



Zusammenhänge zwischen semantisch-lexikalischen Fähigkeiten und mathematischen Kompetenzen

Relationship between semantic-lexical knowledge and mathematic abilities

Claudia Heinzl, Sabine Seibt

Zusammenfassung

Hintergrund: Langzeitstudien aus dem angloamerikanischen Raum deuten darauf hin, dass Kinder mit Spracherwerbsstörungen häufig auch im mathematischen Bereich benachteiligt sind. Jedoch fehlt es aktuell an Forschungsergebnissen, die den Zusammenhang zwischen Sprache und Mathematik für den deutschsprachigen Raum spezifizieren. Im Rahmen eines Forschungsprojekts, durchgeführt mit Studierenden der Sprachheilpädagogik an der LMU München wurde deshalb die Frage untersucht, inwiefern sich ein Zusammenhang zwischen semantisch-lexikalischen Fähigkeiten und mathematischen Kompetenzen nachweisen lässt.

Fragestellung: Inwiefern liefern semantisch-lexikalische Fähigkeiten über das phonologische Arbeitsgedächtnis und die nonverbalen kognitiven Fähigkeiten hinaus einen signifikanten Beitrag zur Erklärung von Leistungsunterschieden im mathematischen Bereich? Wie groß sind die Beiträge der Prädiktoren für die beiden mathematischen Teilkomponenten der „Zahlverarbeitung“ und dem „Rechnen“?

Methode: 64 Kinder mit sonderpädagogischem Förderbedarf der Klassen 1–4 wurden hinsichtlich ihrer Wortschatzleistung, der nonverbalen Intelligenz und dem phonologischen Arbeitsgedächtnis sowie ihrer mathematischen Kompetenzen überprüft. Die gewonnenen Daten wurden mit Hilfe eines „Gemischten Modells“ und Korrelationsanalysen ausgewertet.

Ergebnisse: Während der expressive Wortschatz auf die standardisiert erhobenen Mathematikleistungen im Ganzen und die Zahlverarbeitung im Einzelnen nur einen marginalen Einfluss hat, konnten signifikante Zusammenhänge mit den Rechenleistungen nachgewiesen werden.

Schlussfolgerungen: Die Untersuchungsergebnisse legen nahe, dass Schwierigkeiten im Rechnen bei Kindern mit SSES auch mit deren semantisch-lexikalischen Beeinträchtigungen zu tun haben können. Zukünftige Forschungsarbeiten müssten klären, wie dieses „Hindernis“ durch andere Formen der Wissensvermittlung umgangen werden könnte.

Schlüsselwörter:

Semantik und Lexikon, Arbeitsgedächtnis, Kognition, Mathematik, Zahlverarbeitung, Rechnen

Abstract

Background: Long-term studies from the Anglo-American area indicate that children with language disorders develop difficulties in the mathematical field. But up to date, there is a lack of research results to specify the relation between language and maths skills in german speaking countries. In a cross sectional research project the question was raised, in how far semantic-lexical skills influence the acquirement of mathematical skills.

Questions: How far do semantic-lexical skills, phonological working memory and non-verbal cognitive skills explain individual differences in competences in the mathematical field? Are there significant differences for the mathematical partial competence “number processing” and “arithmetic”?

Methods: 64 children with special educational needs from class 1-4 were tested to analyze their skills concerning vocabulary, non-verbal intelligence, phonological working memory and mathematics. The obtained data were analyzed with the help of the “mixed model” and analysis of correlation.

Results: While there is only a marginal influence of the expressive vocabulary on standardized risen maths skills as a whole and number processing, it was possible to prove a significant influence on arithmetic.

Conclusions: The findings suggest that difficulties in arithmetic of children with SSES may correlate with their semantic-lexical difficulties. Future investigations should clarify how this "barrier" could be obviated by other forms of knowledge transfer.

Keywords

Semantics, working memory, cognition, mathematics, number processing, arithmetic

1 Einleitung

Mathematische Schwierigkeiten bei Kindern und Jugendlichen haben ohne geeignete Intervention eine ungünstige Entwicklungsperspektive. Aufgrund der Bedeutung mathematischer Kompetenzen in Schule, Freizeit und Beruf ist die vollständige Teilhabe von Kindern mit mathematischen Lernschwierigkeiten an der Gesellschaft ohne sonderpädagogische Beratungs-, Bildungs- und Unterstützungsangebote gefährdet. Untersuchungsergebnisse weisen bspw. darauf hin, dass die Auswirkungen mathematischer Schwierigkeiten im gesellschaftlichen Kontext gravierender sind als bisher angenommen: So liegt die Erwerbslosigkeitsrate bei Erwachsenen mit schwachen Rechenleistungen höher als bei denjenigen mit Lese-Rechtschreibschwierigkeiten (Landerl & Kaufmann 2008).

Untersuchungsergebnisse aus dem angloamerikanischen Raum lieferten erste Hinweise darauf, dass Kinder und Jugendliche mit Spracherwerbsstörungen im schulischen Bereich auch beim Erwerb mathematischer Kompetenzen Schwierigkeiten haben können (Fazio 1994, 1995, 1999, Harrison et al. 2009, Durkin et al. 20113). Bislang liegen aber keine Arbeiten vor, die Zusammenhänge zwischen sprachlichen und mathematischen Teilfähigkeiten für den deutschsprachigen Raum spezifiziert hätten.

Das Ziel der im folgenden Beitrag vorgestellten Untersuchung besteht darin zu ermitteln, ob bei spracherwerbsgestörten Kindern auch mathematische Schwierigkeiten offensichtlich werden und ob sich spezifische Zusammenhänge zwischen sprachlich-kognitiven Kompetenzen und mathematischen Fähigkeiten nachweisen lassen. Dabei werden unter dem Begriff der mathematischen Kompetenzen die Zahlverarbeitung und arithmetische Fähigkeiten subsummiert, während geometrische Inhalte und Ziele des Lehrplans unberücksichtigt bleiben.

Im Zusammenhang mit sprachlichen Schwierigkeiten betont Lorenz (2010) die Quantität des mathematischen Fachwortschatzes, den sich Kinder in den ersten vier Grundschuljahren aneignen müssen und bezeichnet die Mathematik als erste Fremdsprache, die es für die Kinder zu erlernen gilt, weshalb ein Einfluss zwischen lexikalischen Fähigkeiten und mathematischen Kompetenzen anzunehmen ist (vgl. auch Seiffert 2012). Vermutlich ist bei spracherwerbsgestörten Kindern aber nicht nur der Erwerb des mathematischen Fachwortschatzes erschwert, vielmehr dürften spracherwerbsgestörte Kinder bereits im Vorschulalter beim Erwerb der Zahlenfolge und der Bedeutung der Zahlwörter Schwierigkeiten haben. Der Erwerb des Zahlwortes ist deutlich komplexer als bspw. der eines Wortes für ein konkretes Objekt, da beim Erwerb der Zahlwörter von der Bedeutung des nachfolgenden Objektwortes abstrahiert werden muss und verstanden werden muss, dass sich das Wort auf eine spezifische Menge unabhängig von dem aktuell gezählten Objekt bezieht. Der Erwerb der Zahlwörter und des Zählens sind Grundvoraussetzungen für alle weiteren mathematischen Fähigkeiten, so dass Unsicherheiten im Aufbau der Zahlwortreihe und des Zählens auch zu Schwierigkeiten in den arithmetischen Fähigkeiten führen können¹. Aus diesem Grund liegt der Schwerpunkt der folgenden Ausführungen auf der lexikalischen Ebene, während die Satz- und Textsemantik ausgeklammert wird.

¹ Die Autoren bedanken sich bei einem der Gutachter für diesen wertvollen Hinweis.

2 Theoretische Positionierung

2.1 Semantik und Lexikon

2.1.1 Begriffsklärung

Der Motor für das beginnende sprachliche Lernen liegt Tomasello (2000) zufolge in erster Linie in der Motivation des Kindes, seine Bezugspersonen verstehen zu wollen und verstanden zu werden. Ein zentraler Grundpfeiler einer gelingenden zwischenmenschlichen Kommunikation ist das semantisch-lexikalische Wissen des Kindes.

Die Semantik als Teilgebiet der Linguistik beschäftigt sich mit der Ebene der Bedeutung sprachlicher Zeichen bzw. mit der Sprache als sinnerzeugendem System. Sie lässt sich unterteilen in eine Wort-, Satz- und Textsemantik (Kannengießler 2012), wobei sich die Wortsemantik auf die Bedeutung von Lexemen bezieht, während die im vorliegenden Beitrag unberücksichtigte Satz- und Textsemantik auf die Bedeutung komplexer sprachlicher Ausdrücke (Phrasen, Satzglieder, Sätze ...) referiert und in engem Zusammenhang mit der Grammatik und Pragmatik steht.

Semantisch lexikalische Fähigkeiten, als Teilbereich semantischer Fähigkeiten sind demnach Ausdruck der Kompetenz eines Individuums, „Wörter [...] im komplexen Kontext der Sprachproduktion und -rezeption erkennen, speichern und abrufen zu können“ (Glück 2007, 2).

2.1.2 Das mentale Lexikon

Die Strukturen im Langzeitgedächtnis, in denen all das gesamte Wortwissen, das einem Menschen zur Verfügung steht, in hochorganisierter Weise gespeichert ist, werden als mentales Lexikon bezeichnet. Dabei beinhaltet das Wortwissen neben der Bedeutung (Wortsemantik) auch syntaktisches, morphologisches und phonologisches Wissen. Ergebnisse aus alltäglichen Beobachtungen (z. B. „Tipp-of-the-tongue-Phänomen“) sowie pathologische Phänomene bei zentral verursachten Sprach- und Sprechstörungen veranlassten Levelt (1989) davon auszugehen, dass diese unterschiedlichen Wissensaspekte nicht als geschlossene Einheit, sondern getrennt voneinander repräsentiert sind. Er unterscheidet dabei die semantisch-konzeptionelle Ebene (Lemmaebene), auf der semantische und syntaktische Informationen gespeichert sind, während die phonologisch-morphologischen Informationen auf Lexemebene repräsentiert sind. Lemma und Lexem sind also aufeinander bezogene Aspekte des Wortwissens, die aber getrennt voneinander gespeichert sind. Im Moment des Wortabrufs wählt der Sprecher ein seinen kommunikativen Intentionen entsprechendes Lemma aus, bevor die phonologische Form auf Lexemebene, mittels sogenannter „lexical pointer“ angesteuert wird (Abb. 1).

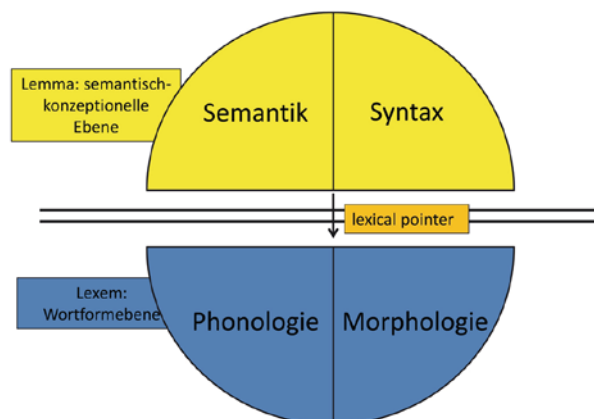


Abb.1: Modell des mentalen Lexikons nach Levelt (1989)

Die semantischen Informationen (Bedeutung) zu einem Wort (z. B. Hund) auf Lemmaebene, können als Bündel von Bedeutungsmerkmalen (Tier, vier Beine, Fell, Schnauze...) aufgefasst werden (Mayer 2012). Zusammen mit diesem konzeptionellen Wissen sind auf Lemmaebene die syntaktischen Informationen eines Wortes gespeichert, z. B. Informationen über mögliche Funktionen des Wortes im Satz, die Wortart und die Valenz (bei Verben). Die morphologischen Informationen auf Lexemebene beinhalten bspw. das Wissen um das Genus, die Flexionsformen sowie die Tempusbildung. Die phonologische Seite (Wortform) enthält Details über die Silben-

und Lautstruktur des lexikalischen Eintrags. Zu einem Wort gehören also immer zwei Seiten: die Bedeutung und die Wortform.

Neben seiner Speicherkapazität zeichnet sich das mentale Lexikon durch die hohe Zugriffsgeschwindigkeit und Genauigkeit des Wortabrufs aus. So gelingt es einem erwachsenen Sprecher durchschnittlich 150 Wörter pro Minute zu produzieren und aus den etwa 15.000 gespeicherten Lexemen, die das produktive Lexikon ausmachen, das auszuwählen, das am besten geeignet ist, seine kommunikativen Intentionen auszudrücken (Glück 2005, 77).

2.1.3 Semantisch-lexikalische Störungen

„Eine semantisch-lexikalische Störung wird festgestellt aufgrund fehlenden, unzureichenden oder nicht abrufbaren, semantischen oder lexikalischen Wissens. Sie kann sich äußern als Sprachproduktionsstörung, bei der es dem Kind häufig und anhaltend nicht altersentsprechend gelingt, eine sprachliche Form zu bilden, die entsprechend der Äußerungsintention angemessen lexikalisch besetzt ist oder als Sprachverständnisstörung, bei der es dem Kind nicht oder nicht vollständig gelingt, eine sprachliche Äußerung lexikalisch zu interpretieren“ (Glück 2008, 40).

Kinder, bei denen im Laufe ihrer Sprachentwicklung semantisch-lexikalische Defizite offensichtlich werden, zeigen bereits im Kleinkindalter erste Auffälligkeiten. Diese lassen sich dadurch charakterisieren, dass die ersten Wörter, die im ungestörten Spracherwerb üblicherweise um den ersten Geburtstag herum auftauchen, deutlich verspätet in kommunikativer Absicht benutzt werden und dass im Alter von zwei Jahren das produktive Lexikon den kritischen Wert von etwa fünfzig Wörtern nicht erreicht. Gemeinsam mit Schwierigkeiten im Sprachverständnis und fehlenden Wortkombinationen entsprechen diese Auffälligkeiten einem late talker-Profil (Sachse 2007).

Aufgrund ausbleibender Phasen raschen Wortschatzwachstums, lassen sich semantisch-lexikalisch beeinträchtigte Kinder über viele Jahre hinweg durch einen geringen Wortschatz charakterisieren, der nur langsam an Umfang zunimmt und üblicherweise bis ins Jugend- und Erwachsenenalter gering bleibt. In diesem Fall gelingt es den Kindern nicht, eine ausreichend große Anzahl an Wörtern im mentalen Lexikon abzuspeichern (quantitatives Defizit).

Andere Kinder mit semantisch-lexikalischen Defiziten haben zwar eine altersangemessene Anzahl an Einträgen abgespeichert, jedoch sind diese nicht von ausreichend hoher Qualität (qualitatives Defizit). Dabei kann von der geringen Speicherqualität sowohl die Bedeutungs- als auch die Wortformebene betroffen sein. Auf semantisch-konzeptioneller Ebene lässt sich das qualitative Defizit durch unzureichend differenzierte oder zu wenige Bedeutungsmerkmale charakterisieren, die mit der Wortform assoziativ verknüpft sind. Es kommt zu semantisch motivierten Ersetzungen, Vertauschungen und zur Verwendung von bedeutungsähnlichen, im kommunikativen Kontext aber unpassenden Wörtern. Bei einem qualitativen Defizit auf Wortformebene sind die phonologischen Repräsentationen nicht von ausreichender Qualität. Das Kind hat lediglich eine diffuse Repräsentation der Phonemfolge, der Silbenstruktur, des metrischen Musters etc. abgespeichert. Es kommt zu sogenannten phonologischen Paraphasien, also zur Verwendung von phonologisch ähnlichen (Pseudo-)wörtern (z.B. „Tokolomive“ statt „Lokomotive“) (Mayer 2012, Ulrich 2012).

Aufgrund der geringen Speicherqualität kann es bei Kindern mit semantisch-lexikalischen Defiziten zu Verlangsamungen, Verzögerungen und Ungenauigkeiten im Zugriff auf die Einträge kommen (Wortabrufstörungen).

Als wesentliche kognitive Grundlage für den Erwerb altersangemessener lexikalischer Fähigkeiten wird die Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses, insbesondere der phonologischen Schleife, diskutiert. Baddeley et al. (1998) gehen davon aus, dass die primäre Funktion dieser Gedächtniskomponente im Erwerb unvertrauter phonologischer Formen zu suchen ist. Diese müssen in der phonologischen Schleife ausreichend lang aufrechterhalten werden, um analysiert und ins Langzeitgedächtnis transferiert werden zu können.

2.2 Mathematische Fähigkeiten

Auch wenn die meisten Kinder schon vor Schulbeginn eine Grundvorstellung von mathematischen Operationen besitzen, ist diese meist an konkrete Handlungssituationen gebunden. Die Kinder kommen in diesem Stadium eher durch informelle Lösungswege als durch das formale Lösen arithmetischer Gleichungen ans Ziel (Landerl & Kaufmann 2008). Wenn Anna zum Beispiel fünf Gummibärchen hat und ihre Mutter ihr sagt sie darf sich noch drei nehmen, kann sie durchaus durch „mentales Abzählen“ (Carpenter & Moser 1984) zu dem Ergebnis kommen, dass

sie nun acht Gummibärchen hat. Was allerdings nicht gleichbedeutend damit ist, dass sie auch die symbolische Aufgabe $5 + 3 = \square$ lösen kann. Denn erst in der konkreten mathematischen Auseinandersetzung, wie sie normalerweise im Mathematikunterricht in der Schule angebahnt wird, können die Kinder tragfähiges Wissen zu den einzelnen Rechenoperationen aufbauen.

Dieses arithmetische Wissen kann in drei Komponenten aufgeteilt werden: das konzeptionelle, das prozedurale und das deklarative Faktenwissen. Unter konzeptionellem Wissen versteht man das Verständnis für arithmetische Operationen, die Gesetzmäßigkeiten und Lösungsalgorithmen, die diesen Operationen zugrunde liegen, sowie die Kenntnis mathematischer Symbole und Prinzipien und das Wissen, welche konkreten Handlungen sich hinter einer Rechenoperation verbergen (Landerl & Kaufmann 2008). Verfügt das Kind über vielfältige Grundvorstellungen der Addition und Subtraktion, kann es beispielsweise entscheiden, ob das Resultat der Additionsgleichung $57 + 28 = 85$ bei der Lösungsgenerierung der Aufgabe $85 - 28 = ?$ hilfreich ist oder nicht.

Das prozedurale arithmetische Wissen bezeichnet das Wissen um die Vorgehensweise und die richtige Abfolge von Lösungsschritten bei mehrstufigen und komplexen Aufgaben, wie z.B. beim schriftlichen Rechnen oder beim Rechnen mit Zehnerübergang.

Direkt abrufbares mathematisches Wissen wird deklaratives arithmetisches Faktenwissen genannt und ist im semantischen Gedächtnis, einem Teil des Langzeitgedächtnisses, vermutlich in sprachlicher Form gespeichert. Am Ende der 1. Jahrgangsstufe sollen beispielsweise die Aufgaben des „kleinen 1+1“ und des „kleinen 1-1“ (Additions- und Subtraktionsaufgaben im Zahlenraum von 0-20) automatisiert sein und somit als arithmetisches Faktenwissen vorliegen (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus 2000).

Neben der Differenzierung arithmetischer Kompetenzen in diese unterschiedlichen Teilfähigkeiten legen neurokognitive Modelle der numerischen Kognition bei Erwachsenen eine Unterteilung mathematischer Fähigkeiten in die beiden Komponenten „Zahlverarbeitung“ und „Rechnen“ nahe.

Diese Modelle (z. B. Rechenmodell von McCloskey et al. 1985, Multi-Route-Modell des Transkodierens von Ciplotti & Butterworth 1995) beruhen auf Befunden von Patienten mit erworbenen Rechenstörungen infolge von Hirnschädigungen. Je nach Schädigung traten bei den untersuchten Patienten neben umfassenden auch isolierte Störungen einer Komponente auf, wohingegen die andere weiter intakt war. Es fanden sich beispielsweise Patienten, die trotz gestörter Zahlverarbeitung weiterhin in der Lage waren, Rechenaufgaben korrekt zu lösen.

Auch der in der vorliegenden empirischen Untersuchung eingesetzte „Test zur Erfassung numerisch-rechnerischer Fertigkeiten vom Kindergarten bis zur 3. Klasse“ (TEDI-MATH, Kaufmann et al. 2009) basiert auf dieser Unterteilung, sodass die einzelnen Untertests entweder der „Zahlverarbeitung“ oder dem „Rechnen“ zugeordnet werden können (s. Tabelle 1 und Kapitel 5.2.2).

Tabelle 1: Zuordnung der TEDI-MATH Subtests zu den Komponenten Zahlverarbeitung und Rechnen

Zahlverarbeitung (ZV)	Rechnen (RE)
Größenvergleich arabischer Zahlen (GrA)	Additive Zerlegung (AddZ)
Größenvergleich Zahlwörter (GrZ)	Subtraktion (SUB)
Zahlen lesen (ZaL)	Multiplikation (MULT)
Zahlen schreiben nach Diktat (ZaS)	Textaufgaben (TA)
Dekadisches Positionssystem Plättchen (DPP)	Kenntnis arithmetischer Konzepte (KAK)

Unter der Zahlverarbeitung (ZV) wird die Einsicht in das regelhaft aufgebaute dekadische Zahlensystem verstanden, wodurch man ein Verständnis für dessen Kompositionsregeln bekommt und die Fähigkeit zum Transkodieren erwirbt, „also die Umwandlung von einem Zahlencode in einen anderen“ (Landerl & Kaufmann 2008, 31). So können bspw. gesprochene Zahlwörter korrekt in arabische Zahlen umgewandelt werden und umgekehrt.

Unter Rechnen (RE) wird hier das Operieren mit Zahlen, vorrangig also die Grundrechenarten (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division) verstanden.

2.3 Wortschatz und Mathematik

Analog zum Wortschatzlernen im Laufe der semantisch-lexikalischen Entwicklung müssen auch in der mathematischen Entwicklung immer wieder neue Wörter aus dem Mathematikunterricht mit Inhalt gefüllt und im Langzeitgedächtnis in Form semantischer Netzwerke gespeichert werden, um tragfähiges mathematisches Wissen aufzubauen. Aber auch der Bezug zwischen Zahlwörtern und der entsprechenden Menge wird kontinuierlich erweitert. Einige Begriffe erhalten durch mathematisches Lernen auch eine weitere oder neue Bedeutungskomponente (Lorenz 2005). So verbindet ein an konkrete Vorstellungen gebundenes Vorschulkind mit dem Begriff „größer“ in erster Linie eine räumliche Ausdehnung, während in der Mathematik eine Zahl auch dann größer sein kann als eine andere, wenn sie optisch betrachtet gleich groß sind.

„Das Produkt einer Firma hat nichts mit dem Produkt zweier Zahlen gemein, ein auf einer Geraden liegender Punkt hat nichts Gemütliches an sich, im Gegensatz zum auf dem Sofa liegenden Vater, der Scheitel einer Kurve hat erstaunlicherweise kaum Haare, eine Straße kann gerade sein, eine Zahl auch, obwohl sie krumm aussieht“ (Lorenz 2005, 190).

Derartige semantische Merkmale müssen erst im mentalen Lexikon mit abgespeichert werden, bzw. es müssen Verbindungen zwischen einzelnen Begriffen geknüpft werden, die es ermöglichen, mathematische Fragestellungen beantworten zu können.

Die Bedeutung neuer Begriffe wie „plus“, „minus“, „das Gleichheitszeichen“ und der Zahlen als solche müssen zuerst ihren Weg in das semantische Gedächtnis finden, um anschließend mit diesen operieren zu können.

Gerade bei Textaufgaben spielt dieser Aspekt eine besondere Rolle. Gelingt es hier nicht Verbindungen zwischen sprachlichen und mathematischen Begriffen herzustellen, ist die Lösung von Textaufgaben kaum möglich, wie das folgende Beispiel verdeutlicht:

Um die Sachaufgabe „Toni hat einige Murmeln. Bei einem Spiel gewinnt er 3 Murmeln dazu und hat nun insgesamt 6 Murmeln. Wie viel Murmeln hat Toni vorher gehabt?“ (Kaufman et al. 2009) lösen zu können, muss das Kind die Sachsituation „Gewinnen“ in folgende Additions Gleichung $\square + 3 = 6$ umwandeln und verstehen, dass die Ausgangslage als Lösung gesucht wird (Padberg 2005).

Kinder mit semantisch-lexikalischen Schwierigkeiten stehen hier aufgrund ihres Wortschatzdefizits vor der Herausforderung, Begriffe wie „dazu“ und „vorher“ korrekt zu verstehen und diese Alltagssprache mit den entsprechenden arithmetischen Konzepten zu verknüpfen.

Zum Zusammenhang zwischen sprachlichen und mathematischen Fähigkeiten liegen bspw. von Fazio (1994, 1996, 1999) Ergebnisse einer Längsschnittuntersuchung aus den USA vor, in der die Zählfertigkeiten und arithmetischen Kompetenzen sprachauffälliger Kinder zwischen dem Kindergartenalter und der 5. Klasse mit einer Gruppe sprachlich unauffälliger Kinder verglichen wurden. Die Resultate machen deutlich, dass spracherwerbsgestörte Kinder vor allem hinsichtlich des deklarativen Wissens, das sprachlich unauffälligen Kindern gleichen Alters üblicherweise automatisiert zur Verfügung steht, Schwierigkeiten haben. Beispielsweise machten spracherwerbsgestörte Kindergartenkinder bei der Mengenbestimmung durch Abzählen signifikant mehr Fehler als die Kontrollgruppe, obwohl sie die Zählprinzipien (Gelman & Gallistel 1978) verinnerlicht hatten. Dass es sich hier um ein primär sprachliches Problem, also um Schwierigkeiten handelt, die Zahlreihe zu automatisieren, interpretiert Fazio (1994) aufgrund eines Vergleichs mit einer Form des gestischen Zählens, bei der spracherwerbsgestörte Kinder deutlich besser abschnitten als beim mündlichen Zählen. Beim gestischen Zählen handelt es sich um eine nonverbale experimentelle Aufgabenstellung, bei der beim Zählen auf eine vorher festgelegte Abfolge an Körperteilen gezeigt wird und das zuletzt gezeigte der Gesamtmenge entspricht. Im weiteren Verlauf konnte gezeigt werden, dass die arithmetischen Schwierigkeiten spracherwerbsgestörter Kinder vor allem beim Rechnen unter Zeitdruck offensichtlich wurden und die Anzahl der Fehler beim Rechnen von Aufgaben, deutlich zunahm, die von Gleichaltrigen automatisiert gelöst werden konnten. Dabei ließen sich zwischen den Gruppen auch unterschiedliche Strategien nachweisen. Während sich die Kontrollgruppe auf den automatisierten Zugriff im Langzeitgedächtnis verließ, setzten sprachlich auffällige Kinder vor allem Zählstrategien ein.

Fazio (1995) vermutet deshalb, dass das Kernproblem spracherwerbsgestörter Kinder im Bereich der Arithmetik in der Speicherung und dem Abruf mathematischen Faktenwissens liegen könnte. Da davon auszugehen ist, dass mathematisches Faktenwissen in sprachlicher Form im Langzeitgedächtnis abgelegt ist, ließe sich hier eine Parallele zu semantisch-lexikalischen Be-

einträchtigungen bei Kindern annehmen, denen es auch nicht gelingt, semantisch-lexikalisches Wissen zu speichern und/oder automatisiert abzurufen.

Die mathematischen Schwierigkeiten spracherwerbsgestörter Kinder konnten von Durkin et al. (2013) bestätigt werden. Ihre Ergebnisse zeigen, dass spracherwerbsgestörte Kinder ($n=232$) zwischen sieben und acht Jahren bei Überprüfungen früher mathematischer Fähigkeiten (u.a. Mengenvergleich, Zahlen- und Ziffernkenntnis, Zählen, Beherrschung der Grundrechenarten) durchschnittlich etwa eine Standardabweichung schlechter abschneiden als auf der Grundlage der Normierungsstichprobe zu erwarten gewesen wäre. 17-19% der Unterschiede in den mathematischen Leistungen konnten selbst nach Berücksichtigung der nonverbalen Fähigkeiten durch die sprachlichen Kompetenzen aufgeklärt werden.

In vergleichbarer Weise konnten Harrison et al. (2009) zeigen, dass vorschulisch diagnostizierte sprachliche Beeinträchtigungen eng mit schulischen Leistungen nicht nur im sprachlichen Bereich, sondern auch in der Mathematik zusammenhängen, wobei insbesondere Sprachverständnisschwierigkeiten als Variable ermittelt werden konnten, die mathematische Fortschritte behindern. Vergleichbar mit der Längsschnittuntersuchung von Fazio kommen die Autoren zu dem Ergebnis, dass bei spracherwerbsgestörten Kindern insbesondere der Abruf mathematischen Faktenwissens beeinträchtigt ist

3 Empirische Untersuchung

3.1 Forschungsfragen

Das im Schuljahr 2011/2012 am Lehrstuhl für Sprachheilpädagogik der LMU München durchgeführte Projekt „Zusammenhänge zwischen semantisch-lexikalischen Fähigkeiten und dem Erwerb mathematischer Kompetenzen“ versuchte u.a. folgende Forschungsfragen zu beantworten.

- (1) Inwiefern liefern semantisch-lexikalische Fähigkeiten über das phonologische Arbeitsgedächtnis und die nonverbalen kognitiven Fähigkeiten hinaus einen signifikanten Beitrag zur Erklärung individueller Unterschiede im mathematischen Bereich?
- (2) Wie groß sind die Beiträge zur Erklärung individueller Unterschiede in der Zahlverarbeitung und dem Rechnen?

3.2 Methode

3.2.1 Teilnehmer

An der Studie nahmen insgesamt 64 Kinder mit sonderpädagogischem Förderbedarf im Bereich Sprache teil (Durchschnittsalter 8;11 Jahre; SD: 1;2), die zum Zeitpunkt der Untersuchung die erste bis dritte Klasse eines sonderpädagogischen Förderzentrums besuchten. An einem bayerischen Förderzentrum werden in den sogenannten Diagnose- und Förderklassen die Lerninhalte des 1. und 2. Grundschuljahres auf drei Jahre aufgeteilt. Entsprechend bezeichnet die Jahrgangsstufe 1 A das zweite Schulbesuchsjahr. Die Untersuchungsgruppe bestand zu 62% aus Jungen. Aus dem ersten Schulbesuchsjahr konnten zehn, aus dem zweiten Schulbesuchsjahr (1A) 16, aus der zweiten Klasse 17 und aus der dritten Klasse 19 Kinder überprüft werden. Die Verteilung der Kinder auf die einzelnen Klassenstufen, getrennt nach Geschlecht kann Abb. 2 entnommen werden.

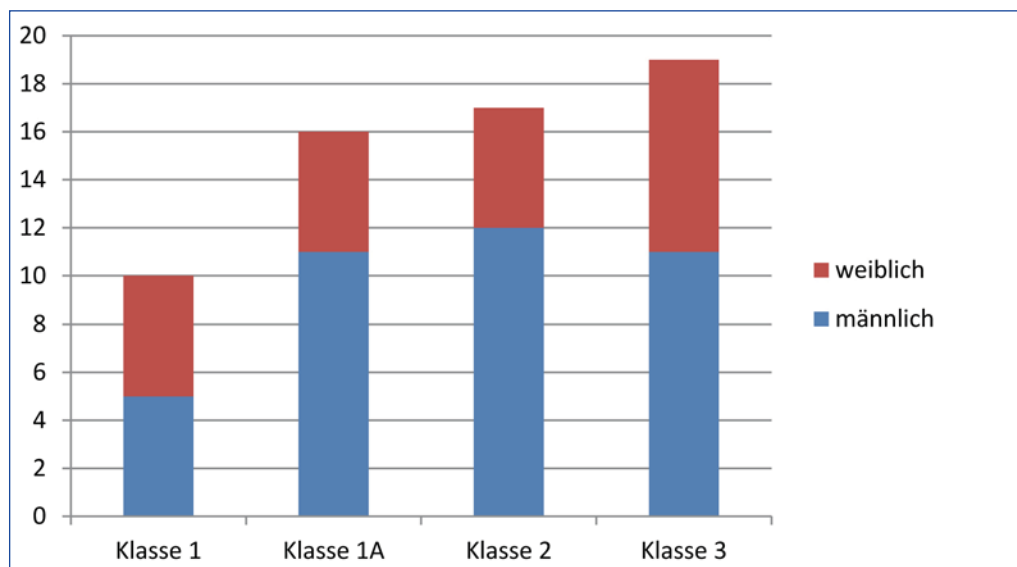


Abb. 2: Anzahl der teilnehmenden Kinder aufgeteilt nach Klassenstufe und Geschlecht

3.2.2 Durchführung

Die teilnehmenden Kinder wurden an drei unterschiedlichen Tagen während des Unterrichtsvormittags für jeweils 60 Minuten in den von der Schule zur Verfügung gestellten Räumlichkeiten des sonderpädagogischen Förderzentrums einzeln getestet. Bei der Testdurchführung arbeiteten jeweils zwei Studierende zusammen, um die Möglichkeit der wörtlichen Transkription bei sprachlichen Erhebungen zu gewährleisten. In der ersten Sitzung wurden die mathematischen Fähigkeiten erfasst. Die Überprüfung der kognitiven Fähigkeiten und des phonologischen Kurzzeitgedächtnisses sowie der expressiven und rezeptiven semantisch-lexikalischen Fähigkeiten fanden in der zweiten resp. dritten Sitzung statt.

3.2.3 Überprüfungen

Die nachfolgende Tabelle zeigt die verwendeten Testverfahren, mit deren Hilfe das phonologische Arbeitsgedächtnis, die nonverbale Intelligenz, semantisch-lexikalische Fähigkeiten (expressiv und rezeptiv) und mathematische Kompetenzen erhoben wurden.

Tabelle 2: Überprüfte Variablen (inkl. eingesetzter Testverfahren)

Variable	Testverfahren	Abkürzung
Phonologisches Arbeitsgedächtnis	phonologisches Rehearsal: Zahlen nachsprechen vorwärts u. rückwärts (HAWIK-IV, Petermann & Petermann 2008)	ZNS
	phonologischer Buffer: Kunstwörter nachsprechen (SET 5-10, Petermann et al. 2010)	KunstW
Wahrnehmungsgebundenes logisches Denken (nonverbale Intelligenz)	Mosaiktest (HAWIK-IV, Petermann & Petermann 2008)	MT
Wortschatz expressiv	WWT 6-10 (Glück 2007)	WWTex
Wortschatz rezeptiv	WWT 6-10 (Glück 2007)	WWTrez
Mathematikleistung gesamt	TEDI-MATH (Kaufmann et al. 2009)	TEDI
Zahlverarbeitung	TEDI-MATH (Kaufmann et al. 2009)	SuZV
Rechnen	TEDI-MATH (Kaufmann et al. 2009)	SuRe

Phonologisches Kurzzeitgedächtnis

Als Maß für die Funktion des phonologischen Rehearsals der phonologischen Schleife wurde der Subtest „Zahlen nachsprechen“ (ZNS) aus dem HAWIK IV (Petermann & Petermann 2008) gewählt. Die Kinder haben dabei die Aufgabe Zahlenfolgen bestehend aus zwei bis neun Zahlen reihenfolgenrichtig oder in umgekehrter Reihenfolge zu wiederholen. Die Anzahl korrekt nach-

gesprochener Zahlenfolgen kann in Wertpunkte (WP) mit einem Mittelwert von 10 und einer Standardabweichung von 3 Punkten umkodiert werden.

Die Erfassung der Genauigkeit und Effizienz des phonologischen Buffers wurde mit Hilfe des Subtests „Kunstwörter nachsprechen“ (KunstW) aus dem SET 5-10 (Petermann et al. 2010) überprüft, bei dem 20 Pseudowörter korrekt wiederholt werden müssen. Da für die hier überprüfte Zielgruppe keine Normwerte vorliegen, wurde für die Auswertung die Gesamtzahl korrekt nachgesprochener Items zugrunde gelegt.

Wahrnehmungsgebundenes logisches Denken (nonverbale Intelligenz)

Als Parameter für die nonverbalen kognitiven Fähigkeiten wurde der „Mosaiktest“ (MT) aus dem HAWIK IV (Petermann & Petermann 2008) durchgeführt. Dabei muss je nach Aufgabe eine unterschiedliche Anzahl an Würfeln so zusammengelegt werden, dass die auf der Vorlage dargestellte abstrakte Figur nachgebildet wird. Es handelt sich dabei um 14 Items, die mit zwei bis neun Würfeln nachgebaut werden müssen. Die Anzahl korrekt gelöster Muster kann in Wertpunkte (WP) mit einem Mittelwert von 10 und einer Standardabweichung von 3 umkodiert werden.

Expressive und rezeptive semantisch-lexikalische Fähigkeiten

Zur Erfassung der expressiven und rezeptiven Wortschatzleistung wurde die Kurzform des WWT 6-10 verwendet (Glück 2007). Im expressiven Subtest (WWTexp) müssen die Probanden auf einem PC präsentierte Farbfotos benennen, wobei sowohl die Antwortgenauigkeit als auch die Antwortgeschwindigkeit erfasst werden können. Im Subtest „WWT rezeptiv“ (WWTrez) wird überprüft, ob die nicht korrekt benannten Items aus der expressiven Überprüfung nach verbaler Vorgabe in einer Bildauswahlaufgabe erkannt und gezeigt werden können. Für den expressiven Teil können die Rohwerte in Prozentränge (PR) und T-Werte umgewandelt werden. Für den rezeptiven Teil ist lediglich eine Umrechnung in Prozentränge möglich.

Mathematische Fähigkeiten

Die Erfassung der mathematischen Fähigkeiten durch TEDI-MATH (Kaufmann et al. 2009) umfasste folgende Überprüfungen:

Zahlverarbeitung

Beim „Größenvergleich arabische Zahlen“ und „Größenvergleich Zahlwörter“ (GrZ) soll das Kind durch Zeigen oder Benennen die größere von zwölf schriftlich beziehungsweise mündlich vorgegebenen Zahlenpaaren bestimmen. Diese Untertests geben Auskunft über das Größen- und intuitive Zahlverständnis und decken sowohl die visuelle als auch die verbal-phonologische Modalität ab.

Der Subtest „Dekadisches Positionssystem – Repräsentation mit Plättchen“ (DPP) erfordert die Zerlegung von neun mehrstelligen Zahlen in Hunderter, Zehner und Einer. Die Kinder erhalten dazu unterschiedliche Plättchen im Wert von ein, zehn und einhundert Euro und haben die Aufgabe, bestimmte Geldbeträge mit möglichst wenigen Plättchen zusammenzustellen.

Die beiden Untertests zum Transkodieren, „Zahlen schreiben nach Diktat“ (ZahlS) und „Zahlen lesen“ (ZahlL), zeigen durch die notwendige Umwandlung mündlich oder schriftlich vorgegebener Zahlen in die jeweils andere Modalität das Zahlenverständnis und die Fähigkeit zur Zahlproduktion.

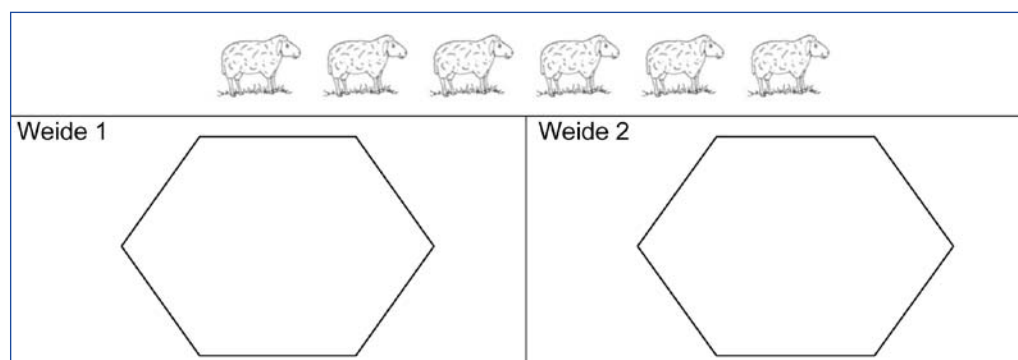


Abb. 3: Beispielaufgabe „Additive Zerlegung“ (Kaufman et al. 2009, 72)

Rechnen

Der Subtest „*Additive Zerlegung*“ (AddZ) erfasst das Verständnis für das „Teil-Ganze-Prinzip“, das heißt, die Zusammensetzung von Zahlen aus verschiedenen Summanden. Konkret sollen die Kinder verschiedene Möglichkeiten finden, wie sechs bzw. acht Schafe auf zwei Weiden aufgeteilt werden können (z. B. Ein Schäfer hat 6 Schafe und 2 Weiden. Von den 6 Schafen gibt er 4 auf die eine Weide und 2 auf die andere Weide. Wie kann er seine 6 Schafe noch anders auf beiden Weiden aufteilen?“, Kaufmann et al. 2009, 72, vgl. Abb. 3).

Die Aufgaben der Subtests „*Addition, Subtraktion und Multiplikation*“ (ADD, SUB, MULT) im TEDI-MATH werden schriftlich und mündlich vorgegeben und erfassen die symbolischen Rechenfertigkeiten, beziehungsweise das Rechnen mit arabischen Zahlen. Es handelt sich hier um vergleichsweise einfache Aufgaben, deren Ergebnisse möglichst automatisiert als arithmetisches Faktenwissen abgerufen werden sollen (z. B. $6 + 3$, $28 + 41$, $44 - 26$; 4×8), weshalb bei der Auswertung auch die Zeit, die zur Lösung aller Items eines Untertests benötigt wird, berücksichtigt wird. „Die Bearbeitungsgeschwindigkeit reflektiert den Grad der Automatisierung des rechnerischen Wissens. Schnelle Bearbeitungszeiten reflektieren somit den raschen Abruf von eingespeichertem rechnerischen Wissen“ (Kaufmann et al. 2009, 95). Da der Subtest „*Addition*“ nicht zur Kernbatterie des TEDI gehört, wurde er in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt und bleibt in den folgenden Analysen unberücksichtigt.

In zwölf schriftlich und mündlich präsentierten „*Textaufgaben*“ (TA) soll gezeigt werden, inwiefern die Differenzierung von relevanten und irrelevanten Textinformationen bei der Lösung von einfachen Rechnungen in kurzen Rechengeschichten gelingt.

Der letzte Untertest prüft die „*Kenntnis arithmetischer Konzepte*“ (KaK) wie die Inversionsregel, das Kommutativgesetz und die Gleichsetzung der Multiplikation mit wiederholter Addition, indem das Kind ohne Rechnen bei acht Aufgabenpaaren beurteilt, ob und warum eine gelöste Aufgabe bei der Lösung einer anderen hilft oder nicht („Wenn du weißt, dass $29 + 66 = 95$ ist, hilft dir das beim Lösen von $66 + 29 = ?$ Warum?“ (Kaufmann et al. 2009, 81).

Die Rohwerte aller Untertests des TEDI-MATH können in standardisierte T-Werte umkodiert werden.

3.3 Ergebnisse

Die inferenzstatistischen Analysen wurden mit Unterstützung des Statistischen Beratungslabors (STABLAB, München) durchgeführt. Ein gemischtes Modell zur Schätzung des Einflusses von Prädiktoren auf abhängige Variablen ermöglicht es bei der Analyse von Clusterdaten neben den betrachteten festen Effekten (wahrnehmungsgebundenes logisches Denken, phonologisches Arbeitsgedächtnis, expressive semantisch-lexikalische Fähigkeiten) auch zufällige Effekte oder Koeffizienten (u.a. Einfluss der Lehrkraft oder des Klassengefüges) mit einzubeziehen (Fahrmeier et al. 2009).

Für die statistischen Berechnungen mit dem gemischten Modell konnten nur die Ergebnisse von 48 der 64 getesteten Kinder verwendet werden, da der Wortschatz- und Wortfindungstest (WWT 6-10) ab einem gewissen Alter (9;0) Rohwerte, die ein bestimmtes Niveau unterschreiten, nicht mehr durchgängig in unterschiedliche T-Werte umrechnen lässt (Glück 2007, 100ff.). Da intervallskalierte T-Werte aber die Voraussetzung für die Berechnung nach dem gemischten Modell sind, konnten insbesondere die Daten der älteren Kinder mit massiven lexikalischen Defiziten nicht berücksichtigt werden (s.u.).

Auch konnten mit dem gemischten Modell die Hypothesen letztendlich nur für die expressiven semantisch-lexikalischen Fähigkeiten überprüft werden, da der WWT bei der Erfassung der rezeptiven Fähigkeiten große Deckeneffekte aufweist, weshalb hier nur Prozentränge und keine T-Werte vorliegen (Glück 2007, 36).

Somit wurden die Hypothesen anhand der verkleinerten Stichprobe ($n = 48$) mit Hilfe des gemischten Modells (3.3.3) mit dem Statistikprogramm R (Development Core Team 2012) quantitativ überprüft.

Für die deskriptive Statistik (3.3.1) und die qualitative Analyse mittels Korrelationen (3.3.2) konnten hingegen die Daten aller getesteten Kinder ($n = 64$) verwendet werden.

3.3.1 Deskriptive Statistik

3.3.1.1 Deskriptive Statistik für die Gesamtgruppe

Tabelle 3: Deskriptive Statistik (Gesamtgruppe)

	n	WWTex	WWTrez	TEDI	SuRe	SuZV	ZNS	MT	KunstW
		T-Wert	PR	T-Wert	T-Wert	T-Wert	WP	WP	RW
Gesamtgruppe	64	31,83 (20,46)	34,17 (37,03)	43,72 (12,07)	45,81 (10,19)	45,00 (9,56)	8,39 (2,60)	8,58 (2,34)	10,92 (4,79)
Gruppe A	35	17,51 (16,63)	12,80 (19,24)	42,23 (10,97)	43,63 (9,13)	43,77 (8,38)	8,11 (2,31)	8,40 (2,41)	9,57 (4,03)
Gruppe B	29	49,10 (6,38)	59,97 (36,96)	45,52 (13,25)	48,45 (10,92)	46,48 (10,77)	8,72 (2,93)	8,79 (2,26)	12,55 (5,17)

Gruppe A: WWTex < T-Wert 40, Gruppe B : WWTex ≥ T-Wert 40

WWTex: WWT expressiv (T-Wert), WWTrez: WWT rezeptiv (Prozentrang), TEDI: TEDI Gesamt (T-Wert), SuRe: Gesamtwert Rechnen (T-Wert), SuZV: Gesamtwert Zahlverarbeitung (T-Wert), ZNS: Zahlen nachsprechen (Standardwert), MT: Mosaiktest (Standardwert), KunstW: Kunstwörter nachsprechen (Rohwert) (Standardabweichungen in Klammern)

Eine Darstellung der Leistungen der Gesamtgruppe für alle durchgeführten Überprüfungen findet sich in Tabelle 3. Zudem wurden die Kinder auf der Grundlage ihrer semantisch-lexikalischen Fähigkeiten in zwei Subgruppen eingeteilt. Die Gruppe mit durchschnittlichen semantisch-lexikalischen Fähigkeiten besteht aus allen Kindern, die im „WWT expressiv“ einen T-Wert > 40 erreichten (Gruppe B), alle anderen Kinder wurden zu einer Gruppe mit einem semantisch-lexikalischen Defizit zusammengefasst (Gruppe A). Die Tabelle macht deutlich, dass die Gesamtgruppe bei fast allen Überprüfungen etwa eine halbe Standardabweichung unter dem Mittelwert der Vergleichsgruppe (Normierungsstichprobe des WWT) abschneidet, wobei insbesondere die semantisch-lexikalischen Fähigkeiten in der produktiven Modalität als massiv beeinträchtigt ins Auge stechen. Wirft man einen Blick auf die beiden Teilgruppen wird deutlich, dass diese sich hinsichtlich des Kriteriums mathematischer Fähigkeiten unterscheiden und eine tendenzielle Überlegenheit der Kinder mit durchschnittlichen semantisch-lexikalischen Fähigkeiten im Bereich mathematischer Kompetenzen offensichtlich wird. Diese Differenz ist mit etwa einer halben Standardabweichung besonders deutlich im Bereich der arithmetischen Kompetenzen (Summe Rechnen). Den Konventionen Cohen´s folgend entspricht dies einem mittleren Effekt ($d = .49$). T-Tests für unabhängige Stichproben machen deutlich, dass die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen mit Ausnahme der semantisch-lexikalischen Fähigkeiten und einer deutlichen Tendenz in dieser Richtung im Bereich des Rechnens (SuRe) kein statistisch signifikantes Niveau erreichen (WWTex: $T(62) = 7,39$, $p = .001$; WWTrez: $T(62) = 6,54$, $p = .001$; TEDI-TW: $T(62) = 1,09$, $p = .28$; SuRe: $T(62) = 1,92$, $p = .06$; SuZaVe: $T(62) = 1,13$, $p = .26$).

Auch hinsichtlich ihrer nonverbalen kognitiven Fähigkeiten und dem Arbeitsgedächtnis lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ausmachen (MT WP: $T(62) = .67$, $p = .51$; ZaRu WP: $T(62) = .93$, $p = .51$).

3.3.1.2 Deskriptive Statistik für die verkleinerte Stichprobe (n=48)

Tabelle 4: Deskriptive Statistik (verkleinerte Stichprobe)

	n	WWTex	WWTrez	TEDI	SuRe	SuZV	ZNS	MT	KunstW
		T-Wert	PR	T-Wert	T-Wert	T-Wert	WP	WP	RW
Gesamtgruppe	48	42,44 (10,06)	40,63 (38,40)	43,69 (13,14)	46,02 (10,57)	45,38 (10,25)	8,65 (2,79)	8,81 (2,23)	11,19 (4,93)
Gruppe A	19	32,26 (4,52)	11,11 (14,26)	40,89 (12,81)	42,32 (9,07)	43,68 (9,43)	8,53 (2,65)	8,84 (2,24)	9,11 (3,78)
Gruppe B	29	49,10 (6,38)	59,97 (36,96)	45,52 (13,25)	48,45 (10,92)	46,48 (10,77)	8,72 (2,93)	8,79 (2,26)	12,55 (5,17)

Gruppe A: WWTex < T-Wert 40, Gruppe B : WWTex ≥ T-Wert 40

WWTex: WWT expressiv (T-Wert), WWTrez: WWT rezeptiv (Prozentrang), TEDI: TEDI Gesamt (T-Wert), SuRe: Gesamtwert Rechnen (T-Wert), SuZV: Gesamtwert Zahlverarbeitung (T-Wert), ZNS: Zahlen nachsprechen (Standardwert), MT: Mosaiktest (Standardwert), KunstW: Kunstwörter nachsprechen (Rohwert) (Standardabweichungen in Klammern)

Eine Darstellung der Leistungen der verkleinerten Stichprobe für alle durchgeführten Überprüfungen findet sich in Tabelle 4. Ein Vergleich der Tabellen 3 und 4 macht deutlich, dass sich zwischen der Gesamtgruppe und der verkleinerten Stichprobe hinsichtlich der mathematischen Fähigkeiten, des Arbeitsgedächtnisses und der nonverbalen Intelligenz lediglich marginale Unterschiede nachweisen lassen, die kein statistisch signifikantes Niveau erreichen. Lediglich im WWTexp und WWTrez sind die Unterschiede aufgrund des Ausschlusses der älteren Kinder mit massiven semantisch-lexikalischen Defiziten bedeutsam.

Wiederum wurden die Kinder auf der Grundlage ihrer semantisch-lexikalischen Fähigkeiten in zwei Subgruppen eingeteilt. Die Gruppe mit durchschnittlichen semantisch-lexikalischen Fähigkeiten besteht aus allen Kindern, die im „WWT expressiv“ einen T-Wert > 40 erreichten (Gruppe B), alle anderen Kinder wurden zu einer Gruppe mit einem semantisch-lexikalischen Defizit zusammengefasst (Gruppe A). Wirft man nun einen Blick auf die beiden Teilgruppen wird deutlich, dass diese sich vergleichbar der Gesamtgruppe sowohl hinsichtlich der semantisch-lexikalischen Fähigkeiten WWTex: $T(46) = 6,37, p = .001$; WWTrez: $T(46) = 5,48, p = .001$;) als auch im Bereich mathematischer Fähigkeiten unterscheiden. Eine deutliche Überlegenheit der Kinder mit durchschnittlichen semantisch-lexikalischen Fähigkeiten in der Größenordnung von etwa einer halben Standardabweichung lässt sich sowohl im Gesamtergebnis TEDI als auch im Bereich des Rechnens nachweisen. Im Gegensatz zur Gesamtgruppe weist ein T-Test für unabhängige Stichproben die Unterschiede für den Gesamtbereich arithmetischer Kompetenzen als statistisch signifikant aus (SuRe: $T(46) = 2,11, p = .04$). Den Konventionen Cohen's folgend entsprechen die Unterschiede einem mittleren Effekt (TEDI Gesamt: $d = .36$; SuRe: $d = .61$).

3.3.2 Korrelationsanalysen

Um die Zusammenhänge zwischen den semantisch-lexikalischen und mathematischen Kompetenzen zu beleuchten, wurden in einem ersten Schritt die Zusammenhänge zwischen den beiden im TEDI erfassten Teilaspekten mathematischer Fähigkeiten (Zahlverarbeitung und Rechnen, inkl. aller Subtests) und den in dieser Studie berücksichtigten Prädiktoren ermittelt. Die Ergebnisse können Tabelle 5 entnommen werden. Für die Korrelationsanalyse wurden die Daten aller an der Studie teilnehmenden Kinder berücksichtigt.

Tabelle 5: Korrelationsanalysen (Pearsons Korrelationskoeffizient)

	TEDI ^h PR ^b	Su RE ^k PR ^b	SUB ^m PR ^b	MULT ⁿ PR ^b	TA PR ^b	Kak ^p PR ^b	AddZ ^r PR ^b	SuZV ^s PR ^b	DPP ^t PR ^b	GrAu PR ^b	GrZv PR ^b	ZaSx PR ^b	ZaL ^z PR ^b
MT ^a WP ^a	.25*	.38**	.32**	.12	.20	.41**	.14	.00	.18	-.04	-.02	.17	.12
ZNS ^d WP ^a	.31*	.25*	.34**	.00	.10	.08	.33**	.30*	.29	.04	.10	.33**	.30*
KunstW ^e RW	.25*	.11	.12	-.04	.26*	-.00	.02	.36**	-.03	.23	.21	.40**	.27*
WWTexp ^f PR ^b	.38**	.41**	.28*	.19	.58**	.31*	.10	.22	-.09	.08	.03	.34**	.21
WWTrez ^g PR ^b	.32**	.34**	.25*	.14	.42**	.21	.24	.26*	.01	.08	.09	.35**	.23

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von .05 signifikant

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von .01 signifikant

Abkürzungen: ^a Wertpunkte, ^b Prozentrang, ^c Mosaiktest HAWIK IV, ^d Zahlen Nachsprechen HAWIK IV, ^e Kunstwörter nachsprechen SET 5-10, ^f Wortschatz expressiv, ^g Wortschatz rezeptiv, ^h TEDI-Gesamtwert, ^k Summe Rechnen, ^m Subtraktion, ⁿ Multiplikation, ^o Textaufgaben, ^p Kenntnisse arithmetischer Konzepte; ^r Additive Zerlegung; ^s Summe Zahlverarbeitung; ^t Dekadisches Positionssystem Plättchen; ^u Größenvergleich arabische Zahlen; ^v Größenvergleich Zahlwort; ^x Zahlen schreiben nach Diktat; ^z Zahlen lesen;

Wie aus Tabelle 5 ersichtlich wird, lassen sich mit Ausnahme des Nachsprechens von Pseudowörtern (KunstW) für fast alle Prädiktoren signifikante Korrelationen mit den Überprüfungen der Rechenleistungen identifizieren, während sich für den Teilbereich der Zahlverarbeitung deutlich geringere, zum größten Teil nicht-signifikante Zusammenhänge nachweisen lassen. Lediglich für die expressiven und die rezeptiven semantisch-lexikalischen Fähigkeiten und die beiden Überprüfungen der phonologischen Schleife lassen sich moderate Zusammenhänge mit dem Schreiben und Lesen von Zahlen nachweisen.

Für die semantisch-lexikalischen Fähigkeiten (WWT expressiv und rezeptiv) lassen sich deutliche Korrelationen mit dem TEDI Gesamtwert und den Teilkomponenten des Rechnens identi-

fizieren, die insbesondere mit dem Subtest „Textaufgaben“ deutlich sind und deutlich höher ausfallen als für das Arbeitsgedächtnis und die nonverbale Intelligenz.

Wenig überraschend sind die deutlichen Zusammenhänge zwischen den nonverbalen kognitiven Fähigkeiten und den Rechenleistungen gesamt ($r = .38$, $p < .01$), der Subtraktion ($r = .32$, $p < .01$) und dem konzeptionellem Wissen (KaK; $r = .41$, $p < .01$). Dagegen ist der Zusammenhang zwischen den nonverbalen kognitiven Fähigkeiten und den Textaufgaben sowie der Multiplikation nicht signifikant. Betrachtet man den Prädiktor „Nachsprechen von Kunstwörtern“ so lässt sich lediglich ein Zusammenhang mit Textaufgaben nachweisen ($r = .26$, $p < .05$), der niedriger ausfällt als die lexikalischen Prädiktoren.

Der durch Quadrierung des Korrelationskoeffizienten ermittelte sogenannte Determinationskoeffizient „steht [dabei] für den Anteil der Varianz einer Variable, der durch die Varianz der anderen Variable aufgeklärt wird. (...) Im Gegensatz zum [Korrelationskoeffizienten] r liefert der Determinationskoeffizient intervallskalierte Werte und darf als Prozentmaß interpretiert werden“ (Rasch et al. 2010, 133).

Ein Korrelationskoeffizient von $r = .41$ zwischen den expressiven semantisch-lexikalischen Fähigkeiten (WWTexp) und den rechnerischen Fähigkeiten in ihrer Gesamtheit drückt also aus, dass immerhin 17% der Unterschiede in den rechnerischen Leistungen durch die expressiven semantisch-lexikalischen Fähigkeiten erklärt werden können.

Bezogen auf die Untertests der rechnerischen Fähigkeiten des TEDI bedeutet dies, dass die expressiven semantisch-lexikalischen Fähigkeiten 34% der Leistungsunterschiede im Bereich der Textaufgaben, 8% im Bereich der Subtraktion und 10% des konzeptionellen arithmetischen Wissens (KaK) erklären können.

3.3.3 Analyse mittels des Gemischten Modells

Der Einfluss der expressiven Wortschatzleistungen sowie des phonologischen Arbeitsgedächtnisses und der kognitiven Fähigkeiten auf die Gesamtleistung im TEDI-MATH sowie den Teilbereichen Zahlverarbeitung und Rechnen wurden mit Hilfe des Gemischten Modells berechnet. In einem ersten Schritt sollte geklärt werden, inwiefern diese drei Prädiktoren einen signifikanten Beitrag zur Erklärung der Unterschiede im Bereich der mathematischen Gesamtleistungen liefern können.

Die Ergebnisse zeigen zunächst, dass die drei erklärenden Variablen lediglich einen tendenziellen, aber statistisch nicht signifikanten Einfluss auf die Gesamtleistung im Bereich der Mathematik (TEDI T-Wert gesamt) ausüben. Für den expressiven Wortschatz (WWT expressiv, T-Wert) lässt sich bspw. ein Effekt von $.29$ nachweisen. Dieser Wert drückt aus, dass bei einer Differenz von 10 T-Wert Punkten im WWT expressiv, eine Veränderung des TEDI-MATH Gesamt-Werts um 2,9 Punkte zu erwarten ist. Obwohl der geschätzte Effekt also auf einen Zusammenhang zwischen dem expressiven Wortschatz und den mathematischen Kompetenzen hinweist, handelt es sich, vermutlich aufgrund der geringen Teilnehmerzahl, mit $p = .14$ um einen statistisch nicht signifikanten Zusammenhang.

Für das phonologische Arbeitsgedächtnis ergibt sich ein Effekt von $.82$, was bedeutet dass sich bei einer Veränderung des Ergebnisses beim „Zahlen nachsprechen“ um eine Standardabweichung (= 3 Wertepunkte) auch der Wert des TEDI Gesamt T-Werts um 8,2 Punkte verändert. Auch hier wird ein deutlicher Zusammenhang offensichtlich, wenn auch dieses Ergebnis in der vorliegenden Stichprobe mit $p = .20$ nicht signifikant ausfällt.

Dasselbe gilt für die kognitiven Fähigkeiten (MT, WP) mit einem geschätzten Effekt von $.64$ und einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = .42$.

Somit liefern die vorliegenden Ergebnisse trotz der beachtlichen Effektgrößen und einer deutlichen Tendenz, vermutlich aufgrund der hohen Standardabweichungen und der geringen Stichprobengröße keine ausreichenden Indizien für statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen semantisch-lexikalischen Fähigkeiten, dem phonologischen Arbeitsgedächtnis, den nonverbalen kognitiven Fähigkeiten und der Gesamtleistung im TEDI Test.

Ein davon abweichendes Ergebnis erhält man jedoch, wenn man den Einfluss der Prädiktoren auf die beiden Komponenten Zahlverarbeitung und Rechnen getrennt und somit die zweite Frage betrachtet.

Im Bereich der Zahlverarbeitung konnten für die expressiven semantisch-lexikalischen Fähigkeiten mit einem Effekt von $.15$ und für die nonverbale Kognition mit $.68$ kein statistisch signifikanter Einfluss nachgewiesen werden ($p = .31$ bzw. $.33$). Für das phonologische Arbeitsgedächtnis jedoch ergibt sich ein deutlicher Effekt von $.91$ auf die Zahlverarbeitung, der in der vorliegenden Stichprobe mit $p = .08$ das statistische Signifikanzniveau aber knapp verfehlt.

Deutlich anders sieht dies für die die arithmetischen Fähigkeiten aus. Hier konnte das zugrunde gelegte Modell mit einem geschätzten Effekt von .43 ($p = .002$) für die expressive Wortschatzleistung (WWT-expressiv) einen signifikanten Einfluss der semantisch-lexikalischen Fähigkeiten auf die abhängige Variable „Rechnen“ zeigen. Der Wert drückt aus, dass sich der T-Wert in der Komponente „Rechnen“ des TEDI-MATH bei einer Erhöhung des „WWT-expressiv“ um 10 T-Wert Punkte ebenfalls um 4,3 T-Wert Punkte erhöht, was ungefähr einer halben Standardabweichung entspricht. Ebenso besteht für die nonverbale Intelligenz mit $p = .04$ und einem Effekt von 1.33 ein signifikanter Einfluss auf die Rechenleistung. Das heißt, dass sich der T-Wert in der Komponente Rechnen bei einer Erhöhung von 3 Werte-Punkten im Mosaiktest um 3,96 T Wert- Punkte erhöht.

Für das phonologische Arbeitsgedächtnis konnte im Bereich Rechnen mit einer Effektgröße von .53 aufgrund einer zu hohen Irrtumswahrscheinlichkeit ($p = .275$) kein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden.

Auch wenn, bezogen auf das Gesamtergebnis der mathematischen Leistungen, also nur tendenzielle Einflüsse der expressiven Wortschatzleistungen nachgewiesen wurden, belegen die Analysen für die Rechenleistungen einen deutlichen Einfluss der expressiven semantisch-lexikalischen Fähigkeiten.

4 Diskussion und Interpretation

Da es sich bei der dargestellten Untersuchung nicht um eine repräsentative Stichprobe handelt, können die vorgestellten Ergebnisse nicht verallgemeinert werden, sondern geben lediglich die Zusammenhänge für eine Stichprobe wider, die sich zum Großteil durch semantisch-lexikalische Schwierigkeiten charakterisieren lässt.

Für die vorliegende Fragestellung ist insbesondere der Beitrag der expressiven semantisch-lexikalischen Fähigkeiten zur Varianzaufklärung für den Bereich Rechnen signifikant und mit einer Effektgröße von einer knapp halben Standardabweichung als Einflussgröße ernst zu nehmen. Ebenso ist der Einfluss des wahrnehmungsgebundenen logischen Denkens für den Bereich Rechnen als sehr hoch zu interpretieren.

Die Korrelationen zwischen den Überprüfungen der phonologischen Schleife und dem Schreiben und Lesen von Zahlen deuten wie in der Einleitung bereits erwähnt, darauf hin, dass die Probleme beim Erwerb und automatisierten Zugriff auf Zahlwörter im Zusammenhang mit der Kapazität des Sprachgedächtnisses stehen, dessen Funktion für den Erwerb neuer Wortformen von Baddeley et al. (1998) belegt werden konnte.

Die Ergebnisse lassen sich dahingehend interpretieren, dass Probleme beim Rechnen unter anderem mit lexikalischen Beeinträchtigungen assoziiert sein können, dass Schwierigkeiten beim Aufbau der Zahlreihe und des automatisierten Zugriffs auf Zahlwörter sowie ein unzureichend ausdifferenziertes mathematisches Begriffswissen für Schwierigkeiten beim Verstehen und Lösen von Rechenaufgaben mitverantwortlich sein können. So wie Kindern mit semantisch-lexikalischen Defiziten die Ausdifferenzierung semantischen Wissens beim Aufbau und der Erweiterung ihres mentalen Lexikons schwer fällt, scheint es betroffenen Kindern Schwierigkeiten zu bereiten, ihr mathematisches Begriffswissen auszdifferenzieren, gelerntes Wortwissen in Beziehung zu mathematischen Operationen zu setzen und, wie bei Textaufgaben gefordert, in mathematische Sprache zu übersetzen.

Verschiedene Studien (z.B. Hughes 1981) konnten beispielsweise belegen, dass Kinder unter sechs Jahren normalerweise durch verbale Instruktionen wie bei Textaufgaben unterstützt werden können, um auf das richtige Rechenergebnis zu kommen, während verbal abstrakt formulierte Aufgabenstellungen am schwierigsten erschienen. Anders formuliert sind Rechenaufgaben für Kinder leichter zu lösen, wenn sie in kleine Rechengeschichten verpackt sind. Für Kinder mit sprachlichen Defiziten scheint dies jedoch nicht der Fall zu sein, da sie Sprache nicht als Hilfestellung nutzen können, um mathematische Sachverhalte kognitiv zu durchdringen, sondern diese eine weitere Schwierigkeit darstellt.

Die signifikanten Zusammenhänge zwischen semantisch-lexikalischem Wissen und den Untertests Subtraktion und Multiplikation können durch einen generell langsamen Aufbau von Wissen, sei es Wortwissen oder eben arithmetisches Faktenwissen erklärt werden. Das heißt Kinder mit semantisch-lexikalischen Auffälligkeiten, haben anscheinend nicht nur Schwierigkeiten beim Aufbau eines umfassenden Wortschatzes, sondern auch beim Aufbau ihres arithmetischen Faktenwissens, wozu beispielsweise die Einmaleinsreihen gehören. Es ist davon auszuge-

hen, dass mathematische Fakten im Langzeitgedächtnis nicht mathematisch-symbolisch, sondern als sprachliches Wissen repräsentiert sind. In Anlehnung an die Differenzierung semantisch-lexikalischer Störungen in Speicher- bzw. Abrufproblemen, erscheint es ebenso möglich, dass Kinder mit semantisch-lexikalischen Defiziten trotz adäquater Speicherung Schwierigkeiten beim Zugriff auf mathematisches Faktenwissen haben.

5 Ausblick

Eine Langzeitstudie, die den Erwerb mathematischer Kompetenzen von semantisch-lexikalisch auffälligen und unauffälligen Kindern vergleicht, würde mit Sicherheit zu einem besseren Verständnis der Entwicklung der Rechenfertigkeiten und der generellen mathematischen Entwicklung beitragen. Denn nur wenn wir die Gründe für auftretende Schwierigkeiten kennen sind wir dazu in der Lage, spezifische Fördermaßnahmen einzuleiten und so betroffene Kinder in ihrem Lernprozess bestmöglich zu unterstützen. Hier wäre auch interessant zu untersuchen, ob sich eine sprachheilpädagogische Elaboration mathematisch relevanter Begriffe positiv auf die Rechenleistungen von Kindern mit semantisch-lexikalischen Auffälligkeiten auswirkt.

Es ist offensichtlich, dass hier noch großer Forschungsbedarf besteht. Denn nur wenn wir die wahren Bedingungshintergründe für auftretende Schwierigkeiten kennen, bzw. wenn wir diese hinterfragen, sind wir in der Lage, angemessen auf diese zu reagieren. In Bezug auf die Zusammenhänge zwischen semantisch-lexikalischen Fähigkeiten und dem Erwerb mathematischer Kompetenzen ist hiermit ein erster Schritt gemacht. Diesen Weg gilt es weiterzugehen.

Diese spezifische Förderung, die zu einer bestmöglichen, individuellen Unterstützung der Kinder führt, wodurch eine „bestmögliche schulische und soziale Entwicklung“ (Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2010, 37) gewährleistet wird, sollte gerade in Zeiten von Integration und Inklusion selbstverständlich sein.

Literatur

- Baddeley, A.; Gathercole, S. & Papagno, C. (1998): The Phonological Loop as a Language Learning Device. *Psychological Review* 105, 158-173.
- Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (2000): Lehrplan für die bayerische Grundschule. München: Maiss Verlag.
- Carpenter, T.P. & Moser, J. (1984): The acquisition of addition and subtraction concepts in grades one to three. *Journal of Research in Mathematics Education* 13, 179-202.
- Ciplotti, L. & Butterworth, B. (1995): Toward a multiroute model of number processing: impaired number transcoding with preserved calculation skills. *Journal of Experimental Psychology* 124, 375-390.
- Durkin, K.; Mok, P. & Conti-Ramsden, G. (2013): Severity of specific language impairment predicts delayed development in number skills. *Frontiers in Psychology* 4, 1- 10.
- Fahrmeier, L., Kneib, T. & Lang, S. (2009): Regression. Modelle, Methoden und Anwendungen. Berlin: Springer.
- Fazio, B. (1994): The counting abilities of children with specific language impairment: A comparison of oral and gestural tasks. *Journal of Speech Language and Hearing Research* 37, 358-368.
- Fazio, B. (1996): Mathematical abilities of children with specific language impairment: A 2-year follow up. *Journal of Speech Language and Hearing Research* 39, 839-848.
- Fazio, B. (1999): Arithmetic calculation, short term memory, and language performance in children with specific language impairment: A 5-year follow up. *Journal of Speech Language and Hearing Research* 42, 420-431.
- Gelman, R. & Gallistel, C. R. (1978): The child's understanding of number. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Glück, C. W. (2005): Kindliche Wortfindungsstörungen. Frankfurt: Peter Lang.
- Glück, C. W. (2007): Wortschatz- und Wortfindungstest für 6- bis 10jährige. WWT 6-10. München: Elsevier. Urban & Fischer Verlag.
- Glück, C. W. (2008): Diagnostik semantisch-lexikalischer Fähigkeiten im Grundschulalter mit dem WWT 6-10. *Spektrum Patholinguistik* 1, 39-56.
- Harrison, L.J.; McLeod, S.; Berthelsen, D. & Walker, S. (2009): Literacy, numeracy, and learning in school-aged children identified as having speech and language impairment in early childhood. *International Journal of Speech-Language Pathology* 11, 392-403.
- Hughes, M. (1981): Can preeschool children add and subtract? *Educational Psychology* 1, 207-219.
- Kannengießner, S. (2012): Sprachentwicklungsstörungen. Grundlagen, Diagnostik und Therapie. München: Elsevier. Urban & Fischer Verlag.

- Kaufmann, L.; Nuerk, H.-C; Graf, M.; Krinzing, H.; Delazer, M. & Willmes, K. (2009): TEDI-MATH. Test zur Erfassung numerisch-rechnerischer Fertigkeiten vom Kindergarten bis zur 3. Klasse. Bern: Verlag Hans Huber.
- Landerl, K. & Kaufmann, L.(2008): Dyskalkulie. München: Ernst Reinhardt Verlag.
- Levelt, W.J.M. (1989): Speaking: From Intention to Articulation. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Lorenz, J.H. (2005): Mathematikverstehen und Sprachrezeptionsstörungen in den Eingangsklassen. In: Arnoldy, P. & Traub, B. (Hrsg.): Sprachentwicklungsstörungen – Früh erkennen und behandeln. XXVI Kongress „Werkstatt Sprachheilpädagogik“ der Deutschen Gesellschaft für Sprachheilpädagogik. Karlsruhe: von Loeper Literaturverlag.184-195.
- Lorenz, J.H. (2010): Die Bedeutung der Sprache und ihrer Störungen beim Lernen von Mathematik. *Mit-sprache* 42, 47-62.
- Mayer, A. (2012): Semantisch-Lexikalische Störungen – Basisartikel. *Sprachförderung und Sprachtherapie in Schule und Praxis* 1, 54-62.
- McCloskey, M.; Caramazza, A. & Basili, A.G.(1985): Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition* 4, 171-196.
- Padberg, F. (2005): Didaktik der Arithmetik für Lehrerbildung und Lehrerfortbildung. 3. Auflage. München: Elsevier.
- Petermann, F; Metz, D. & Fröhlich, L. (2010): SET 5-10. Sprachstandserhebungstest für Kinder im Alter zwischen 5 und 10 Jahren. Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Petermann, F. & Petermann, U. (2008): Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Kinder IV (HAWIK IV). Bern: Huber.
- R Development Core Team (2012): R: A Language and Environment for Statistical Computing, Version 2.14.1. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. www.R-project.org/ (Zugriff am 18.3.2014).
- Rasch, B.; Friese, M. & Naumann, E. (2010): Quantitative Methoden 1. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. Heidelberg: Springer.
- Sachse, S. (2007): Neuropsychologische und neurophysiologische Untersuchungen bei Late Talkers im Quer- und im Längsschnitt. München: Dr. Hut.
- Seiffert, H. (2012): Sprachassistenz im Mathematikunterricht. *Sprachförderung und Sprachtherapie in Schule und Praxis* 1, 72-80.
- Tomasello, M. (2000): The item-based nature of children's early syntactic development. *Trends in Cognitive Science* 4, 156-163.
- Ulrich, T. (2012): Effektivität lexikalischer Strategitherapie im Vorschulalter. Eine randomisierte und kontrollierte Interventionsstudie. Aachen: Shaker Verlag.

Zu den Autorinnen

Claudia Heinzl arbeitet als Sonderschullehrerin im Hochschuldienst am Lehrstuhl für Sprachheilpädagogik an der LMU München (Prof. Dr. Grohnfeldt) und ist dort für den Praxisbezug der universitären Lehre verantwortlich. Ihre Arbeitsschwerpunkte sind die Theorie und Praxis gestörter Schriftspracherwerbsprozesse sowie die spezifische Akzentuierung des Unterrichts im Förderschwerpunkt Sprache.

Sabine Seibt ist Sprachheilpädagogin M.A. und absolviert derzeit das Studienseminar für Sonderschulen mit dem Hauptfach Sprachbehindertenpädagogik. Sie hat ihre Examensarbeit zum Thema „Zusammenhänge zwischen semantisch-lexikalischen Fähigkeiten und dem Erwerb mathematischer Kompetenzen“ verfasst.

Korrespondenzadresse

Claudia Heinzl
Josef Sterr Straße 11
81377 München
E-Mail: cheinzl@t-online.de

Sabine Seibt
E-Mail: sabine_seibt@gmx.net

DOI dieses Beitrags: 10.2443/skv-s-2014-57020140201