

„Das muss man umdrehen und dann passt es“

Strategien von Vorschulkindern beim Bearbeiten von Aufgaben zum räumlichen Vorstellungsvermögen

von

Silke Ruwisch, Lüneburg & Thomas Lüthje, Hamburg

Kurzfassung: Um das räumliche Vorstellungsvermögen von Kindern im Vorschulalter zu erfassen, wurden zehn Aufgaben, die 65 Kindergartenkindern im Rahmen von Einzelinterviews vorgelegt wurden, und ein mehrstufiges Modell zur Auswertung von Lösungsstrategien entwickelt. Die Ergebnisse zeigen, dass bereits Kinder der untersuchten Altersgruppe eine Vielzahl von einfachen Aufgaben zu verschiedenen Teilkomponenten des räumlichen Vorstellungsvermögens bearbeiten können und über vielfältige Lösungsstrategien verfügen. Zudem war es möglich, aufgabenspezifische Merkmale zu identifizieren, die Einfluss auf die Lösungsrate und auf die Wahl der Lösungsstrategie zu haben scheinen.

Abstract: Ten spatial interview tasks and a hierarchically level-structured strategy interpretation system were developed to describe appropriately the spatial abilities of 65 preschoolers. The results show that even kindergartners are able to succeed in easy spatial tasks using a lot of different solution strategies. It was also possible to identify specific characteristics, which seem to have an impact on the probability of success and the choice of the solution strategy.

1 Einleitung

Es gibt gute Gründe, das räumliche Vorstellungsvermögen schon im frühen Kindesalter zu schulen. So steht außer Frage, dass dieses eine Fähigkeit von lebenspraktischer Bedeutung ist, die unsere Wahrnehmung und Vorstellung von der Umwelt und damit die Qualität der Interaktion mit ihr nachhaltig beeinflusst (vgl. Gardner 1989; Besuden 1990; Maier 1999; Luig & Strässer 2009). Darüber hinaus weisen Untersuchungen auf eine signifikante Korrelation zwischen Leistungen in Raumvorstellungstests und schulischen Leistungen, insbesondere in Mathematik, hin (vgl. z.B. Klieme, Reiss & Heinze 2001; Clements 2003; Grüßing 2005; van Nes & de Lange 2007).

In den letzten 30 Jahren erlangten geometrische Inhalte eine zunehmende Bedeutung im Mathematikunterricht der Grundschule (vgl. Besuden 1984; Bauersfeld 1992; Wittmann 1999; Franke 2000). Mit der Verabschiedung der Bildungsstan-

dards im Fach Mathematik für den Primarbereich (2005) wird der Inhaltsbereich Raum & Form als den anderen Inhaltsbereichen gleichwertig präsentiert, ohne dass dies Rückschlüsse auf die tatsächliche Gewichtung im Unterricht zuließe. Wollring und Rinkens (2007) zeigen auf, wie gerade in diesem Inhaltsbereich prozessbezogene Kompetenzen, insbesondere das Argumentieren, Darstellen und Kommunizieren, erworben werden können. Bezogen auf die räumliche Geometrie wird unter der Überschrift „sich im Raum orientieren“ in den Bildungsstandards als inhaltliche Kompetenzen erwartet, dass jede Schülerin und jeder Schüler am Ende der vierten Jahrgangsstufe „über räumliches Vorstellungsvermögen verfügen [soll], räumliche Beziehungen erkennen, beschreiben und nutzen [und] zwei- und dreidimensionale Darstellungen von Bauwerken [...] zueinander in Beziehung setzen“ (KMK 2005, S. 12) können soll.

Um bereits zu Schulbeginn adäquat die Entwicklung dieser Kompetenzen anregen zu können, ist es notwendig, die Vorkenntnisse der Schulanfängerinnen und Schulanfänger im Umgang mit Aufgaben zum räumlichen Vorstellungsvermögen zu kennen. Liegen national und international bereits einige empirische Daten für das Grundschulalter vor (vgl. Kerns & Berenbaum 1991; Quaiser-Pohl 2001; Clements 2003; Pinkernell 2003; van Nes & de Lange 2007), so wird dem Vorschulalter erst seit einigen Jahren vermehrt Aufmerksamkeit zuteil (vgl. Waldow & Wittmann 2001; Moser-Opitz, Christen & Vonlanthen 2007; Marke 2008; Quaiser-Pohl, Rohe & Amberger 2010).

Dieser Umstand war Anlass für uns, mit einem möglichst breiten Inventar an Aufgaben zum räumlichen Vorstellungsvermögen das Vorwissen von Vorschulkindern zu erfassen (vgl. ausführlich Lüthje 2010). Drei Fragen waren leitend:

- Sind Kinder dieses Alters in der Lage, Aufgaben zum räumlichen Vorstellungsvermögen zu bewältigen?
- Welche Anforderungen zum räumlichen Vorstellungsvermögen bewältigen sie gut, welche bereiten ihnen Schwierigkeiten?
- Wie bearbeiten sie Aufgaben zum räumlichen Vorstellungsvermögen? Welche Strategien lassen sich in den Bearbeitungen der Vorschulkinder erkennen?

Um das entwickelte Aufgabendesign theoretisch zu verorten, werden Forschungsperspektiven zum räumlichen Vorstellungsvermögen sowie verschiedene Komponenten desselben dargelegt und ein Modell zur Analyse erkennbarer Lösungsstrategien vorgestellt. Das Untersuchungsdesign liefert die wesentlichen Informationen zur vorliegenden Interviewstudie. Aufgabenanalysen und Lösungsstrategien folgen, bevor diese abschließend im Gesamtkontext diskutiert werden.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Forschungsperspektiven zum räumlichen Vorstellungsvermögen

Das räumliche Vorstellungsvermögen wird aus verschiedenen Forschungsperspektiven betrachtet. Mit Linn und Petersen (1985) lassen sich im Wesentlichen vier Perspektiven unterscheiden:

- die *differentielle Perspektive*, aus der Unterschiede zwischen verschiedenen Populationen, etwa Frauen und Männern oder Angehörigen unterschiedlicher Kulturkreise, im Fokus stehen,
- die *psychometrische* Perspektive, aus der Korrelationen zwischen unterschiedlichen räumlichen Anforderungen betrachtet werden um Faktoren des räumlichen Vorstellungsvermögens zu identifizieren und zu definieren,
- die *kognitive* Perspektive, in der allgemeine Denkprozesse bei bestimmten Aufgaben zum räumlichen Vorstellungsvermögen untersucht werden, und
- die *strategische* Perspektive, welche auf individuelle Lösungsstrategien bei räumlichen Aufgaben gerichtet ist.

In Fortführung der Strukturierung von Linn und Petersen (1985) konstatieren Lohaus, Schumann-Hengsteler und Kessler (1999) zwei grundlegende einander gegenüberstehende Forschungstraditionen (vgl. Tab. 1).

Eigenschafts- bzw. zustandsorientierter Zugang Identifikation von Eigenschaften und Eigenschaftsdimensionen		Informationsverarbeitungs- bzw. prozessorientierter Zugang Analyse der Teilprozesse des räumlichen Denkens	
Psychometrische Perspektive Definition von Faktoren	Differentielle Perspektive Vergleich verschiedener Populationen	Strategische Perspektive Identifikation unterschiedlicher Strategien	Kognitive Perspektive Identifikation allgemeiner Denkprozesse

Tabelle 1: Forschungstraditionen zum räumlichen Vorstellungsvermögen
(nach: Lohaus, Schumann-Hengsteler & Kessler 1999, S. 11 ff.)

Als zustandsorientiert bezeichnen sie Ansätze, in welchen die Identifikation von Eigenschaften und Eigenschaftsdimensionen im Vordergrund steht. Demgegenüber sprechen sie von prozessorientierten Zugängen, wenn die Analyse von Teilprozessen des räumlichen Denkens im Mittelpunkt des Forschungsinteresses steht. Mit Blick auf das eingangs formulierte Erkenntnisinteresse und damit der möglichst genauen Beschreibung des räumlichen Vorstellungsvermögens von Kindern im Vorschulalter kombiniert die vorliegende Studie eigenschafts- und prozessorien-

tiertes Vorgehen. In Anlehnung an die Erkenntnisse der psychometrischen Perspektive fand eine möglichst breite Aufgabenkonstruktion bezogen auf verschiedene Komponenten des räumlichen Vorstellungsvermögens statt (vgl. Lüthje 2010, S. 99–135). In Auseinandersetzung mit diesem Aufgabendesign interessiert für die Auswertung neben der Frage, ob Kinder dieses Alters bereits Aufgaben zum räumlichen Vorstellungsvermögen lösen können, vor allem die prozessorientierte Perspektive auf die konkreten Lösungsstrategien der Vorschulkinder.

2.2 Komponenten des räumlichen Vorstellungsvermögens

Wenngleich räumliches Vorstellungsvermögen nicht einheitlich definiert und eine Vielzahl von Begriffen – z.B. Raumvorstellung, räumliches Vorstellungsvermögen, spatial abilities – teilweise synonym, teilweise mit Bedeutungsunterschied verwendet werden (vgl. auch Quaiser-Pohl 2001), so kann als gemeinsamer Kern festgehalten werden, dass sich Raumvorstellungsleistungen auf den Umgang mit visueller, nichtsprachlicher Information beziehen, die im Gedächtnis gespeichert und transformiert bzw. manipuliert werden muss (vgl. Glück u.a. 2005).

Mit Rost (1977, S. 20) wird im Folgenden unter räumlichem Vorstellungsvermögen die Fähigkeit verstanden, „mit zwei- und dreidimensionalen Objekten auf der Vorstellungsebene zu operieren“, so dass konkrete Handlungen mit Material nur dann einbezogen sind, wenn sie zusätzlich ein vorstellendes Operieren notwendig erfordern. Ebenso interessieren als Strategien zum Lösen räumlicher Vorstellungsaufgaben ausschließlich diese mentalen Prozesse des Operierens auf der Vorstellungsebene und nicht die beobachtbaren Handlungen mit Material.

Ebenfalls unstrittig ist die Auffassung, das räumliche Vorstellungsvermögen sei ein komplexes Konstrukt und umfasse mehrere Teilkomponenten (vgl. dazu ausführlich Rost 1977; s. auch Lohman 1988).

Ausgehend von der Drei-Faktoren-Hypothese von Thurstone (1938, 1950) und der Meta-Analyse zu geschlechtsspezifischen Unterschieden vor allem in Bezug auf Strategien beim Lösen von Aufgaben zum räumlichen Vorstellungsvermögen von Linn und Petersen (1985) strukturiert Maier (1999, S. 50 ff.) die wesentlichen Komponenten des räumlichen Vorstellungsvermögens hinsichtlich zweier Dimensionen (vgl. Tab. 2) und versucht so, die psychometrische und die strategische Perspektive zu verbinden:

- *Intendierte Art des Denkvorgangs*: Vorwiegend dynamische Denkvorgänge werden intendiert, wenn Objekte, Objektteile oder ganze Situationen gedanklich bewegt werden. Von statischen Denkvorgängen wird dagegen gesprochen, wenn räumliche Relationen mental unverändert bleiben.
- *Intendierter mentaler Standpunkt*: Betrachtet sich der Proband bzw. die Probandin gedanklich als Teil der Situation bei der Lösung einer Aufgabe zum räumlichen Vorstellungsvermögen, bezeichnet Maier dies als „Standpunkt innerhalb“.

Dagegen spricht er von einem „Standpunkt außerhalb“, wenn die Versuchsperson gedanklich eine distanzierte Betrachtungsweise einnimmt.

Standpunkt der Person \ Denkvorgang	dynamisch Räumliche Relationen am Objekt veränderlich	statisch Räumliche Relationen am Objekt unveränderlich; Relation Person – Objekt veränderlich
Person befindet sich außerhalb	<i>Visualization</i>	<i>Spatial Relations</i>
Person befindet sich innerhalb	<i>Mental Rotation</i>	<i>Spatial Perception</i>
	<i>Orientation</i>	
		<i>Kinesthetic Imagery</i>

Tabelle 2: Wesentliche Komponenten des räumlichen Vorstellungsvermögens
(nach: Maier 1999, S. 52)

Maier verweist zu Recht darauf, dass er die Komponenten kumulativ zusammengetragen habe und diese – aufgrund unterschiedlicher Forschungsperspektiven – nicht eindeutig voneinander abzugrenzen seien. Vielmehr bestünden wechselseitige Bezüge zwischen allen sechs Komponenten, die insbesondere bei den Faktoren *Visualization*, *Spatial Relations* und *Mental Rotation* verstärkt gegeben seien (vgl. Maier 1999, S. 55 ff.; s. auch Colom u.a. 2001).

Als Hintergrund für die Entwicklung der eigenen Aufgaben in der Interviewstudie dienten im Wesentlichen „typische Aufgaben“ der jeweiligen Komponente, wie sie von den Autoren selbst zur Verdeutlichung gegeben wurden. Thurstone (1938; 1950) unterscheidet drei Teilfaktoren des Intelligenzfaktors *space*, die er S_1 , S_2 und S_3 nennt und die in der nachfolgenden Literatur häufig mit den Begriffen *Spatial Relations*, *Visualization* und *Orientation* bezeichnet werden.

Die erstgenannte Teilkomponente beschreibt dabei die Fähigkeit, räumliche Beziehungen eines Gegenstandes bzw. zwischen Gegenständen aus verschiedenen Blickwinkeln richtig zu erfassen und vergleichen zu können, ohne dass mentale Bewegungen innerhalb des Gegenstandes bzw. der Gesamtkonfiguration impliziert sind (vgl. Thurstone 1950, S. 2; Pawlik 1968). Als Beispiel führt Thurstone selbst die Unterscheidung der beiden Seiten einer Flagge auf und gibt als weitere Opera-

tionalisierung die Aufgabe *Figures* an, bei der ebenfalls „dieselbe Seite“ einer Figur zu markieren ist, somit die Figuren zu identifizieren sind, welche im Vergleich zu einer vorgegebenen Figur gedreht, aber nicht gespiegelt sind (vgl. Abb. 1).

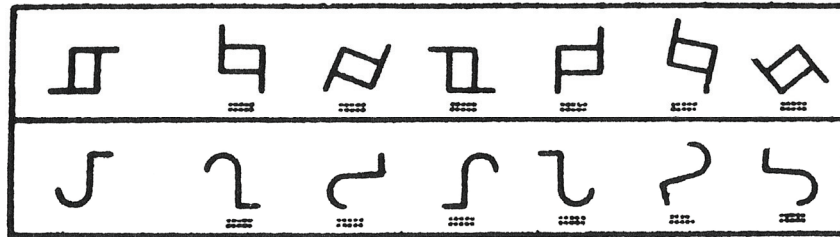


Abbildung 1: Figures (aus: Thurstone 1950, S. 5)

Die zweitgenannte Teilkomponente *Visualization* wird als die komplexeste der drei angesehen (vgl. Lohman 1988; Quaiser-Pohl 2001). Diese beschreibt die Fähigkeit, ein vorgegebenes Objekt mental zu transformieren. Analysiert man Beispielaufgaben dieses Faktors, so lassen sich als derartige Transformationen zwar auch Drehungen, Verschiebungen, Streckungen und Stauchungen erkennen, vornehmlich sind jedoch Transformationen zu konstatieren, welche die internen Beziehungen der Objekte verändern, wie z.B. das Zusammensetzen, Zerlegen oder Falten von Objekten. Aufgaben, die auf diesen Faktor laden, erfordern darüber hinaus häufig die Kombination dieser Transformationen (vgl. Quaiser-Pohl 2001) und verlangen so eine komplexe Verarbeitung und Manipulation räumlicher Informationen in mehreren Schritten (vgl. Lohman 1988).

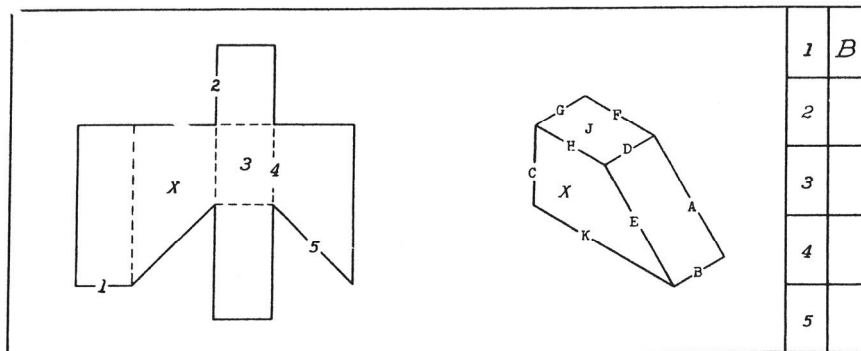


Abbildung 2: Surface Development (aus: Thurstone 1950, S. 6)

Als typisch bezeichnet Thurstone die Aufgabe *Surface Development*, bei der ein perspektivisch gezeichneter Körper und die entsprechende Abwicklung vorgegeben sind (vgl. Abb. 2). Die Versuchsperson soll entscheiden, welche Zahl der Abwicklung welchem Buchstaben des Schrägbildes entspricht. Gemeinsam ist den beiden Teilkomponenten *Spatial Relations* und *Visualization*, dass die Versuchsperson als intendierten mentalen Standpunkt eine distanzierte Position von außen einnimmt und sich nicht selbst als einen Teil der Aufgabe sieht (vgl. Maier 1999, S. 38).

Die letztgenannte dritte Teilkomponente *Orientation* beschreibt die Fähigkeit, Elemente und deren Anordnung in Bezug zum eigenen Körper zu setzen und sie innerhalb einer feststehenden Konfiguration von verschiedenen Standpunkten wiederzuerkennen, womit die Versuchsperson bei dieser Teilkomponente im Vergleich zu den beiden erstgenannten sich also als in die Situation eingebunden sieht (vgl. Maier 1999, S. 41). Eine Aufgabe zur Operationalisierung dieser Teilkomponente stellt die gleichnamige Aufgabe ‚Orientation‘ von Guilford und Zimmermann (s. Guilford 1964) dar. Bei dieser Aufgabe ist ein Boot zur Landschaft im Hintergrund in Beziehung zu setzen, wobei zwei Bilder vom Boot aus gesehen die gleiche Uferlinie zeigen (vgl. Abb. 3). Vom oberen zum unteren Bild findet jeweils ein Positionswechsel des Bootes statt. Die Versuchsperson hat nun aus einer Auswahl von fünf Bildern, die links abgebildet sind, die richtige Positionsänderung zu bestimmen, wobei der Kreis die Bugspitze, der Balken das Boot selbst darstellt. Ausgehend von der Grundposition, in der Punkt und Balken genau aufeinander fallen, hat z.B. in der linken Aufgabenstellung eine Drehung des Bootes nach rechts stattgefunden, während die Neigung der Bugspitze konstant geblieben ist, so dass D als richtige Lösung auszuwählen ist.

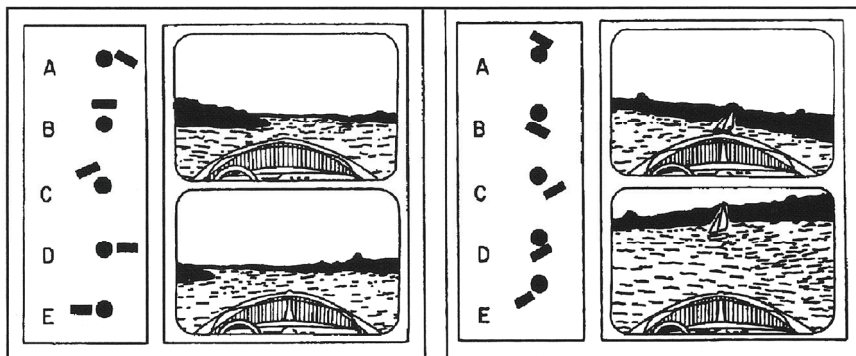


Abbildung 3: Orientation (Guilford 1964; aus: Maier 1999, S. 42)

In Ausdifferenzierung der drei Teilkomponenten Thurstones – insbesondere des Faktors *Orientation* – können nach Maier (1999) drei weitere Teilkomponenten ergänzt werden, von denen die ersten beiden aus der Metaanalyse von Linn und Petersen (1985) hervorgegangen sind.

Mental Rotation beschreibt die Fähigkeit, zwei- oder dreidimensionale Figuren unter Zeitdruck mental zu drehen. Die Versuchsperson hat zu entscheiden, ob eine vorgegebene Figur durch mentale Drehung mit einer anderen Figur in Übereinstimmung zu bringen ist, indem sie entweder zwei gegebene Stimuli überprüft oder aus einer Anzahl an Vergleichsstimuli die passenden auswählt (vgl. Abb. 4).

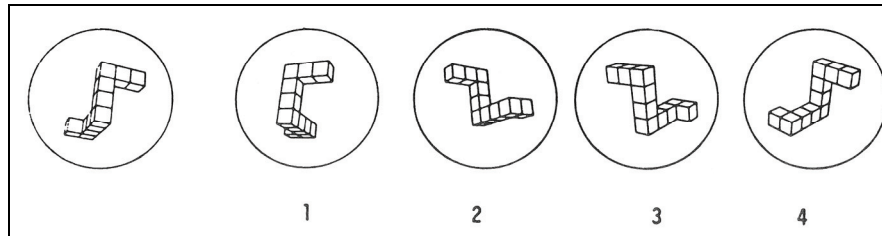


Abbildung 4: Mental Rotation (Vandenberg & Kuse 1978; aus: Eliot & Smith 1983, S. 322)

Mit *Spatial Perception* wird im Wesentlichen die Fähigkeit beschrieben, die Horizontale bzw. die Vertikale zu identifizieren, und zwar zunächst bezogen auf das natürliche Bezugssystem des dreidimensionalen Raumes. Mit der Frage, ob und wie ein Kind dieses natürliche Bezugssystem zum Aufbau eines inneren dreidimensionalen Koordinatensystems zu verwenden weiß, operationalisierten Piaget und Inhelder (1971) diese Komponente u.a. mit der sog. ‚Wasserspiegelaufgabe‘ (vgl. auch Lohaus, Schumann-Hengsteler & Kessler 1999).

Bereits Thurstone (1950, S. 3) hielt kinästhetische Aspekte für grundlegend mit dem Faktor *Orientation* verbunden, ohne diese jedoch durchgehend als Bestandteil nachweisen zu können. Auf Michael, Guilford, Fruchter und Zimmermann (1957) geht dann allerdings die von Maier zuletzt aufgeführte Komponente *Kinesthetic Imagery* zurück, unter welcher die Autoren vorrangig die Fähigkeit der Rechts-Links-Diskriminierung mit Bezug zum eigenen Körper fassen.

2.3 Strategien zur Lösung von Raumvorstellungsaufgaben

Mit Blick auf das eingangs formulierte Erkenntnisinteresse kann in Anschluss an die faktoranalytisch-psychometrische Perspektive ein detailliertes Aufgabendesign erfolgen. Allerdings unterstellt diese Forschung bei Aufgaben, welche auf denselben Faktor laden, implizit eine Strategiehomonogenität, die so nicht gegeben sein muss. Bereits Barrat (1953) wies darauf hin, dass Probandinnen und Probanden bei

der Bearbeitung derselben Aufgaben zum räumlichen Vorstellungsvermögen unterschiedliche Strategien verfolgen können und Putz-Osterloh und Lür (1979) ergänzen, dass es nicht selbstverständlich ist, dass Probandinnen und Probanden beim Lösen dieser Aufgaben überhaupt mit räumlichen Vorstellungen arbeiten (vgl. auch Glück u.a. 2005). Diese Feststellung erschwert die Interpretation korrelativer Untersuchungen in Bezug auf die verwendeten Bearbeitungsstrategien (vgl. Carroll 1993).

Deshalb wird das eigene Forschungsdesign um einen prozessorientierten Zugang ergänzt und dabei die strategische Perspektive in den Blick genommen. Für eine detaillierte Dokumentation der Lösungsstrategien bei gleichzeitig möglichst guter Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Aufgabenarten hat sich ein mehrstufiges Modell zur Auswertung bewährt (vgl. Tab. 3). Dieses Modell ist dadurch gekennzeichnet, dass es die Ansätze anderer Autorinnen und Autoren systematisiert und anhand explorativer Vorstudien ausdifferenziert und modifiziert werden konnte, so dass es für die Aufgaben aller Teilkomponenten einsetzbar ist.

Stufe 1	Analytische Strategien statisch	Holistische Strategien dynamisch		
Stufe 2	KF key feature	MO move object		MS move self
Stufe 3		MO:K konkretes Objekt	MO:NK nicht konkretes Objekt	

Tabelle 3: Mehrstufiges Auswertungsschema für Lösungsstrategien

In Anlehnung an Barrat (1953; vgl. Burin, Delgado & Prieto 2000) lässt sich bei der Bearbeitung von Aufgaben zur räumlichen Vorstellung auf einer ersten Stufe zwischen *holistisch-dynamischen* und *analytisch-statischen* Strategien unterscheiden. Bei der erstgenannten Vorgehensweise werden Objekte als Ganzes betrachtet, die in der Regel mental bewegt werden. Bei den analytischen Strategien hingegen vergleicht die Probandin bzw. der Proband einzelne Details der Vorlage.

Nach Souvignier (2000) können bei den dynamischen Strategien in einem zweiten Schritt zwei weitere Vorgehensweisen unterschieden werden, die in Anlehnung an Schultz (1991) mit *move object* (MO) und *move self* (MS) bezeichnet werden. Die erste Vorgehensweise kann als mentale Transformation eines gegebenen Objektes, die zweite als mentaler Standortwechsel der Probandin bzw. des Probanden beschrieben werden. Analytische Strategien werden nicht weiter ausdifferenziert und in Anlehnung an Schultz mit *key features* (KF) bezeichnet.

Barrat (1953) wies zudem darauf hin, dass Probandinnen und Probanden bei der mentalen Bewegung gegebener abstrakter Konstellationen (MO) konkrete Objekte assoziieren können. Es lässt sich somit auf einer dritten Stufe unterscheiden, ob die Probandinnen und Probanden ein ihnen vertrautes Objekt benennen (MO:K) oder ob sie von einem *Ding* oder ähnlichem sprechen (MO:NK). Diese Unterscheidung erscheint sinnvoll, da bei Verwendung eines dem Kind vertrauten Objektes gespeicherte Bilder erinnert werden und für die Bearbeitung hilfreich sein können. Dieses Vorgehen erfordert mindestens zwei Schritte: Die Identifikation der Konstellation mit einem konkreten Objekt wird als statisch angesehen, während im Anschluss diese dynamisch zu vergleichen ist, sodass diese Kategorie auf der Trennlinie zwischen analytischem und holistischem Vorgehen anzusiedeln ist.

Zwar werden in der Literatur zu spezifischen Aufgaben identifizierte Strategien weitaus differenzierter beschrieben. So erfasst Merschmeyer-Brüwer (2001) mittels Blickbewegungsstudien sehr detailliert die Strukturierungen von Grundschulkindern bei Aufgaben zu *Spatial Relations* (vgl. auch Battista & Clements 1996; Battista 2003; Beutler 2012). Reinhold (2007) setzt sich intensiv mit Lösungsprozessen bei Aufgaben zu *Mental Rotation* auseinander, bei denen z.B. aufgrund von Geschwindigkeitsmessungen Schlüsse auf gedankliche Prozesse gezogen werden (vgl. auch Shepard & Metzler 1971; Quaiser-Pohl, Rohe & Amberger 2010).

Für die gesamte Bandbreite an Raumvorstellungsaufgaben muss ein Kategoriensystem dagegen grober ausfallen, wird doch schnell deutlich, dass bei einer Aufgabe mit Würfelkonfigurationen zu *Mental Rotation* etwa andere Subkategorien gebildet werden können als bei einer Aufgabe zu *Orientation*. Da der Vergleich unterschiedlicher räumlicher Fähigkeiten ein zentrales Merkmal dieser Untersuchung darstellt, sollen die Aufgaben zunächst auf diesen drei Stufen ausgewertet werden. Daran anschließend können die erkannten Vorgehensweisen bei allen Aufgaben (für sich betrachtet) weiter ausdifferenziert werden.

3 Untersuchungsdesign

3.1 Stichprobe

An der Hauptstudie im Juni 2007 nahmen 65 Kinder aus vier Kindergärten teil. Dabei handelte es sich um alle Kinder des jeweiligen Kindergartens, die im Herbst eingeschult wurden und von deren Erziehungsberechtigten die Einverständniserklärung vorlag. Die Stichprobe umfasste somit 25 Mädchen (Alter: 5;7–6;11; Ø 6;2) und 40 Jungen (Alter: 5;6–6;11; Ø 6;3).

3.2 Durchführung

Die Kinder wurden in materialbasierten Einzelinterviews aufgefordert, insgesamt 34 Aufgaben in zehn Aufgabengruppen zum räumlichen Vorstellungsvermögen zu

lösen. Für die Analyse der individuellen Vorgehensweisen wurden diese auf Video aufgezeichnet. Zudem wurde auf einem Protokollbogen vermerkt, ob die Antworten der Kinder zu korrekten Ergebnissen führten.

3.3 Aufgabendesign

Auf Basis der Komponenten des räumlichen Vorstellungsvermögens nach Maier (1999) sowie der Analyse typischer Operationalisierungen durch Aufgaben in psychometrischen Tests zu diesen Komponenten (vgl. 2.2) entwickelten wir 10 Aufgabengruppen mit unterschiedlichen Teilaufgaben. Dieses Vorgehen ermöglicht Anschlussfähigkeit, wurde das Modell in jüngeren Studien zum räumlichen Vorstellungsvermögen im Grundschulalter bereits mehrfach zugrunde gelegt (vgl. Grüßing 2005; Eichler 2006; Reinhold 2007; Grüßing 2012).

Denk- vorgang Standpunkt der Person	dynamisch Räumliche Relationen am Objekt veränderlich	statisch Räumliche Relationen am Objekt unveränderlich; Relation Person – Objekt veränderlich
Person befindet sich außerhalb	<i>Visualization</i> Aufgabe 1: Kekse	<i>Spatial Relations</i> Aufgabe 4: Steine Aufgabe 5: Gebäude Aufgabe 6: Füße
	<i>Mental Rotation</i> Aufgabe 2: Männchen Aufgabe 3: Klötze	<i>Spatial Perception</i> Aufgabe 9: Wie steht das Wasser?
Person befindet sich innerhalb	<i>Orientation</i> Aufgabe 7: Wer sieht was? Aufgabe 8: Spielplatz	

Tabelle 4: Verteilung der Testaufgaben

Damit ein möglichst breites Spektrum an Aufgaben zum räumlichen Vorstellungsvermögen abgedeckt werden konnte, wurde zu jeder der Teilkomponenten mindestens eine Aufgabe entwickelt (vgl. Tab. 4; s. ausführlich zu den einzelnen Aufgaben Kapitel 4). Um den kognitiven Fähigkeiten der Kinder gerecht zu werden und ihnen zu ermöglichen, ihr Vorgehen zu erläutern, wurden vorwiegend konkrete Materialien eingesetzt. Zwar durften die verwendeten Objekte lediglich betrachtet und nicht bewegt werden, dennoch sollte den Kindern so die Verbalisierung des eigenen Vorgehens erleichtert werden (vgl. Siegler 2001). Zur Begründung und

Verdeutlichung des eigenen gedanklichen Vorgehens waren so Gesten am Objekt möglich.

Darüber hinaus wurden die Anweisungen mit den Erzieherinnen gemeinsam dem sprachlichen Niveau der Kinder angepasst. Da uns nicht die geometrischen Begriffskenntnisse der Kinder interessierten, vermieden wir bewusst bei allen eingesetzten Aufgaben Fachbegriffe und wählten alltagssprachliche Bezeichnungen, von denen wir annahmen, dass sie den Kindern vertraut sind. Auch in internationalen Studien werden diese verwendet (vgl. „block counting“ in Thurstone 1938).

3.4 Auswertungsverfahren

Die Videoaufzeichnungen wurden in drei Schritten analysiert. Zunächst hielten wir das in den Videos Beobachtete in deskriptiver Form und ohne Bezug auf bereits definierte Kategorien fest („Das sieht aus wie eine Ente ... und die habe ich so gedreht ...“). Gegebenenfalls wurden entsprechende Gesten mit aufgenommen. Eine zu starke Beeinflussung der Wahrnehmung durch bereits bestehende Auswertungsschemata sollte so vermieden werden. Zudem hat dieses Vorgehen den Vorteil, dass die gewonnenen Daten zu einem späteren Zeitpunkt unter Zuhilfenahme unterschiedlicher Auswertungskategorien erneut analysiert werden können.

Aus diesen Beschreibungen ließen sich dann in einem zweiten Schritt erste Kategorien bilden (Konfiguration wird als ‚Ente‘ bezeichnet und mental gedreht → MO:K). Hierzu diente das zuvor beschriebene Analysemodell als Grundlage. Die Anzahl der identifizierten Kategorien konnte dabei von Aufgabe zu Aufgabe variieren (vgl. die Ausführungen zu den einzelnen Aufgabentypen im Abschnitt 4).

Mittels eines derartig ausdifferenzierten Analyseschemas wurden die Videos ein zweites Mal analysiert. In dieser Phase wurden die erkennbaren Lösungsstrategien mit den zuvor beschriebenen abgeglichen und den formulierten Kategorien eindeutig zugeordnet. Im Unterschied zur ersten Videoanalyse war die zweite weitaus stärker von den zuvor definierten Kategorien geprägt, wodurch die Auswertung zielgerichteter erfolgte, die Zuordnungen präzisiert und validiert werden konnten.

Die kategorisierten Lösungsstrategien wurden anschließend quantifiziert, aufbereitet und zueinander in Beziehung gesetzt. Auf diese Weise können Aussagen über personen- bzw. aufgabenspezifische Einflussfaktoren getroffen werden. Durch einen Vergleich der identifizierten Lösungsstrategien mit den quantitativ erhobenen Lösungsraten können zudem Aussagen über die Erfolgswahrscheinlichkeit individueller Lösungsstrategien getroffen werden.

4 Aufgabenbezogene Ergebnisse

4.1 Kekse (Visualization)

4.1.1 Aufgabenanalyse

Bei dieser Aufgabe wird den Kindern zunächst ein schwarzes Quadrat (Figur 1) vorgelegt. Dieses wird in Anlehnung an eine Untersuchung von Höglinger und Senfleben (1997) als ‚Keks‘ bezeichnet. Anschließend werden den Kindern verschiedene ‚Kekse‘ (Figur 2), bei denen jeweils ein Stück abgebrochen ist (vgl. Abb. 5), mit folgender Aufgabenformulierung präsentiert:

Dies hier ist ein Keks (I. zeigt Figur 1). Hier siehst du einen weiteren Keks (I. zeigt links auf Figur 2). Bei diesem Keks ist ein Stück abgebrochen. Kannst du mir sagen, welches dieser vier Stücke (I. zeigt auf die Bruchstücke rechts auf Figur 2) hier abgebrochen ist?

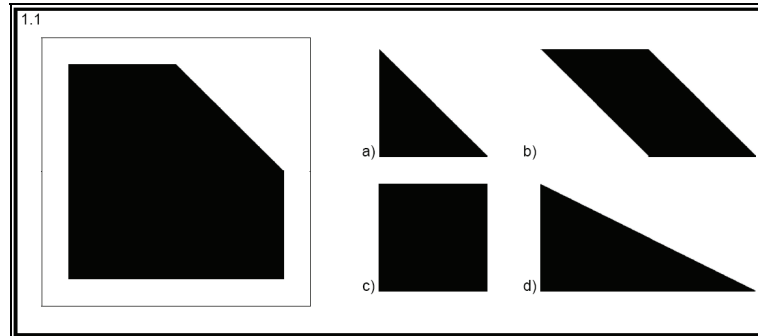


Abbildung 5: Beispielaufgabe zu *Visualization* (Keks 1.1)

Neben der abgebildeten enthält diese Aufgabe vier weitere Subaufgaben. Diese unterscheiden sich in der Komplexität der Teilstücke, der Ähnlichkeit der Distraktoren und der notwendigen gedanklichen Transformationen bei der Lösung.

Bei allen Subaufgaben soll eine vorgegebene Figur zu einer größeren Figur vervollständigt werden. Damit handelt es sich nach Eliot und Smith (1983) um eine Aufgabe des Typs *Paper Formboard Tasks* der Kategorie *form completion*. Alle Teilaufgaben sind zweidimensional und können durch Verschiebung und/oder Drehung in der Zeichenebene gelöst werden, wiewohl aufgrund der Symmetrie einzelner Bruchstücke eine Klappung ebenfalls möglich ist. Es ist jedoch nicht nötig, die Ebene gedanklich zu verlassen und gegebene Objekte zu wenden.

Lohman u.a. (1987) ordnen Aufgaben dieses Typs dem Faktor *Visualization* zu und auch Maier (1999) gibt an, dass *Paper Formboard Tasks* typischerweise verwendet werden, um den Faktor *Visualization* im zweidimensionalen Bereich zu operationalisieren. Allerdings kann festgehalten werden, dass durch diese ausschließlich

zweidimensionale Aufgabendarbietung und ggf. -bearbeitung lediglich ein Teilaspekt der Visualisierungsfähigkeit erfasst wird (vgl. im Kontrast Abb. 2).

4.1.2 Lösungsstrategien

Bei der Lösung dieser Aufgaben konnten sowohl analytische (KF) als auch dynamische Strategien, bei denen die Kinder das Objekt mental bewegten (MO), identifiziert werden (vgl. Tab. 5). Nur 28 von 347 Einzeläußerungen (8%) konnten keiner Strategie zugeordnet werden.

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Beispiel(e)
Holistisch (dynamisch) (130; 37%)	MO	MO:NK	„Das muss man umdrehen und dann passt es.“ „Wenn man das da dran macht, passt es hier nicht.“ (zeigt, wie das Stück verschoben werden muss) „Wenn man das da rein setzt, ist es wieder glatt.“ (zeigt, wie das Stück verschoben werden muss)
		MO:K	„Wenn man das umdreht, ist es auch eine Rutsche.“ „Das sieht aus wie ein Hügel.“ „Da ist ein Edelstein, der passt.“ (zeigt auf das passende Fünfeck) „[...] dann müsste es ein Dreieck sein.“
Analytisch (statisch) (189; 55%)	KF		„[...] weil das hier so lang ist.“ „Das ist zu klein.“ „[...] weil die anderen nicht passen und weil die anderen zu groß sind.“ „Weil es rund ist, das andere ist zu klein.“ (zeigt auf Viertelkreis)

Tabelle 5: Erkennbare Strategien zu Visualization (Kekse)

MO (move object)

Bei den dynamischen Strategien konnten zum einen Strategien identifiziert werden, bei denen die Kinder eines der Teilstücke gedanklich an den Keks setzten und so verifizierend zu einer Entscheidung kamen (MO). Dabei benannten einige das Teilstück mit einem konkreten Begriff, wie *Hügel* oder *Mond* (MO:K) und andere bezeichneten es schlicht als *Teil* oder *Stück* (MO:NK). Zum anderen gab es Kinder, die sich durch Ausschluss dreier Teilstücke für eines entschieden und so eher falsifizierend vorgehen. Bei der Bezeichnung der fehlenden Stücke sowie der Teilstücke verwendeten viele Kinder Namen geometrischer Grundformen, wie z.B. *Dreieck*, *Viereck*, *Quadrat*. Inwieweit diese als konkrete Objekte oder abstrakte Formen

anzusehen sind, lässt sich nicht entscheiden. Wir haben sie unter ‚konkret‘ gefasst, da wir davon ausgehen, dass diese Kinder ein visuelles Bild der jeweiligen Form gespeichert hatten (vgl. van Hiele & van Hiele-Geldorf 1964).

KF (key features)

Bei den analytischen Lösungsstrategien (KF) bezogen sich die Kinder auf viele unterschiedliche Details sowohl bezüglich des fehlenden Stücks als auch der angebotenen Distraktoren. Dabei gingen sie meist verifizierend vor. Einige Kinder argumentierten über die Gesamtgröße der Teilstücke, andere nur über Teile oder einzelne Dimensionen. So betrachteten viele Kinder die Länge einzelner Seiten, einzelne Winkel oder sie bestimmten die Anzahl der Ecken.

4.2 Männchen (Mental Rotation 1)

4.2.1 Aufgabenanalyse

Bei dieser Aufgabe wird den Kindern zunächst ein an sich ebenensymmetrisches reales Plastikmännchen gezeigt, dessen Symmetrie durch einen Hammer in der rechten Hand und einen erhobenen Arm aufgehoben wurde. Anschließend werden nacheinander vier Fotos gezeigt, auf denen das Männchen aus verschiedenen Standpunkten abgebildet ist (vgl. Abb. 6). Auf einigen Bildern hält das Männchen den Hammer in der rechten, auf anderen in der linken Hand. Um die Vokabeln *links* und *rechts* zu umgehen, wird das Kind zu jedem einzelnen Bild gefragt, ob das Männchen auf dem Bild den Hammer in der *gleichen* Hand hält wie das vor ihnen stehende:

Hier siehst du ein Männchen (I. zeigt auf das Plastikmännchen). Es hält einen Hammer in der Hand. Hier siehst du ein weiteres Männchen (I. legt das Foto neben das Plastikmännchen). Hält es den Hammer in der gleichen Hand?

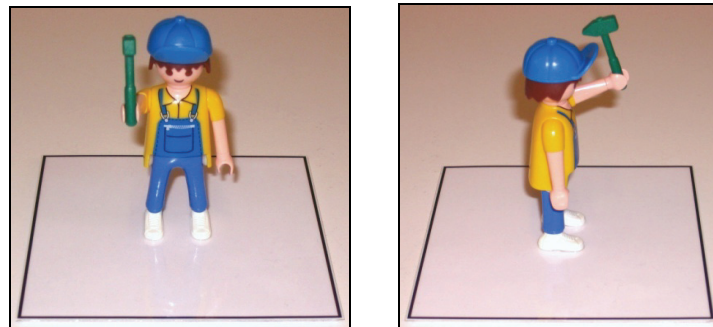


Abbildung 6: Beispielaufgaben zu *Mental Rotation* (Männchen 1 und 2)

Die verwendete Aufgabe impliziert die Rotation einer gegebenen dreidimensionalen Figur um eine vertikale Achse. Damit zählt sie nach Eliot und Smith (1983) zur Kategorie *form rotation* und damit zu den *Figural Rotation Tasks*.

Obwohl diese Aufgabenstellung als typisch für Rotationsaufgaben mit konkreten Gegenständen gelten kann, zeigt eine genauere Analyse, dass sowohl die Komponente *Orientation* als auch *Spatial Relations* angesprochen sind. Wenn sich das Kind selbst als Männchen sieht, wird ein Standpunkt innerhalb der Aufgabensituation angesprochen und damit die Komponente *Orientation*. Das distanzierte Wahrnehmen einer an sich unbewegten Figur aus verschiedenen Blickwinkeln ist nach Thurstone (1950, vgl. auch Abschnitt 2.2) charakteristisch für die Komponente *Spatial Relations*. Und letztlich wird trotz der Vermeidung der verbalen Ausdrücke rechts/links vermutlich dennoch die Unterscheidung von beidem verlangt und somit kinästhetisches Wissen, wenngleich nicht unbedingt *kinesthetic imagery*.

4.2.2 Erkennbare Lösungsstrategien

Bei dieser Aufgabe konnten sowohl analytische (KF) als auch dynamische Lösungsstrategien, bei denen das Objekt (MO) oder der Betrachter selbst (MS) mental bewegt wird, identifiziert werden (vgl. Tab. 6). Mit 97 von 243 Einzeläußerungen waren 40% der Lösungen nicht zuzuordnen. Allerdings traten 56 dieser Äußerungen in der Situation auf, in der auf dem Bild das Männchen aus der Sicht der Versuchsperson abgebildet ist – eine zur Aussage „das sieht man“ passende Situation.

Stufe 1	Stufe 2	Beispiele
Holistisch (dynamisch) (135; 56%)	MS (10; 4%)	„Das ist dieser.“ (<i>dreht sich und zeigt auf den eigenen Arm</i>) „Weil das ist so.“ (<i>steht auf und dreht sich selbst in die Position</i>)
	MO (125; 52%)	„Ich habe das gedreht.“ „Es hat sich umgedreht.“ „Playmobilmännchen können sich drehen.“ „Weil es gedreht ist.“
Analytisch (statisch) (10; 4%)	KF (10; 4%)	„[...] weil die Hand so rund ist.“ „[...] weil der Hammer in der anderen Hand ist.“ „Der Arm hängt und der ist gerade.“

Tabelle 6: Erkennbare Strategien zu *Mental Rotation* (Männchen)

MS (move self)

Bei wenigen Kindern konnte anhand der Videos darauf geschlossen werden, dass sie sich in die Position des Männchens *gedacht* und sich dann selbst gedreht haben (MS). Einige Kinder standen auch auf oder drehten sich auf ihrem Stuhl, um anschließend einen Arm zu heben.

MO (move object)

Als dynamische Lösungsstrategien, bei denen das Objekt bewegt wird (MO), wurden nur verifizierende Vorgehensweisen identifiziert. Die Kinder prüften, ob ihre Annahme stimmt, indem sie das Männchen auf der Abbildung oder die Vorlage mental drehten.

KF (key features)

Bei den analytischen Lösungsstrategien (KF) waren erneut verschiedene Details im Fokus der Kinder. Während einige Kinder nur einzelne Aspekte betrachteten, wie etwa die Hand, die den Hammer hält, und deren Form beschrieben, verwendeten andere bewusst die Begriffe *links* und *rechts*, um die Position des Hammers zu bestimmen.

4.3 Klötze (Mental Rotation 2)**4.3.1 Aufgabenanalyse**

Diese Aufgabe ist stark an die bekannten Paper-and-Pencil-Aufgaben von Shepard und Metzler (1971) zu *Mental Rotation* angelehnt. Im Unterschied zu deren Design werden den Kindern reale Würfelkonfigurationen und nicht Abbildungen dieser vorgelegt (vgl. Abb. 7). Die Kinder haben anschließend zu entscheiden, ob zwei Würfelkonfigurationen durch eine Drehung aufeinander abzubilden sind:

Hier sind zwei Klötze (I. zeigt auf die Vorlage). Kann man einen der Klötze so drehen oder kippen, dass sie gleich sind?

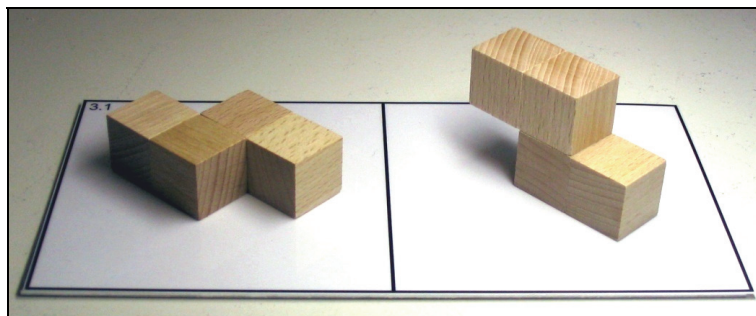


Abbildung 7: Beispielaufgabe zu *Mental Rotation* (Klötze)

Auch diese Aufgabe enthielt insgesamt fünf Subaufgaben mit unterschiedlichen Anzahlen an Würfeln. Bei zwei dieser Aufgaben lassen sich die Konfigurationen durch Drehung aufeinander abbilden, bei den anderen drei nicht.

4.3.2 Erkennbare Lösungsstrategien

Obwohl die Aufgabenstellung durch die Worte *drehen* und *kippen* eine dynamische Strategie implizierte, konnten neben der Move-Object-Strategie auch analytische Vorgehensweisen (KF) identifiziert werden (vgl. Tab. 7). Mit 42 von 351 Äußerungen ließen sich 12% nicht zuordnen.

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Beispiele
Holistisch (dynamisch) (181; 52%)	MO	MO:NK	„Das ist hingefallen.“ „Man kann das so drehen.“ „Man muss den einen hinlegen oder den anderen hinstellen.“ „Das ist hingefallen und das ist stehen geblieben.“ „Wenn man den hinstellt, dann ist der hier hinten und der da vorne. Und die sehen dann gleich aus.“
		MO:K	„Der sieht aus wie ein Tiger und der schläft.“ „Wenn der liegt, sieht er aus wie ein Hund.“ „Eins ist ein L, das andere nicht.“
Analytisch (statisch) (128; 36%)	KF		„[...] zwei und zwei und einer.“ „Geht nicht. Ein Würfel müsste umgebaut werden.“ „Der eine zeigt nach da und der andere nach da.“ (deutet nach rechts bzw. links) „Da ist einer hoch und da ist einer hoch.“

Tabelle 7: Erkennbare Strategien zu *Mental Rotation* (Klötze)

MO (move object)

Als dynamische Strategien, bei denen die Gebäude mental bewegt werden (MO), wurden nur verifizierende Vorgehensweisen identifiziert. Die Kinder prüften, ob ihre Vermutung stimmt, indem sie eines der Gebäude mental drehten oder kippten. Dabei gab es Kinder, die eines der Objekte drehten, ohne konkrete Gegenstände zu benennen (MO:NK) und andere, die in der Anordnung der Würfel konkrete Gegenstände, etwa *Tiere*, *Zahlen* oder *Buchstaben*, sahen (MO:K).

KF (key features)

Analytisch vorgehende Kinder konzentrierten sich auf verschiedene Details. Während einige Kinder einzelne Würfel verglichen, verglichen andere die Dimensionen, etwa die Länge der Gebäude. Es gab auch Kinder, die versuchten, aus einem Würfelgebäude das andere, durch Umlegen eines oder mehrerer Würfel, zu konstruieren oder durch Zählen der Würfel Unstimmigkeiten auszumachen.

4.4 Steine (Spatial Relations 1)**4.4.1 Aufgabenanalyse**

Diese Aufgabe ist an *Block Counting* von Thurstone (1938) angelehnt. Thurstone verwendete eine isometrische Schrägbildzeichnung einer kompakten Konfiguration gleich großer Quader. Die Probandinnen und Probanden sollten angeben, von wie vielen ‚Steinen‘ die jeweiligen ‚Steine‘ berührt werden. Bei der hier verwendeten Aufgabe wurden unterschiedlich farbige reale Holzquader zu derselben Konfiguration verbaut (vgl. Abb. 8). Dies soll die Identifikation der einzelnen Quader erleichtern. Auch soll das Kind nicht angeben, wie viele, sondern welche ‚Steine‘ die einzelnen ‚Steine‘ konkret berühren:

Hier sind einige Steine. (I. zeigt auf die Vorlage). Die Steine sind alle gleich groß. Manche Steine berühren sich. Welche Steine berührt der schwarze Stein?

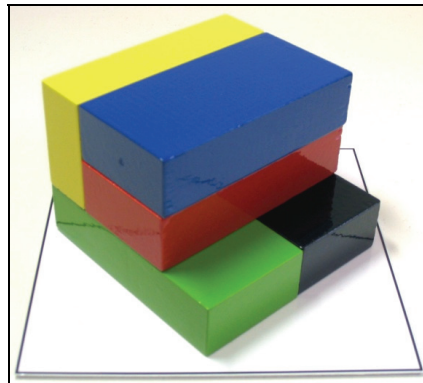


Abbildung 8: Beispielaufgabe zu *Spatial Relations* (Steine)

Neben der hier abgebildeten Subaufgabe wurde noch eine weitere verwendet, die einen Stein mehr und damit eine noch höhere Kompaktheit besaß.

Eliot und Smith (1983) ordnen derartige Aufgaben der Kategorie *Block Tasks* zu, welche verwendet werden, um die Teilfertigkeit *Spatial Relations* im dreidimensionalen Bereich zu operationalisieren (s. auch Maier 1999, S. 39). Bereits Thurstone

nahm an, dass durch die kompakte Struktur die Vorstellungsfähigkeit insbesondere der räumlichen Relationen zwischen den Einzelteilen gefordert sei (vgl. Thurstone 1938, S. 30).

4.4.2 Erkennbare Lösungsstrategien

Die Aufgabenstellung impliziert die Betrachtung einzelner Quader. Es ist zu vermuten, dass viele Kinder analytisch vorgehen (KF). Tatsächlich traten analytische Vorgehensweisen in geringem Maße auf. Deutlich häufiger ließen die Kinder dynamische Strategien erkennen, sowohl in der Variante MS als auch MO (vgl. Tab. 8). Mit 153 von 274 Äußerungen waren knapp 56% der Vorgehensweisen nicht zuzuordnen. Selbst wenn ein Drittel dieser Äußerungen sich auf die Aufgabenstellung bezog, in der alle Berührungen sichtbar und somit keine Strategie des räumlichen Vorstellens notwendig war, verbleibt ein recht hoher Anteil an nicht erkennbarem Vorgehen.

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Beispiele
Holistisch (dynamisch) (96; 35%)	MS (72; 26%)		Zeigen Bewegungen, wie den Körper oder Kopf entsprechend zu drehen, oder wollen aufstehen und um das Gebäude gehen. „Wenn du von da drüben guckst, dann siehst du, dass die sich treffen.“
	MO (24; 9%)	MO:NK	Zeigen durch Handbewegungen, wie sie das Objekt drehen würden.
MO:K		„Das sieht aus wie eine Treppe und man muss einen großen Schritt machen.“	
Analytisch (statisch) (25; 9%)	KF		„Weil der so dahinter ist.“ „Nicht rot, weil rot ja oben ist.“ „Weil die gleich groß sind und der gelbe den grünen berührt.“ „Alle, die ganz unten sind, berühren den blauen.“

Tabelle 8: Erkennbare Strategien zu *Spatial Relations* (Steine)

MS (move self)

Bei dieser Aufgabe lehnten sich viele Kinder zur Seite oder verbalisierten, wie die Anordnung der Steine von einem anderen Standpunkt aus betrachtet aussieht (MS).

MO (move object)

Einige Kinder versuchten, die Anordnung der Steine zu drehen (MO), um so die Seiten- bzw. Rückansicht zu erhalten. Dabei war das Vorgehen nicht aus den Äußerungen, sondern lediglich aus den Gesten oder den tatsächlich angestrebten Handlungen ersichtlich. Ein Kind assoziierte mit der Anordnung der Steine ein konkretes Objekt, nämlich eine *Treppe*, ohne dass diese Assoziation für das Lösungsverhalten hätte hilfreich sein können.

KF (key features)

Bei den analytischen Strategien (KF) wurde vor allem die gleiche Größe der Quader mehrfach erwähnt. Darüber hinaus betrachteten die Kinder die Lage oder die Ausrichtung einzelner Quader oder verglichen deren Länge. Einige begründeten auch, warum sich einzelne Quader nicht berühren.

4.5 Gebäude (Spatial Relations 2)**4.5.1 Aufgabenanalyse**

Bei dieser Aufgabe werden den Kindern zwei Würfelkonfigurationen, die aus unterschiedlich vielen Holzwürfeln zusammengesetzt sind, vorgelegt (vgl. Abb. 9). Die Kinder sollen entscheiden, für den Bau welcher der beiden Konfigurationen mehr Würfel benötigt werden.

Dies sind zwei Gebäude (I. zeigt auf die Vorlage). Für welches Gebäude braucht man mehr Würfel?

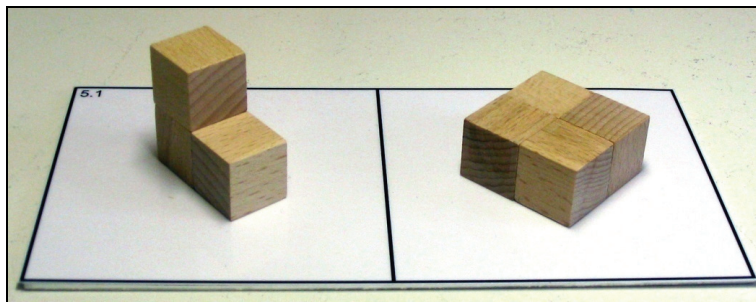


Abbildung 9: Beispielaufgabe zu *Spatial Relations* (Gebäude)

Diese Aufgabe enthielt insgesamt fünf Subaufgaben, in denen die Anzahl der benötigten Würfel, die Anzahl nicht sichtbarer, verdeckter Würfel sowie die Ausrichtung (Höhe) der Gebäude verändert wurden.

Aufgaben dieser Art werden in der deutschsprachigen Literatur zur Operationalisierung des räumlichen Vorstellungsvermögens häufig verwendet (vgl. Mersch-

meyer-Brüwer 2001; Grassmann u.a. 2002; Eichler 2006). Auch diese Aufgabe wird von Eliot und Smith (1983) aufgrund der Notwendigkeit, die Objekte aufgrund der Anzahl ihrer Bestandteile zu vergleichen, der Kategorie *Block Tasks* und damit der Komponente *Spatial Relations* zugeordnet.

4.5.2 Erkennbare Lösungsstrategien

Bei allen Subaufgaben dominierten, bedingt durch die Formulierung *mehr* in der Aufgabenstellung, analytische Vorgehensweisen (KF) im Sinne von Zählstrategien. Zusätzlich ließen einige Vorschulkinder dynamische Strategien in Form der Bewegung der Vorlage (MO) oder der Veränderung des eigenen Standpunktes (MS) erkennen (vgl. Tab. 9). Nur 16 der 361 Vorgehensweisen (5%) waren nicht zuzuordnen.

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Beispiele
Holistisch (dynamisch) (44; 12%)	MS (23; 6%)		Deuten durch Körperdrehungen an, wie sie sich um das Gebäude bewegen, um zu zählen.
	MO (21; 6%)	MO:NK	„Wenn man den hinlegt, [...]“ „Wenn man den jetzt hinlegt, ist noch einer davor.“
		MO:K	„Das ist ein Viereck.“ „Das sieht wie ein Würfel aus.“ „Weil das ein Turm ist.“
Analytisch (statisch) (301; 83%)	KF		„Weil da zwei oben sind und da nicht.“ „Weil da unten noch welche sind.“ „Weil da 3 unten sind und da nur 2.“

Tabelle 9: Erkennbare Strategien zu *Spatial Relations* (Gebäude)

MS (move self)

Es gab wenige Kinder, die sich mental selbst um das Objekt bewegten (MS). Auch diese Kinder kombinierten diese Vorgehensweise mit dem Zählen und somit einer analytischen Lösungsstrategie (KF).

MO (move object)

Vereinzelt gab es Kinder, die zusätzlich die Vorlage drehten, i.d.R. ohne ein konkretes Objekt zu assoziieren (MO:NK). Assoziierten Kinder ein konkretes Objekt, etwa einen großen *Würfel* oder einen *Turm*, so hatte dies keine erkennbare Auswirkung auf deren Lösungsstrategie. Es hat eher den Anschein, dass diese Kinder ausschließlich dynamisch vorgehen.

KF (key features)

In der Regel zählten Kinder, die analytisch vorgehen, die Würfel und verglichen anschließend die Anzahlen. Dabei zeigten sich noch Unsicherheiten. Einige Kinder verglichen die Gebäude auch direkt und sagten, wie viele Würfel man benötige, um aus einem Gebäude das andere zu konstruieren. Auch ordneten Kinder einzelne Würfel einander zu und konnten so bestimmen, für welches Gebäude mehr Würfel benötigt wurden. Vereinzelt entschieden Kinder auch nach äußeren Merkmalen, wie Höhe oder Gesamtgröße der Objekte.

4.6 Fußabdrücke (Spatial Relations 3)**4.6.1 Aufgabenanalyse**

Bei dieser Aufgabe werden den Kindern zunächst je eine Abbildung eines Fußabdruckes eines linken und eines rechten Fußes vorgelegt (vgl. Abb. 10). Anschließend werden ihnen nacheinander fünf weitere Bilder mit einem jeweils in der Ebene gedrehten Fußabdruck vorgelegt. Das Kind soll entscheiden, welchem der beiden Füße dieser gedrehte Fuß entspricht. Auf diese Weise werden die Begriffe *links* und *rechts* umgangen:

Hier sind zwei unterschiedliche Füße. Dieses Bild (I. legt Vorlage auf den Tisch) zeigt einen der beiden Füße. Kannst du mir sagen, welchen Fuß dieses Bild zeigt?



Abbildung 10: Beispielaufgabe zu *Spatial Relations* (Füße)

Diese Aufgabe ähnelt der oben beschriebenen Aufgabe *Figures* von Thurstone (1950; vgl. Abb. 1, Abschnitt 2.2). Da Thurstone darin das Wiedererkennen eines Gegenstandes aus einem anderen Winkel operationalisiert sieht, wird sie der Teilkomponente *Spatial Relations* zugeordnet. Im Unterschied zur Aufgabenstellung von Thurstone werden nicht ein Ausgangsobjekt und eine Vielzahl an Distraktoren

vorgelegt, aus denen die gedrehten auszuwählen sind. Vielmehr werden ‚beide möglichen Originale‘ vorgelegt und zu einzeln präsentierten Distraktoren gefragt, welchem der Originale es entspricht. Durch diese Abänderung wird ebenso wie durch die Wahl von Fußabdrücken als Objekte vermieden, dass die gespiegelte Abbildung als „den Gegenstand von seiner anderen Seite betrachten“ interpretiert wird. Die Bearbeitung dieser Aufgabe erfolgt im Vergleich zu den anderen Aufgaben zu *Spatial Relations* ausschließlich im zweidimensionalen Bereich und könnte dadurch ebenso der Komponente *Mental Rotation* zugeordnet werden.

4.6.2 Erkennbare Lösungsstrategien

Auch wenn diese Aufgabe dem Faktor *Spatial Relations* zugeordnet wurde und analytische Vorgehensweisen erkennbar waren (KF), äußerten die Kinder weitaus häufiger, dass sie den Fuß drehten, somit dynamische Lösungsstrategien (MO) verwendeten (vgl. Tab. 10). Auffällig ist, dass 101 von 322 Äußerungen (32%) nicht zugeordnet werden konnten: Die Anzahl der erkennbaren Lösungsstrategien nahm dabei von Subaufgabe zu Subaufgabe ab. Es scheint, als ob viele Kinder es nicht für nötig erachteten, ihr Vorgehen erneut zu beschreiben.

Stufe 1	Stufe 2	Beispiele
Holistisch (dynamisch) (134; 41%)	MO	„Der. Wenn du den so drehst, dann passt das.“ (nimmt den Distraktor und richtet den Fuß genauso aus wie auf der Vorlage).
Analytisch (statisch) (87; 27%)	KF	„Der große Zeh ist kleiner.“ „Der große Zeh ist gleich.“ „Der ist kleiner.“ (misst mit den Fingern die Fußbreiten) „Weil der so dünn ist wie der.“ „Die sind gleich dick.“

Tabelle 10: Erkennbare Strategien zu *Spatial Relations* (Füße)

MO (move object)

Viele Kinder drehten einen der Füße (MO), meist den unten liegenden, auch real, und legten die Füße dann aufeinander. Selten wurde die Bewegung verbalisiert.

KF (key feature)

Viele Kinder, die analytisch vorgehen (KF), verglichen einzelne Details der Füße, wie etwa die Größe oder Form der Zehen. Andere verglichen die Länge oder Breite des Fußes und versuchten so, Unterschiede auszumachen, obwohl die Füße bis auf Lage und Orientierung in jedem Falle identisch waren.

4.7 Wer sieht was? (Orientation 1)

4.7.1 Aufgabenanalyse

Bei dieser Aufgabe werden vor den Augen des Kindes gleichgroße farbige Holzquader auf ein Quadratgitter gestellt (vgl. auch Müller, Röhr & Wittmann 1997; Grüßing 2002). Aus Sicht des Kindes links vom Quadratgitter wird ein Stoffschaf, rechts ein Stoffhase gesetzt. Der Interviewer sitzt dem Kind gegenüber. So ergeben sich vier Ansichten ein und derselben Anordnung von Quadern. Die Kinder werden nun aufgefordert, dem Schaf, dem Hasen, dem Interviewer und sich selbst jeweils ein Bild zuzuordnen, das die jeweilige Ansicht der Steine zeigt (vgl. Abb. 11):

Du, ich, der Hase und das Schaf schauen auf diese Ziegelsteine (I. zeigt auf konkret aufgebaute Vorlage). Hier siehst du ein Bild (I. legt Foto 1 auf den Tisch). Kannst du mir sagen, wer die Ziegelsteine so sieht, wie sie auf dem Bild zu sehen sind? (das Bild wird nach der Antwort an die vom Kind benannte Seite der Vorlage gelegt).

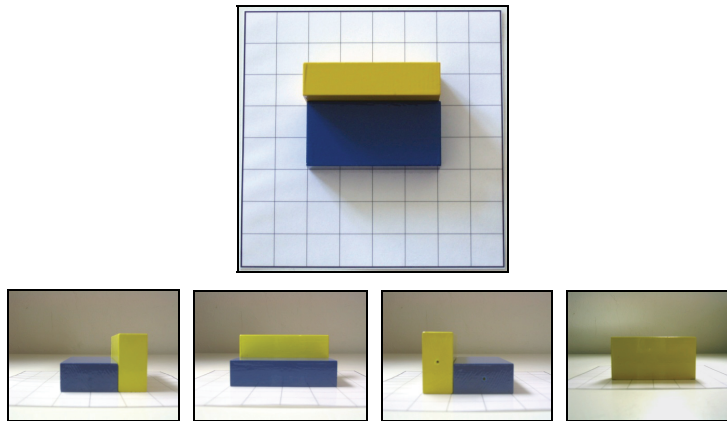


Abbildung 11: Beispielaufgabe zu *Orientation* (Wer sieht was?)

Diese Aufgabe enthielt insgesamt drei Subaufgaben mit jeweils vier Fotos. Die ersten beiden Subaufgaben präsentierten die gleiche Quaderanordnung. Die Symmetrieebene dieser Anordnung lag bei der ersten Subaufgabe parallel zur Blickrichtung des Kindes, während sie bei der zweiten Subaufgabe orthogonal zur Blickrichtung aufgebaut wurde. Die dritte Subaufgabe enthielt einen weiteren Stein, ohne dass eine symmetrische Gesamtkonstellation gegeben war.

Wie beim Drei-Berge-Versuch (vgl. Piaget & Inhelder 1971) erfordert die Aufgabe die Fähigkeit zur Perspektivübernahme (vgl. Lohaus, Schumann-Hengsteler & Kessler 1999, S. 47 ff.), welche als typische Operationalisierung für die Komponente *Orientation* gilt (vgl. Eliot & Smith 1983; Grüßing 2002). Dennoch könnte

die Objektanordnung, welche als small scale zu bezeichnen ist (vgl. Souvignier 2000), den Kindern eher eine distanzierte Sicht nahelegen statt der Integration der eigenen Person in die Gesamtsituation. Dann wird vermutlich eher die Komponente *Spatial Relations* evtl. in Verbindung mit *Kinesthetic Imagery* angesprochen.

4.7.2 Erkennbare Lösungsstrategien

Die Zahl erkennbarer Lösungsstrategien war sehr gering (vgl. Tab. 11): 125 von 213 Vorgehensweisen (59%) konnten nicht zugeordnet werden. Offensichtlich fällt es den Kindern bei Aufgaben dieses Typs schwer, ihr Vorgehen zu verbalisieren. Die Ergebnisse zeigen, dass die Kinder dennoch gute Resultate erzielten. Waren Strategien zu erkennen, dann dominierten die von der Aufgabe intendierten mentalen Änderungen des eigenen Standortes (MS).

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Beispiele
Holistisch (dynamisch) (65; 30%)	MS (61; 28%)		Zeigen von der jeweiligen Seite auf die Konfiguration: „Weil, wenn man von da schaut, [...]“ „Wenn ich von hier gucke, sieht das so aus.“ „Wenn ich von da gucke, sehe ich das.“
	MO (4; 2%)	MO:NK	„Wenn man das so hinstellt, [...]“ (zeigt mit der Hand die Drehbewegung der Anordnung)
		MO:K	„Das sieht aus wie eine Bank.“
Analytisch (statisch) (23; 11%)	KF		„Du siehst den roten Stein nicht.“ „Du kannst den roten Stein ja nicht sehen.“ „Du siehst ja nur einen.“

Tabelle 11: Erkennbare Strategien zu *Orientation* (wer sieht was?)

MS (move self)

Einige Kinder neigten sich zur Seite, um so zu einer Seitenansicht zu gelangen, andere verbalisierten, wie sie die Situation von einem anderen Standpunkt sähen.

MO (move object)

Vereinzelt drehten Kinder die Vorlage (MO), wobei sie versuchten, dies tatsächlich zu tun. Erst durch die Intervention des Interviewers verbalisierten und gestikulierten sie die Drehung. Einige Kinder assoziierten in den Vorlagen konkrete Gegenstände, etwa eine *Bank* oder ein *Bett* (MO:K), inwieweit sie dies bei der Lösung einsetzten, kann nicht gesagt werden.

KF (key features)

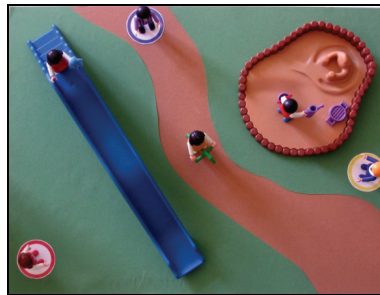
Einige Kinder beschrieben sehr detailliert, welche Steine die einzelnen Betrachter sehen und welche nicht (KF). Damit verwendeten diese Kinder eine analytische Vorgehensweise häufig in Kombination mit einer dynamischen (MS).

4.8 Spielplatz (Orientation 2)**4.8.1 Aufgabenanalyse**

Vor die Kinder wird ein Spielplatz gestellt, auf dem einige Plastikfiguren spielen, von denen drei durch verschieden farbige Kreise markiert sind (vgl. Abb. 12).

Damit werden bei dieser Aufgabe, im Unterschied zu Aufgabe 7, konkrete Objekte in einer typischen Gesamtsituation verwendet. Den Kindern werden nacheinander drei Bilder gezeigt, die jeweils die Sicht eines der drei Kinder zeigen und diesem zuzuordnen sind:

Hier siehst du einen Spielplatz (I. zeigt auf die Vorlage). Drei der Kinder stehen in einem Kreis (I. zeigt auf die Kinder). Hier siehst du ein Bild (I. zeigt Bild 1). Kannst du mir sagen, welches der drei Kinder das sieht, was auf dem Bild zu sehen ist?).



(Draufsicht der Konfiguration: untere Bildkante stellt Sitzposition des Kindes dar.)

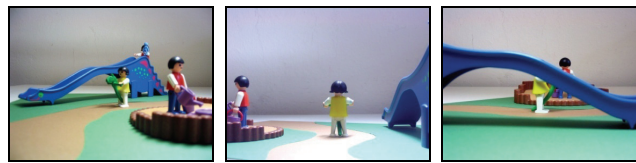


Abbildung 12: Beispielaufgabe zu *Orientation* (Spielplatz)

Die Aufgabe erfordert ebenfalls die Perspektivübernahme und den Abgleich der von einem anderen Standpunkt sichtbaren Ausschnitte der Gesamtsituation. Insofern gelten dieselben Ausführungen wie bei Aufgabe 7. Indes könnte die stärker kontextualisierte Situation ein „Sich-hinein-Versetzen“ in die Figuren unterstützen.

4.8.2 Erkennbare Lösungsstrategien

Mit 26 von 86 Einzeläußerungen (30%) waren zwar weniger Vorgehensweisen nicht zuzuordnen als bei der vorgehenden Aufgabe, doch der Anteil ist dennoch hoch (vgl. Tab. 12). Bei den erkennbaren Strategien dominierte erneut der intendierte eigene Standortwechsel als dynamische Vorgehensweise (MS). Diese wurden häufig mit analytischen Strategien (KF) kombiniert.

Ebene 1	Ebene 2	Beispiele
Holistisch (dynamisch) (39; 45%)	MS	„Wenn man da steht, sieht man das.“ „Am besten, man guckt in die Richtung, was es sieht.“ (dreht sich in Ausrichtung der jeweiligen Figur)
Analytisch (statisch) (21; 25%)	KF	„Weil hier die Rutsche ist.“ „Weil es das Mädchen von hinten sieht.“ „Weil da ist der Rücken.“

Tabelle 12: Erkennbare Strategien zu *Orientation* (Spielplatz)

MS (move self)

Die meisten Kinder, die dynamisch vorgingen, beschrieben, wie sie die Perspektive eines der Kinder einnehmen (MS). Einige von ihnen zeigten zusätzlich die Blickrichtung der Figur mit dem Finger.

KF (key feature)

Viele der Kinder, die dynamisch vorgingen, kombinierten ihr Vorgehen mit einer analytischen Lösungsstrategie (KF), indem sie etwa Objekte detailliert beschrieben, die aus der jeweiligen Perspektive zu sehen waren. Dabei nahmen sie häufig Bezug auf die Anordnung einzelner Objekte und deren Lage zueinander.

4.9 Wie steht das Wasser? (Spatial Perception)

4.9.1 Aufgabenanalyse

Bei dieser Aufgabe handelt es sich um eine Variante der ‚Wasserspiegelaufgabe‘, die in ähnlicher Form bereits von Piaget und Inhelder (1971) verwendet wurde und von Linn und Petersen (1985) dem Faktor *Spatial Perception* zugeordnet wird (vgl. auch Lohaus; Schuhmann-Hengsteler & Kessler 1999).

Allerdings werden die Kinder bei dieser Aufgabe nicht aufgefordert, die Neigung des Wassers in eine vorgegebene Strichzeichnung zu ergänzen. Stattdessen werden vier Bilder mit verschiedenen Neigungswinkeln des Wasserstandes vorgelegt, von denen das Kind das richtige auszuwählen hat (vgl. Abb. 13). Auf diese Weise soll

das Problem der möglichen Fehlinterpretation von Kinderzeichnungen umgangen werden (vgl. Wollring 1996).

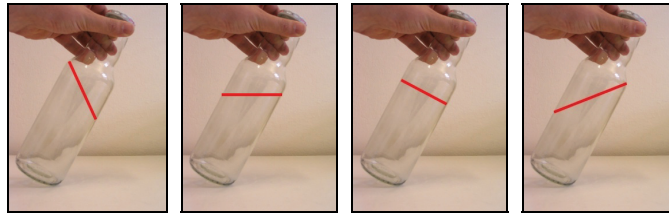


Abbildung 13: Beispielaufgabe zu *Spatial Perception* (Wie steht das Wasser?)

4.9.2 Erkennbare Lösungsstrategien

Diese Aufgabe wurde sehr schlecht gelöst – von nur 17% der Kinder – und ließ nur bei 5 von 65 Kindern eine Lösungsstrategie erkennen. Die meisten Kinder erinnerten scheinbar den Stand des Wassers und antworteten: „*Habe ich schon mal gesehen*“. Ein Junge neigte sich in Richtung der Flasche (MS), zwei Kinder zeigten die Bewegung des Wassers mit der Hand und zwei Jungen beschrieben, wie das Wasser fällt, wenn man die Flasche kippt (MO). Insgesamt zeigt sich, dass die Aufgabe in dieser Form weniger geeignet ist, um Lösungsstrategien zu identifizieren.

4.10 Rechter Arm (Kinesthetic Imagery)

4.10.1 Aufgabenanalyse

Bei dieser Aufgabe sollen die Kinder zunächst den eigenen rechten Arm heben und anschließend auf den rechten Arm des gegenüber sitzenden Interviewers zeigen. Damit werden schon in der Formulierung der Aufgabe die Aspekte *links* und *rechts* betont. Entsprechend ist sie der Teilfertigkeit *Kinesthetic Imagery* zuzuordnen.

4.10.2 Erkennbare Lösungsstrategien

Die Antworten der Kinder zeigen, dass sehr viele von ihnen (48 von 65) bereits ihren eigenen rechten Arm kennen und der Großteil von ihnen (27) auch den rechten Arm des Interviewers identifizieren konnte. Weitere 17 Kinder heben ihren linken Arm und zeigen konsequenterweise auf den linken Arm des Interviewers. Jedoch waren keine Lösungsstrategien erkennbar. Nur ein Junge stand auf und drehte sich selbst (MS), um auf diese Weise den rechten Arm des Interviewers zu identifizieren. Es ist anzunehmen, dass, wie schon bei den Aufgaben 7 und 8, die Verbalisierung anderer Standpunkte noch große Schwierigkeiten bereitet. Die gegenüberliegende Position des Interviewers erfordert die Perspektivübernahme, wodurch die enge Verbindung von *Orientation* und *Kinesthetic Imagery* zum Ausdruck kommt.

5 Diskussion

Betrachtet man die durchschnittlichen Lösungsraten¹, zeigen Kinder im Vorschulalter bereits ein gut ausgeprägtes räumliches Vorstellungsvermögen – soweit dies mit dem vorliegenden Aufgabendesign erfasst wurde. So erreichten die 65 interviewten Kinder durchschnittlich 72% der 49 erreichbaren Punkte, ein Kind erreichte 48 Punkte (98%), zwei weitere 46 Punkte (94%). 19 Punkte (39%), 23 (47%) und 25 (51%) Punkte erreichten die drei schwächsten Kinder, so dass für das räumliche Vorstellungsvermögens eine ebenso große Heterogenität am Schulanfang zu konstatieren ist wie im Bereich anderer mathematischer Fähigkeiten.

Betrachtet man die Lösungsraten der einzelnen Aufgabengruppen (vgl. Tab. 13), so liegt die Wasserspiegelaufgabe, die häufig verwendet wird, um die Teilkomponente *Spatial Perception* zu operationalisieren, mit einer Lösungsrate von 17% deutlich unter dem sonstigen Lösungsniveau von mehr als 60%. Die vorliegenden Ergebnisse lassen keine Schlüsse zu, inwieweit Kinder im Vorschulalter noch nicht in der Lage sind, Aufgaben dieses Typs korrekt zu lösen (vgl. Piaget & Inhelder 1971) oder aber das Aufgabendesign deutliche Schwächen aufweist. Da darüber hinaus mit dieser Aufgabe ebenso wie bei der Aufgabe *Rechter Arm* keine Lösungsstrategien in Bezug auf räumliches Vorstellungsvermögen erkennbar waren, werden beide Aufgaben aus den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen.

Die Lösungsraten bei den übrigen Teilkomponenten liegen zwischen 67% und 85%. Zwar wurden Aufgaben, die einen dynamischen Denkvorgang implizieren und bei denen sich die Person außerhalb der Situation befindet, also Aufgaben zu *Visualization* und *Mental Rotation*, etwas besser gelöst, allerdings kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Schwierigkeit der einzelnen Aufgaben auf einem vergleichbaren Niveau angesiedelt ist. Insbesondere die Aufgabe *Kekse*, welche als einzige die Komponente *Visualization* erfassen sollte, ist als zweidimensionale Einstiegsaufgabe deutlich einfacher konzipiert worden als z.B. die komplexen Situationen in den Aufgaben zu *Orientation*.

Bei den Aufgaben zu *Mental Rotation* und *Orientation* überwiegen dynamische Vorgehensweisen, wobei die Kinder bei ersterem häufig ein Objekt transformierten (MO), während bei letzterem mentale Standortwechsel (MS) dominierten. Damit kann davon ausgegangen werden, dass diese Aufgaben bei vielen Kindern auch die Teilkomponenten operationalisierten, denen sie zugeordnet wurden, und entsprechende Strategien bei diesen Aufgaben erwartbar sind. Während Kinder, die bei den Aufgaben zu *Mental Rotation* analytische Vorgehensweisen erkennen ließen, genauso erfolgreich waren wie Kinder mit dynamischen Strategien, scheiterten

¹ Da kein quantitatives Aufgabendesign vorliegt – z.B. ist die Ratewahrscheinlichkeit bei den Aufgaben unterschiedlich hoch und beträgt bis zu 50% – und mit 65 Vorschulkindern keine repräsentative Stichprobe vorliegt, sind die folgenden quantitativen Aussagen vorsichtig zu interpretieren.

Kinder mit ihren analytischen Strategien häufig bei den Aufgaben zu *Orientation*. Sogar eine Kombination von dynamischem und analytischem Vorgehen erwies sich bei diesen Aufgaben als nicht so effektiv wie alleiniges dynamisches Vorgehen.

Komponente	Aufgabe	Lösungsrate	Hauptstrategien*				Intend.	Effektivität
			MS	MO	KF	NE		
Visualization	Kekse	85 %	–	37 %	55 %	8 %	+/-	alle
Rotation	Männchen	81 %	4 %	52 %	4 %	40 %	+	alle
	Klötze	73 %	–	52 %	36 %	12 %	+	alle
Spatial Relations	Steine	70 %	26 %	9 %	9 %	56 %	–	alle
	Gebäude	74 %	6 %	6 %	83 %	6 %	+	Komb.
	Füße	67 %	–	41 %	27 %	32 %	–	dyn.
Orientation	Wer sieht was?	72 %	28 %	2 %	11 %	59 %	+	dyn.
	Spielplatz	72 %	45 %	–	25 %	30 %	+	dyn.
Perception	Wasserspiegel	17 %	–	–	–	92 %		
Kinesthetic Imagery	Rechter Arm	75 % (61 %)	–	–	–	98 %		

Tabelle 13: Ergebnisse im Überblick

(*MS: move self; MO: move object; KF: key features; NE: nicht erkennbar)

Zwar waren auch bei der Aufgabe zu *Visualization* zu einem großen Teil die intendierten dynamischen Vorgehensweisen (MO) erkennbar, doch noch häufiger nutzten die Kinder analytische Betrachtungen bezogen auf die Merkmale der Distraktoren. Da zudem beide Strategien ausgesprochen erfolgreich waren und nur wenige Vorgehensweisen nicht eingeordnet werden konnten, eignet sich diese Aufgabe vermutlich auch gut für einen unterrichtlichen Einstieg. Allerdings kann nicht davon ausgegangen werden, dass durch diese eine Aufgabe die Komponente *Visualization* gut ausgeleuchtet wurde.

Ein uneinheitliches Bild ergibt sich bei den Aufgaben, welche der Komponente *Spatial Relations* zugeordnet wurden. Durch die Aufforderung, Anzahlen zu vergleichen, provozierte die Aufgabe *Gebäude* erwartungsgemäß Zählstrategien und damit ein analytisches Vorgehen. Besonders erfolgreich waren Kinder, welche dieses mit dynamischen Strategien kombinierten, wenngleich deren Anzahl sehr gering war.

Die Auswertung der Aufgaben *Steine* und *Füße* zeigten dagegen primär den Einsatz dynamischer Vorgehensweisen. Während die meisten Kinder bei *Steine* einen anderen mentalen Standpunkt einnahmen (MS), wurden die Füße häufig gedreht (MO). Insbesondere letztere scheint somit eher die Komponente *Mental Rotation* zu erfassen und es ist fraglich, ob die zugrundeliegende Aufgabe *Figures* von Thurstone (1950, s. Abb. 1, Abschnitt 2.1) tatsächlich analytische Vorgehensweisen provoziert (vgl. dazu den Bilder-Rotations-Test (Marke 2008), der mittels zweidimensionaler Darstellungen, welche in der Zeichenebene rotiert werden, die Rotationsfähigkeit von Vorschulkindern zu erfassen sucht). Ob *Steine* die Komponente *Spatial Relations* anspricht oder eine Kombination aus *Orientation* und *Spatial Relations*, lässt sich wegen der hohen Anzahl nicht erkennbarer Strategien nicht beantworten.

Betrachtet man die Ergebnisse der einzelnen Subaufgaben, lassen sich aufgabenspezifische Merkmale ausmachen, die Einfluss auf Lösungsrate und Lösungsstrategie zu haben scheinen. So erhöht eine höhere Formähnlichkeit der Distraktoren den Schwierigkeitsgrad bei *Kekse*, eine höhere Anzahl benötigter Transformationen hingegen nicht. Allerdings tendieren Kinder bei einer niedrigeren Anzahl benötigter Transformationen häufiger zu dynamischen und mit steigender Komplexität der Distraktoren zu analytischen Vorgehensweisen.

Die Ergebnisse zu *Männchen* legen die Vermutung nahe, dass der Drehwinkel Einfluss auf die Lösungsrate hat. Interessanterweise ist dies bei der Aufgabe *Füße* nicht der Fall. Zur Aufgabe *Klötze* fällt auf, dass genau die Subaufgaben, bei denen die Konfigurationen nicht zur Deckung zu bringen sind, besser gelöst wurden. Auffällig ist zudem, dass genau bei diesen Subaufgaben verstärkt analytische Vorgehensweisen erkennbar waren. Sind die Würfelkonfigurationen zudem zueinander ebenensymmetrisch, werden sie häufig als gleich identifiziert.

Bei den Aufgaben *Steine* und *Gebäude* fällt auf, dass eine höhere Anzahl an Quadern oder Würfeln keinen negativen Effekt auf die Lösungsraten zu haben scheint. Auch Aufgaben, bei denen das höhere Gebäude weniger Würfel enthielt, wurden nicht automatisch schlechter gelöst, obwohl die Kinder mit steigender Anzahl an Würfeln häufiger nach äußeren Kriterien entschieden und nicht mehr zählten. Offensichtlich stießen sie bei Gebäuden mit sechs oder sieben Würfeln an die Grenzen ihrer Zählfertigkeit. Zu beobachten war auch, dass die Kinder mit steigender Kompaktheit der Gebäude häufiger einen mentalen Standortwechsel vollzogen, vermutlich, um für sie nicht sichtbare Würfel mental sichtbar zu machen.

Die Ergebnisse der einzelnen Subaufgaben zu *Wer sieht was?* bringen ein interessantes Phänomen zu Tage. Offensichtlich scheint die Anordnung der Objekte und insbesondere die darin befindliche Ebenensymmetrie großen Einfluss auf das Lösungsverhalten der Kinder zu haben. So ordneten die Kinder bei Teilaufgabe 1 häufig die eigene Ansicht und die des Interviewers korrekt zu, vertauschten aber

die beiden Seitenansichten. Bei Teilaufgabe 2, bei der die Symmetrieebene orthogonal zur Blickrichtung des Kindes lag, ordneten die Kinder hingegen die beiden Seitenansichten häufig korrekt zu und vertauschten die des Interviewers mit der eigenen. Die dritte Subaufgabe, die einen weiteren Stein und keinerlei Symmetrie enthielt, wurde insgesamt am besten gelöst. Auffällig war auch, dass Bilder dann am besten zugeordnet wurden, wenn nicht alle Objekte auf ihnen sichtbar waren. Auf dieses Phänomen konnte bereits Donaldson (1982) hinweisen. Ein Vergleich mit den Ergebnissen der Aufgabe *Spielplatz* zeigt, dass die Verwendung eines den Kindern vertrauten Kontextes nicht automatisch die Schwierigkeit senkt. Tatsächlich lagen die Ergebnisse auf einem ähnlichen Niveau.

Die hohe Anzahl nicht erkennbarer Strategien bei den Aufgaben *Wer sieht was?*, *Steine* und *Männchen* könnte das verwendete Auswertungsschema in Frage stellen. Die deskriptiven Daten stützen diese Vermutung jedoch nicht, so dass ein anderes Kategorienschema kaum zu aussagekräftigeren Ergebnissen geführt hätte. In der Regel gaben Kinder Äußerungen der Art „Das sieht man doch!“ oder „Weil es eben so ist!“ von sich, welche auch bei differenzierterer Kategorienbildung (vgl. Merschmeyer-Brüwer 2001, Reinhold 2007) kaum einer räumlichen Lösungsstrategie zugeordnet werden können.

Fraglich erscheint vielmehr die verwendete Aufgabenkonstruktion, welche es zumindest nicht geschafft hat, Fünf- und Sechsjährigen die Verbalisierung ihrer Vorgehensweisen zu ermöglichen. Inwieweit andere Erhebungsmethoden – Blickbewegungsstudien, bildgebende Verfahren der Neurowissenschaften u.ä. – tiefere Einblicke in die Strategien von Vorschulkindern erlauben, muss als noch ungeklärt gelten (vgl. bspw. das Themenheft „New Approaches to Studying Individual Differences in Spatial Abilities“ des Journal of Individual Differences 2010, 31(2)). Interessanterweise scheint die Schwierigkeit nicht im jeweiligen Aufgabentyp nach Maier (1999, Tab. 4, Abschnitt 3.3) begründet zu sein. So sind bspw. bei der Aufgabe *Gebäude* weit mehr Strategien erkennbar als bei der Aufgabe *Steine*, obwohl beide Aufgaben dem Aufgabentyp *Spatial Relations* zugeordnet werden. Es könnte allerdings ein Zusammenhang zwischen Verbalisierung und grundlegender Strategie vermutet werden: Bei Aufgaben, bei denen ein besonders hoher Anteil an analytischen Vorgehensweisen zu identifizieren war, ist die Anzahl nicht erkennbarer Strategien gering, während ein höherer Anteil an dynamischen Strategien mit einem höheren Anteil an nicht erkennbaren Strategien einherging. Allerdings kann auch diese Vermutung mit unseren Daten nicht hinreichend geprüft werden.

Aufgaben, die vergleichsweise wenige Strategien erkennen lassen, mögen für den Mathematikunterricht als wenig produktiv eingeschätzt werden. Mit Blick auf die eingangs gestellten Forschungsfragen ist aber auch der Einsatz dieser Aufgaben zu legitimieren, zumal die Ergebnisse unabhängig von der Anzahl erkennbarer Lö-

sungsstrategien eine eindeutige Aussage darüber zulassen, ob Kinder im Vorschulalter in der Lage sind, Aufgaben dieses Typs zu lösen oder nicht.

6 Ausblick

In diesem Beitrag wurden zehn Aufgaben vorgestellt, die den motorischen und kognitiven Fähigkeiten von Vorschulkindern gerecht werden, wenngleich nicht alle es den Kindern ermöglichen, ihr eigenes Vorgehen verständlich zu beschreiben. Dies mag auch darin begründet liegen, dass es über das räumliche Vorstellungsvermögen der Kinder dieser Altersstufe zu wenige Vergleichsdaten. Hier besteht nach wie vor Forschungsbedarf.

Doch obwohl die Ergebnisse dieser Untersuchung aufgrund ihrer Anlage Einschränkungen unterworfen sind, ergeben sich aus den Daten Hinweise für den gezielten Einsatz von Aufgaben zum räumlichen Vorstellungsvermögen im Kindergarten und zu Schulbeginn. Die verwendeten Aufgaben können dabei als Anregung gesehen werden. Das dreistufige Modell zur Auswertung der Lösungsstrategien erweist sich für den Unterricht insofern als praktikabel, als dass grundlegend verschiedene Vorgehensweisen erkannt werden und somit in der Beobachtung kognitiver Prozesse unterstützend wirken können. Die gefundenen Einflüsse auf die Lösungsraten können dabei helfen, den Schwierigkeitsgrad der Aufgaben zu variieren, die Inhalte zu ordnen und sie somit den Fähigkeiten der Kinder anzupassen.

Literatur

- Barrat, E. S. (1953). An analysis of verbal reports of solving spatial problems as an aid in defining spatial factors. *The Journal of Psychology* 36, 17–25.
- Battista, M. T. (2003). Understanding students' thinking about area and volume measurement. In G. W. Bright & D. H. Clements (Hrsg.). *Learning and teaching measurement* (122–142). Reston: NCTM.
- Battista, M. T. & Clements, D. H. (1996). Students' understanding of three-dimensional rectangular arrays of cubes. *Journal for Research in Mathematics Education* 27(3), 258–292.
- Bauersfeld, H. (1992). *Drei Gründe, geometrisches Denken in der Grundschule zu fördern*. Occasional Paper. 133. Bielefeld: Institut für Didaktik der Mathematik.
- Besuden, H. (1984). *Aufsätze zur Geometrie in Grund- und Hauptschule*. Stuttgart: Klett.
- Besuden, H. (1990). Räumliche Orientierung: Die rechts/links-Beziehung. *Mathematik in der Schule* 28(7/8), 161–175.
- Beutler, B. (2012). „Das ist das gleiche, nur anders.“ – Vorschulkinder erkennen geometrische und arithmetische Beziehungen beim Umstrukturieren von Flächen und Bauwerken. In M. Ludwig & M. Kleine (Hrsg.). *Beiträge zum Mathematikunterricht 2012* (125–128). Münster: WTM.
- Burin, D. I.; Delgado, A. R. & Prieto, G. (2000). Solution strategies and gender differences in spatial visualization tasks. *Psicológica* 21, 275–286.
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities*. Cambridge: University Press.

- Clements, D. H. (2003). Geometric and spatial thinking in early childhood education. In D. H. Clements, J. Sarama & A.-M. Dibiase (Hrsg.). *Engaging young children in mathematics* (267–297). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Colom, R.; Contreras, J.; Botella, J. & Santacreu, J. (2001). Vehicles of spatial ability. *Personality and Individual Differences* 32, 903–912.
- Donaldson, M. (1982). *Wie Kinder denken*. Bern: Hans Huber.
- Eichler, K.-P. (2006). Räumliches Vorstellungsvermögen entwickeln. *Grundschule Mathematik* 10, 40–43.
- Eliot, J. & Smith, I. M. (1983). *An international directory of spatial tests*. Windsor: NFER-Nelson.
- Franke, M. (2000). *Didaktik der Geometrie*. Heidelberg: Spektrum.
- Gardner, H. (1989). *Dem Denken auf der Spur*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Glück, J.; Kaufmann, H.; Dünser, A.; Steinbügl, K. (2005). Geometrie und Raumvorstellung – Psychologische Perspektiven. *Informationsblätter der Geometrie* 2(1), 4–11.
- Grassmann, M.; Klunter, M.; Köhler, E.; Mirwald, E.; Raudies, M. & Thiel, O. (2002). *Kinderleistungen – Lehrererwartungen*. Potsdam: Universitätsverlag.
- Grüßing, M. (2002). Wie viel Raumvorstellung braucht man für Raumvorstellungsaufgaben? – Strategien von Grundschulkindern bei der Bewältigung räumlich-geometrischer Anforderungen. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik* 34(2), 37–45.
- Grüßing, M. (2005). Räumliche Kompetenzen und Mathematikleistung. *Sache–Wort–Zahl* 71, 41–48.
- Grüßing, M. (2012). *Räumliche Fähigkeiten und Mathematikleistung. Eine empirische Studie mit Kindern im 4. Schuljahr*. Münster: Waxmann.
- Guilford, J. P. (1964). *Persönlichkeit: Logik, Methodik und Ergebnisse ihrer quantitativen Forschung*. Weinheim: Beltz.
- Höglinger, S. & Senftleben, H.-G. (1997). Schulanfänger lösen geometrische Aufgaben. *Grundschulunterricht* 44(5), 36–39.
- Kerns, K. A. & Berenbaum, S. A. (1991). Sex differences in spatial ability in children. *Behavior Genetics* 21, 383–396.
- Klieme, E.; Reiss, K. & Heinze, A. (2001). Prerequisites for the understanding of proceeds in the geometry classroom. In M. van den Heuvel-Panhuizen (Hrsg.). *Proceedings of the 25th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Vol. 4 (97–104). Utrecht: Utrecht University.
- KMK (2005). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Primarbereich*. München: Kluwer.
- Linn, M. C. & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development* 56, 1479–1498.
- Lohaus, A.; Schumann-Hengsteler, R. & Kessler, T. (1999). *Räumliches Denken im Kindesalter*. Göttingen: Hogrefe.
- Lohman, D. F.; Pellegrino, J. W.; Alderton, D. L. & Regian, J. W. (1987). Dimensions and components of individual differences in spatial abilities. In S. H. Irvine & S. E. Newstead (Hrsg.). *Intelligence and cognition: Contemporary frames of reference*. (253–312). Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Lohman, D. F. (1988). Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. In R. J. Sternberg (Hrsg.). *Advances in the psychology of human intelligence*. Vol. 4 (181–239). Hillsdale: Erlbaum.

- Luig, K. & Strässer, R. (2009). Förderung ausgewählter Aspekte der Raumvorstellung mit dynamischer Geometrie-Software. In M. Neubrand (Hrsg.). *Beiträge zum Mathematikunterricht 2009* (301–304). Münster: WTM.
- Lüthje, T. (2010). *Das räumliche Vorstellungsvermögen von Kindern im Vorschulalter – Ergebnisse einer Interviewstudie*. Hildesheim: Franzbecker.
- Maier, P. H. (1999). *Räumliches Vorstellungsvermögen – Ein theoretischer Abriss des Phänomens räumliches Vorstellungsvermögen*. Donauwörth: Auer.
- Marke, S. (2008). *Der Bilder-Rotations-Test. Ein Verfahren zur Erfassung der mentalen Rotationsfähigkeit im Vorschulalter*. Saarbrücken: VDM.
- Michael, W. B.; Guilford, J. P.; Fruchter, B. & Zimmermann, W. S. (1957). The description of spatial-visualization abilities. *Educational and Psychological Measurement* 17, 185–199.
- Merschmeyer-Brüwer, C. (2001). *Räumliche Strukturierungsprozesse bei Grundschulkindern zu Bildern von Würfelkonfigurationen – Empirische Untersuchungen mit Augenbewegungsanalysen*. Frankfurt: Lang.
- Moser Opitz, E., Christen, U. & Vonlanthen, R. (2007). Räumliches und geometrisches Denken im Übergang vom Elementar- zum Primarbereich beobachten und deuten. In U. Graf & E. Moser Opitz (Hrsg.). *Diagnostik und Förderung im Elementarbereich und Grundschulunterricht. Lernprozesse wahrnehmen, deuten und begleiten*. (133–149). Baltmannsweiler: Schneider.
- Müller, G. N.; Röhr, M. & Wittmann, E. C. (1997). *Schauen und Bauen I*. Leipzig: Klett.
- Pawlik, K. (1968). *Dimensionen des Verhaltens*. Bern: Huber.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1971). *Die Entwicklung des räumlichen Denkens beim Kinde*. Stuttgart: Klett.
- Pinkernell, G. (2003). *Räumliches Vorstellungsvermögen im Geometrieunterricht*. Hildesheim: Franzbecker.
- Putz-Osterloh, W. & Lüer, G. (1979). Wann produzieren Probanden räumliche Vorstellungen beim Lösen von Raumvorstellungsaufgaben? *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie* 26, 138–156.
- Quaiser-Pohl, C. (2001). Räumliches Denken bei Kindern: Entwicklung, Erfassung und praktische Bedeutung. *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 48, 241–245.
- Quaiser-Pohl, C.; Rohe, A. & Amberger, T. (2010). The solution strategy as an indicator of the developmental stage of preschool children's mental-rotation ability. *Journal of Individual Differences* 31(2), 95–100.
- Reinhold, S. (2007). *Mentale Rotation von Würfelkonfigurationen*. Hannover: Gottfried Wilhelm Leibniz Universität.
- Rost, D. H. (1977). *Raumvorstellung: Psychologische und pädagogische Aspekte*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Schultz, K. (1991). The contribution of solution strategy to spatial performance. *Canadian Journal of Psychology* 45, 474–491.
- Shepard, R. & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science* 171, 701–703.
- Siegler, R. S. (2001). *Das Denken von Kindern*. München: Oldenbourg.
- Souvignier, E. (2000). *Training räumlicher Fähigkeiten*. Münster: Waxmann.
- Thurstone, L. L. (1938). *Primary mental abilities*. Chicago: UP.
- Thurstone, L. L. (1950). Some primary abilities in visual thinking. *The Psychometric Laboratory Research Report* 59, 1–7.

- van Hiele, P. M. & van Hiele-Geldorf, D. (1964). Die Bedeutung der Denkebenen im Unterrichtssystem nach der didaktischen Methode. In H.-G. Steiner (Hrsg.). *Didaktik der Mathematik*. (127–139). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- van Nes, F. & de Lange, J. (2007). Mathematics education and neurosciences: Relating spatial structures to the development of spatial sense and number sense. *The Montana Mathematics Enthusiast* 4(2), 210–229.
- Vandenberg, S. G. & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations: A group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and motor skills* 47, 599–604.
- Waldow, N. & Wittmann, E. C. (2001). Ein Blick auf die geometrischen Vorkenntnisse von Schulanfängern mit dem mathe-2000-Geometrie-Test. In W. Weiser & B. Wollring, (Hrsg.). *Beiträge zur Didaktik der Mathematik für die Primarstufe* (247–261). Hamburg: Kovač.
- Wittmann, E. C. (1999). Konstruktion eines Geometrieunterrichts ausgehend von Grundideen der Elementargeometrie. In H. Henning (Hrsg.). *Mathematik lernen durch Handeln und Erfahrung*. (205–223). Oldenburg: Bültmann & Gerriets.
- Wollring, B. (1996). Räumliche Strukturen in unangeleiteten Zeichnungen von Grundschulern. In K.-P. Müller (Hrsg.). *Beiträge zum Mathematikunterricht 1996* (476–479). Hildesheim: Franzbecker.
- Wollring, B. & Rinkens, H.-D. (2007). Raum und Form. In G. Walther, G.; M. van den Heuvel-Panhuizen; D. Granzer & O. Köller (Hrsg.). *Bildungsstandards für die Grundschule: Mathematik konkret* (118–140). Berlin: Cornelsen Scriptor.

Anschrift der Verfasser

Prof. Dr. Silke Ruwisch
Leuphana Universität Lüneburg
Institut für Mathematik und ihre Didaktik
Scharnhorststr. 1
21335 Lüneburg
ruwisch@uni.leuphana.de

Dr. Thomas Lüthje
Stadtteilschule Fischbek-Falkenberg
Standort Falkenberg
Heidrand 5
21149 Hamburg
t.luehje@gmx.de

Eingang Manuskript: 15.10.2012
Eingang überarbeitetes Manuskript: 25.03.2013
Beitrag online verfügbar: 24.07.2013