOI3	18280,663 <sup>l</sup>	1	18280.663	5.043	.029	.097
BIS_Performer	From_AOI1_AOI2	8451.434	1	8451.434	4.471	.040	.087
	From_AOI1_AOI3	25801.421	1	25801.421	6.653	.013	.124
	From_AOI1_AOI4	5458.443	1	5458.443	5.740	.021	.109
	From_AOI2_AOI1	10357.228	1	10357.228	8.482	.005	.153
	From_AOI2_AOI3	2335.863	1	2335.863	3.083	.086	.062
	From_AOI2_AOI4	10676.602	1	10676.602	2.237	.141	.045
	From_AOI3_AOI1	27629.490	1	27629.490	6.637	.013	.124
	From_AOI3_AOI2	2363.001	1	2363.001	3.393	.072	.067
	From_AOI3_AOI4	17372.789	1	17372.789	5.080	.029	.098
	From_AOI4_AOI1	6471.920	1	6471.920	6.962	.011	.129
	From_AOI4_AOI2	10328.758	1	10328.758	2.450	.124	.050
	From_AOI4_AOI3	18280.663	1	18280.663	5.043	.029	.097

#### **4.5.5 Clusteranalyse der Blickmuster**

In der vorliegenden Studie wurde eine hierarchische Clusteranalyse mit der Average-Linkage-Methode und Euklidischer Distanz durchgeführt, um tiefere Einblicke in die Struktur und Beziehungen der Daten zu gewinnen und insbesondere Informationen über die Verteilung und Beziehungen der verwendeten Blickmuster zueinander zu gewinnen. Diese Methode wurde gewählt, da sie es ermöglicht, natürliche Gruppen oder Cluster zu identifizieren, basierend auf Ähnlichkeiten in mehreren Variablen. Durch die Clusterbildung können homogene Untergruppen innerhalb der Stichprobe erkannt werden, die sich in wichtigen Merkmalen ähneln, aber gleichzeitig deutlich von anderen Gruppen unterscheiden. In der Analyse liegt der Fokus auf den Variablen der Anzahl der Blickmuster aller Proband\*innen. Diese Auswahl reflektiert das Interesse daran, zu verstehen, wie sich diese spezifischen Merkmale in der Gesamtpopulation verteilen und ob sich distinkte Muster oder Profile innerhalb der Daten abzeichnen.

Abbildung 24 zeigt das Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse für die Variablen der Anzahl der Blickmuster 1 bis 5. Es verdeutlicht wie die Beobachtungen in Gruppen (Cluster) eingeteilt werden können, basierend auf den Ähnlichkeiten dieser Variablen. Jeder Zweig des Dendrogramms repräsentiert eine Gruppe von Beobachtungen, die zueinander ähnlich sind, und die Höhe der Verzweigungen gibt die Distanz (oder Unähnlichkeit) zwischen den Gruppen an.

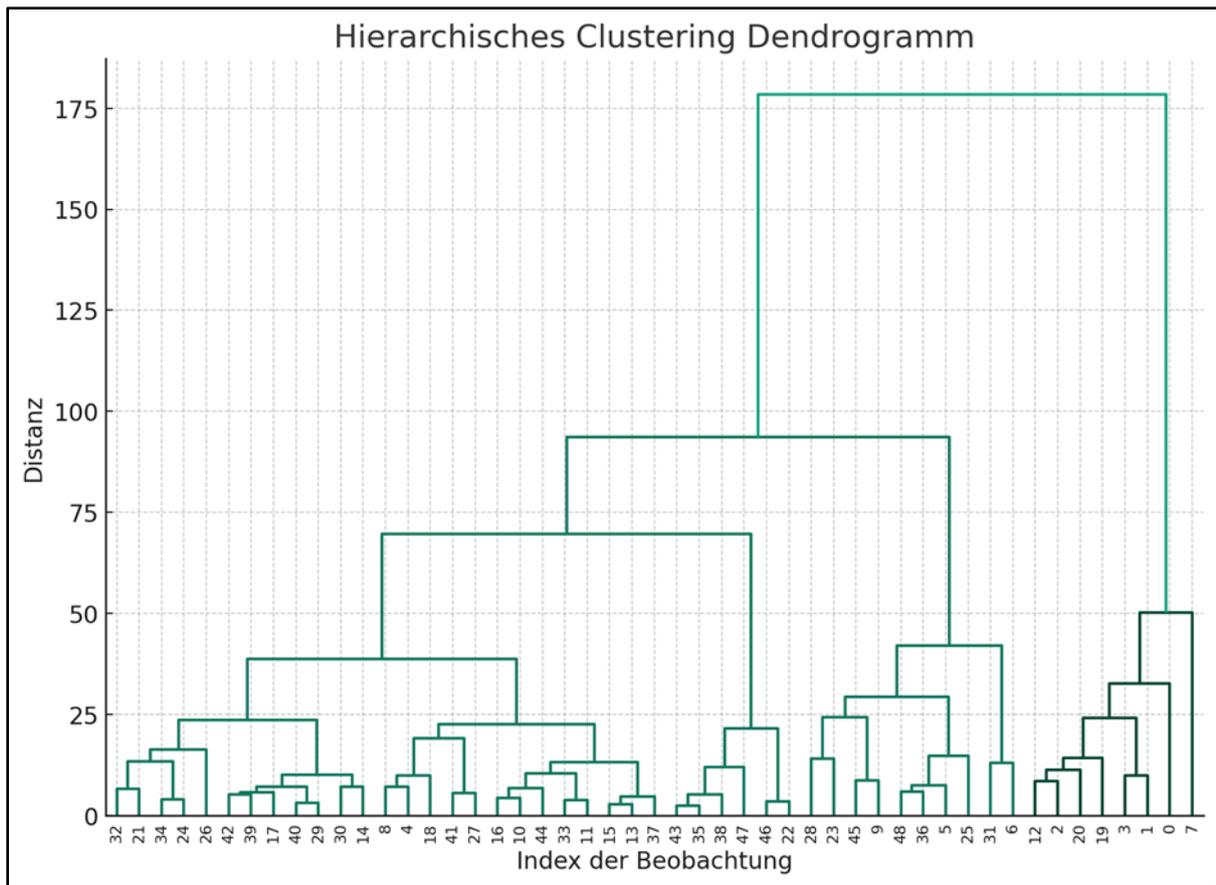


Abbildung 24: Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse

Um eine Entscheidung der zu bildenden Cluster zu treffen, ist eine nähere Betrachtung erforderlich, um zu sehen, ob es deutliche "Sprünge" in den Fusionshöhen gibt. Diese Sprünge können als natürliche Trennpunkte interpretiert werden, die darauf hindeuten, wie viele Cluster sinnvoll sind. Abbildung 25 zeigt das fokussierte Dendrogramm der letzten Fusionsstufen. Hierbei ist es erforderlich die längsten vertikalen Linien, die nicht von horizontalen Linien durchkreuzt werden zu suchen. Diese repräsentieren Bereiche, wo die Zusammenführung von Clustern eine signifikante Zunahme der Distanz bedeutet, was auf natürliche Gruppierungen in den Daten hinweisen kann. Basierend auf dem fokussierten Dendrogramm ergeben zwei bis vier Cluster eine sinnvolle Wahl. Es gibt deutliche Lücken, die auf eine natürliche Gruppierung der Daten in dieser Anzahl von Clustern hinweisen.

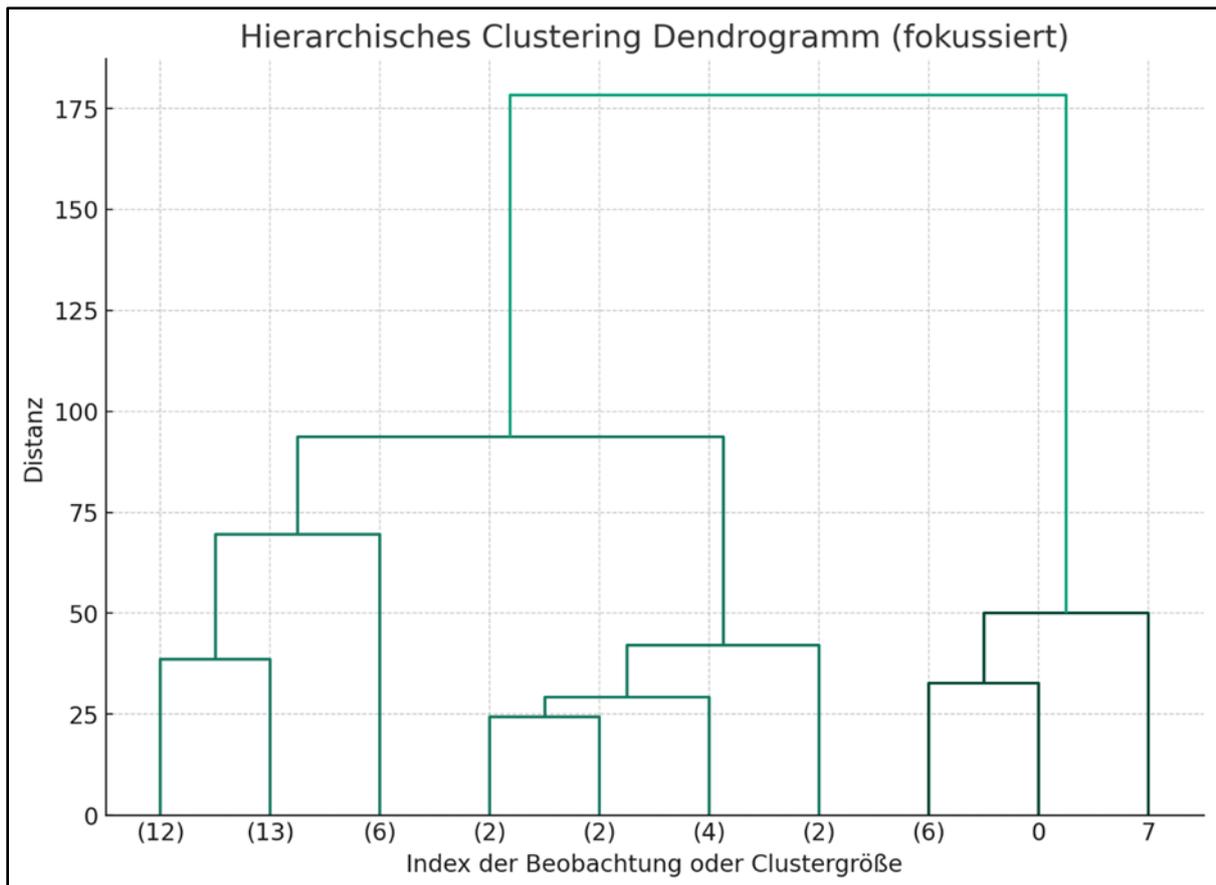


Abbildung 25: Fokussiertes Dendrogramm

Um sicher zu gehen, ob diese Anzahl Cluster eine gute Wahl ist, wurde die Analyse um die Auswertung des Silhouettenwertes erweitert. Der Silhouettenwert ist ein Maß zur Beurteilung der Güte von Clustern in einer Clusteranalyse. Er misst, wie ähnlich ein Objekt seinem eigenen Cluster im Vergleich zu anderen Clustern ist. Der Wert liegt zwischen -1 und 1, wobei ein hoher Wert darauf hindeutet, dass das Objekt gut zu seinem eigenen Cluster passt und schlecht zu den Nachbarclustern.

Die mit der Average-Linkage-Methode und Euklidischer Distanz berechneten Silhouettenwerte, betragen für 3 Cluster: 0.360 und für 4 Cluster: 0.430. Dadurch, dass sich bei der Auswahl von 4 Clustern in einem Cluster lediglich eine Beobachtung finden lässt, wurde trotz des niedrigeren Silhouettenwertes die weitere Analyse mit drei

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

Clustern fortgesetzt. Die deskriptive Analyse der drei Cluster ergibt folgende Charakteristika:

Cluster 1 ist gekennzeichnet durch überdurchschnittlich hohe Werte in der Anzahl von Blickmuster 1 (Mittelwert: ca. 43.75) mit einer breiten Streuung, was auf eine heterogene Gruppe hinweist. Die Werte in Blickmuster 2 sind durchschnittlich niedriger (Mittelwert: ca. 3.38), während Blickmuster 3 und Blickmuster 4 mittlere Werte zeigen (Mittelwerte: ca. 13.75 bzw. 23.63). Für Blickmuster 5 werden niedrige bis mittlere Werte festgestellt (Mittelwert: ca. 3.75).

Cluster 2 weist im Vergleich zu Cluster 1 deutlich niedrigere Werte in der Anzahl von Blickmuster 1 auf (Mittelwert: ca. 10.20). Die Werte in Blickmuster 2 sind ähnlich zu Cluster 1, jedoch etwas höher (Mittelwert: ca. 4.30). Auffallend sind die hohen Werte in Blickmuster 3 und Blickmuster 4 (Mittelwerte: ca. 35.70 bzw. 36.80), die auf eine spezifische Charakteristik dieser Gruppe hinweisen. Blickmuster 5 zeigt eine breite Streuung mit tendenziell höheren Werten als in Cluster 1 (Mittelwert: ca. 8.90).

Cluster 3 unterscheidet sich deutlich von den anderen beiden Clustern durch die niedrigsten Werte in der Anzahl von Blickmuster 1 (Mittelwert: ca. 5.58) und die höchsten Werte in Blickmuster 4 (Mittelwert: ca. 57.19). Die Werte in Blickmuster 2 und Blickmuster 5 sind den anderen Clustern ähnlich, zeigen aber eine moderate Streuung (Mittelwerte: ca. 4.06 bzw. 4.58). Blickmuster 3 weist hohe, aber im Vergleich zu Cluster 2 niedrigere Werte auf (Mittelwert: ca. 24.58).

Zusammenfassend deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass die Cluster aufgrund ihrer spezifischen Ausprägungen in den analysierten Variablen unterschieden werden können. Cluster 1 hebt sich durch besonders hohe Werte in Blickmuster 1 hervor, Cluster 2 durch hohe Werte in Blickmuster 3 und Blickmuster 4,

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

und Cluster 3 durch die Kombination aus niedrigen Werten in Blickmuster 1 und sehr hohen Werten in Blickmuster 4. Verdeutlicht werden diese Ergebnisse anhand eines Cluster Mittelwert Diagramms (Abbildung 26).

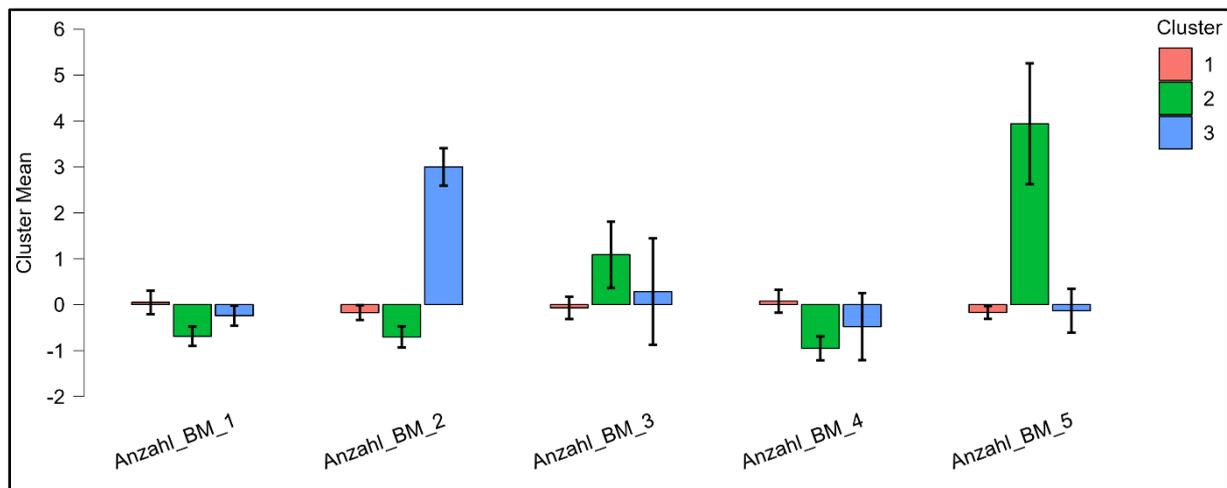


Abbildung 26: Cluster Mittelwert Diagramm

Auf Basis der drei Cluster und um statistisch zu testen, ob es signifikante Unterschiede in den Mittelwerten der Punktzahlen zwischen den drei Clustern gibt, wurde eine Varianzanalyse gerechnet.

Die Varianzanalyse ergab signifikante Unterschiede in den Punktzahlen zwischen den drei Clustern,  $F(2, 46) = 4.14, p = .022$ . Deskriptive Statistiken für die Punktzahlen in den Clustern zeigten, dass Cluster 1 ( $M = 65.00, SD = 19.56$ ), Cluster 2 ( $M = 76.80, SD = 9.51$ ) und Cluster 3 ( $M = 78.97, SD = 10.68$ ) unterschiedliche durchschnittliche Punktzahlen aufwiesen. Der kombinierten Darstellung des Balkendiagramms und des Boxplots (Abbildung 27) ist zu entnehmen, dass Cluster 1 eine breitere Streuung und niedrigere Median-Punktzahl aufweist. Cluster 2 und 3 ähnliche Median-Punktzahlen haben, wobei Cluster 3 tendenziell höhere Werte und eine etwas breitere Streuung zeigt.

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

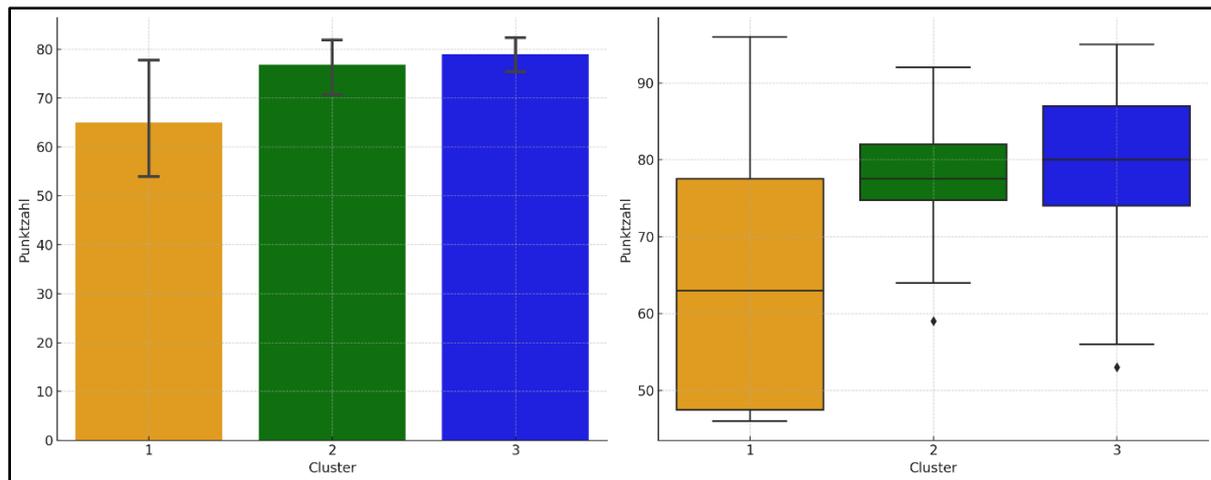


Abbildung 27: Säulendiagramm und Boxplot der Punktzahl über die 3 Cluster

### 4.6 Diskussion

Die zweite Studie galt der Untersuchung des Blickverhaltens bei abstrakten Figuren (Würfelfiguren) innerhalb eines mentalen Rotationstests nach Shepard und Metzler. Ziel war es, unter anderem zu analysieren, ob die in der vorangegangenen Studie gefundenen Blickmuster auf abstrakte Figuren übertragbar sind. Weiterhin wurden die Analysen um Transitionen, eine tiefgründigere Analyse des Blickverhaltens erweitert.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass es statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern beim Lösen computerbasierter mentaler Rotationsaufgaben nach Shepard und Metzler gibt. So erreichten männliche Teilnehmende signifikant höhere Punktzahlen als weibliche (**Hypothese 1 und Hypothese 3**). Die Literatur ist hier allerdings widersprüchlich. Einerseits postulierte Richardson (1994), dass es geschlechtsspezifische Unterschiede zugunsten der Männer gibt, weist allerdings auch darauf hin, dass im Laufe der letzten Dekaden diese Unterschiede abzunehmen scheinen. Andererseits stehen die Ergebnisse im Widerspruch zur aktuellen Literatur, da beispielsweise Toth und Campbell (2019)

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

sowie Rahe et al. (2018) keine Geschlechtsunterschiede feststellen konnten und auch Voyer (2011) zu dem Schluss kam, dass Geschlechterunterschiede bei der mentalen Rotation signifikant höher sind, wenn die Aufgaben mit zeitlichen Beschränkungen abgeschlossen werden. Der Testung dieser Studie lag allerdings keine zeitliche Beschränkung zu Grunde, weshalb die Leistungsunterschiede zwischen den Geschlechtern weiterer Untersuchungen bedürfen. Die Ergebnisse sind auch nicht durch Fixationen, Blickmuster oder Transitionen (**Explorative Analyse**) erklärbar und bedürfen weiterer Untersuchungen.

Die in dieser Studie beobachteten Geschlechtsunterschiede könnten durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst sein. Einerseits könnten biologische Unterschiede zwischen den Geschlechtern, wie Variationen in der Gehirnstruktur und -funktion, eine Rolle spielen. Zusätzlich sind soziokulturelle Einflüsse zu berücksichtigen, die sich aus der Erziehung und den gesellschaftlichen Erwartungen ergeben. Diese könnten die Entwicklung räumlicher Fähigkeiten maßgeblich prägen, indem sie unterschiedliche Erfahrungen und Übungsmöglichkeiten in Aktivitäten bieten, die räumliches Denken fördern. Des Weiteren dürfen Erfahrung und Training, die in direktem Zusammenhang mit Aufgaben stehen, die räumliches Denken erfordern, nicht außer Acht gelassen werden. Unterschiede in der Vorerfahrung mit solchen Aufgaben könnten die beobachteten Leistungsunterschiede teilweise erklären. Motivation und Interesse, die sich ebenfalls zwischen den Geschlechtern unterscheiden können, haben ebenfalls einen Einfluss auf die Leistung. Die Wirkung von Geschlechtsstereotypen und der Selbstwirksamkeitserwartung ist ebenfalls ein wichtiger Faktor. Stereotype Vorstellungen über mathematische und räumliche Fähigkeiten könnten das Selbstvertrauen und damit die Leistung beeinflussen, insbesondere bei Frauen. Zudem könnten die spezifischen Testbedingungen und das verwendete Testmaterial

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

geschlechtsspezifische Unterschiede in der Leistung begünstigen. In der vorliegenden Studie wurde ein computergestützter mentaler Rotationstest durchgeführt. Es ist möglich, dass dieser Test aufgrund seiner technischen Natur die gesellschaftlich dominierende technische Affinität von Männern positiv beeinflusst und somit zu einer besseren Leistung dieser Gruppe beigetragen hat. Die Zusammensetzung und Größe der Stichprobe ist ein weiterer kritischer Punkt. Die hier vorliegende unausgewogene Geschlechterverteilung zugunsten der Frauen und eine zu kleine Stichprobe könnten zu verzerrten Ergebnissen geführt haben. Psychologischer Stress und Testangst, die in der Testsituation auftreten können, sind ebenfalls relevante Faktoren, da unterschiedliche Reaktionen auf den Testkontext die Leistung beeinflussen können. Des Weiteren könnten Unterschiede in der Art und Weise der Informationsverarbeitung zwischen Männern und Frauen existieren, was sich auf die Herangehensweise und Lösung von mentalen Rotationsaufgaben auswirken könnte. Hormonelle Einflüsse, insbesondere solche, die mit dem Menstruationszyklus bei Frauen zusammenhängen, könnten ebenfalls temporäre Auswirkungen auf kognitive Fähigkeiten haben. Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass diese Faktoren in der Regel nicht isoliert wirken. Vielmehr ist es wahrscheinlich, dass eine Kombination aus mehreren dieser Faktoren zu den beobachteten Geschlechtsunterschieden in den kognitiven Leistungen dieser Studie geführt haben. Zukünftige Forschungen sollten daher diese verschiedenen Aspekte gezielt betrachten und analysieren, um ein umfassenderes Verständnis der Ursachen für die in unserer Studie beobachteten Geschlechtsunterschiede zu erlangen.

Die Hypothese, dass die Rotationsachse der Stimuli einen signifikanten Einfluss auf die erreichte Punktzahl hat (**Hypothese 2**), findet in den Ergebnissen der Studie Bestätigung. Spezifisch wurde erwartet, dass Teilnehmer bei Aufgaben, die auf der Y-

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

Achse rotiert sind, höhere Punktzahlen erzielen als bei solchen, die in auf der X-Achse rotiert sind. Diese Annahme stützt sich auf frühere Forschungsergebnisse, die aufzeigen, dass die Komplexität von mentalen Rotationsaufgaben durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird, darunter die Rotationsachsen, Kombinationen von Rotationen, Drehwinkel und die räumliche Anordnung der Objekte (vgl. Ariali, 2021; Lange, 2009; Stagl, 2008). Die Ergebnisse zeigen, dass die Punktzahlen für Items, die auf der Y-Achse rotiert wurden, statistisch signifikant höher waren als für auf der X-Achse rotierten Items. Dies deutet darauf hin, dass auf der Y-Achse rotierte Aufgaben für die Teilnehmer\*innen leichter zu lösen waren als Aufgaben, die auf der X-Achse rotierten. Diese Ergebnisse könnten mehrere Implikationen haben. Erstens bestätigen sie die Annahme, dass die räumliche Komplexität der Stimuli die Leistung bei mentalen Rotationsaufgaben beeinflusst (vgl. Ariali, 2021; Lange, 2009; Stagl, 2008). Zweitens legen sie nahe, dass die kognitive Verarbeitung bei der mentalen Rotation in verschiedenen Ebenen unterschiedlich abläuft. Die höhere Punktzahl bei der Rotation auf der Y-Achse könnte darauf hindeuten, dass diese Aufgaben für die visuelle Wahrnehmung und die räumliche Verarbeitung der Teilnehmer\*innen intuitiver sind als Rotationen auf der X-Achse. Die Forschungsergebnisse von Ariali (2021), Lange (2009) und Stagl (2008) unterstützen die These, dass die Komplexität und der Typ der Items einen wesentlichen Einfluss auf die Leistung in mentalen Rotationstests haben. Die vorliegende Studie erweitert dieses Verständnis, indem sie aufzeigt, dass nicht nur die allgemeine Komplexität, sondern auch die spezifische Ausrichtung der Rotation einen entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit hat. Zukünftige Forschungen könnten darauf abzielen, genauer zu untersuchen, wie unterschiedliche Rotationsachsen und -ebenen die kognitive Verarbeitung beeinflussen und wie diese Erkenntnisse zur Verbesserung von Trainingsmethoden für räumliche Fähigkeiten genutzt werden können. Ebenso wäre es interessant zu untersuchen, ob und wie sich

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

individuelle Unterschiede in der räumlichen Wahrnehmung und Verarbeitung auf die Leistung in verschiedenen Rotationsebenen auswirken.

Entgegen der Erwartung aus **Hypothese 4** zeigten die Ergebnisse, dass Männer eine durchschnittlich längere RT hatten als Frauen, allerdings war dieser Unterschied statistisch nicht signifikant. Die Ergebnisse könnten darauf hindeuten, dass in bestimmten Kontexten oder spezifischen Arten von mentalen Rotationsaufgaben das Geschlecht möglicherweise keinen signifikanten Einfluss auf die RT hat. Es könnte auch sein, dass Männer und Frauen unterschiedliche kognitive Strategien bei der Lösung der Aufgaben anwenden, was sich in den RTs widerspiegelt.

Die **Hypothese 5** befasst sich mit dem Einfluss der Rotationsebene auf die RT. Die Ergebnisse bestätigen die Hypothese, indem sie zeigen, dass die Reaktionszeit bei Aufgaben die auf der Y-Achse rotiert wurden kürzer ist als bei Aufgaben die auf der X-Achse rotiert wurden. Dieser signifikante Unterschied könnte darauf hindeuten, dass die visuelle und räumliche Verarbeitung bei den auf der Y-Achse rotierten Items eher dem Alltagsbild entspricht und somit weniger komplex oder kognitiv anspruchsvoll ist als bei jenen Items die auf der X-Achse rotiert wurden. Die kürzere RT bei denen auf der Y-Achse rotierten Items könnte auf eine intuitivere visuelle Verarbeitung oder auf eine geringere kognitive Belastung bei der Verarbeitung von Rotationen in dieser Ebene hinweisen.

**Hypothese 6** untersucht die Wechselwirkung zwischen Geschlecht und Rotationsebene in Bezug auf die RT. Die Ergebnisse zeigten, dass Männer in beiden Rotationsebenen im Durchschnitt langsamer waren als Frauen, allerdings waren diese Unterschiede statistisch nicht signifikant. Diese Ergebnisse könnten darauf hindeuten, dass geschlechtsspezifische Unterschiede in der RT möglicherweise nicht so

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

ausgeprägt sind, wie in früheren Studien angenommen, oder dass sie in bestimmten Aufgabentypen oder Testbedingungen weniger relevant sind.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der **Hypothesen 4, 5 und 6**, dass die Reaktionszeit in mentalen Rotationstests durch eine komplexe Interaktion verschiedener Faktoren beeinflusst wird, einschließlich der Rotationsebene und des Geschlechts der Teilnehmer\*innen. Während die Rotationsebene einen signifikanten Einfluss auf die RT hat, scheint das Geschlecht in dieser Studie keine signifikante Rolle zu spielen. Diese Erkenntnisse stehen im Kontrast zu einigen früheren Studien (vgl. Voyer et al., 1995; Scheer et al., 2018), die oft eine schnellere RT bei Männern festgestellt haben und unterstreichen die Notwendigkeit weiterer Forschung, um die zugrundeliegenden Mechanismen und Strategien, die Männer und Frauen bei mentalen Rotationsaufgaben anwenden, besser zu verstehen. Insbesondere die Tatsache, dass die **Hypothese 6** keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede in der RT über die verschiedenen Rotationsebenen hinweg aufzeigt, deutet darauf hin, dass frühere Annahmen über Geschlechterunterschiede in mentalen Rotationsfähigkeiten möglicherweise zu stark vereinfacht waren. Es ist möglich, dass individuelle Unterschiede, Erfahrungen oder spezifische Aufgabencharakteristika einen größeren Einfluss auf die Reaktionszeiten haben als das Geschlecht allein. Die Ergebnisse zu **Hypothese 5**, die signifikante Unterschiede in der RT zwischen den Rotationsebenen aufzeigen, bieten wichtige Einblicke in die kognitiven Anforderungen dieser Aufgaben. Die Tatsache, dass die Reaktionszeiten bei den auf der Y-Achse rotierten Items kürzer waren, könnte darauf hinweisen, dass diese Rotationsachse eine geringere kognitive Belastung oder eine intuitivere Verarbeitung erfordert.

Die **Hypothese 7** der Studie befasst sich mit der Reaktionszeit (RT) von guten und schlechten Performern in mentalen Rotationsaufgaben. Die Annahme, basierend

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

auf Shepard und Metzler (1971), ist, dass gute Performer schneller reagieren, da sie mental rotierte Objekte effizienter verarbeiten können. Die Studie untersuchte dies, indem sie Teilnehmer\*innen mithilfe eines Mediansplits in gute und schlechte Performer einteilte und zusätzlich den Balanced Integration Score (BIS) zur Bewertung heranzog. Die Ergebnisse für gute und schlechte Performer (Mediansplit) zeigten, dass gute Performer im Mittel langsamer waren als schlechte Performer, insbesondere bei in der Tiefenebene rotierten Items, was statistisch signifikant war. Diese Befunde widersprechen der ursprünglichen Annahme, dass gute Performer schneller sein sollten. Es ist möglich, dass gute Performer mehr Zeit für eine gründlichere Verarbeitung und damit genauere Antworten benötigen, was den zwangsläufigen Kompromiss zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit verdeutlicht. Ergebnisse für den Balanced Integration Score (BIS), der sowohl Genauigkeit als auch Geschwindigkeit berücksichtigt, ergaben eine Neuaufteilung der Teilnehmer\*innen in gute und schlechte Performer. Im Gegensatz zur klassischen Aufteilung durch einen Mediansplit zeigten sich bei der Anwendung des BIS signifikante Unterschiede zwischen guten und schlechten Performern sowohl in Bezug auf die erreichte Punktzahl als auch auf die Reaktionszeit. Gute Performer hatten signifikant kürzere Reaktionszeiten als schlechte Performer, was den Erwartungen entspricht und die Effektivität des BIS als Messinstrument bestätigt. Die Ergebnisse legen nahe, dass der BIS ein probateres Mittel zur Einteilung in gute und schlechte Performer darstellt als der klassische Mediansplit. Der BIS ermöglicht eine differenziertere Einschätzung der Leistung, da er sowohl Genauigkeit als auch Geschwindigkeit integriert. Die Tatsache, dass gute Performer (nach BIS) kürzere Reaktionszeiten aufweisen, bestätigt die ursprüngliche Hypothese und spiegelt die Fähigkeit dieser Teilnehmer\*innen wider, mental rotierte Objekte effizienter zu verarbeiten. Diese Erkenntnisse haben wichtige Implikationen für die Bewertung von Leistung in mentalen Rotationsaufgaben. Sie

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

zeigen, dass eine umfassende Beurteilung, die sowohl Genauigkeit als auch Geschwindigkeit berücksichtigt, notwendig ist, um die tatsächlichen Fähigkeiten der Teilnehmer\*innen adäquat zu erfassen. Zukünftige Forschungen sollten weiterhin den BIS oder ähnliche integrierte Maße verwenden, um ein vollständigeres Bild der kognitiven Leistungsfähigkeit in mentalen Rotationsaufgaben zu erhalten. Darüber hinaus unterstreichen die Ergebnisse die Bedeutung des Verständnisses, dass gute Leistung nicht ausschließlich an Geschwindigkeit gebunden ist, sondern auch die Genauigkeit und die Qualität der Informationsverarbeitung berücksichtigen muss. Interessanterweise deutet die Tatsache, dass gute Performer nach dem klassischen Mediansplit bei den in der Tiefenebene rotierten Items langsamer waren, darauf hin, dass diese Aufgaben eine höhere kognitive Belastung darstellen könnten, die eine gründlichere Verarbeitung erfordert. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass bei komplexeren Aufgaben die Geschwindigkeit zugunsten der Genauigkeit verringert wird, was den zwangsläufigen Kompromiss zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit bestätigt. Insgesamt tragen diese Ergebnisse zu einem differenzierteren Verständnis der Leistungsfaktoren bei mentalen Rotationsaufgaben bei und betonen die Notwendigkeit, sowohl die Geschwindigkeit als auch die Genauigkeit in die Bewertung kognitiver Fähigkeiten einzubeziehen. Die Verwendung des BIS erweist sich als wertvolles Instrument, um diese komplexen Aspekte der Leistung zu erfassen und zu bewerten.

Die **explorative Analyse** der zweiten Studie galt der Untersuchung des Blickverhaltens bei abstrakten Figuren (Würfelfiguren) innerhalb eines mentalen Rotationstests nach Shepard und Metzler. Ziel war es unter anderem zu analysieren, ob die in der vorangegangenen Studie gefundenen Blickmuster auf abstrakte Figuren übertragbar sind. Dabei zeigen die Ergebnisse der Studie, dass trotz höherer Anzahl

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

an Fixationen und Transitionen bei den Reizen, aufgrund deren Komplexität gegenüber den geschlechtsstereotypisierten Reizen, Übereinstimmungen mit den Blickmustern der Studie 1 vorhanden sind. Zusätzlich konnte ein neues Blickmuster identifiziert werden, welches sich insbesondere dadurch auszeichnet, dass zwischen den Reizen äußerst wenige Transitionen vorkommen aber trotzdem gute bis sehr gute Leistungen erzielt werden. Allein durch Trainingseffekte lässt sich dieses Blickmuster nicht erklären, da jeder Reiz nur einmal in Gänze betrachtet wird und größtenteils nur ein Übergang zwischen den Reizen stattfindet. Dies ist insbesondere bei der Komplexität der abstrakten Würfelfiguren bemerkenswert und lässt die Vermutung aufkommen, dass die Proband\*innen, welche dieses Blickmuster gehäuft aufzeigen, eidetische Gedächtnisleistungen zeigen und einen ganzheitlichen, holistischen mentalen Rotationsvorgang aufweisen. Zwei Proband\*innen stachen mit diesem Blickmuster besonderes hervor. So fand das Blickmuster bei Proband\*in Nr. 7 insgesamt 21-mal und bei Proband\*in Nr. 36 insgesamt 29-mal Verwendung. Beachtenswert ist hierbei jedoch der Punktunterschied. So gehören beide Teilnehmer\*innen zwar zu den ermittelten guten Performern, unterscheiden sich jedoch in ihrer erreichten Punktzahl. So erreichte Proband\*in 7 insgesamt 77 und Proband\*in 36 insgesamt 96 Punkte. Weitere Untersuchungen zu diesem Blickmuster bzw. Blickverhalten könnten zusätzliche Erkenntnisse zu eidetischen Gedächtnisleistungen liefern.

Bei der Betrachtung der Fixationsdauer (Fixation Duration) sowie der Fixationszahl (Gaze Count) ergaben die multivariaten Varianzanalysen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen guten und schlechten Performern (sowohl nach Mediansplit als auch nach BIS) und zwischen den Geschlechtern. Dies deutet darauf hin, dass die Dauer der Fixationen und die Fixationszahl möglicherweise

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

nicht direkt mit der Leistung in mentalen Rotationsaufgaben oder geschlechtsspezifischen Unterschieden korreliert.

Die Analyse der Transitionen zwischen den Areas of Interest (AOIs) zeigte, dass schlechte Performer (nach Mediansplit) weniger Übergänge aufwiesen als gute Performer, während bei der Einteilung nach BIS das Gegenteil der Fall war. Bei den Übergängen innerhalb der AOIs zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede für die Performer nach Mediansplit, während bei der Einteilung nach BIS signifikante Unterschiede bei bestimmten Transitionen festgestellt wurden. Gute Performer, welche auf Basis des Balanced Integration Score (BIS) ermittelt wurden, weisen weniger Übergänge innerhalb der Reize als auch zwischen den Reizen auf als schlechte Performer. Dies spiegelt auch die kürzeren Reaktionszeiten guter Performer auf Basis des BIS wider. Diese Tatsache scheint bei erster Betrachtung im Widerspruch zum statistisch signifikant besseren Abschneiden der männlichen Teilnehmer zu stehen, da jene deskriptiv mehr Zeit zum Lösen der Aufgaben benötigten als weibliche Teilnehmende. Hierbei muss allerdings die Tatsache Berücksichtigung finden, dass der BIS die Punktzahl sowie die Reaktionszeit ins Verhältnis setzt und die zeitlichen Diskrepanzen der Reaktionszeiten zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmende nicht statistisch signifikant sind. Dies kann dadurch erklärt werden, dass der BIS ein relatives Maß ist, das Punktzahl und Reaktionszeit in Beziehung setzt. Wenn männliche und weibliche Teilnehmende keine statistisch signifikanten Unterschiede in ihren Reaktionszeiten aufweisen, bedeutet dies, dass beide Geschlechter im Durchschnitt ähnlich lange für die Aufgaben benötigen. Die höheren Punktzahlen der männlichen Teilnehmer könnten also darauf hindeuten, dass sie, obwohl sie die gleiche Zeit benötigen, die Aufgaben effektiver lösten. Unabhängig von den Geschlechtsunterschieden deutet der Befund, dass gute

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

Performer auf der Basis des BIS weniger Transitionen zeigen, darauf hin, dass ein effizientes Blickverhalten und eine effiziente Problemlösungsstrategie wichtiger sind als die reine Schnelligkeit. Das bedeutet, dass es bei mentalen Rotationsaufgaben nicht unbedingt darauf ankommt, wie schnell man reagiert, sondern wie effektiv man die Informationen verarbeitet und zu einer korrekten Lösung kommt.

Die Unterschiede in den Zusammenhängen von Blickmustern und Reaktionszeiten zwischen Gruppen, die auf der Basis des Balanced Integration Score (BIS) und solchen, die durch Mediansplit eingeteilt wurden, können auf mehrere methodische und konzeptuelle Unterschiede zurückzuführen sein. So berücksichtigt der BIS individuelle Unterschiede in der Leistung, indem er sowohl die Genauigkeit (Proportion Correct, PC) als auch die Geschwindigkeit (Reaktionszeit, RT) standardisiert und deren Differenz betrachtet. Diese Methode erfasst ein multidimensionales Leistungsprofil, das sowohl die Präzision als auch die Schnelligkeit einer Person integriert. Das führt zu einer differenzierteren Gruppeneinteilung, die individuelle Strategien im Umgang mit der Aufgabe besser widerspiegeln kann.

Beim Mediansplit hingegen werden Teilnehmer\*innen einfach auf Basis des Medians einer einzigen Variablen in zwei Gruppen eingeteilt, ohne die Verbindung zwischen verschiedenen Maßen (wie Genauigkeit und Geschwindigkeit) zu berücksichtigen. Dies kann zu statistischen Artefakten führen und die wirklichen Unterschiede zwischen Personen verschleiern. Ein Mediansplit erzeugt daher eine weniger präzise Gruppierung, die nicht unbedingt mit den tatsächlichen Mustern korreliert. Die Einteilung auf Basis des BIS könnte hingegen stärker mit den kognitiven Prozessen korrelieren, die für die mentalen Rotationsaufgaben relevant sind. Zum Beispiel könnten Blickmuster und Reaktionszeiten stärker mit der Fähigkeit zusammenhängen, Informationen effizient zu verarbeiten und Entscheidungen zu

## Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

treffen. Da der BIS diese Aspekte integriert, könnte er eine bessere Vorhersagekraft für die zugrundeliegenden kognitiven Prozesse bieten. Gruppen, die auf Basis des BIS erstellt wurden, könnten homogener in Bezug auf die Aufgabenbearbeitung sein, was zu klareren Zusammenhängen führt. Beim Mediansplit könnten die Gruppen hingegen inhomogener sein, da die Einteilung auf einer willkürlichen Trennung der Stichprobe beruht, die möglicherweise keine tatsächlichen Unterschiede in den kognitiven Strategien widerspiegelt. Dadurch, dass mentale Rotationsaufgaben selbst komplexe kognitive Prozesse erfordern, die sowohl Schnelligkeit als auch Genauigkeit verlangen, könnte der BIS spezifischere Verhaltens- und Leistungsaspekte erfassen, die bei einer Einteilung durch Mediansplit nicht erfasst werden.

Die Ergebnisse der Clusteranalyse führte zur Identifikation von drei unterschiedlichen Gruppen, basierend auf der Anzahl der Blickmuster. Diese Gruppierung lässt auf spezifische Verhaltensmuster oder Eigenschaften in der untersuchten Population schließen. Die anschließende Varianzanalyse (ANOVA) zeigte signifikante Unterschiede in den Punktzahlen zwischen diesen Clustern. Es kann festgehalten werden, dass die Aggregation der Blickmuster drei distinkte Cluster ergibt, die signifikant mit der Leistung korrelieren: Zwei Cluster charakterisieren sich durch eine Kombination von Blickmustern, die häufig bei Probanden mit überdurchschnittlichen Ergebnissen beobachtet werden, was auf eine effiziente Informationsaufnahme und -verarbeitung hindeutet. Im Gegensatz dazu spiegelt das dritte Cluster eine Konstellation von Blickmustern wider, die mit einer geringeren Leistung assoziiert sind, möglicherweise aufgrund einer weniger zielgerichteten visuellen Exploration und einer geringeren kognitiven Verarbeitungseffizienz oder fehlender Erfahrung. Dies deutet darauf hin, dass die Clusterbildung in direktem Zusammenhang mit den gemessenen Leistungsergebnissen steht. Weitere Studien

Studie 2: Blickmuster bei mentalen Rotationsaufgaben mit Würfelfiguren

mit größeren Stichproben und differenzierterer Auswahl der Items und deren Rotationsebenen sollten durchgeführt werden, um die Ergebnisse zu replizieren und die charakteristischen Merkmale der Cluster weiter untersuchen zu können.

## 5 Studie 3: Analyse des Blickverhaltens bei mentalen Rotationsaufgaben mit Multiple-Choice-Format

### 5.1 Ziele und Hypothesen

In dieser Studie wurde ein computergestützter, psychometrischer mentaler Rotationstest mit Würfelfiguren nach Vandenberg und Kuse (1978b) verwendet. Die Studie zielte dabei auf eine systematische Untersuchung möglicher Geschlechtsunterschiede beim Entscheidungsverhalten bei Aufgaben im Multiple-Choice-Format ab, da jene durch die Methode des Eye-Trackings mit der Testleistung in Verbindung gebracht werden kann. Äquivalent zu Studie 2 werden verschiedene Hypothesen aufgestellt, die auf der bisherigen Forschung basieren:

Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Leistung bei psychometrischen mentalen Rotationsaufgaben zwischen den Geschlechtern zugunsten der Männer unterscheidet (vgl. Voyer et al., 1995; Voyer, 2011) und dass es Leistungsunterschiede zwischen, um verschiedene Rotationsachsen gedrehte Items gibt (Neuburger et al., 2012; Ruthsatz et al., 2014). Neuere Untersuchungen zeigten aber gegenteilige Ergebnisse, insbesondere wenn es keine Zeitbeschränkung im mentalen Rotationstest gibt (vgl. Rahe et al., 2018; Toth & Campbell, 2019). Beabsichtigt wurde deshalb, diese neueren Ergebnisse zu replizieren und festzustellen, ob die Leistungsunterschiede im Allgemeinen auf das Geschlecht selbst zurückzuführen sind oder ob die Rotation der Stimuli um verschiedene Rotationsachsen (Y-Achse, X-Achse) für diese Unterschiede verantwortlich ist.

**Hypothese 1:** Im Einklang mit der Literatur erwarten wir keine Geschlechtsunterschiede in Bezug auf die erreichte Punktzahl (vgl. Rahe et al., 2018;

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

Toth & Campbell, 2019) zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmenden bei einem mentalen Rotationstest nach Vandenberg und Kuse ohne Zeitbeschränkung, der die Identifikation von zwei rotierten Reizen pro Aufgabe erfordert.

**Hypothese 2:** Da die Rotationsachse für die Vergleichsstimuli die Leistung bei mentalen Rotationsaufgaben beeinflusst, wurde davon ausgegangen, dass es generelle Unterschiede zwischen den beiden Testteilen gibt, bei denen die Stimuli im ersten Teil um die Y-Achse und im zweiten Teil um die X-Achse gedreht werden.

**Hypothese 3:** Unter Berücksichtigung der Unterschiede in den beiden Testteilen wurde davon ausgegangen, dass die Leistungsunterschiede zwischen den Geschlechtern in den jeweiligen Testteilen mit ihren unterschiedlich gedrehten Items unterschiedlich groß sind.

**Hypothese 4:** Weiterhin wurde in Übereinstimmung mit der Literatur erwartet, dass es Unterschiede in der Bearbeitungszeit zwischen Männern und Frauen gibt und Männer kürzere Bearbeitungszeiten aufweisen als Frauen.

**Hypothese 5:** In Analogie zu den Leistungsunterschieden zwischen den beiden Testhälften werden die Ergebnisse der Bearbeitungszeit zwischen den beiden verschiedenen Rotationsachsen verglichen. Da beiden Testhälften 12 Einzelaufgaben mit unterschiedlichen Rotationsachsen enthalten (Teil 1, Vergleichsstimuli um die Y-Achse gedreht; Teil 2, Vergleichsstimuli um die X-Achse gedreht), gehen wir von einem Unterschied in der Bearbeitungszeit zwischen den jeweiligen Testhälften aus.

**Hypothese 6:** Weiterhin wird untersucht, ob und wie sich die Bearbeitungszeiten zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmenden in Abhängigkeit von der Rotationsachse unterscheiden. Diese Hypothese baut auf den vorherigen beiden Hypothesen zur Bearbeitungszeit in Abhängigkeit von Rotationsachse auf.

**Hypothese 7:** Um weitere Ursachen für Leistungsunterschiede zu ermitteln, beziehen wir die Einteilung in gute und schlechte Performer auch in die Analysen der Bearbeitungszeit ein. Wir erwarten Unterschiede in der Bearbeitungszeiten zwischen guten und schlechten Performern zu finden. Studien haben gezeigt, dass gute Performer die Aufgabe der mentalen Rotation schneller lösen als schlechte Performer. Diese Vorhersage stützt sich auf die Ergebnisse von Khooshabeh et. al (2013), die Unterschiede in der Verarbeitungszeit zu Gunsten guter Leistungen feststellte. Diese resultieren laut Khooshabeh et. al (2013) aus der Fähigkeit guter Performer, bei fragmentierten Figuren von einer mentalen Rotationsstrategie zu einer blickpunktunabhängigen Strategie zu wechseln. Fragmentierte Figuren können als gedrehte Würfelfiguren betrachtet werden, die aufgrund ihres Winkels wesentliche Marker bzw. Teile verdecken.

## 5.2 Weitere Fragestellungen

Das primäre Ziel der explorativen Analyse zur Anzahl an Fixationen besteht darin, ein tieferes Verständnis der kognitiven Prozesse zu erlangen, die während eines Mentalen Rotationstests nach Vandenberg und Kuse ablaufen. Im Fokus steht dabei die Untersuchung der Anzahl der Fixationen, die Teilnehmer\*innen auf die einzelnen Stimuli richten. Diese Analyse wird als explorativ eingestuft, da sie darauf abzielt, neue Einblicke und mögliche Muster im Blickverhalten und im Entscheidungsverhalten der Teilnehmenden zu entdecken, ohne sich auf vorher festgelegte Hypothesen zu beschränken. Durch die Beobachtung und Analyse der Fixationszahlen auf spezifische Stimuli können wichtige Aspekte der visuellen Aufmerksamkeit und der Informationsverarbeitung während der Durchführung mentaler Rotationen erfasst werden. Zudem ermöglicht die explorative Natur dieser Analyse, unerwartete Muster

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

oder Strategien im Blickverhalten zu identifizieren, die in der bisherigen Forschung möglicherweise übersehen wurden. Dies kann insbesondere dazu beitragen, individuelle Unterschiede in der Verarbeitungsweise und Problemlösungsstrategien zu verstehen und zu erkennen, wie diese Unterschiede die Leistung in mentalen Rotationstests beeinflussen. Schließlich dient die explorative Analyse der Fixationszahl auch dazu, die Grundlage für zukünftige, gezieltere Forschungen zu legen. Die gewonnenen Erkenntnisse können helfen, präzisere Hypothesen für nachfolgende Studien zu formulieren und damit das Verständnis der kognitiven Mechanismen, die bei mentalen Rotationstests zum Tragen kommen, weiter zu vertiefen.

In Bezug auf die Eye-Tracking-Daten wird das Blickverhalten auf Basis der Übergänge zwischen dem Ausgangsreiz und den jeweiligen Vergleichsreizen betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass es Unterschiede in der Häufigkeit der Übergänge vom Standardreiz zu jedem der vier Vergleichsreize im computergestützten psychometrischen mentalen Rotationstest gibt. Des Weiteren wird untersucht, ob es Unterschiede zwischen Männern und Frauen sowie zwischen guten und schlechten Performern in der Häufigkeit der Übergänge vom Standardreiz zu jedem der vier Vergleichsreize im computergestützten psychometrischen mentalen Rotationstest gibt.

## **5.3 Methode**

### **5.3.1 Teilnehmer\*innen**

Die Stichprobe bestand aus insgesamt 84 Teilnehmer\*innen (60 weiblich, 24 männlich), welche sich hauptsächlich aus Studierenden der Universität Koblenz-

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

Landau zusammensetzte. Jene spiegelt die derzeitige Verteilung der Studierenden in der Psychologie wider. Das Alter der Teilnehmer\*innen reichte von 17 bis 58 Jahren, mit einem Durchschnittsalter von 22.45 Jahren ( $SD = 4.69$ ). Die große Altersspanne ist darauf zurückzuführen, dass wir eine kleine Anzahl von Testpersonen aus der örtlichen Feuerwehr als Teilnehmer\*innen rekrutieren konnten. Die Teilnehmer\*innen wurden anhand der Anzahl der im Test erreichten Leistungspunkte in gute und schlechte Performer eingeteilt, wobei ein Median-Split verwendet wurde. Gute Performer (14 Männer, 30 Frauen) bildeten ungefähr die obere Hälfte (mittlere Anzahl richtiger Antworten = 18.27,  $SD = 2.37$ ) und schlechte Performer (10 Männer, 30 Frauen) gehörten zur unteren Hälfte (mittlere Anzahl richtiger Antworten = 8.78,  $SD = 3.72$ ).

#### **5.3.2 Material**

Für den computerisierten mentalen Rotationstest (cMRT) verwendeten wir den MRT nach Vandenberg und Kuse (1978). Wir erstellten eine Computerversion dieses Tests mit der Software Opensesame. Der Test bestand aus insgesamt 24 Versuchen mit Würfelfiguren ohne Zeitlimit. Auf der linken Seite wurde ein Ausgangsreiz präsentiert, rechts davon befanden sich vier Vergleichsreize, von denen zwei Distraktoren waren. Die Aufgabe für die Teilnehmer\*innen bestand darin, die beiden Vergleichsreize zu identifizieren, die den Ausgangsreizen entsprechen, und sie mit einem Häkchen unter den Items zu markieren (Abbildung 24). Jeder Vergleichsreiz (Vergleichsreiz 1 - 4) wurde während des gesamten Tests 12-mal gedreht und 12-mal gespiegelt präsentiert. Es konnte also ausgeschlossen werden, dass eine Präferenz auf einer Position liegt. Die Proband\*innen mussten immer wieder nachschauen, wo sich die gespiegelten und die gedrehten Reize befanden.

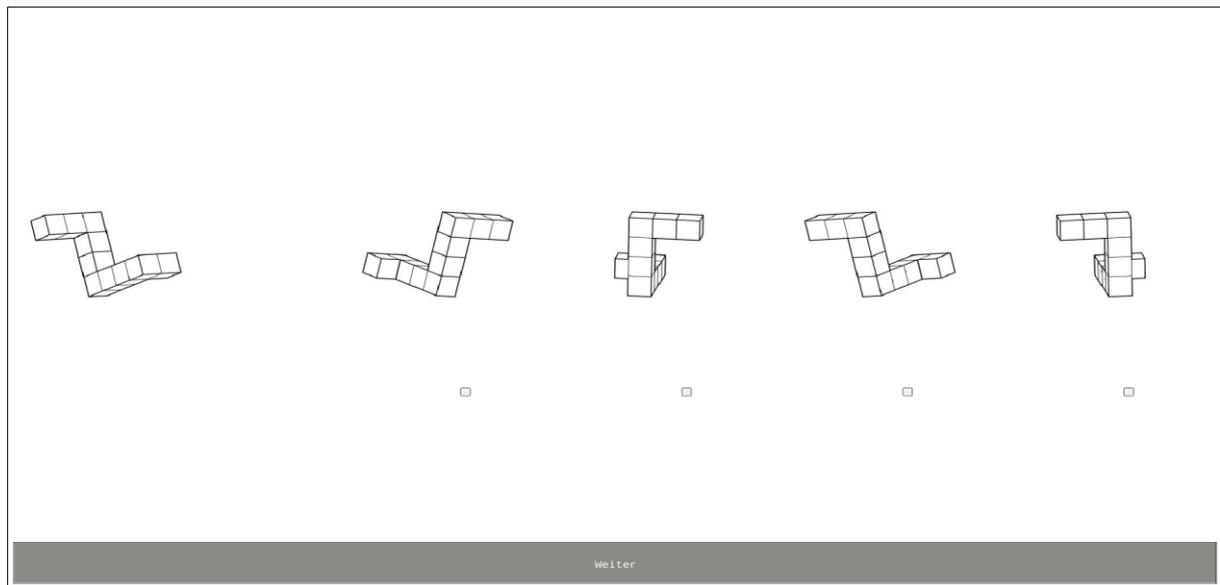


Abbildung 28 Screenshot eines exemplarischen Items beim computergestützten mentalen Rotationstest. Links Ausgangsreiz, rechts die vier Vergleichsreize

Alle Augenbewegungen wurden mit dem Tobii pro X3-120 Eyetracker aufgezeichnet. Für alle Aufnahmen wurde eine Abtastrate von 120 Hz verwendet. Für jede\*n Probanden\*in wurde vor dem Experiment eine 5-Punkt-Kalibrierung des Eye-Trackers durchgeführt. Eine Kinnstütze wurde im Versuchsaufbau nicht verwendet, da der Eyetracker eine Kopfbewegungsfreiheit von 30cm x 22cm x 30cm (Breite x Höhe x Tiefe) bei einem Abstand vom Kopf zum Monitor von 70 cm im 120 Hz-Modus mit einer maximalen Kopfbewegungsgeschwindigkeit von 35 cm/Sekunde toleriert. Für die Präsentation wurde ein 24"-Monitor verwendet. Die Aufzeichnung der Augenbewegungen wurde mit Opensesame© und dem Zusatzprogramm Pygaze© realisiert. Die Software unterstützt die Ausgabe der aufgezeichneten Daten im TSV-Format und war damit für die weitere Datenanalyse mit Blickshift Analytics© geeignet.

### 5.3.3 Ablauf

Vor dem eigentlichen Versuch gab es eine Übungsphase mit zwei Probedatenserien, bei denen die Ausgangsitems zwei verschiedene Winkel hatten.

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

Die Struktur dieser beiden Aufgaben entsprach genau der Struktur der Aufgaben im eigentlichen Test. Nach der Bearbeitung dieser beiden Aufgaben wurden die richtigen Lösungen angezeigt. Nach dieser Übungsphase fand der eigentliche Test statt. Hier wurden ebenfalls Würfelfiguren in verschiedenen Winkeln präsentiert. Die Teilnehmer\*innen mussten ankreuzen, welche zwei der vier rechts neben dem ersten Item gezeigten Items gedreht waren, und diese per Mausklick unter dem Item ankreuzen. Hierfür gab es kein Zeitlimit.

Die Teilnehmer\*innen konnten ihre Entscheidung ändern, die Häkchen entfernen und sie unter einen anderen Reiz setzen. Nach ihrer endgültigen Entscheidung mussten die Teilnehmer\*innen auf die Schaltfläche "Weiter" am unteren Rand des Bildschirms klicken, woraufhin die nächste Reihe von Aufgaben angezeigt wurde. Die Zeit jedes Entscheidungsprozesses, d. h. vom Beginn der Präsentation bis zum Klicken auf die Schaltfläche "Weiter", wurde aufgezeichnet. Die im Folgenden verwendete Gesamtbearbeitungszeit ist eine Kumulation der 24 einzelnen Bearbeitungszeiten. Die maximale Punktzahl, die im Test erreicht werden konnte, betrug 24 Punkte, wenn die Teilnehmer\*innen alle zwei rotierten Items jeder Aufgabe identifizierten und ankreuzten. Wurde nur ein Item richtig und das andere falsch angekreuzt, wurden keine Punkte vergeben.

#### **5.3.4 Datenanalyse**

Die Auswertung der Eye-Tracking-Daten erfolgte in mehreren Schritten, die in den folgenden Unterkapiteln chronologisch beschrieben werden.

### **Fixationen**

Der erste Schritt zur Analyse der Daten besteht darin, die Rohdaten des Eyetrackers so aufzubereiten, dass die Fixationen identifiziert werden können. Die Software Blickshift Analytics© verwendet den dispersionsbasierten Algorithmus I-DT, um die Rohdaten in Fixationen und Sakkaden zu zerlegen (Salvucci & Goldberg, 2000).

### **Definition der Areas of Interest (AOIs)**

Der zweite Schritt bestand darin, die Areas of Interest (AOIs) für alle Elemente der 24 Datenreihen zu definieren. Zu diesem Zweck wurde allen Würfelpositionen ein AOI zugewiesen. Dem jeweiligen Ausgangsreiz wurde der AOI 0 und den jeweiligen Vergleichsreizen von links nach rechts die AOI 1 bis AOI 4 zugeordnet.

### **Anzahl der Blicke / Fixationen (Gaze Count)**

Um zu analysieren, wie oft die jeweiligen AOIs insgesamt betrachtet wurden, wurden die Zählungen aller Fixationen auf die jeweilige Würfelfigur summiert. Für die Berechnung der aufgezeichneten Rohdaten des Eyetrackers in Fixationen wurde die Software Blickshift-Analytics verwendet. Diese Software berechnet die Fixationen mit Hilfe des Dispersionsschwellenidentifikationsalgorithmus (I-DT) (Salvucci & Goldberg, 2000). Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch Fixationen in die Berechnung der jeweiligen Stimuli einfließen können, die eine Versuchsperson mit dem Blick trifft, wenn sie den Blick von einem anderen Vergleichsstimulus über die dazwischen liegenden Stimuli zum Ausgangsstimulus zurückführt.

## **Anzahl der Übergänge (Transitions)**

Übergänge, auch als Blickverschiebungen bezeichnet, sind die Bewegung des Blicks von einem AOI zu einem anderen AOI. Übergänge sind ähnlich wie Sakkaden, sie durchqueren räumliche Orte, benötigen eine bestimmte Zeit und haben eine Amplitude. Aus diesen Daten können Latenzmaße abgeleitet werden. Eine Sakkade innerhalb eines AOI stellt jedoch keinen Übergang dar. Mit Hilfe der Übergangsanalyse kann ermittelt werden, wie viele direkte Übergänge von einem AOI zu einem anderen stattfanden. Die Übergangsanalyse wurde in dieser Studie mit der Blickshift Analytics Software durchgeführt.

## **5.4 Ergebnisse**

### **5.4.1 Punktzahl**

Die maximale Punktzahl, die bei dem Test erreicht werden konnte, betrug 24 Punkte, wenn die Teilnehmer\*innen alle zwei rotierten Reize jeder Aufgabe identifizierten und ankreuzten. Wurde nur ein Reiz richtig und der andere falsch angekreuzt, wurden keine Punkte vergeben. Die erzielten Punktzahlen reichten von 0 bis 23 Punkten mit einem Mittelwert von  $M = 13.75$  Punkten,  $SD = 5.67$ . Männer erzielten bei diesem Test höhere Werte ( $M = 14.918$ ,  $SD = 5.397$ ,  $n = 24$ ) als Frauen ( $M = 13.283$ ,  $SD = 5.758$ ,  $n = 60$ ) (siehe Abbildung 25). Ein berechneter Welch-Test zeigt, dass dieser Unterschied statistisch nicht signifikant ist ( $t(45,07) = 1.229$ ,  $p = .113$ ).

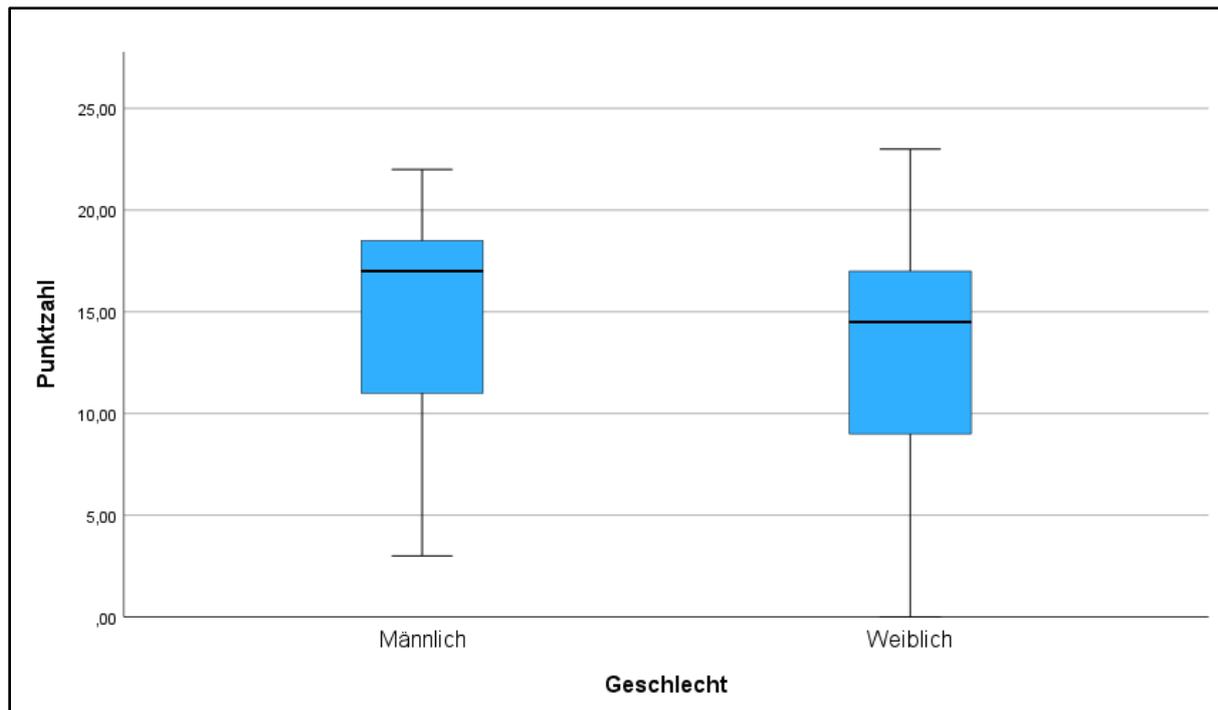


Abbildung 29: Boxplot für die Gesamtpunktzahl bei männlichen und weiblichen Versuchsteilnehmern

#### 5.4.2 Punktzahl getrennt nach Rotationsachse

Mit Hilfe eines t-Tests für gepaarte Stichproben fanden wir einen statistisch signifikanten Effekt der Rotationsachse auf die Leistung im mentalen Rotationstest ( $t = 8.424$ ,  $p < .001$ ,  $n = 84$ ). Bei auf der Y-Achse gedrehten Reizen ( $M = 7.905$ ,  $SD = .352$ ) zeigten die Proband\*innen eine höhere Punktzahl als bei auf der X-Achse gedrehten Reizen ( $M = 5.845$ ,  $SD = .312$ ). Die Effektgröße nach Cohen (1992) beträgt  $d = .92$ , was einem starken Effekt entspricht. Abbildung 26 zeigt einen Boxplot der durchschnittlichen Punktzahl, die in beiden Testhälften erreicht wurde. Im ersten Teil des Tests wurden alle Vergleichsstimuli auf der Y-Achse gedreht. Im zweiten Teil des Tests wurden sie auf der X-Achse gedreht.

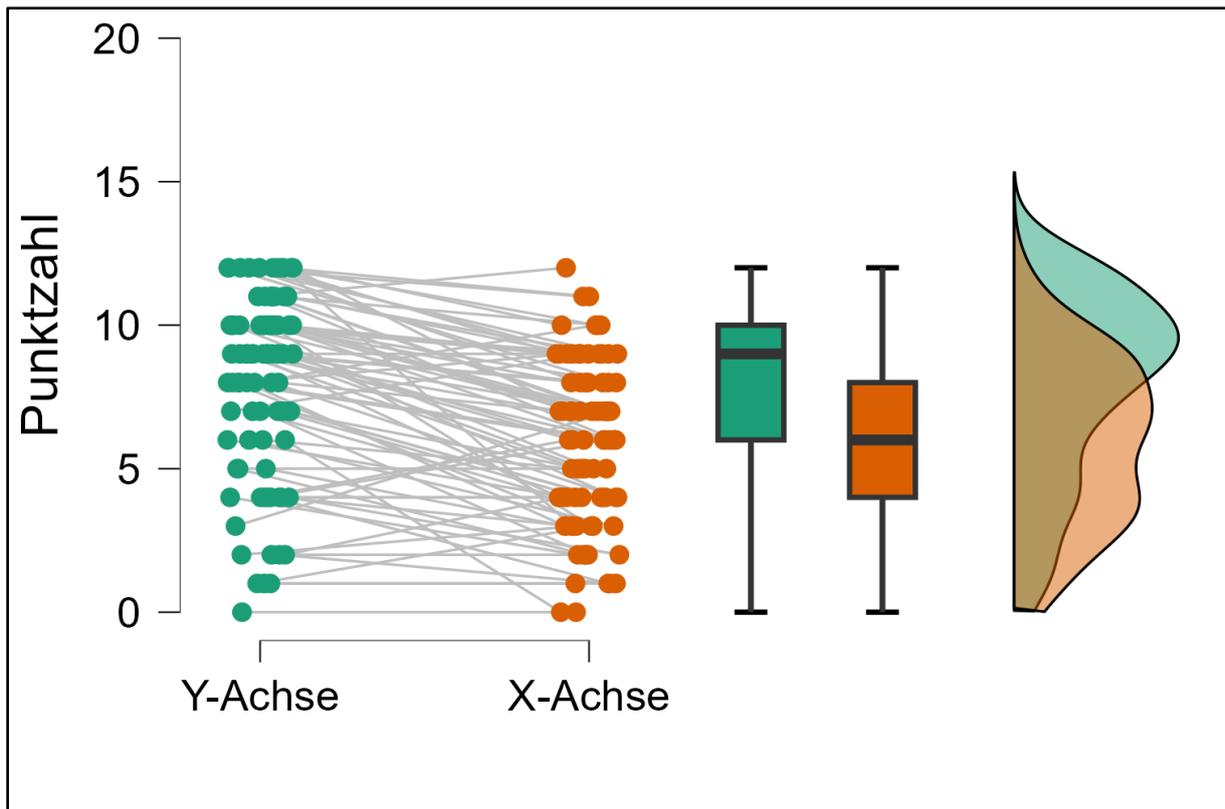


Abbildung 30: Raincloud der durchschnittlichen Punktzahl beider Testhälften bzw. der jeweiligen Rotationsachsen

### 5.4.3 Punktzahl getrennt nach Rotationsachse und Geschlecht

Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede in den Punktwerten auf den jeweiligen Rotationsachsen konnten nicht festgestellt werden. Männer erreichten im ersten Teil des Tests, in dem die Vergleichsstimuli auf der Y-Achse gedreht wurden, eine durchschnittliche Punktzahl von  $M = 8.54$  ( $SD = 3.12$ ), während Frauen eine durchschnittliche Punktzahl von  $M = 7.65$  ( $SD = 3.26$ ) erreichten. Im zweiten Teil des Tests, in dem die Vergleichsstimuli um die X-Achse gedreht wurden, erreichten Männer im Durchschnitt  $M = 6.38$  ( $SD = 2.72$ ) Punkte, während Frauen im Durchschnitt  $M = 5.63$  Punkte ( $SD = 2.91$ ) erreichten.

#### 5.4.4 Bearbeitungszeit

Die Bearbeitungszeit des gesamten Tests mit insgesamt 24 Aufgaben reichte von 3.59 bis 22.94 Minuten mit einem Mittelwert von  $M = 10.10$  Minuten und einer Standardabweichung von  $SD = 3.76$ . Abbildung 27 zeigt die grafische Darstellung der durchschnittlichen Bearbeitungszeiten während des gesamten Tests. Im Verlauf ist zu erkennen, dass die Bearbeitungszeit zur Mitte des Tests stark ansteigt und bis fast zum Ende des Tests auf diesem Niveau bleibt.

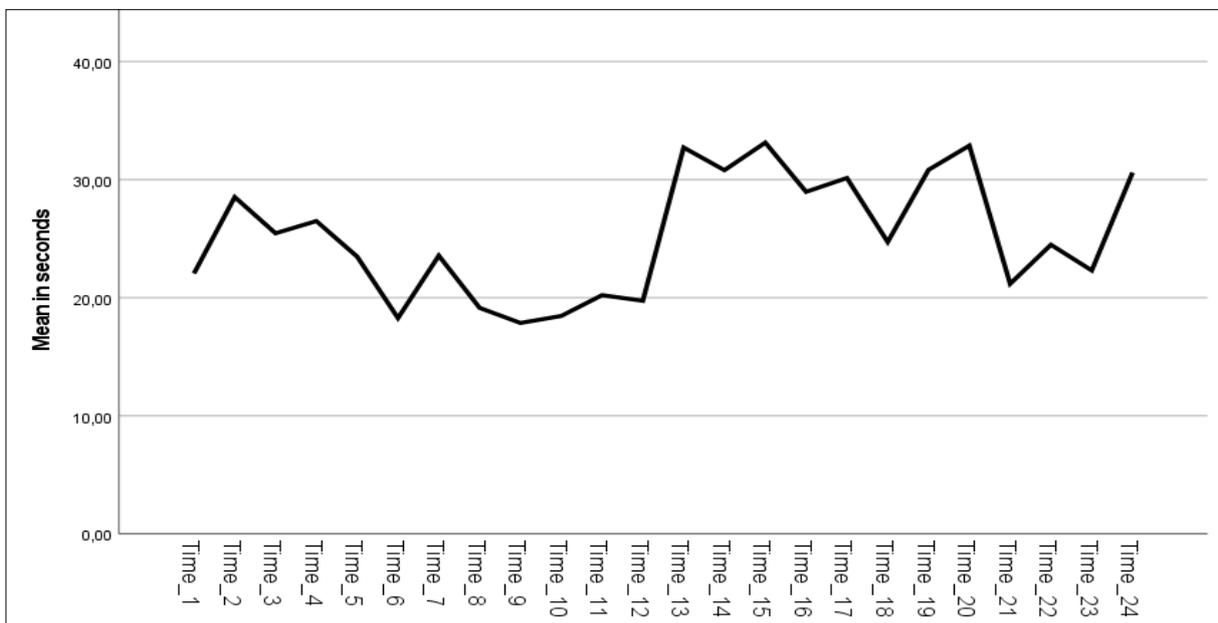


Abbildung 31: Durchschnittlichen Bearbeitungszeiten der Items während des gesamten Tests

#### 5.4.5 Bearbeitungszeit nach Geschlecht

Betrachtet man die Bearbeitungszeit getrennt nach Geschlecht, so lässt sich mit einem t-Test für unabhängige Stichproben kein statistisch signifikanter Unterschied feststellen ( $t(82) = 1.474, p = .637$ ). Männer benötigten etwas weniger Zeit zur Bearbeitung des Tests ( $M = 9.79, SD = 3.17, n = 24$ ) als Frauen ( $M = 10.23, SD = 3.99, n = 60$ ). Abbildung 28 zeigt die Mittelwerte der Bearbeitungszeit pro Aufgabe getrennt nach Geschlecht. Im Verlauf ist zu erkennen,

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

dass zur Mitte hin ein starker Anstieg der Bearbeitungszeit bei beiden Geschlechtern zu verzeichnen ist.

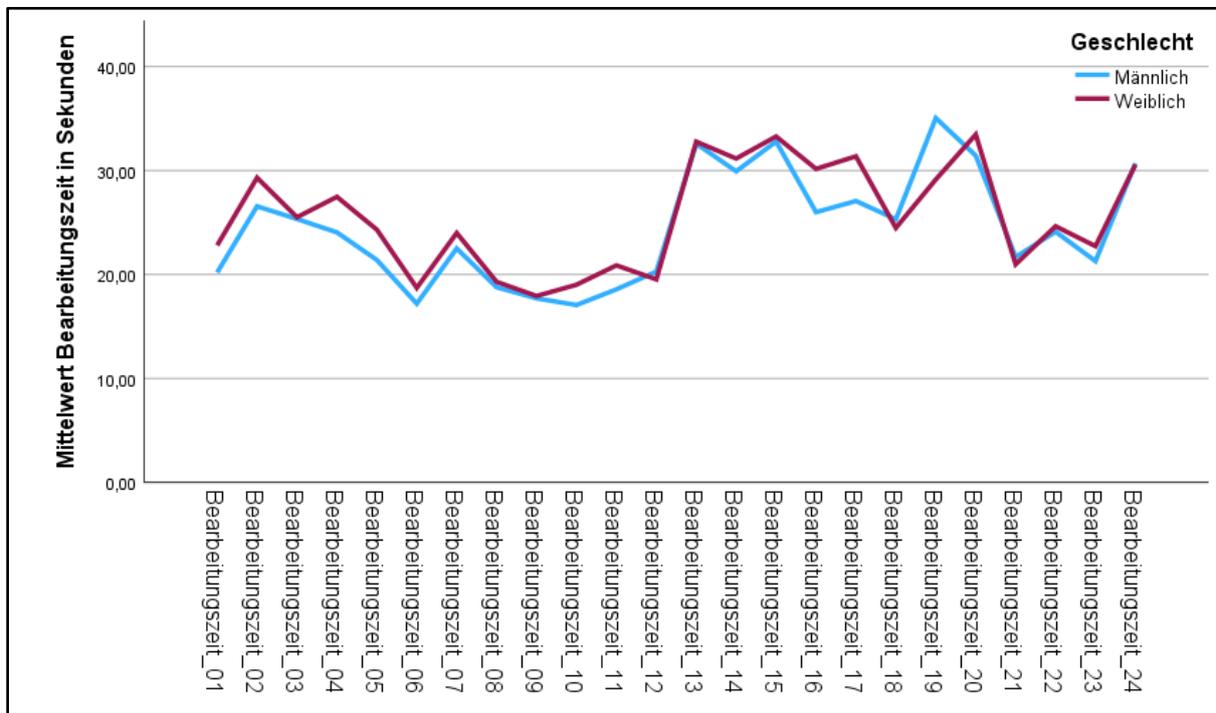


Abbildung 32: Mittelwerte der Bearbeitungszeit pro Item getrennt nach Geschlecht

#### 5.4.6 Bearbeitungszeit nach Rotationsachse

Signifikante Unterschiede zeigen sich in der Bearbeitungszeit zwischen den Rotationsachsen. Ein berechneter t-Test für verbundene Stichproben zeigte, dass dieser Unterschied statistisch signifikant ist ( $t(83) = 7.57, p = <.001$ ). Es zeigt sich, dass die Bearbeitungszeit für um die Y-Achse rotierten Vergleichsstimuli ( $M = 4,39, SD = 1,68$ ) kürzer waren als die für um die X-Achse rotierten Vergleichsstimuli ( $M = 5.71, SD = 2.35$ ). Die Effektstärke nach Cohen (1992) liegt bei  $d = .827$  und entspricht damit einem starken Effekt. Abbildung 28 zeigt den Raincloud Plot der Bearbeitungszeit in Minuten der rotierten Items geteilt nach Rotationsachse.

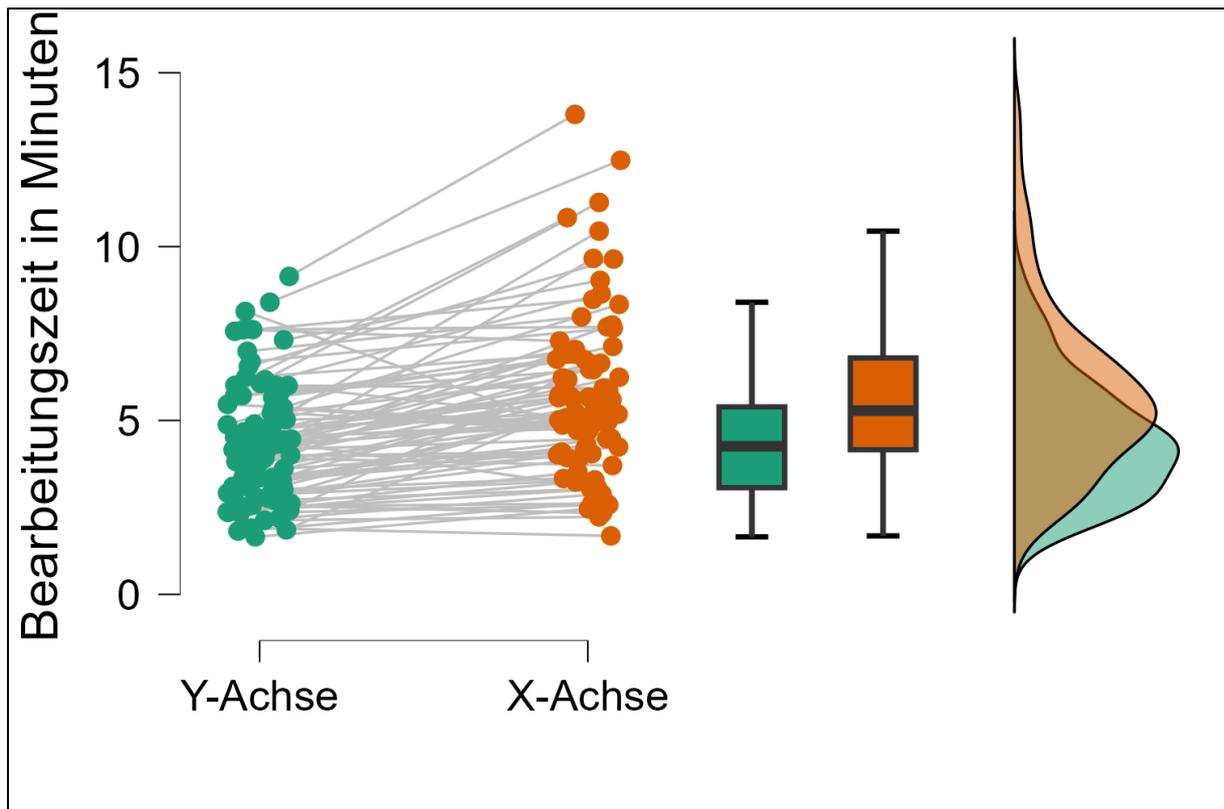


Abbildung 33: Raincloud Plot mit Boxplot der Bearbeitungszeit in Minuten aller rotierten Items beider Achsen

#### 5.4.7 Bearbeitungszeit nach Rotationsachse und Geschlecht

Die Analyse der Bearbeitungszeit zwischen den Geschlechtern und Rotationsebenen zeigten, dass männliche Teilnehmer ( $M = 4.16$ ,  $SD = 1.43$ ,  $n = 24$ ) bei den auf der Y-Achse rotierten Items weniger Zeit benötigten als weibliche Teilnehmerinnen ( $M = 4.48$ ,  $SD = 1.77$ ,  $n = 60$ ). Ein berechneter t-Test für unabhängige Stichproben zeigte jedoch, dass dieser Unterschied nicht statistisch signifikant ist ( $t(82) = .784$ ,  $p = .435$ ). Ähnliche Ergebnisse zeigen sich auch bei der Analyse der X-Achse. Auch hier benötigten männliche Teilnehmer ( $M = 5.63$ ,  $SD = 1.99$ ,  $n = 24$ ) weniger Zeit als weibliche Teilnehmerinnen ( $M = 5.75$ ,  $SD = 2.49$ ,  $n = 60$ ). Ein berechneter t-Test für unabhängige Stichproben zeigte jedoch, dass auch dieser Unterschied nicht statistisch signifikant ist ( $t(82) = .198$ ,  $p = .843$ ).

#### **5.4.8 Bearbeitungszeit von guten und schlechten Performern**

In dieser Studie wurde ein Median-Split angewandt, um die Teilnehmer\*innen auf der Grundlage ihres Testergebnisses in gute und schlechte Performer einzuteilen. Um festzustellen, ob es signifikante Unterschiede in der Bearbeitungszeit zwischen guten und schlechten Performern gibt, wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben berechnet. Schlechte Performer ( $M = 9.47$ ,  $SD = 3.86$ ,  $n = 40$ ) hatten im Durchschnitt eine kürzere Bearbeitungszeit als gute Performer ( $M = 10.67$ ,  $SD = 3.61$ ,  $n = 44$ ). Ein berechneter t-Test für unabhängige Stichproben zeigte jedoch, dass dieser Unterschied nicht statistisch signifikant ist.

Liesefeld und Janczyk (2019) argumentieren, dass die Anweisung an Teilnehmer\*innen in psychologischen Experimenten, so schnell wie möglich zu antworten, ohne die Genauigkeit zu beeinträchtigen, unterschiedlich interpretiert werden kann. So sind die Teilnehmer\*innen gezwungen, einen Kompromiss zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit zu wählen, der von Teilnehmer\*innen zu Teilnehmer\*innen variiert, welcher zu falschen Effekten führen kann. Als Lösung schlagen Liesefeld und Janczyk (2019) die Berechnung und Analyse des Balanced Integration Score (BIS) vor, da dieser unempfindlich gegenüber Geschwindigkeits- und Genauigkeitskompromissen ist bzw. Verarbeitungszeit und Genauigkeit gleich gewichtet. Folglich haben wir den BIS ermittelt und für die folgenden Ergebnisse betrachtet.

#### 5.4.9 *Balanced Integration Score (BIS)*

Die Berechnungen des Balanced Integration Score (BIS) zeigte nur geringe Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Männliche Teilnehmer ( $M = .28$ ,  $SD = 1.15$ ,  $n = 24$ ) erzielten etwas höhere Werte als weibliche Teilnehmerinnen ( $M = .12$ ,  $SD = 1.26$ ,  $n = 60$ ). Ein berechneter Welch-Test zeigt, dass dieser Unterschied statistisch nicht signifikant ist ( $t(46.118) = 1.416$ ,  $p = 0.164$ ).

Wie erwartet wurden signifikante Unterschiede zwischen den guten und den schlechten Leistungsträgern auf Basis des BIS festgestellt. Schlechte Performer ( $M = 10.56$ ,  $SD = 5.17$ ,  $n = 41$ ) erzielten niedrigere Werte bei den erreichten Punkten als gute Leistungsträger ( $M = 16.79$ ,  $SD = 4.33$ ,  $n = 43$ ). Ein durchgeführter Welch-Test zeigt, dass sich gute und schlechte Leistungsträger beim BIS signifikant unterscheiden ( $t(78.17) = 5.97$ ,  $p < .010$ ). Die Effektstärke nach Cohen (1992) beträgt  $d = 1.309$ , was einem starken Effekt entspricht.

Auch bei der Bearbeitungszeit zeigen sich wie erwartet statistisch signifikante Unterschiede zwischen guten ( $M = 8.67$ ,  $SD = 2.53$ ) und schlechten Performern ( $M = 11.6$ ,  $SD = 4.26$ ) auf Basis des BIS. Die Ergebnisse eines berechneten Welch-Tests zeigen ( $t(64.501) = 3.811$ ,  $p < .001$ ), dass gute Performer statistisch signifikant kürzere Bearbeitungszeiten aufweisen als schlechte Performer. Die Effektstärke nach Cohen (1992) beträgt  $d = .842$  und entspricht einem starken Effekt.

## 5.5 Analyse der Eye-Tracking Daten

### 5.5.1 Anzahl der Fixationen (Gaze Count)

Abbildung 30 zeigt die prozentuale Verteilung der Fixationen für alle Stimuli über den gesamten Test. Es ist zu erkennen, dass der größte Anteil der Fixationen auf den Ausgangsreiz entfällt und dass die Häufigkeit der Fixationen abnimmt, je weiter der Vergleichsreiz vom Ausgangsreiz entfernt ist.

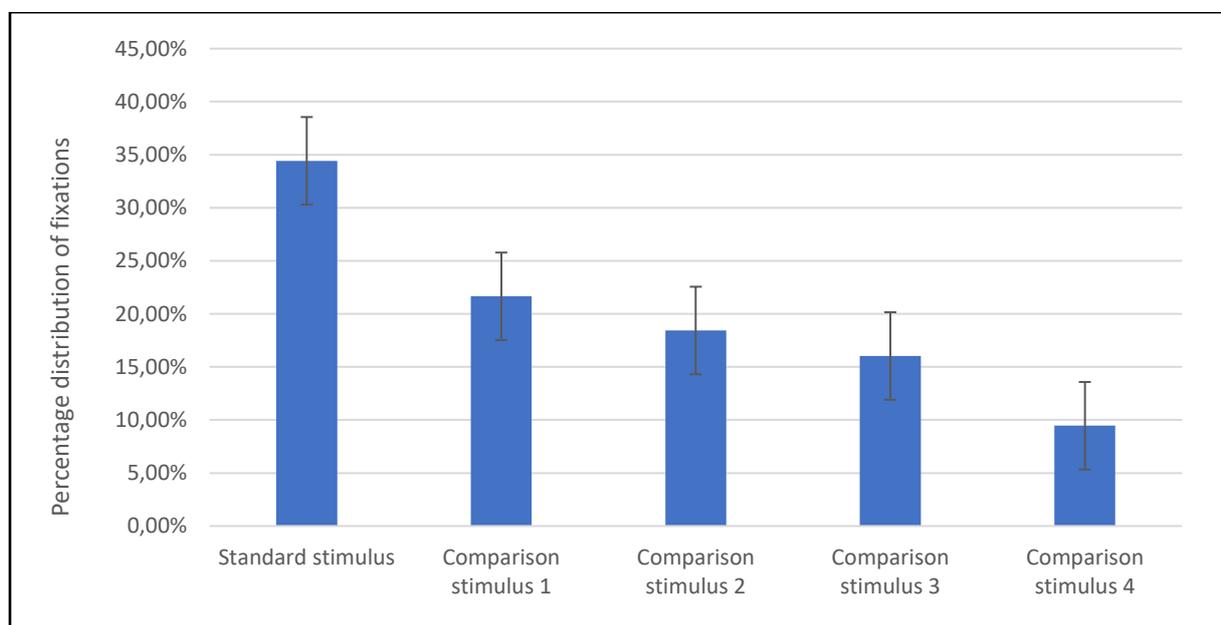


Abbildung 34: Prozentuale Verteilung der Fixationen für alle Stimuli

Um zu testen, ob es Unterschiede bei den Fixationen zwischen allen Stimuli gibt, wurde eine Friedman'sche Zwei-Wege-Varianzanalyse nach Rängen und verbundenen Stichproben berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass es signifikante Unterschiede in der Verteilung der Fixationen zwischen dem Ausgangsreiz (SST) und den vier Vergleichsreizen (CS1-4) gab (Friedman-Test:  $\chi^2(4) = 140.12$ ,  $p = .000$ ,  $n = 83$ ). Die Ergebnisse der anschließend durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) sind Tabelle 10 zu entnehmen. Sie zeigt, dass sich lediglich die

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

Fixationen zwischen dem Vergleichsreiz 2 und dem Vergleichsreiz 3 nicht voneinander unterscheiden.

*Tabelle 10: Ergebnisse der durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) der Fixationen zwischen den Reizen*

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. <sup>a</sup>
Gaze Duration total CS 4- Gaze Duration total CS 3	0.988	0.245	4.025	0.000	0.001
Gaze Duration total CS 4- Gaze Duration total CS 2	1.277	0.245	5.203	0.000	0.000
Gaze Duration total CS 4- Gaze Duration total CS 1	2.012	0.245	8.198	0.000	0.000
Gaze Duration total CS 4- Gaze Duration total SST	2.681	0.245	10.922	0.000	0.000
Gaze Duration total CS 3- Gaze Duration total CS 2	0.289	0.245	1.178	0.239	1.000
Gaze Duration total CS 3- Gaze Duration total CS 1	1.024	0.245	4.172	0.000	0.000
Gaze Duration total CS 3- Gaze Duration total SST	1.693	0.245	6.897	0.000	0.000
Gaze Duration total CS 2- Gaze Duration total CS 1	0.735	0.245	2.994	0.003	0.028
Gaze Duration total CS 2- Gaze Duration total SST	1.404	0.245	5.719	0.000	0.000
Gaze Duration total CS 1- Gaze Duration total SST	0.669	0.245	2.724	0.006	0.064

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is ,050.

a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Weder zwischen den Geschlechtern noch zwischen guten und schlechten Performern konnten Unterschiede im Hinblick auf die Fixationen festgestellt werden.

### 5.5.2 Transitions (Übergänge)

Eine Übergangsmatrix (Tabelle 11) zeigt die relative prozentuale Häufigkeit der Übergänge von einem Stimulus (jedem Stimulus wurde ein einziger AOI zugeordnet) zu einem anderen. Jede Zeile steht also für einen AOI bzw. Stimulus und zeigt, wie viele Übergänge von diesem AOI bzw. Stimulus zu einem anderen AOI bzw. Stimulus (dargestellt pro Spalte) stattgefunden haben. Die relative Häufigkeit der Übergänge zwischen den einzelnen Stimuli ist in Abbildung 31 zu sehen. Die einzelnen Balken des auf der Abszisse angegebenen Stimulus stellen die Übergänge zu den anderen Stimuli dar. Diese können jeweils der Legende entnommen werden. Beispielsweise beträgt die relative Häufigkeit der Übergänge vom Standardreiz zum Vergleichsreiz 1 (oranger Balken) 15.45%.

Tabelle 11: Relative prozentuale Häufigkeit der Übergänge von einem Stimulus zu einem anderen

From	Standard stimulus	Stimulus 1	Stimulus 2	Stimulus 3	Stimulus 4
Standard stimulus	0.00%	15.45%	9.49%	7.72%	4.79%
Comparison stimulus 1	14.76%	0.00%	5.55%	1.11%	0.34%
Comparison stimulus 2	9.06%	3.04%	0.00%	5.20%	0.73%
Comparison stimulus 3	7.54%	0.99%	2.24%	0.00%	3.81%
Comparison stimulus 4	4.98%	0.66%	0.74%	1.81%	0.00%

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

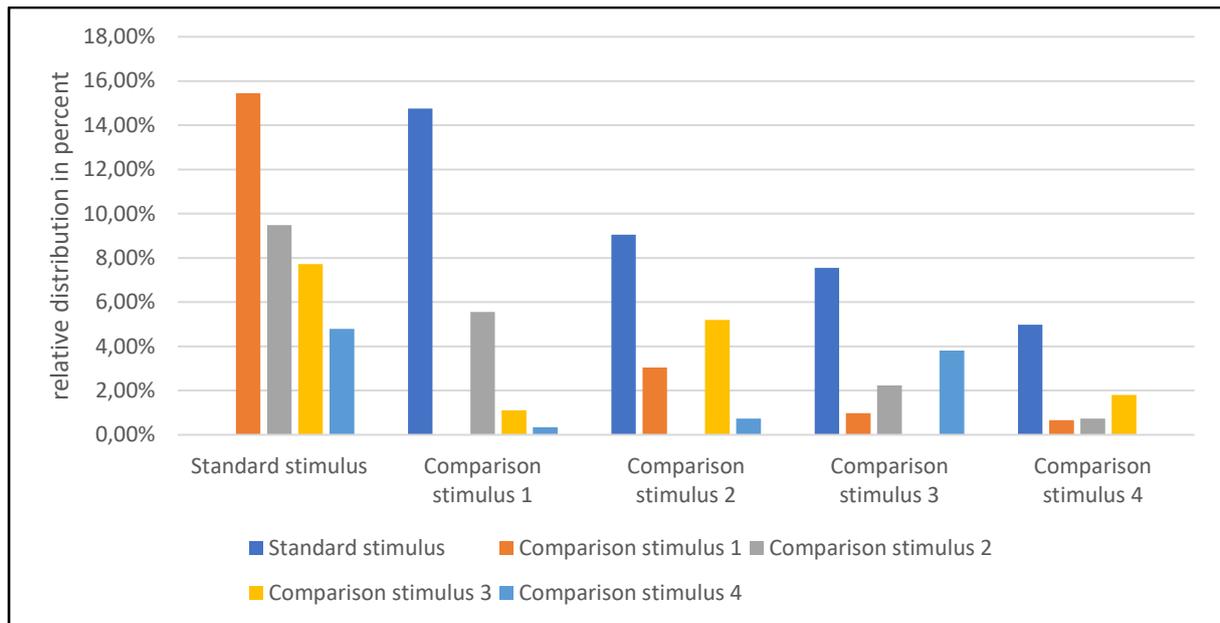


Abbildung 35: Relative Häufigkeit der Übergänge zwischen den einzelnen Stimuli

#### Unterschiede bei den Übergängen (Transitions)

Um zu prüfen, ob es statistisch signifikante Unterschiede bei den Übergängen vom Standardreiz zu jedem der vier Vergleichsreize gab, wurde eine zweifaktorielle Friedman-Varianzanalyse für Ränge und verbundene Stichproben gerechnet. Die Ergebnisse zeigten, dass es signifikante Unterschiede in der Verteilung der Übergänge zwischen dem Ausgangsreiz und den vier Vergleichsreizen gibt (Friedman-Test:  $X^2(3) = 149,38$ ,  $p = .000$ ,  $n = 84$ ). Die Ergebnisse der anschließend durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) sind in Tabelle 12 zu sehen. Sie zeigen, dass sich nur die Übergänge vom Ausgangsreiz zu Vergleichsreiz 2 und Vergleichsreiz 3 nicht unterscheiden.

## Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

Tabelle 12: Ergebnisse der durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) für die Unterschiede bei den Übergängen (Transitionen) vom Standardreiz zu jedem der vier Vergleichsreize

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. <sup>a</sup>
From SST to CS4	0.958	0.199	4.811	0.000	0.000
From SST to CS3					
From SST to CS4	1.083	0.199	5.438	0.000	0.000
From SST to CS2					
From SST to CS4	2.387	0.199	11.982	0.000	0.000
From SST to CS1					
From SST to CS3	0.125	0.199	0.627	0.530	1.000
From SST to CS2					
From SST to CS3	1.429	0.199	7.171	0.000	0.000
From SST to CS1					
From SST to CS2	1.304	0.199	6.544	0.000	0.000
From SST to CS1					

### **Geschlechtsunterschiede bei den Übergängen (Transitions)**

Bei den Übergängen vom Ausgangsreiz zu den vier Vergleichsreizen konnten keine Geschlechtsunterschiede festgestellt werden.

### **Unterschiede bei den Übergängen (Transitions) zwischen guten und schlechten Performern**

Bei den Übergängen vom Ausgangsreiz zu jedem der vier Vergleichsreize gab es teilweise signifikante Unterschiede zwischen guten und schlechten Performern. Die Ergebnisse einer multivariaten Varianzanalyse mit den Übergängen vom Ausgangsreiz zu den jeweiligen Vergleichsreizen als Innersubjektfaktor und der Einteilung in gute und schlechte Performer als Zwischensubjektfaktor zeigten, dass es

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

signifikante Unterschiede zwischen guten und schlechten Performern bei den Übergängen vom Ausgangsreiz zum Vergleichsreiz 2 gab ( $F(1.82) = 4.873$ ,  $p = .030$ ,  $\eta p2 = .056$ ,  $n = 84$ ), wobei gute Performer eine größere Anzahl von Übergängen zeigten ( $M = 37.41$ ,  $SD = 28.31$ ) als schlechte Performer ( $M = 24.88$ ,  $SD = 23.17$ ). Auch bei den Übergängen vom Ausgangsreiz zum Vergleichsreiz 3 gab es signifikante Unterschiede ( $F(1.82) = 6.718$ ,  $p = .011$ ,  $\eta p2 = .076$ ,  $n = 84$ ). Auch hier zeigten gute Performer häufigere Übergänge ( $M = 33.43$ ,  $SD = 19.14$ ) im Gegensatz zu schlechten Performern ( $M = 23.15$ ,  $SD = 17.01$ ). Vom Ausgangsstimulus zum Vergleichsstimulus 4 gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede.

## 5.6 Diskussion

In dieser dritten Studie wurde ein computergestützter mentaler Rotationstest nach Vandenberg und Kuse ohne Zeitbegrenzung verwendet, um das Blickverhalten der Teilnehmer\*innen, geschlechtsspezifische Leistungsunterschiede und die Verarbeitungszeit zu untersuchen. Weiterhin war das Entscheidungsverhalten ein Punkt der durch eine explorative Analyse untersucht werden sollte.

**Hypothese 1** der Studie postulierte, dass es keine Geschlechtsunterschiede in Bezug auf die erreichte Punktzahl bei einem mentalen Rotationstest geben würde. Diese Annahme basierte auf früheren Forschungsergebnissen (Rahe et al., 2018; Toth & Campbell, 2019), die keine signifikanten Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmern in solchen Tests feststellten. Die Studienergebnisse zeigten, dass Männer zwar im Durchschnitt höhere Punktzahlen erreichten als Frauen, dieser Unterschied jedoch statistisch nicht signifikant ist. Diese Beobachtung steht im Einklang mit der ursprünglichen Hypothese, die keine geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Gesamtpunktzahl erwartete. Die Tatsache, dass der beobachtete

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

Unterschied in den Punktzahlen zwischen Männern und Frauen nicht signifikant war, stärkt die Annahme, dass Geschlecht allein kein ausschlaggebender Faktor für die Leistung in mentalen Rotationstests ist. Dies könnte darauf hindeuten, dass andere Faktoren wie individuelle Erfahrung, räumliche Fähigkeiten oder kognitive Strategien einen größeren Einfluss auf die Testleistung haben könnten als das Geschlecht. Zudem könnte die Art des Tests, insbesondere die fehlende Zeitbeschränkung, einen Einfluss auf die Ergebnisse gehabt haben. Frühere Studien, wie die von Voyer et al. (1995), haben darauf hingewiesen, dass Geschlechterunterschiede bei mentalen Rotationstests unter Zeitdruck stärker ausgeprägt sein könnten. Die Abwesenheit einer solchen Beschränkung in dieser Studie könnte dazu beigetragen haben, dass keine signifikanten Geschlechtsunterschiede beobachtet wurden. Es ist auch erwähnenswert, dass die Stichprobengröße und -zusammensetzung (mehr weibliche als männliche Teilnehmer) einen Einfluss auf die Ergebnisse gehabt haben könnte. Zukünftige Forschungen sollten daher eine ausgeglichene Geschlechterverteilung anstreben und möglicherweise auch die Rolle von Zeitbeschränkungen in mentalen Rotationstests weiter untersuchen. Insgesamt unterstützen die Ergebnisse dieser Studie die wachsende Evidenz, dass Geschlechtsunterschiede in mentalen Rotationstests möglicherweise nicht so ausgeprägt oder eindeutig sind, wie früher angenommen. Dies legt nahe, dass für ein umfassendes Verständnis der Leistung in mentalen Rotationstests eine breitere Perspektive erforderlich ist, die über Geschlechtervergleiche hinausgeht und individuelle Unterschiede, Trainingshintergrund und kognitive Strategien berücksichtigt.

**Hypothese 2** der Studie postulierte, dass die Rotationsachse der Stimuli in einem mentalen Rotationstest einen signifikanten Einfluss auf die Leistung der Teilnehmerinnen hat. Dies basiert auf der Annahme, dass unterschiedliche

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

Rotationsachsen unterschiedliche kognitive Anforderungen an die Probandinnen stellen. Die Ergebnisse bestätigten die Hypothese, indem sie einen signifikanten Effekt der Rotationsachse auf die Leistung zeigten. Die Proband\*innen erzielten bei Stimuli, die um die Y-Achse rotiert wurden, signifikant höhere Punktzahlen als bei solchen, die um die X-Achse rotiert wurden. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die kognitive Verarbeitung bei mentalen Rotationstests von der Orientierung der dargestellten Objekte abhängt. Eine mögliche Erklärung für die bessere Leistung bei Y-Achsen-Rotationen könnte sein, dass diese Orientierung den Proband\*innen natürlicher oder intuitiver erscheint. Dies könnte auf alltägliche visuelle Erfahrungen zurückzuführen sein, bei denen Objekte häufiger in einer Vertikalrotation (entsprechend der Y-Achse) als in einer Horizontalrotation (entsprechend der X-Achse) wahrgenommen werden. Die signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Rotationsachsen könnten auch darauf hindeuten, dass unterschiedliche kognitive Strategien oder neuronale Prozesse bei der Verarbeitung von Y-Achsen- vs. X-Achsen-Rotationen involviert sind. Es ist möglich, dass Y-Achsen-Rotationen einfacher zu visualisieren und zu verarbeiten sind, was zu einer höheren Leistung führt.

Die **Hypothese 3** der Studie befasste sich mit der Frage, ob die Leistungsunterschiede zwischen den Geschlechtern in den verschiedenen Teilen eines mentalen Rotationstests, die unterschiedliche Rotationsachsen aufweisen, unterschiedlich groß sind. Es wurde angenommen, dass die Unterschiede in der Leistung zwischen Männern und Frauen je nach Rotationsachse der Teststimuli variieren könnten. Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl Männer als auch Frauen höhere Punktzahlen erreichten, wenn die Stimuli um die Y-Achse statt um die X-Achse rotiert wurden. Allerdings wurden keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede in den Punktwerten auf den jeweiligen Rotationsachsen festgestellt. Männer und Frauen

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

schnitten in beiden Testteilen ähnlich ab, mit geringfügig höheren Punktzahlen für Männer in beiden Teilen. Dies deutet darauf hin, dass, obwohl die Rotationsachse einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtleistung im mentalen Rotationstests hat, sie keinen signifikanten Einfluss auf die Geschlechtsunterschiede in der Leistung ausübt.

**Hypothese 4** der Studie postulierte, basierend auf vorangegangenen Forschungsergebnissen, dass Männer kürzere Bearbeitungszeiten als Frauen in mentalen Rotationstests aufweisen würden. Diese Annahme stützt sich auf die verbreitete Auffassung, dass es geschlechtsspezifische Unterschiede in der Verarbeitungsgeschwindigkeit bei kognitiven Aufgaben gibt. Die Ergebnisse zeigten jedoch keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Bearbeitungszeit zwischen Männern und Frauen. Obwohl Männer durchschnittlich etwas weniger Zeit zur Bearbeitung des Tests benötigten als Frauen, war dieser Unterschied nicht statistisch signifikant. Diese Ergebnisse stehen im Gegensatz zu der ursprünglichen Hypothese und der allgemeinen Annahme, dass Männer schneller als Frauen bei mentalen Rotationstests sind. Eine mögliche Erklärung für das Fehlen eines signifikanten Unterschieds könnte in der Art des Tests oder in der spezifischen Stichprobe liegen. Es ist auch möglich, dass, obwohl in der Literatur oft von geschlechtsspezifischen Unterschieden in der Verarbeitungsgeschwindigkeit berichtet wird, diese Unterschiede in Wirklichkeit nicht so konsistent oder ausgeprägt sind, wie oft angenommen wird. Der beobachtete Anstieg der Bearbeitungszeit zur Mitte des Tests hin bei beiden Geschlechtern deutet möglicherweise auf eine erhöhte Schwierigkeit oder Komplexität der Aufgaben in diesem Teil des Tests hin. Dieser Aspekt könnte unabhängig vom Geschlecht der Probanden einen Einfluss auf die Gesamtbearbeitungszeit haben.

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

**Hypothese 5** der Studie zielte darauf ab, die Bearbeitungszeiten zwischen zwei Testteilen mit unterschiedlichen Rotationsachsen (Y-Achse vs. X-Achse) zu vergleichen. Die Annahme war, dass es einen Unterschied in der Bearbeitungszeit zwischen diesen beiden Testteilen geben würde. Die Ergebnisse bestätigten die Hypothese, indem sie signifikante Unterschiede in der Bearbeitungszeit zwischen den Rotationsachsen aufzeigten. Die Proband\*innen benötigten weniger Zeit, um Aufgaben zu bearbeiten, bei denen die Stimuli um die Y-Achse rotiert wurden, im Vergleich zu Aufgaben mit Rotationen um die X-Achse. Die Tatsache, dass die Bearbeitungszeiten für Stimuli, die um die Y-Achse rotiert wurden, kürzer waren, könnte darauf hindeuten, dass diese Art der Rotation für die Proband\*innen intuitiver oder leichter zu verarbeiten ist. Dies könnte, ähnlich wie in Studie 2, mit der alltäglichen Erfahrung zusammenhängen, in der vertikale Rotationen (entsprechend der Y-Achse) häufiger vorkommen und somit vertrauter sein könnten als horizontale Rotationen (entsprechend der X-Achse). Die signifikanten Unterschiede könnten auch auf die unterschiedlichen kognitiven Anforderungen hinweisen, die mit verschiedenen Rotationsachsen verbunden sind. Möglicherweise erfordern Rotationen um die X-Achse komplexere oder anspruchsvollere visuell-räumliche Verarbeitungsstrategien, was zu längeren Bearbeitungszeiten führt. Abschließend legen die Ergebnisse nahe, dass die kognitiven Strategien und Prozesse, die bei der mentalen Rotation um verschiedene Achsen zum Einsatz kommen, weiter untersucht werden sollten.

**Hypothese 6** der Studie zielte darauf ab, Unterschiede in der Bearbeitungszeit zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmern in Bezug auf unterschiedliche Rotationsachsen in einem mentalen Rotationstest zu untersuchen. Diese Hypothese baut auf vorherigen Erkenntnissen auf, die Unterschiede in der Bearbeitungszeit in Abhängigkeit von der Rotationsachse sowie potenzielle geschlechtsspezifische

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

Unterschiede in der Bearbeitungszeit aufzeigen. Obwohl die Ergebnisse zeigten, dass männliche Teilnehmer bei den um die Y-Achse und die X-Achse rotierten Items durchschnittlich weniger Zeit benötigten als weibliche Teilnehmerinnen, waren diese Unterschiede statistisch nicht signifikant. Dies deutet darauf hin, dass, entgegen der Hypothese, keine bedeutsamen geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Bearbeitungszeit in Bezug auf die Rotationsachse festgestellt wurden. Wichtig zu erwähnen und zu berücksichtigen bleibt hierbei die Stichprobengröße und die Zusammensetzung. Die größere Anzahl weiblicher Teilnehmerinnen könnte die Ergebnisse beeinflusst haben, und es ist möglich, dass in einer anders zusammengesetzten oder größeren Stichprobe signifikante Unterschiede hätten gefunden werden können.

**Hypothese 7** der Studie bezog sich auf die Unterschiede in der Bearbeitungszeit zwischen guten und schlechten Performern in einem mentalen Rotationstest. Basierend auf früheren Studien wurde erwartet, dass gute Performer schneller sind als schlechte Performer, insbesondere bei der Verarbeitung von fragmentierten Figuren, bei denen sie möglicherweise von einer mentalen Rotationsstrategie zu einer blickpunktunabhängigen Strategie wechseln. Für die Einteilung in gute und schlechte Performer wurde sowohl ein Mediansplit als auch der Balanced Integration Score (BIS) herangezogen. Die Analyse der Bearbeitungszeit zeigte, dass schlechte Performer (nach Mediansplit) im Durchschnitt eine kürzere Bearbeitungszeit hatten als gute Performer, jedoch war dieser Unterschied statistisch nicht signifikant. Dies steht im Gegensatz zu der erwarteten Hypothese, dass gute Performer schneller sein sollten. Interessanterweise zeigte die Analyse unter Verwendung des BIS signifikante Unterschiede zwischen guten und schlechten Performern, wobei gute Performer kürzere Bearbeitungszeiten aufwiesen. Dies entspricht der ursprünglichen Erwartung

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

und bestätigt die Annahme, dass gute Performer effizienter in der Bearbeitung mentaler Rotationsaufgaben sind. Die Tatsache, dass die Ergebnisse des Mediansplits nicht signifikant waren, könnte auf die Grenzen dieser Methode hinweisen, wie schon in Studie 2 ermittelt wurde. Der Mediansplit kann eine übermäßige Vereinfachung darstellen, die die tatsächlichen Unterschiede in der kognitiven Leistung nicht adäquat erfasst. Im Gegensatz dazu scheint der BIS, der sowohl Genauigkeit als auch Geschwindigkeit berücksichtigt, eine differenziertere Bewertung der Leistung zu ermöglichen. Dies bestätigt die Argumentation von Liesefeld und Janczyk (2019), dass der BIS ein geeigneteres Maß zur Beurteilung der Leistung in kognitiven Tests darstellt, da er unempfindlich gegenüber Kompromissen zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit ist.

Um zu untersuchen, ob es geschlechtsspezifische Unterschiede im Blickverhalten, Unterschiede zwischen guten und schlechten Performern und zwischen den Rotationsachsen gibt, wurde das Blickverhalten mittels Eye-Tracking aufgezeichnet und analysiert. Der Fokus lag dabei nicht auf den Unterschieden im Blickverhalten innerhalb eines Stimulus. Dies liegt daran, dass in einem mentalen Rotationstest nach Vandenberg und Kuse insgesamt fünf Items pro Aufgabe auf dem Bildschirm präsentiert werden, was die Items zu klein macht, um einzelne Interessensbereiche für jedes Item zu analysieren. Der Fokus lag vielmehr darauf, Indikatoren für Entscheidungsmöglichkeiten zu finden, und untersuchten daher die Übergänge zwischen den Stimuli in jedem Item. Zunächst wurde die Anzahl der Blicke über alle Stimuli hinweg untersucht.

Die **explorative Analyse** zur Fixationszahl bei einem Mentalen Rotationstest nach Vandenberg und Kuse konzentrierte sich darauf, neue Einblicke in die kognitiven Prozesse und Strategien der Teilnehmer\*innen zu gewinnen. Diese Analyse ist von

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

besonderem Interesse, da sie potenziell aufdecken kann, wie Teilnehmer\*innen visuelle Informationen verarbeiten und welche Bereiche der Stimuli sie für die Lösung der Aufgaben als besonders relevant erachten. Die Ergebnisse zeigen, dass der größte Anteil der Fixationen auf den Ausgangsreiz entfiel und dass die Häufigkeit der Fixationen mit zunehmender Entfernung vom Ausgangsreiz abnahm. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch Fixationen in die Berechnung der jeweiligen Stimuli einfließen können, die eine Versuchsperson mit dem Blick überfährt, wenn sie den Blick von einem anderen Vergleichsstimulus über die dazwischen liegenden Stimuli zum Ausgangsstimulus zurückführt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Ausgangsreiz eine zentrale Rolle bei der Lösungsfindung spielt. Die signifikanten Unterschiede in der Verteilung der Fixationen zwischen dem Ausgangsreiz und den Vergleichsreizen, die durch die Friedman'sche Zwei-Wege-Varianzanalyse bestätigt wurden, unterstreichen diese Beobachtung. Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Teilnehmer\*innen den Ausgangsreiz als primären Ankerpunkt für ihre visuelle Aufmerksamkeit und Informationsverarbeitung nutzten. Die zentrale Rolle des Ausgangsreizes könnte darauf hindeuten, dass die Teilnehmer\*innen eine Strategie anwendeten, bei der sie diesen Reiz als Referenzpunkt für die Beurteilung der übrigen Stimuli verwendeten. Die abnehmende Fixationshäufigkeit bei weiter entfernten Vergleichsreizen könnte ein Hinweis darauf sein, dass die kognitive Belastung und die Anforderungen an die visuelle Verarbeitung mit zunehmender Distanz vom Ausgangsreiz abnehmen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Teilnehmer\*innen nach der ersten Einschätzung des Ausgangsreizes eine mentale Repräsentation des Stimulus entwickeln und diese dann mit den nachfolgenden Reizen vergleichen, wodurch weniger Fixationen auf spätere Reize erforderlich sind. Diese Links-zu-Rechts-Vergleiche könnten aber auch darauf hindeuten, dass es sich um ein auf Effizienz basierendes Blickverhalten handelt. Weiterhin könnte es sich aber

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

auch um ein Merkmal der seit der Kindheit antrainierten Links-nach-Rechts-Leserichtung handeln. Experimente, bei denen der Ausgangsreiz nicht links, sondern rechts liegt, könnten hier neue Erkenntnisse liefern. Die Post-hoc-Analyse zeigt zudem, dass sich die Fixationen zwischen den einzelnen Vergleichsreizen signifikant unterscheiden, mit Ausnahme der Vergleichsreize 2 und 3. Dies könnte darauf hinweisen, dass bestimmte Eigenschaften oder Orientierungen der Stimuli unterschiedliche Anforderungen an die visuelle Verarbeitung und Aufmerksamkeit stellen.

**Hypothese 8** der Studie zielte darauf ab, das Blickverhalten der Teilnehmer\*innen eines mentalen Rotationstests nach Vandenberg und Kuse zu untersuchen, insbesondere im Hinblick auf die Übergänge (Transitions) zwischen dem Ausgangsreiz und den verschiedenen Vergleichsreizen. Es wurde vermutet, dass signifikante Unterschiede in der Häufigkeit der Übergänge bestehen und dass sich diese Unterschiede zwischen Männern und Frauen sowie zwischen guten und schlechten Performern zeigen könnten.

Die Analyse der Übergänge ergab signifikante Unterschiede in der Verteilung der Übergänge zwischen dem Ausgangsreiz und den vier Vergleichsreizen. Insbesondere war die relative Häufigkeit der Übergänge vom Standardreiz zu den einzelnen Vergleichsreizen unterschiedlich. Diese Befunde wurden durch die Friedman-Varianzanalyse und die nachfolgenden Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) bestätigt.

Die festgestellten Unterschiede in den Übergängen deuten darauf hin, dass Teilnehmer\*innen unterschiedliche kognitive Strategien beim Vergleichen des Ausgangsreizes mit den verschiedenen Vergleichsreizen anwenden. Die Tatsache, dass einige Übergänge häufiger waren als andere, könnte auf die unterschiedliche

### Studie 3: Leistungsunterschiede und Blickverhalten bei Multiple-Choice-Aufgaben

Schwierigkeit oder kognitive Anforderungen der Vergleiche zwischen dem Ausgangsreiz und den einzelnen Vergleichsreizen hindeuten. Interessanterweise wurden keine signifikanten Geschlechtsunterschiede in den Übergängen festgestellt, was darauf hindeutet, dass Männer und Frauen ähnliche Strategien beim Vergleich der Reize anwenden. Im Gegensatz dazu zeigten die Ergebnisse signifikante Unterschiede zwischen guten und schlechten Performern in Bezug auf die Häufigkeit der Übergänge vom Ausgangsreiz zu bestimmten Vergleichsreizen. Insbesondere zeigten gute Performer häufigere Übergänge zu den Vergleichsreizen 2 und 3. Dies könnte darauf hindeuten, dass gute Performer eine aktivere Vergleichsstrategie anwenden und möglicherweise mehr kognitive Ressourcen für die Analyse und den Vergleich der Reize aufwenden. Die höhere Frequenz der Übergänge bei guten Performern könnte ein Indikator für eine intensivere visuelle Exploration und Informationsverarbeitung sein, was wiederum ihre bessere Leistung im Test erklären könnte. Auffällig ist jedoch, dass die Proband\*innen auch die unterschiedlichen Vergleichsreize vergleichen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass der Blickpfad von Vergleichsreiz 3 über Vergleichsreiz 2 und 1 zum Ausgangsreiz führt und Blickzählungen und -übergänge verursacht. Es ist nicht auszuschließen, dass vom Ausgangsreiz zum Vergleichsreiz 4 kurze Blickpausen auf Vergleichsreiz 3 vorhanden sind. Es erklärt aber nicht, warum die Versuchspersonen jeweils den rechtsstehenden Reiz als zweithäufigsten ansehen oder vergleichen. Ob dies der Fall ist, sollte in einer Folgestudie untersucht werden.

## **6 Diskussion der Ergebnisse aller drei Studien**

In den drei vorgestellten Studien lag der Fokus auf dem Blickverhalten der Proband\*innen während der Bearbeitung mentaler Rotationsaufgaben mit unterschiedlichen Itemtypen. Dabei beziehen sich Blickmuster auf die charakteristischen Bewegungen der Augen eines Individuums während der Bearbeitung jener Aufgaben.

Es wurde untersucht, inwieweit identifizierte Blickmuster den bekannten Lösungsstrategien aus der Literatur zugeordnet werden können und ob sie mithilfe von Eye-Tracking-Methoden identifizierbar sind. Des Weiteren wurde untersucht, ob es eine Verbindung zwischen der Leistung in mentalen Rotationsaufgaben und den beobachteten Blickmustern gibt. Neben den Blickmustern bei chronometrischen Tests zielte die vierte Fragestellung darauf ab, eine detaillierte Analyse des Entscheidungsverhaltens vorzunehmen.

### **6.1 Identifikation und Charakterisierung von Blickmustern**

Die identifizierten Blickmuster bieten Einblicke in die kognitiven Prozesse während des visuellen Vergleichs von Objekten. Die Unterschiede zwischen den Blickmustern deuten darauf hin, dass die Art und Weise, wie Menschen visuelle Informationen verarbeiten und vergleichen, vielfältig und komplex ist. Insgesamt konnten fünf verschiedene Blickmuster identifiziert werden, die während der Bearbeitung von mentalen Rotationsaufgaben auftreten. Diese Muster reichen von gezielten Vergleichen bestimmter Merkmale zwischen den Reizen bis hin zu umfassenden, holistischen Vergleichen aller Eigenschaften der Stimuli. Jedes Blickmuster spiegelt dabei eine unterschiedliche kognitive Strategie wider, wie etwa

## Diskussion der Studienergebnisse

analytische oder holistische Betrachtungsweisen. Beispielsweise impliziert ein Muster, das sich auf wenige Schlüsselmerkmale konzentriert, eine selektive und fokussierte Informationsverarbeitung, während ein Muster, das einen umfassenden Vergleich aller Merkmale zeigt, auf eine globalere und möglicherweise effizientere Strategie hindeutet. Es bleibt festzuhalten, dass die Analyse der Blickmuster differenzierte Informationen über verschiedene Aspekte des Lösungsprozesses, insbesondere auf visueller Ebene liefert. Dies umfasst die Schwierigkeit der präsentierten Items, die vorhandene Erfahrung und Expertise der getesteten Personen sowie deren kognitiver Fähigkeiten wie die Selektivität der visuellen Wahrnehmung und ihre spezifischen Betrachtungsweisen, sei es analytisch oder holistisch.

Ferner spiegelt die Analyse das individuelle Entscheidungsverhalten wie auch die Komplexität und Genauigkeit der Informationsverarbeitung wider, wie in den Studien 1 und 2 gezeigt wurde. Die Blickmuster können also nicht nur in Bezug auf ihre Qualität beschrieben und voneinander unterschieden werden, sondern dienen auch als klare Anzeichen für die zugrunde liegenden psychischen Prozesse, auch wenn diese nicht direkt durch Eye-Tracking selbst erfasst werden können.

Die Methodik der Blickmuster-Analyse kann prinzipiell auf andere Arten von Reizen oder Aufgaben angewendet werden. Allerdings ist es wichtig zu beachten, dass die spezifischen Blickmuster, die in der Studie zu mentalen Rotationsaufgaben identifiziert wurden, möglicherweise nicht direkt auf andere Aufgabentypen oder Reizmodalitäten übertragbar sind. Jede Aufgabe kann unterschiedliche kognitive Anforderungen stellen und dementsprechend unterschiedliche Blickmuster hervorrufen. Daher ist eine separate Untersuchung und Analyse für verschiedene Aufgaben oder Reiztypen notwendig. Während bestimmte grundlegende Muster möglicherweise über verschiedene Aufgaben hinweg ähnlich bleiben, könnten die

## Diskussion der Studienergebnisse

spezifischen Details der Blickpfade und Strategien variieren, abhängig von der Komplexität, dem Format und der Art der Stimuli. Vor der Verallgemeinerung der Ergebnisse auf andere Stimuli sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Insbesondere müsste untersucht werden, wie sich die Blickmuster verändern, wenn die Art der Stimuli variiert – beispielsweise bei Verwendung von abstrakten versus realistische Objekte, unterschiedlichen Rotationsgraden oder verschiedenen räumlichen Anordnungen.

### **6.2 Häufigkeiten der Blickmuster**

Die Studien zeigen, dass die Art des präsentierten Items die Präferenz für bestimmte Blickmuster beeinflusst, was auf spezifische kognitive Verarbeitungsstrategien hindeutet, die mit bestimmten Objekttypen oder Formen verbunden sind. Ferner weisen unterschiedliche Häufigkeiten der Blickmuster darauf hin, dass neben den Merkmalen des Items selbst auch der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben das Auftreten spezifischer Blickmuster beeinflusst. Durch die Analyse, wie häufig bestimmte Blickmuster auftreten, kann man Rückschlüsse auf die bevorzugten kognitiven Strategien der Individuen ziehen. Verschiedene Aufgaben und Stimuli können unterschiedliche Blickmuster hervorrufen, was auf verschiedene Verarbeitungsstile oder Problemlösungsansätze hindeutet. Ferner bieten Häufigkeitsanalysen von Blickmustern tiefe Einblicke in die bevorzugten kognitiven Strategien von Individuen, indem sie aufzeigen, wie häufig bestimmte Blickmuster in verschiedenen Kontexten auftreten. Diese Erkenntnisse sind besonders wertvoll für das Verständnis von Lern- und Problemlösungsprozessen, da sie offenlegen, wie Informationen aufgenommen und verarbeitet werden. Solche Analysen haben auch praktische Anwendungen in der Ergonomie und im Design, indem sie helfen,

## Diskussion der Studienergebnisse

Benutzeroberflächen intuitiver und benutzerfreundlicher zu gestalten. In der Entwicklung von Assistenzsystemen, wie etwa Fahrassistenzsystemen, können Häufigkeitsanalysen von Blickmustern genutzt werden, um die Aufmerksamkeitsverteilung und Entscheidungsfindung von Nutzer\*innen zu verstehen, was wiederum zur Verbesserung der Sicherheit und Effizienz dieser Systeme beiträgt. In der klinischen Psychologie und Neurowissenschaft bieten diese Analysen Möglichkeiten zur Diagnose und zum Verständnis von Störungen, die oft mit atypischen Blickmustern einhergehen. Darüber hinaus haben Blickmusteranalysen interdisziplinäre Bedeutung, beispielsweise in der Sozialpsychologie, Markt- und Werbeforschung, wo sie Aufschluss über Aufmerksamkeitsverteilung und Entscheidungsprozesse geben. In Bezug auf zukünftige Forschung eröffnen Häufigkeitsanalysen von Blickmustern spannende Möglichkeiten. Sie könnten beispielsweise genutzt werden, um personalisierte digitale Erfahrungen zu entwickeln, indem Werbung, Nachrichtenfeeds oder Produktempfehlungen basierend auf den Blickgewohnheiten der Nutzer angepasst werden. Auch im Bereich der Zugänglichkeitsforschung könnten solche Analysen dazu beitragen, Technologien und Interfaces für Menschen mit unterschiedlichen Fähigkeiten, wie motorischen Einschränkungen oder Sehbehinderungen, zugänglicher zu machen. Die fortgesetzte Untersuchung und Anwendung von Häufigkeitsanalysen von Blickmustern verspricht somit, unser Verständnis der menschlichen Kognition zu vertiefen und gleichzeitig praktische Lösungen in einer Vielzahl von Bereichen zu liefern. Die zukünftige Forschung könnte sich darauf konzentrieren, die spezifischen kognitiven Prozesse, die diesen Blickmustern zugrunde liegen, weiter zu untersuchen. Dies könnte einen detaillierteren Einblick in die Art und Weise bieten, wie Menschen unterschiedliche Arten von Informationen verarbeiten, was wiederum zu effektiveren Lehrmethoden, Benutzeroberflächen und technologischen Anwendungen führen könnte. Darüber

## Diskussion der Studienergebnisse

hinaus könnte die zukünftige Forschung untersuchen, wie sich Blickmuster zwischen verschiedenen Bevölkerungsgruppen unterscheiden und was dies über individuelle Unterschiede in der Informationsverarbeitung aussagt. Diese Erkenntnisse könnten dazu beitragen, personalisierte Ansätze in Bildung, Therapie und Technologieentwicklung zu entwickeln.

### **6.3 Zusammenhang von Blickmuster und Leistung**

Es konnte festgestellt werden, dass bestimmte Blickmuster mit höherer Erfolgsrate bei der Lösung der Aufgaben verbunden sind. Dies deutet darauf hin, dass manche Blickmuster effektiver als andere sind, was die Genauigkeit bei der Lösung von mentalen Rotationsaufgaben betrifft. Dabei ist der Zusammenhang zwischen Blickmustern und Leistung sowie deren Verbindung zu Lösungsstrategien in kognitiven Aufgaben ein facettenreiches und bedeutendes Thema in der kognitiven Psychologie. Blickmuster dienen als Indikatoren für die Leistung in kognitiven Aufgaben, wobei spezifische Muster, wie fokussierte und systematische Blickbewegungen, oft mit einer höheren Leistung verbunden sind. Diese Muster spiegeln eine effiziente Informationsverarbeitung und Problemlösung wider. Andererseits können unstrukturierte oder ziellose Blickpfade auf Schwierigkeiten im Problemlösungsprozess hindeuten und somit oft mit einer niedrigeren Leistung korrelieren. Blickmuster bieten ein Fenster in die Komplexität der kognitiven Verarbeitung und zeigen, wie verschiedene Ebenen der Informationsverarbeitung – von der einfachen Identifikation bis zur komplexen Integration von Informationen – in Echtzeit ablaufen. Diese Anpassungsfähigkeit und Flexibilität in der Verarbeitung sind entscheidende Aspekte der kognitiven Flexibilität und zeigen, wie sich diese über verschiedene Aufgaben und Situationen hinweg manifestiert.

#### **6.4 Weitere Aspekte im Zusammenhang mit Blickmustern**

Beim Betrachten der Blickmuster im Zusammenhang mit mentalen Rotationsaufgaben sind mehrere Aspekte neben dem Geschlecht zu berücksichtigen. Wichtige Faktoren sind hierbei die Itemschwierigkeit, der Rotationswinkel der Stimuli und die Lösungsstrategien. Die Komplexität der Aufgaben beeinflusst dabei, wie Individuen Informationen visuell verarbeiten. Einfachere Aufgaben könnten zu weniger komplexen Blickmustern führen, während komplexere Stimuli intensivere und vielfältigere Blickbewegungen erfordern. Dies wurde im Vergleich zwischen den ersten beiden Studien sichtbar, da das Blickmuster 5 aus Studie 2 in Studie 1, bei welcher konkrete Items präsentiert wurden, nicht auftrat. Der Winkel, um den ein Objekt rotiert wird, spielt ebenfalls eine Rolle. Größere Rotationswinkel können komplexere Blickmuster hervorrufen, da sie eine intensivere mentale Verarbeitung erfordern. Unterschiedliche Individuen wenden verschiedene Strategien an, um mentale Rotationsaufgaben zu lösen. Diese Strategien können sich in den Blickmustern widerspiegeln. Einige Personen könnten einen ganzheitlichen Ansatz verfolgen, der sich in breiten, umfassenden Blickbewegungen zeigt, während andere eine analytische Herangehensweise bevorzugen, die sich in fokussierten und detaillierten Blickmustern manifestiert. Im Hinblick auf die Einteilung zwischen good und bad performer konnte festgestellt werden, dass es Unterschiede im Blickverhalten zwischen guten und schlechten Performern gibt. Gute Performer, basierend auf dem Balanced Integration Score, zeigten weniger Transitionen innerhalb und zwischen den Reizen, was sich auch in kürzeren Reaktionszeiten widerspiegelte. Dies deutet darauf hin, dass gute Performer effizienter in ihrer visuellen Exploration und Informationsverarbeitung sind, was sich in einer effektiveren Vergleichsstrategie zwischen den Reizen manifestiert. Diese Ergebnisse unterstreichen, dass die Analyse

## Diskussion der Studienergebnisse

von Blickmustern tatsächlich dazu verwendet werden kann, Unterschiede in der Leistungsfähigkeit von Individuen zu identifizieren. Gute Performer scheinen eine aktivere und zielgerichtetere Herangehensweise bei der Lösung von mentalen Rotationsaufgaben zu haben, was sich in ihren Blickmustern widerspiegelt.

Die Analyse der Transitionen, also der Übergänge zwischen den Areas of Interest (AOIs), spielt eine wichtige Rolle für das Verständnis der kognitiven Prozesse bei der Aufgabenlösung. Letztendlich sind die Transitionen nichts anderes als Teile eines Blickmusters. Die Analyse ergab, dass schlechte Performer (nach Mediansplit) weniger Übergänge aufwiesen als gute Performer, während bei der Einteilung nach dem Balanced Integration Score (BIS) das Gegenteil der Fall war. Gute Performer, die auf Basis des BIS ermittelt wurden, zeigten weniger Übergänge sowohl innerhalb der Reize als auch zwischen den Reizen im Vergleich zu schlechteren Performern. Dies korrelierte auch mit kürzeren Reaktionszeiten bei den guten Performern, die auf Basis des BIS bewertet wurden. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Analyse von Transitionen aufschlussreich für das Verständnis der kognitiven Prozesse bei mentalen Rotationsaufgaben ist. Sie zeigt, wie Probanden Informationen aufnehmen und verarbeiten, und spiegelt ihre Fähigkeit wider, effizient zwischen verschiedenen visuellen Elementen einer Aufgabe zu wechseln. Diese Erkenntnisse können dabei helfen, die Effizienz der Informationsverarbeitung und die Strategien bei der Problemlösung besser zu verstehen.

### **6.5 Ergebnisse Geschlechtsunterschiede, Reaktionszeit und Leistung**

Die vorliegenden Studienergebnisse bieten eine umfassende und tiefgreifende Perspektive auf die Geschlechtsunterschiede in mentalen Rotationstests und fordern konventionelle Annahmen über kognitive Fähigkeiten heraus. In einer detaillierten

## Diskussion der Studienergebnisse

Analyse, die sowohl quantitative als auch qualitative Ansätze umfasst, wird deutlich, dass die traditionelle Auffassung, Männer würden generell besser in solchen Tests abschneiden, eine zu vereinfachende Sichtweise darstellt. Stattdessen legen die Ergebnisse nahe, dass die Unterschiede zwischen den Geschlechtern weniger eindeutig und stabil sind und stark von einer Vielzahl interagierender Faktoren beeinflusst werden. Diese Faktoren umfassen individuelle Erfahrung, Bildungshintergrund, kulturelle Einflüsse und die spezifische Gestaltung der Tests selbst. Die drei Studien zeigen, dass Leistung in mentalen Rotationstests ein vielschichtiges Konstrukt ist, das nicht nur durch Geschwindigkeit, sondern auch durch Effizienz und Genauigkeit der kognitiven Verarbeitung bestimmt wird. Dies wird besonders durch die Verwendung des Balanced Integration Score (BIS) deutlich, der eine integrative Betrachtung von Schnelligkeit und Genauigkeit in der Leistungsbewertung ermöglicht. Ein solcher Ansatz führt zu einem differenzierteren Verständnis der kognitiven Leistung und hebt die Bedeutung von Verarbeitungsqualität über bloße Geschwindigkeit hinaus hervor. Für die zukünftige Forschung könnte dies bedeuten, dass Trainingsprogramme und pädagogische Interventionen, die auf die Verbesserung der visuellen und kognitiven Verarbeitungsstrategien abzielen, effektiver sein könnten als solche, die lediglich darauf abzielen, die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung zu erhöhen.

Die detaillierte Analyse des Blickverhaltens mittels Eye-Tracking liefert wichtige Einblicke in die kognitiven Strategien der Testteilnehmer\*innen. Die Beobachtung, dass Männer und Frauen ähnliche Blickmuster aufweisen, deutet darauf hin, dass beide Geschlechter vergleichbare Ansätze bei der Lösung der Aufgaben verfolgen, was die Hypothese einer geschlechtsspezifischen Verarbeitung in Frage stellt. Dies unterstreicht die Bedeutung des Blickverhaltens als Indikator für zugrunde liegende

## Diskussion der Studienergebnisse

kognitive Prozesse und hebt die Relevanz individueller Ansätze in der Problemlösung hervor. Diese Erkenntnisse fordern eine erweiterte Perspektive in der kognitiven und neurowissenschaftlichen Forschung.

Zukünftige Studien sollten sich nicht ausschließlich auf die Quantifizierung von Leistungsunterschieden zwischen den Geschlechtern konzentrieren, sondern vielmehr die zugrundeliegenden kognitiven Prozesse und Strategien qualitativ untersuchen. Dabei ist es entscheidend, die Vielfalt individueller Erfahrungen und Hintergründe zu berücksichtigen, die die Leistung beeinflussen können. Die Implikationen dieser Studien sind sowohl gesellschaftlich als auch pädagogisch von Bedeutung. Sie stellen gängige Stereotype über geschlechtsspezifische Fähigkeiten in Frage und unterstreichen die Wichtigkeit von individueller Förderung und Unterstützung im Bildungswesen. Diese Ergebnisse können dazu beitragen, Bildungsprogramme zu entwickeln, die auf die Stärkung räumlicher Fähigkeiten abzielen, was wiederum zu einer ausgeglicheneren Repräsentation in traditionell geschlechtsspezifischen Bereichen führen könnte.

### **6.6 Rotationsebenen**

Die Ergebnisse aller Studien zeigen, dass die Orientierung und Achse der Rotation in mentalen Rotationstests signifikante Auswirkungen auf die Leistung der Testteilnehmer\*innen haben. Insbesondere die Bevorzugung der Y-Achse gegenüber der X-Achse in der Leistung der Proband\*innen verweist auf eine psychologische und neurologische Dynamik in der räumlichen Wahrnehmung und Verarbeitung. Hinsichtlich der Ergebnisse von Studie 2 und Studie 3 zeigt sich, dass es nicht nur wie von Neuburger et al., 2012 und Ruthsatz et al., 2014 beschriebene Leistungsunterschiede zwischen den in der Bildebene und Tiefenebene rotierten Items

## Diskussion der Studienergebnisse

gibt, sondern sogar zwischen den Rotationsachsen in der Tiefenebene, welche auf der Y-Achse und der X-Achse rotiert wurden. Diese signifikanten Leistungsunterschiede, die bei Rotationen um die Y-Achse im Vergleich zu denen um die X-Achse beobachtet wurden, legen nahe, dass unterschiedliche kognitive und neuronale Prozesse bei der Verarbeitung dieser unterschiedlichen Rotationsachsen beteiligt sind. Eine mögliche Interpretation dieser Beobachtung könnte in der alltäglichen visuellen Erfahrung liegen. Objekte werden in unserer natürlichen Umgebung häufiger in einer vertikalen Orientierung (entsprechend der Y-Achse) wahrgenommen als in einer horizontalen (entsprechend der X-Achse). Diese alltägliche Erfahrung könnte zu einer intuitiveren und effizienteren Verarbeitung bei Y-Achsen-Rotationen führen. Eine weitere Beobachtung ist das Fehlen signifikanter Geschlechtsunterschiede in der Leistung auf den jeweiligen Rotationsachsen. Dies deutet darauf hin, dass, obwohl die Rotationsachse einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtleistung im mentalen Rotationstest hat, sie keinen signifikanten Einfluss auf die Geschlechtsunterschiede in der Leistung ausübt. Dieses Erkenntnis fordert die konventionellen Annahmen über geschlechtsspezifische Unterschiede in räumlichen Fähigkeiten heraus und unterstreicht die Notwendigkeit, individuelle Unterschiede und kognitive Strategien in Betracht zu ziehen. Zudem zeigen die Ergebnisse der Studien zur Bearbeitungszeit, dass die Rotationsachse auch einen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung hat. Bei Rotationen um die Y-Achse waren die Bearbeitungszeiten kürzer, was darauf hindeutet, dass diese Art der Rotation einfacher zu visualisieren und zu verarbeiten ist.

## **6.7 Bedeutung von Eye-Tracking für die Untersuchung der mentalen Rotation**

Die Ergebnisse dieser Studien betonen die Bedeutung der Blickmuster-Analyse für das Verständnis der kognitiven Prozesse bei mentalen Rotationsaufgaben. Die identifizierten Blickmuster geben Aufschluss über verschiedene kognitive Strategien und können in zukünftigen Studien genutzt werden, um die spezifischen Prozesse hinter diesen Mustern weiter zu untersuchen. Diese Erkenntnisse könnten für die Entwicklung von Trainingsprogrammen zur Verbesserung der mentalen Rotationsfähigkeiten von Bedeutung, beispielsweise bei der Ausbildung von Fluglotsen sein. Zusammenfassend zeigen die Studien, dass die Analyse von Blickmustern mittels Eye-Tracking-Technologie ein wertvolles Instrument zur Untersuchung der kognitiven Strategien bei mentalen Rotationsaufgaben darstellt. Die differenzierte Betrachtung der Blickmuster und ihrer Häufigkeiten liefert tiefe Einblicke in die Art und Weise, wie Individuen visuelle Informationen verarbeiten und vergleichen. Dies eröffnet neue Perspektiven für das Verständnis kognitiver Prozesse und könnte zukünftige Forschungen in der kognitiven Psychologie und verwandten Feldern maßgeblich beeinflussen.

## **7 Limitationen und Ausblick**

Die relativ geringe Teilnehmerzahl, die vorwiegend aus Studierenden bestand, und die unausgewogene Geschlechterverteilung könnten die Generalisierbarkeit der Ergebnisse der jeweiligen Studien einschränken. Zudem ist der detaillierte und umfassende Auswertungsprozess, trotz fortschrittlicher Analysesoftware, sehr zeitintensiv und komplex und erfordert viele Ressourcen. Hier könnte zukünftig der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) einen signifikanten Mehrwert bieten, indem sie

## Limitationen und Ausblick

die Effizienz und Tiefe der Datenanalyse verbessert, die Blickmuster aus den vorab gegebenen AOIs eigenständig extrahiert und analysiert. Die Ergebnisse legen die Bedeutung von weiterführender Forschung mit ausgewogeneren und umfangreicheren Stichproben nahe, um robustere und repräsentativere Ergebnisse zu erzielen. Zukünftige Studien sollten demnach darauf abzielen, die Vielfalt der Teilnehmenden sowie deren Anzahl zu erhöhen und auch außeruniversitäre Populationen einzubeziehen. Weiterhin ist es wichtig, die Rolle von Bildungshintergrund, kulturellen Einflüssen und individuellen Erfahrungen bei der Verarbeitung mentaler Rotationsaufgaben weiter zu untersuchen. Umfassende zusätzliche Forschungen sind ebenfalls erforderlich, um die Anwendbarkeit und Grenzen der Blickmuster als universelle Prototypen für alle mentalen Rotationsaufgaben zu bestimmen. Während Eye-Tracking und die Analyse von Blickmustern wichtige Einblicke in die kognitiven Prozesse bei mentalen Rotationsaufgaben bieten, gelten sie nicht unbedingt als alleinige oder universelle Standardmethode. Sie sind eine von mehreren Methoden, die zur Untersuchung solcher Aufgaben verwendet werden können. Andere Methoden könnten beispielsweise neuropsychologische Tests, bildgebende Verfahren oder verhaltensbasierte Messungen umfassen. Eye-Tracking bietet jedoch den einzigartigen Vorteil, dass es unmittelbare, präzise Daten darüber liefert, wie Versuchspersonen visuelle Informationen während der Aufgabenbearbeitung wahrnehmen und verarbeiten.

Für zukünftige Forschungen basierend auf den Erkenntnissen dieser Dissertation eröffnen sich mehrere innovative Wege. Der zusätzliche Einsatz von Elektroenzephalographie (EEG) in Verbindung mit Eye-Tracking könnte einen Beitrag leisten, um die neuronalen Grundlagen mentaler Rotationsaufgaben zu verstehen. Durch die Analyse von Hirnaktivitätsmustern in Kombination mit Eye-Tracking könnten

## Limitationen und Ausblick

spezifische kognitive Prozesse und deren Unterschiede zwischen verschiedenen Geschlechtern und individuellen Fähigkeiten untersucht werden. Des Weiteren bietet die zusätzliche Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) in die Auswertung von Eye-Tracking-Daten das Potenzial, die Effizienz und Präzision der Analyse zu steigern. KI-Algorithmen könnten dabei helfen, komplexe Blickmuster zu klassifizieren und zu interpretieren, was zu tieferen Einblicken in die kognitiven Strategien der Testpersonen führen könnte und wertvolle Ressourcen einsparen könnte. Eine weitere aussichtsreiche Richtung ist die Kombination von Eye-Tracking mit bildgebenden Verfahren wie der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) oder der Positronen-Emissions-Tomographie (PET). Diese Methoden könnten gemeinsam genutzt werden, um ein umfassendes Bild der kognitiven Prozesse und ihrer neuronalen Korrelate zu erstellen. Schließlich wäre eine interdisziplinäre Herangehensweise wünschenswert, die Experten aus verschiedenen Feldern wie Kognitionswissenschaften, Neurologie, Psychologie und Informatik zusammenbringt. Dies könnte zu einem ganzheitlicheren Verständnis der bei mentalen Rotationsaufgaben involvierten Prozesse führen und neue Wege für praktische Anwendungen in Bildung, Training und klinischer Diagnostik eröffnen.

## Literaturverzeichnis

- Alexander, G. M., & Son, T. (2007). Androgens and eye movements in women and men during a test of mental rotation ability. *Hormones and Behavior*, 52(2), 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.01.011>
- Ariali, S. (2021). *Erfassung und adaptive Förderung der mentalen Rotationsfähigkeit mittels virtueller Umgebungen* [doctoralThesis]. <https://doi.org/10.18419/opus-11832>
- Berenbaum, S. A., Korman, K., & Leveroni, C. (1995). Early hormones and sex differences in cognitive abilities. *Learning and Individual Differences*, 7(4), 303–321. [https://doi.org/10.1016/1041-6080\(95\)90004-7](https://doi.org/10.1016/1041-6080(95)90004-7)
- Bethell-Fox, C. E., & Shepard, R. N. (1988). Mental rotation: Effects of stimulus complexity and familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(1), 12–23. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.14.1.12>
- Bors, D. A., & Vigneau, F. (2011). Sex differences on the mental rotation test. *Learning and Individual Differences*, 21(1), 129–132. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2010.09.014>
- Borst, G., Kievit, R. A., Thompson, W. L., & Kosslyn, S. M. (2011). Mental rotation is not easily cognitively penetrable. *Journal of Cognitive Psychology*, 23(1), 60–75. <https://doi.org/10.1080/20445911.2011.454498>
- Carpenter, R. H. S. (1977). *Movements of the eyes*. Pion.
- Cherney, I. D., & Voyer, D. (2010). Development of a Spatial Activity Questionnaire I: Items Identification. *Sex Roles*, 62(1), 89–99. <https://doi.org/10.1007/s11199-009-9710-9>
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155–159. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.112.1.155>
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). CHRONOMETRIC STUDIES OF THE ROTATION OF MENTAL IMAGES. In W. G. Chase (Hrsg.), *Visual Information Processing* (S. 75–176). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-170150-5.50009-3>
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1975). Mental transformations in the identification of left and right hands. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 104(1), 48–56.
- Courvoisier, D. S., Renaud, O., Geiser, C., Paschke, K., Gaudy, K., & Jordan, K. (2013). Sex hormones and mental rotation: An intensive longitudinal investigation. *Hormones and Behavior*, 63(2), 345–351. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2012.12.007>

- Doyle, R. A., Voyer, D., & Lesmana, M. (2015). *Item Type, Occlusion, and Gender Differences in Mental Rotation*. 69(8), 1530–1544.
- Duchowski, A. (2007). *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice* (2. Aufl.). Springer-Verlag. <https://www.springer.com/de/book/9781846286087>
- Fitzhugh, S., Shipley, T. F., Newcombe, N., McKenna, K., & Dumay, D. (2008). Mental rotation of real word Shepard-Metzler figures: An eye tracking study. *Journal of Vision*, 8(6), 648–648. <https://doi.org/10.1167/8.6.648>
- Folk, M. D., & Luce, R. D. (1987). Effects of stimulus complexity on mental rotation rate of polygons. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 13(3), 395–404. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.13.3.395>
- Fuchs, A. F., Kaneko, C. R. S., & Scudder, C. A. (1985). Brainstem Control of Saccadic Eye Movements. *Annual Review of Neuroscience*, 8(1), 307–337. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.08.030185.001515>
- Ganesh, S., van Schie, H. T., Cross, E. S., de Lange, F. P., & Wigboldus, D. H. J. (2015). Disentangling neural processes of egocentric and allocentric mental spatial transformations using whole-body photos of self and other. *NeuroImage*, 116, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.05.003>
- Graupner, S.-T., Pannasch, S., & Velichkovsky, B. M. (2011). Saccadic context indicates information processing within visual fixations: Evidence from event-related potentials and eye-movements analysis of the distractor effect. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 80(1), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.01.013>
- Hausmann, M., Schoofs, D., Rosenthal, H. E. S., & Jordan, K. (2009a). Interactive effects of sex hormones and gender stereotypes on cognitive sex differences—A psychobiosocial approach. *Psychoneuroendocrinology*, 34(3), 389–401. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.09.019>
- Hausmann, M., Schoofs, D., Rosenthal, H. E. S., & Jordan, K. (2009b). Interactive effects of sex hormones and gender stereotypes on cognitive sex differences—A psychobiosocial approach. *Psychoneuroendocrinology*, 34(3), 389–401. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.09.019>
- Hausmann, M., Slabbekoorn, D., Van Goozen, S. H., Cohen-Kettenis, P. T., & Güntürkün, O. (2000). Sex hormones affect spatial abilities during the menstrual cycle. *Behavioral Neuroscience*, 114(6), 1245–1250. <https://doi.org/10.1037//0735-7044.114.6.1245>
- Hegarty, M. (2010). Chapter 7—Components of Spatial Intelligence. In *Psychology of Learning and Motivation* (Bd. 52, S. 265–297). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(10\)52007-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(10)52007-3)
- Hegarty, M. (2018). Ability and sex differences in spatial thinking: What does the mental rotation test really measure? *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(3), 1212–1219. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1347-z>

- Hegarty, M., & Kozhevnikov, M. (1999). Types of visual–spatial representations and mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology, 91*, 684–689. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.91.4.684>
- Hegarty, M., Richardson, A. E., Montello, D. R., Lovelace, K., & Subbiah, I. (2002). Development of a self-report measure of environmental spatial ability. *Intelligence, 30*(5), 425–447. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(02\)00116-2](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(02)00116-2)
- Heil, M., & Jansen-Osmann, P. (2008). Sex differences in mental rotation with polygons of different complexity: Do men utilize holistic processes whereas women prefer peacemeal ones? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 61*(5), 683–689.
- Hessels, R. S., Kemner, C., van den Boomen, C., & Hooge, I. T. C. (2016). The area-of-interest problem in eyetracking research: A noise-robust solution for face and sparse stimuli. *Behavior Research Methods, 48*(4), 1694–1712. <https://doi.org/10.3758/s13428-015-0676-y>
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Weijer, J. van de. (2015). *Eye Tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press.
- Hooge, I. Th. C., & Erkelens, C. J. (1998). Adjustment of fixation duration in visual search. *Vision Research, 38*(9), 1295-1304. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(97\)00287-3](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(97)00287-3)
- Hugdahl, K., Thomsen, T., & Erslund, L. (2006). Sex differences in visuo-spatial processing: An fMRI study of mental rotation. *Neuropsychologia, 44*(9), 1575–1583. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.026>
- Hyde, J. S. (2005). The gender similarities hypothesis. *American Psychologist, 60*(6), 581–592. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.60.6.581>
- Hyde, J. S. (2014). Gender Similarities and Differences. *Annual Review of Psychology, 65*(1), 373–398. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115057>
- Jansen-Osmann, P., & Heil, M. (2007). Developmental aspects of parietal hemispheric asymmetry during mental rotation: *NeuroReport, 18*(2), 175–178. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e328010ff6b>
- Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P., & Van Gog, T. (2010). In the eyes of the beholder: How experts and novices interpret dynamic stimuli. *Learning and Instruction, 20*(2), 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.019>
- Jayawardena, G., & Jayarathna, S. (2021). Automated Filtering of Eye Movements Using Dynamic AOI in Multiple Granularity Levels. *International Journal of Multimedia Data Engineering and Management, 12*(1). <https://doi.org/10.4018/IJMDEM.2021010104>

- Jayawardena, G., Michalek, A., Duchowski, A., & Jayarathna, S. (2020). Pilot Study of Audiovisual Speech-In-Noise (SIN) Performance of Young Adults with ADHD. *ACM Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3379156.3391373>
- Jordan, K., Wüstenberg, T., Heinze, H.-J., Peters, M., & Jäncke, L. (2002). Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks. *Neuropsychologia*, *40*(13), 2397–2408. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00076-3](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00076-3)
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1976). Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive Psychology*, *8*(4), 441–480. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(76\)90015-3](https://doi.org/10.1016/0010-0285(76)90015-3)
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1985). Cognitive coordinate systems: Accounts of mental rotation and individual differences in spatial ability. *Psychological Review*, *92*, 137–172. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.92.2.137>
- Kail, R. (1985). Development of mental rotation: A speed-accuracy study. *Journal of Experimental Child Psychology*, *40*(1), 181–192. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(85\)90071-2](https://doi.org/10.1016/0022-0965(85)90071-2)
- Kail, R. (1986). The impact of extended practice on rate of mental rotation. *Journal of Experimental Child Psychology*, *42*(3), 378–391. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(86\)90032-9](https://doi.org/10.1016/0022-0965(86)90032-9)
- Kail, R., Carter, P., & Pellegrino, J. (1979). The locus of sex differences in spatial ability. *Perception & Psychophysics*, *26*(3), 182–186. <https://doi.org/10.3758/BF03199867>
- Kail, R., Pellegrino, J., & Carter, P. (1980). Developmental changes in mental rotation. *Journal of Experimental Child Psychology*, *29*, 102–116. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(80\)90094-6](https://doi.org/10.1016/0022-0965(80)90094-6)
- Kaltner, S., Jansen, P., & Riecke, B. E. (2017). Stimulus size matters: Do life-sized stimuli induce stronger embodiment effects in mental rotation? *Journal of Cognitive Psychology*, *29*(6), 701–716. <https://doi.org/10.1080/20445911.2017.1310108>
- Kanamori, N., & Yagi, A. (2002). The difference between flipping strategy and spinning strategy in mental rotation. *Perception*, *31*(12), 1459–1466. <https://doi.org/10.1068/p3325>
- Khooshabeh, P., & Hegarty, M. (2010, März 16). *Representations of Shape during Mental Rotation*. AAAI Spring Symposium: Cognitive Shape Processing. <https://www.semanticscholar.org/paper/Representations-of-Shape-during-Mental-Rotation-Khooshabeh-Hegarty/e429d8fc2a609b783fc141bf5ade2b5d02e0b807>
- Khooshabeh, P., Hegarty, M., & Shipley, T. F. (2013). Individual Differences in Mental Rotation: Piecemeal Versus Holistic Processing. *Experimental Psychology*, *60*(3), 164–171. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000184>

- Koriat, A., & Norman, J. (1985). Mental rotation and visual familiarity. *Perception & Psychophysics*, 37, 429–439.
- Kosslyn, S. M., Ganis, G., & Thompson, W. L. (2001). Neural foundations of imagery. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(9), Article 9. <https://doi.org/10.1038/35090055>
- Kosslyn, S. M., Pascual-Leone, A., Felician, O., Camposano, S., Keenan, J. P., L., W., Thompson, Ganis, G., Sukel, K. E., & Alpert, N. M. (1999). The Role of Area 17 in Visual Imagery: Convergent Evidence from PET and rTMS. *Science*, 284(5411), 167–170. <https://doi.org/10.1126/science.284.5411.167>
- Kozhevnikov, M., Hegarty, M., & Mayer, R. E. (2002). Revising the Visualizer-Verbalizer Dimension: Evidence for Two Types of Visualizers. *Cognition and Instruction*, 20(1), 47–77. [https://doi.org/10.1207/S1532690XCI2001\\_3](https://doi.org/10.1207/S1532690XCI2001_3)
- Kraemer, D. J. M., Rosenberg, L. M., & Thompson-Schill, S. L. (2009). The Neural Correlates of Visual and Verbal Cognitive Styles. *Journal of Neuroscience*, 29(12), 3792–3798. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4635-08.2009>
- Lange, L. F. (2009). *Mentale Rotation bei Kindern—Trainingseffekte und physiologische Grundlagen* [Dissertation]. <https://docserv.uni-duesseldorf.de/servlets/DocumentServlet?id=12131>
- Laurutis, V. P., & Robinson, D. A. (1986). The vestibulo-ocular reflex during human saccadic eye movements. *The Journal of Physiology*, 373(1), 209–233. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1986.sp016043>
- Liesefeld, H. R., & Janczyk, M. (2019). Combining speed and accuracy to control for speed-accuracy trade-offs(?). *Behavior Research Methods*, 51(1), 40–60. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1076-x>
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56(6), 1479–1498.
- Lohman, D. F. (1986). The effect of speed-accuracy tradeoff on sex differences in mental rotation. *Perception & Psychophysics*, 39, 427–436.
- Maringolo, G. (2012). *Dynamische Annotation mit Eyetracking*. <http://dx.doi.org/10.18419/opus-2992>
- Martini, M., Furtner, M. R., & Sachse, P. (2011). Eye movements during mental rotation of nonmirrored and mirrored three-dimensional abstract objects. *Perceptual and Motor Skills*, 112(3), 829–837. <https://doi.org/10.2466/04.22.PMS.112.3.829-837>
- Meneghetti, C., Cardillo, R., Mammarella, I., Caviola, S., & Borella, E. (2017). The role of practice and strategy in mental rotation training: Transfer and maintenance effects. *Psychological Research*, 81. <https://doi.org/10.1007/s00426-016-0749-2>

- Metzler, J., & Shepard, R. N. (1974). Transformational studies of the internal representation of three-dimensional objects. In *Theories in cognitive psychology: The Loyola Symposium* (S. xi, 386–xi, 386). Lawrence Erlbaum.
- Mumaw, R. J., Pellegrino, J. W., Kail, R. V., & Carter, P. (1984). Different slopes for different folks: Process analysis of spatial aptitude. *Memory & Cognition*, *12*(5), 515–521. <https://doi.org/10.3758/BF03198314>
- Nazareth, A., Killick, R., Dick, A. S., & Pruden, S. M. (2019). Strategy selection versus flexibility: Using eye-trackers to investigate strategy use during mental rotation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *45*(2), 232–245. <https://doi.org/10.1037/xlm0000574>
- Nazareth, A., Odean, R., Pruden, S. M., Nazareth, A., Odean, R., & Pruden, S. M. (2017). The Use of Eye-Tracking in Spatial Thinking Research. In C. Was, F. Sansosti, & B. Morris (Hrsg.), *Eye-Tracking Technology Applications in Educational Research* (the-use-of-eye-tracking-in-spatial-thinking-research). IGI Global. <https://www.igi-global.com/gateway/chapter/www.igi-global.com/gateway/chapter/167543>
- Neuburger, S., Heuser, V., Jansen, P., & Quaiser-Pohl, C. (2012). Influence of Rotational Axis and Gender-Stereotypical Nature of Rotation Stimuli on the Mental-Rotation Performance of Male and Female Fifth Graders. In C. Stachniss, K. Schill, & D. Uttal (Hrsg.), *Spatial Cognition VIII* (S. 220–229). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-32732-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32732-2_15)
- Neuburger, S., Jansen, P., Heil, M., & Quaiser-Pohl, C. (2011). Gender differences in pre-adolescents' mental-rotation performance. *Personality and Individual Differences*, *50*, 1238–1242.
- Noton, D., & Stark, L. (1971). Scanpaths in eye movements during pattern perception. *Science (New York, N.Y.)*, *171*(3968), 308–311.
- Odean, R., Nazareth, A., & Pruden, S. M. (2015). Novel methodology to examine cognitive and experiential factors in language development: Combining eye-tracking and LENA technology. *Frontiers in Psychology*, *6*, 1266. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01266>
- Pannasch, S., Schulz, J., & Velichkovsky, B. M. (2011). On the control of visual fixation durations in free viewing of complex images. *Attention, Perception & Psychophysics*, *73*(4), 1120–1132. <https://doi.org/10.3758/s13414-011-0090-1>
- Parsons, L. M. (1987). Imagined spatial transformation of one's body. *Journal of Experimental Psychology: General*, *116*(2), 172. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.116.2.172>
- Parsons, L. M., Fox, P. T., Downs, J. H., Glass, T., Hirsch, T. B., Martin, C. C., Jerabek, P. A., & Lancaster, J. L. (1995). Use of implicit motor imagery for visual shape discrimination as revealed by PET. *Nature*, *375*(6526), Article 6526. <https://doi.org/10.1038/375054a0>

- Paschke, K., Jordan, K., Wüstenberg, T., Baudewig, J., & Leo Müller, J. (2012). Mirrored or identical—Is the role of visual perception underestimated in the mental rotation process of 3D-objects?: A combined fMRI-eye tracking-study. *Neuropsychologia*, *50*(8), 1844–1851. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.04.010>
- Peters, M., & Battista, C. (2008). 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. *Brain and Cognition*, *66*. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.09.003>
- Peters, M., Chisholm, P., & Laeng, B. (1995). Spatial Ability, Student Gender, and Academic Performance. *Journal of Engineering Education*, *84*(1), 69–73. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.1995.tb00148.x>
- 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*(1), 39–58. <https://doi.org/10.1006/brcg.1995.1032>
- Peters, M., Manning, J. T., & Reimers, S. (2007). The effects of sex, sexual orientation, and digit ratio (2D:4D) on mental rotation performance. *Archives of Sexual Behavior*, *36*(2), 251–260. <https://doi.org/10.1007/s10508-006-9166-8>
- Rahe, M., Ruthsatz, V., Jansen, P., & Quaiser-Pohl, C. (2018). Influence of sex-stereotyped stimuli on the mental-rotation performance of elderly persons. *Experimental Aging Research*, *0*(0), 1–13. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2018.1475156>
- Raschke, M., Chen, X., & Ertl, T. (2012). Parallel scan-path visualization. *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications - ETRA '12*, 165. <https://doi.org/10.1145/2168556.2168583>
- Raschke, M., Herr, D., Blascheck, T., Ertl, T., Burch, M., Willmann, S., & Schrauf, M. (2014). A Visual Approach for Scan Path Comparison. *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 135–142. <https://doi.org/10.1145/2578153.2578173>
- Rayner, K. (1998). Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research. *Psychological Bulletin*, *124*(3), 372–422.
- Recarte, M. A., & Nunes, L. M. (2000). Effects of verbal and spatial-imagery tasks on eye fixations while driving. *Journal of Experimental Psychology. Applied*, *6*(1), 31–43. <https://doi.org/10.1037//1076-898x.6.1.31>
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 779–788. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>

- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2017). Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(06), 1137–1149. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2577031>
- Richardson, J. T. (1994). Gender differences in mental rotation. *Perceptual and Motor Skills*, 78(2), 435–448. <https://doi.org/10.2466/pms.1994.78.2.435>
- Roach, V. A., Fraser, G. M., Kryklywy, J. H., Mitchell, D. G. V., & Wilson, T. D. (2017). Time limits in testing: An analysis of eye movements and visual attention in spatial problem solving. *Anatomical Sciences Education*, 10(6), 528–537. <https://doi.org/10.1002/ase.1695>
- Ruthsatz, V., Neuburger, S., Jansen, P., & Quaiser-Pohl, C. (2014). Pellet Figures, the Feminine Answer to Cube Figures? Influence of Stimulus Features and Rotational Axis on the Menatl-Rotation Performance of Fourth-Grade Boys and Girls. *Spatial Cognition*, 370–382.
- Ruthsatz, V., Neuburger, S., Jansen, P., & Quaiser-Pohl, C. (2015). Cars or dolls? Influence of the stereotyped nature of the items on children's mental-rotation performance. *Learning and Individual Differences*, 38, 75–82.
- Ruthsatz, V., Neuburger, S., Rahe, M., Jansen, P., & Quaiser-Pohl, C. (2017). The gender effect in 3D-Mental-rotation performance with familiar and gender-stereotyped objects – a study with elementary school children. *Journal of Cognitive Psychology*, 29(6), 717–730.
- Ruthsatz, V., Rahe, M., Schürmann, L., & Quaiser-Pohl, C. (2019). Girls' Stuff, boys' stuff and mental rotation: Fourth graders rotate faster with gender-congruent stimuli. *Journal of Cognitive Psychology*, 31(2), 225–239. <https://doi.org/10.1080/20445911.2019.1567518>
- Salvucci, D. D., & Goldberg, J. H. (2000). Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research & Applications - ETRA '00*, 71–78. <https://doi.org/10.1145/355017.355028>
- Saunders, M., & Quaiser-Pohl, C. M. (2021). Identifying solution strategies in a mental rotation test with gender-stereotyped objects. *Journal of Eye Movement Research*, 13(6), 10.16910/jemr.13.6.5. <https://doi.org/10.16910/jemr.13.6.5>
- Scheer, C., Mattioni Maturana, F., & Jansen, P. (2018). Sex differences in a chronometric mental rotation test with cube figures: A behavioral, electroencephalography, and eye-tracking pilot study. *Neuroreport*, 29(10), 870–875. <https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000001046>
- Shebilske, W. L., & Fisher, D. F. (1983). Extended Discourse Through the Eyes: How and Why. In *Eye Movements and Psychological Functions*. Routledge.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701–703.

- Shepard, S., & Metzler, D. (1988). Mental rotation: Effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *14*, 3–11. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.14.1.3>
- Smith, W., & Dror, I. E. (2001). The role of meaning and familiarity in mental transformations. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*(4), 732–741.
- Stagl, B. (2008). *Mentale Rotation—Eine Frage der Expertise*. <https://doi.org/10.25365/THESIS.3470>
- Stapel, J., El Hassnaoui, M., & Happee, R. (2022). Measuring Driver Perception: Combining Eye-Tracking and Automated Road Scene Perception. *Human Factors*, *64*(4), 714–731. <https://doi.org/10.1177/0018720820959958>
- Stevenson, J. L., & Nonack, M. B. (2018). Gender differences in mental rotation strategy depend on degree of autistic traits. *Autism Research*, *11*(7), 1024–1037. <https://doi.org/10.1002/aur.1958>
- Stieff, M., Dixon, B. L., Ryu, M., Kumi, B. C., & Hegarty, M. (2014). Strategy training eliminates sex differences in spatial problem solving in a stem domain. *Journal of Educational Psychology*, *106*(2), 390–402. <https://doi.org/10.1037/a0034823>
- Tang, Z., Liu, X., Huo, H., Tang, M., Qiao, X., Chen, D., Dong, Y., Fan, L., Wang, J., Du, X., Guo, J., Tian, S., & Fan, Y. (2023). Eye movement characteristics in a mental rotation task presented in virtual reality. *Frontiers in Neuroscience*, *17*, 1143006. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1143006>
- ter Horst, A. C., Jongasma, M. L. A., Janssen, L. K., van Lier, R., & Steenbergen, B. (2012). Different mental rotation strategies reflected in the rotation related negativity. *Psychophysiology*, *49*(4), 566–573. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01322.x>
- Terlecki, M. S., Newcombe, N. S., & Little, M. (2008). Durable and generalized effects of spatial experience on mental rotation: Gender differences in growth patterns. *Applied Cognitive Psychology*, *22*(7), 996–1013. <https://doi.org/10.1002/acp.1420>
- Toth, A. J., & Campbell, M. J. (2019). Investigating sex differences, cognitive effort, strategy, and performance on a computerised version of the mental rotations test via eye tracking. *Scientific Reports*, *9*(1), 19430. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56041-6>
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, *139*(2), 352–402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978a). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, *47*(2), 599–604. <https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>

- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978b). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599–604. <https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>
- Voyer, D. (2011). Time limits and gender differences on paper-and-pencil tests of mental rotation. *Psychonomic Bulletin and Review*, 18, 267–277. <https://doi.org/10.3758/s13423-010-0042-0>
- 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 expérimentale*, 60(2), 91–100. <https://doi.org/10.1037/cjep2006010>
- Voyer, D., Saint-Aubin, J., Altman, K., & Doyle, R. A. (2020). Sex differences in tests of mental rotation: Direct manipulation of strategies with eye-tracking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 46(9), 871–889. <https://doi.org/10.1037/xhp0000752>
- 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(2), 250–270.
- Wraga, M., Duncan, L., Jacobs, E. C., Helt, M., & Church, J. (2006). Stereotype susceptibility narrows the gender gap in imagined self-rotation performance. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(5), 813–819.
- Xue, J., Li, C., Quan, C., Lu, Y., Yue, J., & Zhang, C. (2017). Uncovering the cognitive processes underlying mental rotation: An eye-movement study. *Scientific Reports*, 7(1), 10076. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10683-6>
- Yuille, J. C., & Steiger, J. H. (1982). Nonholistic processing in mental rotation: Some suggestive evidence. *Perception & Psychophysics*, 31(3), 201–209. <https://doi.org/10.3758/BF03202524>
- Zacks, J. M., Ollinger, J. M., Sheridan, M. A., & Tversky, B. (2002). A Parametric Study of Mental Spatial Transformations of Bodies. *NeuroImage*, 16(4), 857–872. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1129>
- Zee, D. S., Optican, L. M., Cook, J. D., Robinson, D. A., & Engel, W. K. (1976). Slow Saccades in Spinocerebellar Degeneration. *Archives of Neurology*, 33(4), 243–251. <https://doi.org/10.1001/archneur.1976.00500040027004>
- Zhang, X., Yuan, S.-M., Chen, M.-D., & Liu, X. (2018). A Complete System for Analysis of Video Lecture Based on Eye Tracking. *IEEE Access*, 6, 49056–49066. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2865754>

**Eigenständigkeitserklärung:**

Ich versichere, dass ich die vorliegende Dissertation - einschließlich eventueller beigefügter Zeichnungen, Kartenskizzen und Darstellungen – selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, habe ich unter Angabe der Quellen als Entlehnung deutlich gemacht.

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift