

Raumstrukturierungsprozesse von Grundschulern bei der Analyse von Bildern zu Würfelkonfigurationen - Fallstudien mit Augenbewegungsanalysen

Carla Merschmeyer-Brüwer

Universität Bielefeld, Institut für Didaktik der Mathematik (IDM)

email: carlamb@uni-bielefeld.de

Abstract. Anhand einer Aufgabenstellung zum Erkennen räumlicher Beziehungen wird das Raumvorstellungsvermögen von Grundschulern exemplarisch untersucht. Dazu werden Prozesse der visuellen Informationsaufnahme und -verarbeitung von Grundschulkindern bei der Bestimmung der Anzahl an Würfeln in zweidimensionalen Schrägbildern von verschiedenen Würfelkonfigurationen mit Hilfe der Augenbewegungsregistrierung aufgezeichnet. Diese für die Mathematikdidaktik neuartige Methode wird durch Re-Interviews ergänzt. Auf diese Weise sollen anhand von Fallstudien individuelle Strategien der räumlichen Strukturierung von zweidimensional dargestellten Würfelkonfigurationen aufgezeigt werden, die sowohl auf unterschiedlich entwickeltem räumlichen Vorstellungsvermögen wie auch auf Kompetenz zur Anzahlerfassung basieren.

1. Raumvorstellung und räumliche Strukturierungsstrategien

Unter dem Erkennen räumlicher Beziehungen wollen wir in Anlehnung an Wollrings Auffassung von Raumvorstellung die Fähigkeit verstehen, „eine Konfiguration aus räumlichen Objekten und Beobachter verinnerlicht zu sehen“ (Wollring, 1997). Ein Individuum verändert mental entweder reversibel die Objektkonfiguration als Ganzheit und prägt ihr damit eine Struktur auf oder nimmt relativ zu dieser Konfiguration eine andere Position ein (vgl. ebenda, S. 130).

Im Mittelpunkt unserer Untersuchung stehen Dekodierungsprozesse bei der Erarbeitung von Bildern räumlicher Objekte. Die Zeichnung eines Objekts, wie hier in Parallelprojektion, stellt ein mathematisches Werkzeug dar, dessen Gebrauch bei Kindern erst entwickelt werden muß.

Der reverse Prozeß der *Codierung* dreidimensionaler Informationen in Zeichnungen ist bei Kindern bereits dokumentiert. Ergebnisse der Untersuchung von Ingram und Butterworth (1989) zeigen, daß Kinder im Alter zwischen 3 und 8 Jahren die relativen Positionen der Gegenstände in einer räumlichen Anordnung u. a. durch eine zeitliche Reihung in ihrer Zeichnung wiedergeben. Für unsere Untersuchung des Prozesses der *Dekodierung* ergibt sich daraus in Umkehrung der vorliegenden Untersuchungsbefunde die folgende These: Die zeitliche Abfolge der Fixationen bei der Wahrnehmung eines zweidimensionalen Schrägbildes einer Würfelkonfiguration gibt Aufschluß über die Art und Sequenz der mentalen Konstruktionen von Positionen von Teilobjekten der Gesamtkonfiguration und damit über zunehmende Strukturierungskompetenzen.

1.1. Raumvorstellungsvermögen bei der Analyse von Würfelkonfigurationen

Die Frage, wie Kinder und Erwachsene die Anzahl von Würfeln in konkret bzw. zeichnerisch vorgegebenen Würfelkonfigurationen ermitteln, ist neben Ben-Chaim, Lappan und Houang (1985) auch von Battista und Clements (1996) untersucht worden. Letztere entwickeln aus der quantitativen und qualitativen Analyse der von ihnen durchgeführten Interviews (45 Dritt- und 78 Fünftkläßler) ein Modell von hierarchisch aufeinanderfolgenden Konzepten zur Strukturierung ausgehend von in Schrägbildperspektive dargestellten quaderförmigen Würfelkonfigurationen. Ihre Befunde zeigen, daß nur 18 % der Drittkläßler im Vergleich zu 58 % der Fünftkläßler einen Quader mental in Schichten zerlegen. Das Modell von Battista und Clements erklärt dieses durch eine Entwicklung der mentalen Strukturierung bei Schülern der 3. bis 5. Klasse von einer

Sichtweise in unkoordinierten Ansichten immer mehr zu einer Sichtweise in Schichten von Würfeln.

1.2. Strukturierungsprozesse bei zweidimensionalen Problemstellungen

In ihrer jüngsten Studie analysieren Battista u. a. (1998) mit einem modifizierten Versuchsdesign die Strukturierungsprozesse, die den schon 1996 beobachteten Fähigkeiten der Schüler zugrunde liegen. Nach ihrer Überzeugung basiert jede Bearbeitung quantitativer Aufgabenstellungen in räumlichen Situationen auf dem Prozeß der räumlichen Strukturierung („spatial structuring“), den die Autoren als „mental operation of constructing an organization of form for an object or set of objects“ definieren (Battista u. a. 1998, S. 503). Die Ausprägung räumlicher Strukturierungen gehe dabei der Fähigkeit zum sinnvollen Abzählen voran (ebenda, S. 504).

Deshalb reduzieren sie die Komplexität der verwendeten Aufgaben auf ebene Problemstellungen und analysieren die Strukturierungskompetenzen von Kindern der 2. Klasse (7-8 Jahre alt) anhand von Anzahlbestimmungen zu zweidimensionalen, rechteckförmigen Feldern mit unvollständig dargestellten Quadratmustern, die man sich jedoch vollständig aus Quadraten zusammengesetzt vorstellen soll.

Die Autoren klassifizieren aus ihren Beobachtungen während der Bearbeitung dieser Aufgaben insgesamt fünf hierarchisch aufeinanderfolgende Stufen der Strukturierung rechteckförmiger Quadrat-Felder. Diese Stufen („levels“) heben ab auf eine Entwicklung, die von einem vollständigen Mangel an Zeilen- oder Spalten-Strukturierung ausgeht und fortschreitet bis zu einem hoch evolvierten, internalisierten und iterativen Zeilen- per Spalten-Strukturierungsprozeß (Battista u. a., 1998).

Auf dieser Basis gelingt nicht nur der Nachweis, daß bei Kindern graduell unterschiedliche Typen von Raumstrukturierungsprozessen ausgebildet sind. Vielmehr belegen die Autoren auch, daß in zweidimensionalen Veranschaulichungen bestimmte Interpretationen von Darstellungsmodi (hier die Zeilen- und Spalten-Struktur aus Quadraten zusammengesetzter Rechteck-Felder) erst individuell aufgebaut werden müssen. Dieses steht in Einklang mit einer konstruktivistischen Sichtweise von geistigen Operationen (vgl. Battista u. a., 1998, S. 531). Die Frage, wie Kinder die Anzahl von Würfeln in Bildern von Würfelkonfigurationen, in einer konstruktivistischen Sicht gedeutet, ermitteln, ist damit jedoch immer noch als weitgehend unbeantwortet zu betrachten.

2. Methode der Augenbewegungsmessung

Die Methode der unmittelbaren Verhaltensbeobachtung durch Augenbewegungsregistrierung ist bisher nur selten zur Analyse von Aufgabenbearbeitungen, die eine Nähe zur Mathematik bzw. zum Mathematikunterricht haben, eingesetzt worden (z. B. Verschaffel, De Corte & Pauwels, 1992: Lesen von mathematischen Textaufgaben; Verschaffel, De Corte, Gielen & Struyf, 1994: arithmetische Strategien; Locher & Nodine, 1987: Symmetriephänomene; Putz-Osterloh & Lühr, 1979 und Just & Carpenter, 1985: Mentale Rotationen).

Die Forschung mit der Augenbewegungsregistrierung geht von einigen methodologischen Grundannahmen aus (vgl. Just & Carpenter, 1980; Rayner & Sereno, 1994), die auch die kritischen Aspekte dieser Methode beleuchten. So werden Augenbewegungen als zielgerichtet aufgefaßt und werden, bewußt oder unbewußt, dazu eingesetzt, Informationen aus dem Wahrnehmungsfeld auszuwählen oder zu strukturieren. Der Aufmerksamkeitsfokus entspricht der Blickrichtung („eye-mind assumption“). Eine Informationsaufnahme erfolgt bei statischem visuellen Material nur während der Fixierung eines Objektes durch das Auge und nicht bei Blicksprüngen, den sogenannten Sakkaden (Houtmans & Sanders, 1983). Sakkaden dienen ausschließlich der Neupositionierung des Auges. Die Fixationsdauer entspricht der Dauer der zentralen Verarbeitung

(„immediacy assumption“). Weiterhin spiegelt die Sequenz der Augenbewegungen die serielle Verarbeitung der visuellen Information wider. Nach Just und Carpenter (1980, S. 331) gilt als allgemein gültige Annahme, daß interne, kognitive Prozesse synchron zu Fixationen ablaufen. Überdurchschnittlich lang andauernde Fixationen werden dabei als Indikatoren für eine starke kognitive Aktivität zur Konstruktion der angemessenen mentalen Repräsentation angesehen (vgl. Pomplun u. a., 1995). Die vorab genannten Annahmen sind wissenschaftlich nicht unumstritten (vgl. Rayner & Sereno, 1994). So läßt sich beispielsweise nicht mit Sicherheit ausschließen, daß nicht ein Teil der Prozesse schon bei einer früheren Fixation abgelaufen ist, d. h. ein sogenannter „parafovealer preview effect“ auftritt. Ebenso werden unterschiedliche Modelle zur Kontrolle der Augenbewegungen diskutiert.

Deshalb kann man die Augenbewegungsmeßmethode nicht als perfekte Wiedergabe der mit einem Verstehensprozeß einher gehenden mentalen Aktivitäten auffassen. Sie ist aber eine tragfähige Methode, im Sinne einer anwendungsbezogenen Forschungsintention, über objektivierbare Prozeßvariablen den Verlauf der Informationsaufnahme- und -verarbeitung zu charakterisieren.

3. Design der Untersuchung: Einsatz der Augenbewegungsregistrierung

Die Subjektivität der Interpretationen der Augenbewegungsabfolgen sowie der Artikulationsmuster soll in unserer Untersuchung dadurch überwunden werden, daß aus einem ersten Aufgabenset Hypothesen über individuelle Lösungsstrategien entwickelt werden, die jeweils nach kurzem zeitlichen Abstand in einem zweiten Aufgabenset geprüft werden. Um wiederum die Inter-subjektivität der Interpretationen der Augenbewegungsmuster zu jeweils einem Set von Würfelbildern kontrollieren zu können, werden die Augenbewegungsdaten in weiteren, unmittelbar nachfolgenden Versuchsteilen durch retrospektive Interviews ergänzt. Man gewinnt so weitere Hinweise auf die Ausbildung spezifischer Lösungsstrategien und ihre Determinierung durch subjektive wie aufgabenimmanente Variablen. Dabei werden die Kinder zu einigen der bereits bearbeiteten Aufgaben erneut befragt und in ihrem Verhalten beobachtet (z. B.: Wie hast Du die Anzahl an Würfeln für dieses Bauwerk bestimmt?).

Die per Eye-Tracker-Aufzeichnung (Typ OMNITRACK) ermittelten Daten umfassen in zeitlicher Abfolge die Bildschirmkoordinaten einer Fixation und ihre jeweilige Dauer sowie die zugehörige Pupillenöffnungsweite. Eine weitere Auswertung der Daten und deren Interpretation erfolgt zunächst mit Hilfe des von uns entwickelten Computerprogramms "Vision". Diese Software leistet neben der Berechnung statistischer Kennwerte insbesondere eine Veranschaulichung der aufgetretenen Blickfolgen, indem sie die einzelnen Fixationen per Superposition als Kreise auf die präsentierte visuelle Vorlage projiziert. Diese werden dabei in der Abfolge ihres Auftretens durch gerichtete Pfeile miteinander verbunden. Für jede Fixation wird in dem sie repräsentierenden Kreis ihre Dauer in ms angegeben. Auf diese Weise erhalten wir zeitbasierte Dokumente, die wie Transkripte der interaktionsanalytisch orientierten Forschung einer sequentiellen Interpretation zugänglich werden (für jedes Würfelbild Sequenzen von Bildern individueller Aufmerksamkeitsfokussierungen).

4. Augenbewegungen als Indikatoren für Raumstrukturierungsprozesse

Unsere Problemstellung der Bestimmung der Anzahl von Würfeln anhand von Schrägbildern zu Würfelkonfigurationen wird in eine Lernumgebung von realen Holzwürfelbausteinen eingebettet. Dieses Verständnis wird den Kindern vorab in einem kurzen Einführungsinterview vermittelt.

Es ist davon auszugehen, daß die konkrete, einzelne räumliche Strukturierung von (mindestens) zwei Variablen beeinflusst wird, nämlich einerseits vom Komplexitätsgrad der jeweiligen Aufgabe (z. B. Dimensionalität, Anzahl der Würfel, Konvexität oder Nicht-Konvexität im dreidimensionalen euklidischen Raum) andererseits vom individuellen Grad der Entwicklung des Raum-

vorstellungsvermögens sowie der Anzahlerfassungskompetenz. Höher entwickelte Kompetenz sollte sich in der Fähigkeit der Kinder zeigen, nicht nur die Einzelwürfel identifizieren zu können, sondern über die Identifikation von Beziehungen einzelner Würfel zu anderen Substrukturen (Würfelpaare und -drillinge, Stangen, Schichten) und Simultanerfassung den Prozeß der Anzahlermittlung über das Arbeiten mit solchen Substrukturen verkürzen zu können.

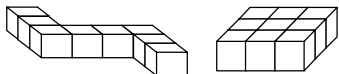
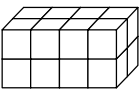
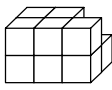
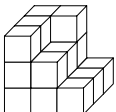
Bild				
Strukturtyp	Typ LF: lineare bzw. flächige Anordnung	Typ RV: dreidimensionale Anordnung mit verdeckten Würfeln:		
		konvex	nicht konvex, zusätzlich partiell verdeckte Würfel	nicht konvex

Abb. 1: Ausgewählte Beispiele von präsentierten Bildern zu verschiedenen Strukturtypen von Würfelkonfigurationen

So ergeben sich folgende Fragekomplexe: Welche Strategien der räumlichen Strukturierung wählen Kinder für die Lösung? Welche Zählprozesse begleiten die Strukturierungen? Kann man intra-individuelle räumliche Strukturierungsstrategien identifizieren?

4.1. Fallstudie zu einem individuellen Raumstrukturierungsprozeß

An einem ausgewählten Fallbeispiel soll im folgenden gezeigt werden, daß die Methode der Augenbewegungsanalyse Antworten zu den vorab genannten Fragekomplexen liefern kann. Im folgenden ist der Augenbewegungsweg bei der Bearbeitung der Aufgabe so dargestellt, wie ihn das Vision-Programm generiert (vgl. 3.). Die Beschreibung und Deutung der individuellen Strukturierungsprozesse erfolgt jeweils bezogen auf die reale Würfelkonfiguration, gemeint sind jedoch die mentalen Konstrukte in der von den Kindern zu dem präsentierten Bild jeweils aufgebauten mentalen Repräsentation.

Martin, 10;9 Jahre alt, 4. Schuljahr: Martin hat Lernschwierigkeiten in Mathematik, die insbesondere im arithmetischen Bereich offensichtlich werden. Insbesondere kann Martin arithmetische Operationen im Zahlenraum bis 20 noch nicht vollständig automatisiert ausführen. Es fällt auf, daß er bei diesen Aufgaben fast ausschließlich zählende Rechenstrategien nutzt. Dabei treten häufig (+1) bzw. (-1)-Fehler auf.

Unsere Untersuchungsbefunde stützen die Hypothese, daß Martin nicht ausreichend über Strategien zur Tiefendekodierung dieser Perspektivzeichnungen verfügt. Belege zeigen sich darin, daß Martin bei Würfelbildern, die linear oder flächig angeordnete Würfelkonfigurationen darstellen, sinnvolle Strukturierungen vornehmen kann und so überwiegend zu einer korrekten Anzahlbestimmung kommt. Sein Zählmodus greift häufig auf das Abzählen über Einer zurück. Hat er in Würfelbildern mit flächiger Anordnung eine Stange identifiziert, zählt er die Würfel zunächst in Einerschritten ab, kann aber dann eine ggf. vorhandene sichtbare, parallele und kongruente Stange simultan erfassen.

Dagegen konzentriert sich Martin bei Bildern zu dreidimensional angeordneten Würfelkonfigurationen eher auf im Bild sichtbare Subeinheiten von Würfeln und zeigt Probleme mit der Rekonstruktion der - bezogen auf die reale Holzwürfel-Umgebung - verdeckten Würfel. Er bildet dabei bestimmte Strukturierungseinheiten (z. B. Stangen), die er - solange alle zugehörigen Würfel auch im Bild sichtbar sind - zu größeren, übergeordneten Einheiten, wie Schichten zusammenfassen kann. Er ist dann aber nicht mehr in der Lage, weitere, aber nicht vollständig sichtbare Strukturierungseinheiten zu erfassen. So kann er z. B. bei einem Bild eines Quaders in der

zugehörigen Konfiguration nicht eine zu der bereits erfaßten Frontschicht kongruente Schicht identifizieren.

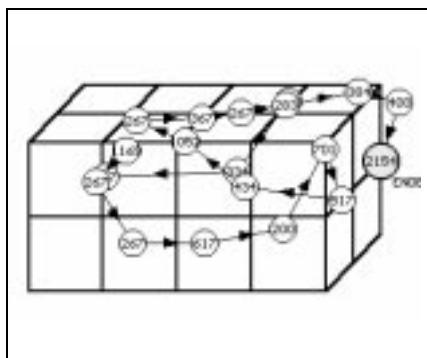


Abb. 2: Martin fixiert zunächst in der frontalen xz-Schicht die obere x-Viererstange, dann die dazu kongruente untere x-Stange. Schließlich registriert er die in der oberen xy-Schicht befindliche hintere x-Viererstange, wechselt dann zur Seitenansicht des Quaders und fixiert die beiden Würfel der hinteren z-Zweierstange. Nach 12,45 s gibt er die Anzahl mit 14 anstatt korrekt mit 16 an (durchschnittl. Fixationsdauer 555 ms, Gesamtdauer aller Fixationen 10,55 s).

Diesen Scanweg kann man insgesamt als eine Strategie der Strukturierung über sichtbare Stangen mit annähernd simultaner Erfassung der Anzahl an Würfeln pro Stange und Ergänzung um sichtbare Einer deuten. Im Re-Interview bestätigt Martin im wesentlichen diese Vorgehensweise.

Protokoll des Re-Interviews Martin: 10;9 Jahre	Deutung des Lösungsverhaltens in Einzelschritten
<p><i>Und wie löst Du das für dieses Bauwerk?</i></p> <p>Also erst hier vorne die zwei Reihen und dann hinten die Reihe und dann den einen.</p> <p><i>Ah, rechne mal vor.</i></p> <p>Vier plus vier sind acht, plus vier sind zwölf plus eins sind dreizehn.</p> <p><i>Mhm, o.k.!</i></p>	<p>Martin streicht jeweils mit dem Finger über x-Viererstangen und tippt auf den Einzelwürfel in Position (4,2,1). So erfaßt er zunächst die beiden vorderen x-Viererstangen („vier und vier, ...“). Dazu addiert er die sichtbare, obere und hintere x-Viererstange („... plus vier sind zwölf ...“) sowie den einen sichtbaren Würfel der unteren hinteren Würfelreihe („... plus eins sind dreizehn.“). Alle drei nicht sichtbaren Würfel der verdeckten y-Viererstange erfaßt und zählt er nicht.</p> <p style="text-align: center;">"... und dann hinten die Reihe ..."</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">"hier vorne die zwei Reihen ..."</p> <p style="text-align: right;">"... und dann den einen."</p>

Martins Angaben im Re-Interview deuten mit Blick auf die Anzahlerfassung darauf hin, daß er die von ihm gebildeten Strukturelemente (hier Stangen) simultan erfaßt („die zwei Reihen“, „vier plus vier ...“). Die Augenbewegungen zeigen jedoch, daß er in dieser Situation diese Stangen keineswegs „auf einen Blick“, sondern die Würfel zum Teil einzeln mental rekonstruiert und zählt. Er versucht, über das Strukturieren und Zählen der von verschiedenen Ansichten aus sichtbaren Subeinheiten die Aufgabe zu lösen. Aber auch im Re-Interview erbringt er dann keine für die gewählte Lernumgebung rekonstruktionswirksame Tiefendekodierung. Er kann aber die aus verschiedenen Ansichten gebildeten Strukturierungseinheiten räumlich miteinander koordinieren. Aus diesem Fallbeispiel wird ersichtlich, daß räumliche Strukturierungsweisen im Hinblick auf vergleichbare Typen von Würfelkonfigurationen auch intraindividuell relativ konstant sein können.

5. Konsequenzen und Ausblick

Dieses Beispiel verdeutlicht, daß an der Ausprägung der Fähigkeit räumlicher Strukturierung verschiedene Komponenten beteiligt sind: Kompetenz zur Bildung komplexer Strukturierungselemente, Tiefendekodierung und Strukturierungskoordination sowie die Kompetenz zur Anzahlerfassung. Die mentale Konstruktion einer angemessenen Repräsentation für eine dreidimensionale Würfelkonfiguration erfordert also eine komplexe Wechselwirkung zwischen räumlichen und

numerischen Strukturierungsprozessen. Die Erforschung dieser Wechselwirkungsprozesse ist für weitere Untersuchungen zu dieser Aufgabenstellung von großem didaktischem Interesse.

Die Relevanz der Augenbewegungsmeßmethode zeigt sich insbesondere darin, daß sie differenzierte Strategien bei Schülern mit unterschiedlich evolvierten Kompetenzen während der Lösung raumgeometrischer Problemstellungen aufzuzeigen vermag. So ist eine modellhafte Erklärung von an Visualisierungsfähigkeiten gebundenen Fähigkeitskomplexen denkbar. Die Methode ist damit auch ein tragfähiges Instrumentarium für die Feststellung individueller Lernausgangssituationen. Sie kann darüber hinaus aber auch beitragen, die Effektivität verschiedener Schulungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Modifizierbarkeit kognitiver Prozesse zu analysieren. Deshalb stellt die Augenbewegungsmessung eine sinnvolle Methodik auch für die Untersuchung mathematikdidaktischer Fragestellungen dar.

Literatur

- Battista, M. T. & Clements, D. H. (1996). Students' Understanding of Three-Dimensional Rectangular Arrays of Cubes. *Journal of Research in Mathematics Education*, 27 (3), 258-292.
- Battista, M. T.; Clements, D. H.; Arnoff, J.; Battista, K. & Van Auken Borrow, C. (1998). Students' Spatial Structuring of 2D Arrays of Squares. *Journal for Research in Mathematics Education*, 29 (5), 503-532.
- Ben-Chaim, D.; Lappan, G. & Houang, R. T. (1985). Visualizing Rectangular Solids Made of Small Cubes: Analyzing and Effecting Students' Performance. *Educational Studies in Mathematics*, 16, 389-409.
- Houtmans, M. J. & Sanders, A. F. (1983). Is Information Acquisition During Large Saccades Possible? *Bulletin of the Psychonomic Society*, 21 (2), 127-130.
- Ingram, N. & Butterworth, G. (1989). The Young Child's Representation of Depth in Drawing: Process and Product. *Journal of Experimental Child Psychology*, 47, 356-369.
- Just, M.A. & Carpenter, P.A. (1980). A Theory of Reading: From Eye Fixations to Comprehension. *Psychological Review*, 87, 329-354
- Just, M.A. & Carpenter, P.A. (1985). Cognitive Coordinate Systems: Accounts of Mental Rotation and Individual Differences in Spatial Ability. *Psychological Review*, 92 (2), 137-172.
- Locher, P.J. & Nodine, C.F. (1987). The role of eye movements in the detection of perturbations of symmetry. In *Fourth European Conference on Eye Movements*, Göttingen, Germany, Vol. 1 - Proceedings, 182 - 183.
- Merschmeyer-Brüwer, C. (1997). Augenbewegungen als Indikatoren für Raumvorstellungsvermögen bei Grundschulern. *Occasional Paper* Nr. 161, IDM - Universität Bielefeld.
- Merschmeyer-Brüwer, C. (1998): Wie sehen und strukturieren Grundschüler eine zweidimensionale Darstellung von Würfelkonfigurationen? - Fallstudien zu Bearbeitungsstrategien mit Augenbewegungsanalysen. In *Beiträge zum Mathematikunterricht. Vorträge auf der 32. Tagung für Didaktik der Mathematik* (455-458), Hildesheim: Franzbecker.
- Pomplun, M.; Sichelschmidt, L.; Wagner, K.; Velichkovsky, B.; Rickheit, G. & Ritter, H. (1995). Visuelle Suchprozesse beim Vergleich zweidimensionaler Objektmengen, Teil I. *Report 95/9 - Situierete Künstliche Kommunikatoren*, SFB 360, Universität Bielefeld.
- Putz-Osterloh, W. & Lüer, G. (1979). Wann produzieren Probanden räumliche Vorstellungen beim Lösen von Raumvorstellungsaufgaben? *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 26, 138-156.
- Rayner, K. & Sereno, S. C. (1994). Eye movements in reading: Psycholinguistic Studies. In Gernsbacher, Morton Ann (Ed); et-al. (1994). *Handbook of psycholinguistics*. San Diego, CA, USA: Academic Press, Inc., 57 - 81.
- Verschaffel, L.; De Corte, E. & Pauwels, A. (1992). Solving Compare Problems: An Eye Movement Test of Lewis and Mayer's Constancy Hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 84 (1), 85 - 94.
- Verschaffel, L.; De Corte, E.; Gielen, I. & Struyf, E. (1994). Clever rearrangement strategies in children's mental arithmetic: A confrontation of eye movement data and verbal protocols. In Luit, J. E. H. (Ed.): *Research on Learning and instruction of mathematics in kindergarten and primary school* (pp. 153-180). Doetinchem, Rapallo: Graviant Publishing company.
- Wollring, B. (1997). Beispiele zu raumgeometrischen Eigenproduktionen in Zeichnungen von Grundschulkindern - Bemerkungen zur Mathematikdidaktik für die Grundschule. In Becher, H. R. & Bennack, J. (Hrsg.): *Taschenbuch Grundschule* (126-140). Baltmannsweiler: Schneider-Verlag, 3. Auflage.