

**Welches Trainingverfahren ist zur Therapie von Kindern
mit LRS am effektivsten?
Auswirkungen auf die Lese- und Rechtschreibleistung und
die funktionale Organisation von Sprache im Gehirn**

Dissertationsschrift
zur Erlangung des akademischen Grades des
Doktors der Naturwissenschaften
im Fachbereich Klinische Psychologie und Neuropsychologie
der Universität Konstanz

Vorgelegt im März 2005 von

Christof Bott

Tag der mündliche Prüfung: 29.06.05
1. Referent: Prof. Dr. Thomas Elbert
2. Referentin: Prof. Dr. Johanna Kissler

Danksagung

Entgegen sonstiger Gepflogenheiten soll am Anfang dieser Arbeit der größtmögliche Dank für die perfekte Zusammenarbeit an meine Mitdotorandin oder „Doktorschwester“ Isabella Paul stehen. Sie war die optimale Ergänzung in unserem kleinen Legasthenieprojekt und ich kann mir nicht vorstellen, dass die vorliegende Arbeit vollendet worden wäre, wenn ich nicht Isa als Kollegin gehabt hätte.

Diese perfekte Zusammenarbeit war natürlich nur dadurch möglich, dass mir Prof. Thomas Elbert die Möglichkeit gegeben hat, an seinem Lehrstuhl unter seiner Betreuung und Begutachtung zu promovieren, wofür ich ihm ganz herzlich danke. Außerdem gilt ihm und Frau Prof. Brigitte Rockstroh mein Dank für die Bereitung der optimalen Arbeitsbedingungen.

Weiterer Dank geht an Dr. Sabine Heim für die umfangreichen Vorarbeiten und an Prof. Johanna Kissler für die bereitwillige Übernahme der Zweitbegutachtung.

All denen zu danken, die zum Gelingen dieser Arbeit direkt oder indirekt beigetragen haben, würde den Rahmen dieser Danksagung sprengen. Stellvertretend sei Ursula Lommen für die Unterstützung und das Verständnis bei unserer sehr terminraubenden Messerei genannt und Stephan für die Bereitschaft, auch unter der Woche mal für körperlichen Ausgleich in den Bergen zu sorgen.

Ganz besonders will ich zum Schluss den zahlreichen Kindern mit und ohne LRS, den Eltern und Lehrern danken, die bereitwillig an der Studie teilgenommen haben und somit den Grundstein für ihr Gelingen gelegt haben.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

1.1	Phänomenologie und Prävalenz von Lese- und Rechtschreibschwäche.....	1
1.2	Heterogene Symptome und Erklärungsversuche.....	3
1.3	Modelle des Wortlesens.....	6

2. Ätiologie der Dyslexie

2.1	Die phonologische Theorie.....	8
2.1.1	Phonologische Bewusstheit.....	9
2.1.2	Phonologisches Rekodieren beim lexikalischen Zugang.....	12
2.1.3	Phonetisches Rekodieren im Arbeitsgedächtnis.....	14
2.2	Das kategoriale Wahrnehmungsdefizit.....	16
2.3	Das temporale Verarbeitungsdefizit.....	21
2.4	Die magnozelluläre Theorie der Dyslexie.....	34
2.5	Neurophysiologische Korrelate der Dyslexie.....	43
2.5.1	Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP) bei auditiver Stimulation.....	43
2.5.2	Studien zur MMN bzw. zum MMF bei Probanden mit Dyslexie.....	48
2.5.3	Fast Words.....	52
2.6	Genetische Beiträge zur Dyslexie.....	54

3. Theoretische und empirische Grundlagen der verwendeten Trainingsverfahren

3.1	Marburger Rechtschreibtraining.....	57
3.2	Buschmanntraining.....	59
3.3	Wahrnehmungstraining zur temporalen Verarbeitung am PC.....	65

4. Zusammenfassung der Zielsetzung der vorliegenden Studie.....70

5. Methoden

5.1	Zeitlicher Ablauf der Studie.....	72
5.2	Versuchspersonen.....	73

5.3	Testpsychologische Untersuchung.....	75
5.3.1	SPM.....	76
5.3.2	DRT.....	77
5.3.3	ZLT.....	78
5.3.4	Mottiertest.....	79
5.3.5	Wortlesetest.....	80
5.3.6	Pseudowörterlesetest.....	80
5.3.7	Lauttreues Diktat.....	81
5.3.8	Psychoakustisches Experiment zur Überprüfung der kategorialen Wahrnehmung.....	82
5.3.9	Händigkeitstest.....	83
5.4	Die MEG-Messungen.....	83
5.4.1	Mismatch Field (MMF).....	84
5.4.2	Dipollokalisierung.....	85
5.4.3	Frequenzbandanalyse der Fast Words.....	86
5.5	Durchführung der Trainingsprogramme.....	88
5.5.1	Das Marburger Rechtschreibtraining an 18 Terminen.....	88
5.5.2	Das Buschmanntraining an 10 Terminen.....	89
5.5.3	Das Computertraining an 18 Terminen.....	90
5.6	Statistische Analyse der Verhaltensdaten.....	92
5.6.1	Statistische Analyse des Trainingseffektes für die Tests.....	93
5.6.2	Statistische Analyse des korrelativen Zusammenhangs zwischen den Testergebnissen für die einzelnen Gruppen.....	94
5.6.3	Faktorenanalyse für die Testergebnisse der einzelnen Gruppen.....	95
 6. Ergebnisse		
6.1	Vergleich der Trainingsgruppen hinsichtlich Alter, Geschlecht und Händigkeit.....	96
6.2	Ergebnisse der Varianzanalyse der Verhaltensdaten	
6.2.1	SPM: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS	96
6.2.2	SPM: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen.....	97
6.2.3	DRT: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS.....	98
6.2.4	DRT: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen.....	99
6.2.5	ZLT_ richtig: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS und Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen.....	100
6.2.6	ZLT Zeit: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS.....	100
6.2.7	ZLT Zeit: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen.....	101

6.2.8	Wortlesetest Fehler: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS und Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen.....	102
6.2.9	Wortlesetest Zeit: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS.....	103
6.2.10	Wortlesetest_Zeit: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen.....	104
6.2.11	Pseudowörterlesetest Fehler: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS und Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen.....	104
6.2.12	Pseudowörterlesetest Zeit: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS.....	105
6.2.13	Pseudowörterlesetest Zeit: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen.....	106
6.2.14	Mottiertest: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS und Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen.....	107
6.2.15	Lauttreues Diktat: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS und Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen.....	108
6.2.16	Kategoriale Wahrnehmung	
6.2.16.1	Kategoriale Wahrnehmung für das /ba/-/da/-Kontinuum.....	109
6.2.16.2	/ba/-/da/-Kontinuum: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen.....	112
6.2.16.3	Kategoriale Wahrnehmung für das /da/-/ga/-Kontinuum.....	113
6.2.16.4	/da/-/ga/-Kontinuum: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen.....	116
6.2.17	Zusammenfassung der Hauptergebnisse aus der Varianzanalyse.....	117
6.3	Korrelative Zusammenhänge zwischen den Testergebnissen für die einzelnen Trainingsgruppen.....	118
6.3.1	Vergleich der Kontrollgruppe und der Gruppe der Kinder mit LRS vor und nach dem Training.....	118
6.3.2	Vergleich der einzelnen Trainingsgruppen vor und nach dem Training	
6.3.2.1	Computertraining.....	120
6.3.2.2	Buschmanntraining.....	121
6.3.2.3	Marburgertraining.....	122
6.3.3	Korrelation der signifikanten Leistungsverbesserungen für jede Gruppe	
6.3.3.1	Korrelationen für die verbesserten Testleistungen bei der Kontrollgruppe.....	123
6.3.3.2	Korrelationen für die verbesserten Testleistungen bei der Gruppe der Probanden mit LRS.....	123
6.3.3.3	Korrelationen für die verbesserten Testleistungen bei der Gruppe Computertraining.....	124
6.3.3.4	Korrelationen für die verbesserten Testleistungen bei der Gruppe Buschmanntraining.....	125
6.3.3.5	Korrelationen für die Verbesserungen in den Tests bei der Gruppe Marburgertraining.....	125

6.4	Ergebnisse der Faktorenanalyse der Testleistungen.....	126
6.4.1	Ergebnisse der Faktorenanalyse der Testleistungen für die Kontrollgruppe.....	126
6.4.2	Ergebnisse der Faktorenanalyse der Testleistungen für die Gruppe aller Kinder mit LRS.....	128
6.5	Ergebnisse der MEG-Messungen	
6.5.1	Mismatch Field (MMF).....	129
6.5.1.1	Stichprobe.....	129
6.5.1.2	Ergebnisse der statistischen Analyse der MMF-Größe für die Kanalgruppen.....	130
6.5.1.3	Korrelationen der Trainingseffekte bei den MMF-Daten mit den Trainingseffekten bei den Verhaltensdaten.....	131
6.5.2	Dipollokalisierungen	
6.5.2.1	Stichprobe.....	131
6.5.2.2	Position der Dipollösungen auf der posterior-anterior Achse.....	132
6.5.2.3	Latenz des RMS-Maximums der Dipollösungen.....	133
6.5.2.4	Dipolstärke.....	133
6.5.2.5	Position der Dipollösungen auf der inferior-superior Achse.....	133
6.5.3	Frequenzbandanalyse der Fast Words	
6.5.3.1	Stichprobe.....	133
6.5.3.2	Ergebnisse der statistischen Analyse für die evozierte maximale Amplitudenstärke und die Spektralfrequenz.....	134
6.5.3.3	Korrelation der maximalen Amplitudenstärke mit den Verhaltensdaten.....	135
6.5.3.4	Korrelation der Spektralfrequenzen mit den Verhaltensdaten.....	136
6.5.4	Zusammenfassung der Korrelationen zwischen den MEG- und den Verhaltensdaten.....	136
6.6.	Verbesserung der Computertrainingsgruppe in Spiel 2 und 3.....	137
7.	Diskussion	
7.1	Differentielle Wirkung der Trainingsverfahren.....	138
7.1.1	Verbesserung der Leistung im SPM nach der Trainingsperiode.....	138
7.1.2	Verbesserung der Leistung in den Rechtschreibtests nach der Trainingsperiode.....	143
7.1.3	Leseleistung nach der Trainingsperiode.....	148
7.1.3.1	Erhöhte Lesegeschwindigkeit im ZLT und Wortlesetest.....	149
7.1.3.2	Kürzere Lesezeit beim Pseudowörterlesen nach dem Training in der Buschmanngruppe als Maß für verbesserte phonologische Verarbeitung?.....	150
7.1.4	Kategoriale Wahrnehmung.....	155
7.2	Phonologisches Verarbeitungsdefizit.....	157

7.3	Temporales Verarbeitungsdefizit.....	164
7.3.1	Unterschiede im MMF zwischen der LRS- und der Kontrollgruppe vor dem Training.....	164
7.3.2	Veränderungen im MMF nach dem Training.....	167
7.4	Unterschiede in der Diollokalisierung.....	170
7.5	Fast Words.....	173
7.6	Heterogenität der Stichprobe.....	177
7.7	Implikationen für die praktische Arbeit.....	179
7.8	Erreichte und unerreichte Ziele.....	183
8.	Zusammenfassung.....	187
9.	Bibliographie.....	189
10.	Anhang.....	219

1. Einleitung

1.1 Phänomenologie und Prävalenz von Lese-Rechtschreibschwäche

Nach dem internationalen Klassifikationsschema der WHO ICD-10 gehört die Lese-Rechtschreibstörung (LRS; F81.0) zur Gruppe der umschriebenen Entwicklungsstörungen schulischer Fertigkeiten (Dilling et al., 1991). Die diagnostischen Richtlinien für die Kodierung einer LRS verlangen eine beeinträchtigte Entwicklung der Lese- und Rechtschreibfähigkeiten mindestens 1,5 Standardabweichungen unter dem Niveau, das aufgrund des Alters (Altersdiskrepanzkriterium), der allgemeinen Intelligenz (Intelligenzdiskrepanzkriterium) oder der Beschulung erwartet wird. Außerdem muss die Störung die Schulausbildung oder alltägliche Fähigkeiten behindern, die Lesefähigkeiten erfordern. Ausschlusskriterien sind eine allgemeine intellektuelle Behinderung, Defizite im Hören und/oder Sehen, eine neurologische und/oder psychiatrische Störung oder eine unangemessene schulische Betreuung (vgl. Schulte-Körne & Remschmidt, 2003). Häufigstes Ausschlusskriterium ist ein IQ von kleiner als 70, ab dem nach dem ISC-10 eine leichte Intelligenzminderung (F70.0) kodiert werden muss. In der folgenden Arbeit werden die Begriffe Dyslexie, Legasthenie und Lese-Rechtschreibschwäche oder –störung (LRS) synonym verwendet.

Das Intelligenzdiskrepanzkriterium war lange Jahre das entscheidende Kriterium dafür, ob Kinder mit Lese- und Rechtschreibproblemen als „Legastheniker“ anerkannt wurden. Mittlerweile wird dieses Kriterium jedoch immer häufiger als ungerechtfertigt erachtet. Ein Kritikpunkt besteht darin, dass als Folge dieses Kriteriums vielen Kindern die notwendige, spezifische Förderung verwehrt wird. Ihr Intelligenzniveau und ihre Leistungen in den anderen Schulfächern sind deutlich zu hoch, um die Kriterien für eine Lernbehinderung erfüllen, auf Grund der fehlenden Diskrepanz von 1,5 Standardabweichungen zwischen der Lese- und Rechtschreibleistung und dem Intelligenzniveau erfüllen sie aber auch nicht die Kriterien, die für den Erhalt einer spezifischen Lese-Rechtschreibförderung erforderlich sind (Frankenberger & Fronzaglio, 1991). Außerdem ist bei Erwachsenen die Intelligenz nicht unabhängig von der Leseleistung, so dass das Intelligenzniveau bei Erwachsenen mit LRS oft unterschätzt wird (Shaywitz et al., 1998). Stanovich und Siegel (1994) fanden in ihrer Studie mit über 900 Kindern keine Unterschiede in phonologischen oder orthographischen Fähigkeiten zwischen zwei LRS-Gruppen,

von denen nur eine das Diskrepanzkriterium erfüllte. Für die phonologischen Fähigkeiten entspricht das auch den Ergebnissen anderer Studien (Felton & Wood, 1992; Fredman & Stevenson, 1988). Cole et al. (1990) untersuchten den Effekt eines einjährigen Sprachtrainings auf zwei Gruppen von Kindern mit SLI („specific language impairment“), von denen wieder nur eine nach dem Intelligenzdiskrepanzkriterium diagnostiziert wurde, und fanden auch hier keine Unterschiede. Diese Studien legen den Schluss nahe, dass die Diskrepanz zwischen Intelligenz- und Leseniveau für eine LRS-Diagnose nicht gerechtfertigt zu sein scheint (siehe auch Nagarajan et al., 1999).

Typische LRS-Fehler bei der Rechtschreibung gibt es nicht. Vielmehr zeigen Kinder mit LRS eine extreme, unsystematische Häufung von vielen Fehlern auch innerhalb eines Wortes, so dass oft nur Wortruinen zustande kommen und das Wort innerhalb eines Textes auf verschiedene Arten falsch geschrieben werden kann. Die Leseprobleme bestehen u.a. in einer stark verlangsamten Lesegeschwindigkeit, dem Auslassen, Ersetzen, Verdrehen oder Hinzufügen von Wortteilen oder Worten und der Unfähigkeit, das Gelesene wiederzugeben (Dilling et al., 1991). Mit zunehmender Schuldauer führen die Lese- und Rechtschreibprobleme zu immer größeren Problemen in anderen Fächern, in denen Leseverständnis vorausgesetzt wird (z.B. in Mathematik beim Verständnis von Textaufgaben) oder eine schriftliche Bearbeitung erforderlich ist (z.B. im Heimat- und Sachunterricht). In der Folge treten bei 40% der Kinder mit LRS in der Grundschule oder in der frühen Adoleszenz klinisch bedeutsame Störungen auf (Esser, 2002). Außerdem wird die LRS oft von einem niedrigen Selbstwertgefühl, Anpassungsschwierigkeiten, dissozialen Störungen und Hyperaktivitätssyndromen begleitet, was die gesamte Entwicklung beeinträchtigt und zu erhöhter Gefahr für Delinquenz in der Adoleszenz führt (Esser et al., 2002). Im Erwachsenenalter gehen die psychischen Störungen zwar zurück, die Arbeitslosigkeit bei 25jährigen mit LRS war 1995 mit 26% ca. sechs mal höher als bei Gleichaltrigen ohne LRS (Esser, 2002).

Obwohl erste Hinweise auf eine LRS schon im Vorschulalter erkennbar sind (z.B. Schwächen in der phonologischen Bewusstheit, die schlechte Lese- und Rechtschreibleistungen im Grundschulalter zuverlässig vorhersagen; z.B. Schneider & Näslund, 1993) ist eine zuverlässige Diagnose erst nach Ende der zweiten Klasse möglich: Erst nach Ende der zweiten Klasse gibt es ein einheitliches

Anforderungsprofil für die Leistungen, die im Lesen und Schreiben erbracht werden sollten und damit wird erst zu diesem Zeitpunkt eine standardisierte und vergleichbare Erfassung der Lese- Rechtschreibleistung möglich (Schulte-Körne, 2002). Zahlreiche Längsschnittstudien belegen, dass v.a. die Rechtschreibprobleme, aber auch die Lese Probleme über die Schulzeit hinaus bestehen bleiben und nicht mit Reifungsprozessen während der Pubertät verloren gehen (z.B. Esser et al., 2002; Klicpera et al., 1993; Esser & Schmidt, 1993; Strehlow et al., 1992; Pennington et al., 1990).

Die LRS wird in allen Schriftsprachen gefunden, auch in der chinesischen, piktographischen Schriftsprache (Ho et al., 2002). Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass die Auftretswahrscheinlichkeit in Sprachen mit „flacher“, transparenter Orthographie (z.B. italienisch oder deutsch: einem Graphem entspricht nur ein oder wenige Phoneme) seltener auftritt als in Sprachen mit „tiefer“ Orthographie (z.B. englisch: einem Graphem können verschiedene Phoneme entsprechen) (Lindgren et al., 1985; Mayringer & Wimmer, 2000). So berichten Shaywitz et al. (1990) in einer Studie mit amerikanischen Kindern in der zweiten und dritte Klasse von einer Prävalenz von ca. 6% bei den Mädchen und 9% bei den Jungen. Esser (1991) und Esser & Schmidt (1993) berichten bei 8-jährigen deutschsprachigen Kindern von einer Prävalenz von 5,6%. Schulte-Körne (2003) kommt nach dem Vergleich internationaler Studien auf eine Prävalenz zwischen 4 und 5%. Unabhängig von diesen meist methodisch bedingten Unterschieden der Prävalenzschätzungen gehört die LRS zu den häufigsten kinder- und jugendpsychiatrischen Diagnosen. Shaywitz et al. (1990) stellten fest, dass Lehrer eher bei Schülern als bei Schülerinnen eine LRS-Diagnostik veranlassen, was die stark erhöhten Prävalenzzahlen für Jungen mit LRS erklären könnte. Aber auch in Studien, in denen die Schüler und Schülerinnen nicht auf Grundlage eines Lehrerurteils ausgewählt werden, wird von 2-3mal häufigerem Auftreten von LRS bei Jungen im Vergleich zu Mädchen berichtet (St. Sauver et al., 2001; Flannery et al., 2000). Dies entspricht der Tendenz, dass Jungen generell häufiger von neurologisch bedingten Entwicklungsstörungen betroffen sind als Mädchen (Abramowicz et al., 1975; Gualtieri et al., 1987).

1.2 Heterogene Symptome und Erklärungsversuche

Die ICD10-Definition für LRS beschränkt sich auf die Verhaltensebene und macht keinerlei Aussagen über die Ursache der Störung. Dies ist Folge der anhaltend

kontroversen Diskussion über mögliche Ursachen. Bis zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine Theorie, die durch empirische Daten so gestützt wäre, dass sie alleinige Gültigkeit beanspruchen könnte. Vielmehr existieren verschiedene Theorien, die zwar alle auf empirischer Grundlage beruhen, die aber immer durch widersprüchliche Daten in Frage gestellt werden. Mögliche Ursache für diese sich widersprechenden Befunde ist die Tatsache, dass die LRS kein homogenes Konstrukt, sondern eine kognitiv und behavioral heterogene Entwicklungsbedingung ist (Grigorenko, 2001). Auch Frith (2001) geht davon aus, dass die Dyslexie eher durch vielfältige Ursachen als durch ein einziges Defizit erklärt werden kann. Je nach zugrunde gelegten Kriterien und je nach Stichprobe können so völlig unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden. Um diese Beliebigkeit zu reduzieren, wurde versucht, die LRS in Subformen einzuteilen. Boder (1973) untersuchte qualitative Unterschiede in der Lese- und Rechtschreibleistung von Kindern mit LRS und nahm daraufhin die Unterteilung in dysphonetische, dyseidetische und gemischte LRS vor. Die dysphonetische LRS (63% der Kinder der Stichprobe) scheint durch Probleme gekennzeichnet, die denen der phonologischen Verarbeitungsschwäche entsprechen. Diese Kinder haben Schwierigkeiten beim Erlernen der Phonem-Graphem-Beziehung, beim Ausstreichen und Hinzufügen von Phonemen, sie benutzen globale Lesestrategien und versuchen sich an der visuellen Gestalt eines Wortes zu orientieren. Kinder mit dyseidetischer LRS (9%) können zwar phonologische Strategien nutzen, haben aber Schwierigkeiten, Wörter als Ganzes wahrzunehmen. So können sie zwar phonologisch reguläre Worte richtig lesen, haben aber große Schwierigkeiten beim Lesen und Schreiben von irregulären Worten. Kinder mit gemischter LRS (21%) haben sowohl Probleme bei der phonologischen Integration als auch bei der Wahrnehmung des Wortes als Ganzes.

Eine ähnliche Unterteilung wurde vom „Dual-Route Model“ des Lesens abgeleitet (Baron & Strawson, 1976; Coltheart & Rastle, 1994) (s.S. 6) und unterscheidet zwischen Oberflächendyslexie und phonologischer bzw. Tiefendyslexie. Demnach können Kinder mit Oberflächendyslexie nicht auf die orthographische Form eines Wortes zugreifen, die im mentalen Lexikon gespeichert ist und Kinder mit phonologischer Dyslexie können die Graphem-Phonem Beziehung nicht erlernen (Castles & Coltheart, 1993). Entsprechend haben Kinder mit Oberflächendyslexie besondere Schwierigkeiten bei phonologisch irregulären Worten, während Kinder mit phonologischer Dyslexie besondere Schwierigkeiten bei Nicht- oder Pseudowörtern

haben. Diese doppelte Dissoziation gilt als Beleg für das Dual-Route-Modell und für die Existenz der voneinander unabhängigen lexikalischen und nicht lexikalischen Route.

Aber auch diese Unterscheidungen scheinen zu global, um der Heterogenität der LRS und der daraus resultierenden Komplexität ihrer Ursachen gerecht werden zu können (Grigorenko, 2001). Einigkeit herrscht lediglich darüber, dass der LRS eine neurologische Störung mit genetischem Anteil zugrunde liegt (Ramus, 2003; vgl. Kap.2.5). Außerdem berichten verschiedene Forschergruppen übereinstimmend, dass Schwächen in der phonologischen Verarbeitung in engem Zusammenhang mit der LRS stehen (Libermann, 1973; Bradley & Bryant, 1978; Snowling 1981; Stanovich, 1988; Paulesu et al., 1996, 2001; Shaywitz et al. 1998, 2002, Temple et al., 2001; Ramus, 2003; vgl. Kap. 2.1). Welchen Beitrag andere (defizitäre) neurologische Mechanismen oder Störungen zur Entstehung oder Aufrechterhaltung der LRS leisten, ist nach wie vor unklar.

Ramus (2003) schlägt folgende Systematisierung der ätiologischen Theorien zur Dyslexie vor: Einerseits gebe es die phonologische Theorie, die die LRS ausschließlich durch ein kognitives Defizit verursacht sieht, das sich auf die Repräsentation und Verarbeitung von Phonemen bezieht (phonologisches Verarbeitungsdefizit). Auf Hirnebene zeige sich dieses kognitive Defizit in einer angeborenen Dysfunktion verschiedener kortikaler Gebiete, die mit Phonologie und Lesen zu tun haben. Andererseits gebe es Theorien, die zwar die Existenz eines phonologischen Verarbeitungsdefizits anerkennen, es aber als Folge eines sensomotorischen Defizits betrachten. Die wenigsten Theorien postulieren jedoch ein generelles sensomotorisches Defizit, sondern sehen eng umschriebene sensorische Defizite oder Defizite in bestimmten Hirnarealen als Ursache der LRS.

So werden als weitere mögliche Faktoren visuelle Verarbeitungsdefizite (Lovegrove et al., 1980; Livingstone et al., 1991; Stein & Walsh, 1997), auditive Verarbeitungsdefizite (Amitay et al. 2002; Ruff et al., 2002; Temple et al., 2000; Rosen & Manganari 2001), zerebelläre Defizite (Nicolson & Fawcett, 1990; Nicolson et al., 2001; Bishop, 2002; Beaton, 2002), temporale Verarbeitungsdefizite in der auditiven Modalität (Tallal, 1980, 1984), in der visuellen Modalität (Lovegrove, 1994) oder in beiden Modalitäten (Farmer & Klein, 1995), oder generell sensomotorische Dysfunktionen (z.B. Ramus, 2003) untersucht. Außerdem wurde versucht, eine Vielzahl der Störungen unter der magnozellulären Theorie der Legasthenie

zusammenzufassen (Stein, 2001), nach der sowohl visuelle als auch phonologische Defizite die LRS verursachen können.

Bevor ich die einzelnen Theorien und die dazugehörigen Befunde ausführlicher darstellen werde, möchte ich zunächst einen kurzen Überblick über die beiden bedeutendsten Modelle des Wortlesens geben, die zum Verständnis der Leseschwierigkeiten bei LRS beitragen können: das schon angesprochene „Dual-Route Model“ (Baron & Strawson, 1976; Coltheart & Rastle, 1994) und ein konnektionistisches Modell (Seidenberg & McClelland, 1989; Manis et al., 1996; Harm & Seidenberg, 1999). Beiden Modellen ist die zentrale Rolle von phonologischer Information sowohl für das Lesenlernen als auch für das fortgeschrittene Lesen von einzelnen Worten gemein. Dies verweist im Umkehrschluss auf die Bedeutung einer defizitären phonologischen Verarbeitung für die Ätiologie der LRS.

1.3 Modelle des Wortlesens

Das „Dual-Route Model“ (Coltheart & Rastle, 1994) geht von zwei unabhängigen Routen des Wortlesens aus, deren erste und letzte Verarbeitungsschritte jedoch identisch sind: Der Beginn beider Routen liegt in der Buchstabenidentifikation und beide enden mit der Aktivierung der phonemischen Repräsentation während der Artikulation. Die direkte oder lexikalische Route verschafft nach der Buchstabenidentifikation über das orthographische Muster eines Wortes direkten Zugang zur orthographischen Repräsentation des Wortes im mentalen Input-Lexikon (visueller Zugang), worauf aus dem phonologischen Output-Lexikon die gesprochene Form des Wortes abgerufen wird. Über diese Route ist eine schnelle und mühelose Aussprache bekannter Worte möglich, auch wenn sie über irreguläre Phonem-Graphem-Korrespondenzen verfügen. Die indirekte, phonologische oder nichtlexikalische Route erlaubt es, durch ein Set von Graphem-Phonem-Korrespondenz-Regeln Buchstabenreihen in Worte zu übersetzen. Dieser Weg ist sehr langsam und kommt v.a. zu Beginn des Leselernprozesses und bei unvertrauten oder Pseudowörtern zum Einsatz. Er liefert aber eine falsche Aussprache bei Worten mit irregulären Phonem-Graphem-Korrespondenzen. Wird ein unvertrautes Wort wiederholt gelesen, entsteht für das spezifische orthographische Muster des Wortes eine Repräsentation im mentalen Lexikon. Damit wird der Zugang über die direkte Route möglich.

Dieses Modell leistet eine Erklärung für den Erwerb des Lesens und die oben beschriebenen zwei Subtypen der Dyslexie (Oberflächendyslexie und phonologische Dyslexie). Ein Problem entsteht jedoch durch die Annahme zweier konkurrierender Wege: Das Modell postuliert, dass bei häufigen Worten über die direkte Route ein schneller Abruf aus dem semantischen Lexikon erfolge. Bei seltenen, irregulären Worten sei jedoch der lexikalische Weg oft so langsam, dass die Aussprache über den phonologischen Weg erfolge. In Abhängigkeit von der Häufigkeit eines irregulären Wortes kann also ein Konflikt zwischen den beiden Routen entstehen, der durch Modellvorhersagen nicht gelöst werden kann.

Ein konnektionistisches oder Netzwerkmodell (z.B. Seidenberg & McClelland, 1989; Harm und Seidenberg, 1999) kann genauso den Leseerwerb und die Subtypen der Dyslexie erklären, hat aber den Vorteil, dass es nur einen Verarbeitungsweg für alle Worttypen postuliert, so dass das Problem des Konflikts zwischen zwei Routen nicht entstehen kann. Es ist ein Modell mit Netzwerkcharakter, bei dem die Präsentation eines orthographischen Musters als Input über gewichtete Verbindungen eine weitgestreute Aktivierung über das gesamte lexikalische Netzwerk bewirkt. Diese Aktivierung kann durch Berechnungen simuliert werden, die verschiedene Arten von Informationen (orthographische, phonologische, semantische) einschließen. Die zwei Subtypen der Dyslexie werden durch unterschiedliche Schäden im lexikalischen Netzwerk erklärt. In Abhängigkeit von der Art der Schädigung kommt es entweder zu Defiziten bei den Ausnahmewörtern oder bei den Nichtwörtern. Die Auswirkung dieser Schädigungen konnte im Modell simuliert werden. Diesen Schädigungen sollen, wie beim Dual-Route-Model, verschiedene neurobiologischen Anomalien entsprechen, für die Erklärung ihrer Auswirkung ist aber keine separate lexikalische und nichtlexikalische Route notwendig.

Während Vertreter des Dual-Route-Modells nur eine ungenügende Kompetenz in den Graphem-Phonem-Korrespondenzregeln als Erklärung für die phonologische Dyslexie heranziehen und Beeinträchtigungen in anderen phonologischen Fähigkeiten (z.B. phonologische Bewusstheit) als davon unabhängig betrachten, versuchen Vertreter des Netzwerkmodells einen kausalen Zusammenhang zwischen verschiedenen phonologischen Fähigkeiten und phonologischer Dyslexie herzustellen. Dazu verweisen sie einerseits auf eine Vielzahl an Veröffentlichungen, die diesen Zusammenhang belegen sollen (z.B. Olson et al., 1989; Shankweiler & Libermann, 1989; Share, 1995). Andererseits wurde von verschiedenen

Arbeitsgruppen versucht, den Zusammenhang durch entsprechende Veränderungen ihrer Modelle simuliert werden. So zeigten z.B. Plaut et al. (1996), dass verbesserte phonologische Repräsentationen im Modell zu einer verbesserten Leistung des Modells bei Nicht- bzw. Pseudowörtern führte. Umgekehrt zeigten Harm & Seidenberg (1996), dass die verringerte Fähigkeit eines Modells, phonologische Regularitäten zu speichern, zu einer reduzierten Generalisierung auf Nichtwörter führt. Leichte Schädigungen des Modells führen v.a. zu Schwierigkeiten beim Nichtwort-Lesen, stärkere Schädigungen führen zusätzlich zu Schwierigkeiten beim Ausnahmewörterlesen (Harm & Seidenberg, 1999).

Besner et al. (1990) zeigten jedoch, dass das Modell von Seidenberg und McClelland (1989) sowohl beim Lesen von Pseudowörtern als auch bei lexikalischen Entscheidungen schlechter abschneidet, als Versuchspersonen. Damit war die Gültigkeit des Modells in Frage gestellt.

Obwohl auch das Dual-Route Modell nicht frei von Problemen ist, wird es zumindest im Zusammenhang mit Dyslexie bevorzugt herangezogen.

2. Ätiologie der Dyslexie

2.1 Die phonologische Theorie

Vertreter der phonologischen Theorie gehen davon aus, dass als Voraussetzung zum Lesenlernen das Wissen um Graphem-Phonem-Korrespondenzen vorhanden sein muss. Wenn die Phoneme ungenügend gespeichert, repräsentiert oder zugänglich sind bzw. defizitär verarbeitet werden, kann auch die Phonem-Graphem-Verbindung und damit das Lesen und Schreiben nur unzureichend gelernt werden (Ramus et al., 2003, Ramus 2001). Als neurologische Ursache für dieses phonologische Verarbeitungsdefizit wird häufig eine angeborene Dysfunktion der linkshemisphärischen perisylvischen Hirnregion angenommen, die für phonologische Repräsentationen bzw. die Verbindung zwischen Phonem und Graphem verantwortlich gemacht wird. Dafür gibt es in Studien mit bildgebenden Verfahren (PET: Paulesu, 1996; fMRI: Shaywitz, 1998, 2002; Temple, 2001), in anatomischen post-mortem Studien (Galaburda et al., 1985; Geschwind, Galaburda, 1985) und in Studien zur Quellenlokalisation mit dem MEG Hinweise (Elbert, 1998; Lütkenhöner et al., 1998).

Es gibt nur wenige Studien, die kein phonologisches Verarbeitungsdefizit bei LRS finden (z.B. Szeszulski & Manis, 1987; Vellutino & Scanlon, 1987). In Gruppenvergleichen schneidet die Gruppe mit LRS in den meisten Studien bei Aufgaben zur phonologischen Verarbeitung schlechter ab als die Kontrollgruppe, was aber nicht heißt, dass alle Kinder mit LRS ein phonologisches Verarbeitungsdefizit haben. Die wenigsten Studien machen aber Angaben über den Anteil der Probanden mit LRS, die ein phonologisches Verarbeitungsdefizit aufweisen (vgl. Rack, 1992).

Nach Wagner und Torgesen (1987) bezeichnet phonologische Verarbeitung den Gebrauch phonologischer Information bei der Verarbeitung gesprochener und geschriebener Sprache. Zur phonologischen Verarbeitung tragen drei Komponenten bei: (1.) die phonologische oder phonemische Bewusstheit, (2.) das phonologische Rekodieren beim lexikalischen Zugang und (3.) das phonetische Rekodieren, um Information im Arbeitsgedächtnis zu erhalten.

2.1.1 Phonologische Bewusstheit

Phonologische Bewusstheit bezeichnet das explizite Wissen um die phonologische Struktur von Wörtern der eigenen Sprache (Stanovich, 1993) bzw. die Fähigkeit, die Klangstruktur gesprochener Sprache explizit zu reflektieren (Schneider, 2000). Es herrscht Einigkeit darüber, dass phonologische Bewusstheit in engem Zusammenhang mit dem Erwerb von Lesen und Schreiben steht. So konnte gezeigt werden, dass Kinder mit schlechten Leistungen in Tests zur phonologischen Bewusstheit im Kindergartenalter schlechte Leser im Grundschulalter werden und Kinder mit guter phonologischer Bewusstheit im Kindergartenalter gute Leser in der Grundschule werden (z.B. Marx et al., 1993; Schneider & Näslund, 1993, Wimmer et al., 1994). Dieses Verhältnis von phonologischer Bewusstheit und Leseleistung scheint sehr stabil zu sein: Auch bei Erwachsenen mit LRS wurde eine geringe phonologische Bewusstheit festgestellt (Lieberman et al., 1987; Byrne & Ledez, 1983; Marcel, 1980).

Während der Zusammenhang zwischen phonologischer Bewusstheit und dem Lesen häufig untersucht wurde, existieren für den Zusammenhang zwischen der phonologischen Bewusstheit und dem Schreiben nur wenige Studien. Muter & Snowling (1997) untersuchten in einer Längsschnittstudie 34 Kindern im Alter von fünf Jahren und ein zweites Mal im Alter von neun Jahren, um Prädiktorvariablen im Kindergartenalter für die Rechtschreibleistung in der Grundschule zu erhalten. Es

zeigte sich, dass alle erhobenen Phonologievariablen bedeutsam mit der Rechtschreibleistung im Alter von neun Jahren korrelierten; stärkster Prädiktor für die Rechtschreibleistung war das Lautestreichen. Stuart & Masterson (1992) untersuchten die Bedeutung von phonologischer Bewusstheit durch verschiedene Tests im Alter von vier Jahren für die Lese- und Rechtschreibleistung im Alter von zehn Jahren. Aufgrund der hohen Interkorrelationen der Phonologievariablen im Alter von vier Jahren und als Ergebnis einer Faktorenanalyse wurden alle Werte der Phonologietests zu einem Summenwert zusammengefasst. Dieser Summenwert korrelierte mit der Leseleistung mit zehn Jahren zu $r = .61$ und mit der Rechtschreibleistung zu $r = .57$. Phonologische Bewusstheit scheint also selbst für die Lesefähigkeit von Zehnjährigen noch einen bedeutsamen Prädiktor darzustellen. Auch Schulte-Körne (2001) konnte zeigen, dass die phonologische Bewusstheit bei Schülern der 2., 3., 4., 5. und 6. Klasse und bei Erwachsenen die Lese- und Rechtschreibleistung beeinflusst. Bei den Zweitklässlern und einer Erwachsenenstichprobe war der Einfluss auf die Rechtschreibung sogar größer als auf das Lesen.

Es gibt zahlreiche Trainingsstudien die zeigen konnten, dass ein Training der phonologischen Bewusstheit zu einer signifikanten Verbesserung sowohl bei Aufgaben zur phonologischen Verarbeitung als auch im Lesen führt. Diesen Zusammenhang konnten Bus & van Ijzendoorn (1999) in einer Metaanalyse über 34 Studien zum phonologischen Training bei zufällig ausgewählten Kindergarten- und Grundschulkindern mit hohen Effektstärken eindrucksvoll bestätigen. Es wurden sowohl Studien mit normalen Kindern als auch mit Risikokindern und mit Längs- wie auch Querschnittsdesign berücksichtigt. Über alle Studien betrug der Unterschied der jeweiligen Trainingsgruppe zur Kontrollgruppe ohne phonologisches Training $d = .73$ für phonologische Bewusstheit und $d = .70$ für Lesen. Ähnliche Effekte konnten auch bei Studien mit Risikokindern gezeigt werden, die im Kindergarten deutlich verminderte Leistungen in Tests zur phonologischen Verarbeitung gezeigt hatten (Schneider et al., 2000; Borstrom & Elbro, 1997; Torgesen et al., 1997).

Während der präventive Effekt eines phonologischen Trainings im Kindergarten also unbestritten ist, wird die Wirksamkeit eines solchen Trainings im Grundschulalter manchmal bezweifelt (Schulte-Körne et al., 2001). Wimmer & Hartl (1991) konnten mit einem phonologisch und multisensorisch orientierten Förderprogramm an zehn lese- und rechtschreibschwachen Kindern aus einer zweiten Klasse keinen

Therapieeffekt feststellen. Als Erklärung wurde angeführt, dass in der zweiten Klasse schon ausreichend phonologische Fähigkeiten erworben worden seien, so dass ein zusätzliches Training keine Steigerung beim Lesen und Schreiben bewirken könne. Diese Erklärung widerspricht allerdings den zahlreichen Befunden, dass auch Erwachsene mit LRS noch über defizitäre phonologische Fähigkeiten verfügen.

Außerdem scheinen bestimmte Fähigkeiten der phonologischen Bewusstheit stärkere Prädiktoren für die Leseleistung zu sein als andere. So wurde z.B. unterschieden in phonologische Bewusstheit im weiteren Sinn, die sich auf die Analyse größerer Klangstrukturen wie Wörter oder Silben bezieht und phonologische Bewusstheit im engeren Sinn, worunter die Fähigkeit verstanden wird, einzelne Phoneme in Silben oder Worten zu isolieren (Skowronek & Marx, 1989; Schneider 2000). Es konnte gezeigt werden, dass eine ausgeprägte phonologische Bewusstheit im weiteren Sinn im Vorschulalter die Aneignung des alphabetischen Codes und damit das Lesen- und Schreibenlernen erleichtert, während sich die phonologische Bewusstheit im engeren Sinne erst als Folge des Lese- und Schreiblernprozesses entwickelt (Wagner et al., 1994, Wimmer et al., 1991). Dies wird durch Studien aus den 70er Jahren gestützt, die zeigen, dass die Entwicklung der Analysefähigkeit von größeren Einheiten (z.B. Silben) schon ab einem Alter von 3-4 Jahren stattfindet, während eine zuverlässige Segmentierung von kleineren Einheiten (z.B. Phonemen) erst ab einem Alter von 5-6 Jahren erfolgt (Liberman et al., 1974; Fox & Routh, 1975).

Eine weitere Unterteilung von Fähigkeiten, die die phonologische Bewusstheit betreffen, besteht in der Unterscheidung von phonologischer Analyse (oder Segmentierung) und phonologischer Synthese (Torgesen et al., 1992). Phonologische Analyse bezieht sich auf die Identifizierung individueller Phoneme in einem Wort und wird meist durch das Zählen der Phoneme in einem Wort, das Nachsprechen der einzelnen Phoneme in der Reihenfolge des Auftretens im Wort, das Weglassen definierter Phoneme beim Nachsprechen von Worten oder durch Auswahl von Worten, die mit dem gleichen Anfangs- oder Endlaut wie ein Zielwort beginnen, operationalisiert. Phonologische Synthese dagegen bezieht sich auf die Fähigkeit, einzelne Phoneme zu einem wahrnehmbaren Wort zu kombinieren. So soll in einer Aufgabe zur Operationalisierung der phonologischen Synthesefähigkeiten z.B. bestimmt werden, welches Wort die Phoneme /h/, /u/, /n/ und /d/ ergeben (Lewkowicz, 1980). Perfetti et al. (1987) schlossen aus ihrer Längsschnittstudie, dass

phonologische Synthesefähigkeiten in der ersten Klasse besser als Analysefähigkeiten die spätere Lesefähigkeit voraussagen. Fox & Routh (1976) zeigten, dass ein phonologisches Synthesetraining nur bei den Kindern eine Auswirkung auf die Leseleistung hat, die vor dem Training schon über eine gute Phonemanalysefähigkeit verfügen. Allerdings wurde in dieser Studie nicht überprüft, ob Kinder mit hoher Phonemanalysefähigkeit auch über andere Fähigkeiten verfügen, die eine verbesserte Leseleistung erklären könnten. Torgesen et al. (1992) konnten in ihrer Studie zeigen, dass Kinder, die in einem Screeningtest zur phonologischen Bewusstheit zwischen einem Prozentrang von 15 und 50 lagen, nur mit einem kombinierten Training von Analyse- und Synthesefähigkeiten signifikant weniger Versuche benötigten, um das Lesen von neuen Worten zu lernen, als das bei Kindern der Fall war, die in dem Screeningtest ebenfalls schlechte Werte erzielten, aber kein Training zur phonologischen Bewusstheit erhielten.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass eine Großzahl von Kinder mit LRS geringere Werte bei Tests zur phonologischen Bewusstheit erreichen als gleichaltrige Kinder ohne LRS und dass v.a. ein Training der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinne zu einer Verbesserung der phonologischen Verarbeitung und des Lesens und Schreibens führt, wobei wahrscheinlich ein Training, das sowohl die Phonemanalyse als auch die Phonemsynthese beinhaltet, am effektivsten ist.

2.1.2 Phonologisches Rekodieren beim lexikalischen Zugang

Unter phonologischem Rekodieren beim lexikalischen Zugang versteht man die Rekodierung oder das Übertragen von geschriebenen Symbolen in eine Art klang-basierter Repräsentation, um mit Hilfe dieser Repräsentation Zugang zum Lexikon zu erreichen (Wagner & Torgesen, 1987). Phonologisches Rekodieren scheint v.a. beim Lesenlernen von Bedeutung zu sein, aber auch beim fortgeschrittenen Leser für das Lesen von unvertrauten Worten eine Rolle zu spielen (z.B. Doctor et al., 1980). Aufgaben zur Erfassung der phonologischen Rekodierungsfähigkeit beinhalten das schnelle Benennen von Objekten, Farben oder anderen Stimuli, das schnelle Lesen von Pseudowörtern oder die Entscheidung, ob es sich um reale oder Pseudowörter handelt („lexical decision“ = lexikalische Entscheidungsaufgaben).

In ihrer klassischen Studie mit Schulkindern zum schnellen Benennen konnten Denckla und Rudel (1976) zeigen, dass Kinder mit LRS signifikant langsamer im

Benennen von gezeichneten Objekten, Farben, Ziffern und Buchstaben sind als gleichaltrige Kinder ohne LRS, die aber eine Lernbeeinträchtigung haben oder gleichaltrige Kinder mit normalem Leseerwerb. Dieses langsame Benennen gilt als Beleg für unvollständige phonologische Repräsentationen der entsprechenden Worte, so dass der genaue phonologische Code nicht generiert werden kann (Swan & Goswami, 1997a). Dieses Ergebnis konnte sowohl in Designs mit gleichaltrigen Kontrollprobanden (Katz, 1986; Murphy et al., 1988) als auch in Designs mit Kontrollprobanden mit gleichem Lesealter (Wolf, 1991; Swan & Goswami, 1997b) bestätigt werden. Einen umfassenden Überblick über Studien zur schnellen Benennung von Objekten liefern Semrud-Clikeman et al. (2000).

Die Präsentation von aussprechbaren Nonsense- oder Pseudowörtern ist die Technik, die am häufigsten angewandt wird, um phonologische Prozesse beim Lesen zu untersuchen (Rack et al., 1992). Auch hier wird zwischen Designs mit gleichaltrigen Kontrollbanden und jüngeren Kontrollprobanden mit gleichem Lesealter unterschieden, die beide nicht frei von Nachteilen sind, da konfundierende Variablen nicht vollständig ausgeschlossen werden können. Der Vorteil der Kontrollgruppe mit gleichem Lesealter liegt darin, dass für die Probleme beim Pseudowörterlesen der LRS-Gruppe generelle Lese Probleme, Gedächtnis- oder Artikulationsschwierigkeiten als Ursache ausgeschlossen werden können (Rack et al., 1992). So konnte Snowling (1980, 1981) zeigen, dass Kinder mit Dyslexie beim lauten Lesen von Pseudowörtern langsamer waren und mehr Fehler machten als Kinder mit gleichem Leseniveau ohne Dyslexie. Dieser Effekt zeigte sich aber nicht bei einsilbigen Pseudowörtern. In einer Studie von Baddeley et al. (1982) machten die Kinder mit Dyslexie bei einsilbigen Pseudowörtern mehr Fehler als die Kinder mit gleichem Leselevel, während beide Gruppen die einsilbigen Inhaltswörter gleich gut lasen. Kochnower et al. (1983) und Dibenedetto et al. (1983) ließen die Kinder reguläre, irreguläre und Pseudowörter laut lesen. Die Kinder mit Dyslexie waren bei den Pseudowörtern und den regulären Worten signifikant schlechter als die Kontrollgruppe mit gleichem Leselevel, was als Beleg für ein phonologisches Verarbeitungsdefizit betrachtet wurde. In einer groß angelegten Studie mit 172 Kindern mit Dyslexie und 172 Kontrollprobanden mit gleichem Leseniveau konnten Olson et al. (1989) die Ergebnisse der bislang zitierten Studien eindrucksvoll stützen: die Kinder mit Dyslexie lasen die ein- und zweisilbigen Pseudowörter signifikant langsamer als die

Kontrollprobanden und machten dabei signifikant mehr Fehler. Allerdings wurden die Kinder hier nicht im Lesen von regulären oder irregulären Worten verglichen.

Auch bei den Aufgaben zur lexikalischen Entscheidung zeigen die Personen mit Dyslexie konsistent schlechtere Leistungen als Kontrollprobanden ohne Dyslexie. So konnten Assink et al. (1999) zeigen, dass Kinder mit Dyslexie bei einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe signifikant langsamer entscheiden, ob es sich bei visuell präsentierten Graphemfolgen um echte oder Pseudowörter handelt, als Kinder mit gleichem Leselevel ohne Dyslexie. Nicolson & Fawcett (1994) fanden, dass Kinder mit Dyslexie bei einer Aufgabe zur lexikalischen Entscheidung mit auditorisch präsentierten Phonemreihen zwar gleichschnelle Reaktionszeiten zeigten wie jüngere Kinder mit gleichem Leselevel, aber signifikant langsamer entschieden als gleichaltrige Kontrollprobanden, die nicht nach ihrem Leseniveau ausgesucht wurden. Wurde eine „by-item“-Analyse durchgeführt, waren sie sogar signifikant langsamer als eine jüngere Kontrollgruppe mit gleichem Leseniveau.

Es scheint also, als ob Kinder mit Dyslexie in allen Aufgaben zum phonologischen Rekodieren deutlich schlechter abschneiden als sowohl gleichaltrige Kontrollkinder wie auch jüngere Kontrollkinder mit gleichem Lesealter. Dieses Ergebnis spricht für ein qualitatives Defizit beim Zugriff auf das mentale Lexikon, das nicht nur mit einer (quantitativen) Entwicklungsverzögerung erklärt werden kann.

2.1.3 Phonetisches Rekodieren im Arbeitsgedächtnis

Unter phonetischem Rekodieren im Arbeitsgedächtnis versteht man die Übertragung von Graphemen in ein klangbasiertes Repräsentationssystem, wodurch die Grapheme als Phoneme während der Verarbeitung bzw. während des Zusammenfügens der Phoneme zum Wort („Bending“) im Arbeitsspeicher gehalten werden können (vgl. Wagner & Torgesen, 1987). Diese Fähigkeit spielt nur zu Beginn des Leselernprozesses eine Rolle, wenn die einzelnen Grapheme in Phoneme transformiert, gespeichert und dann zu einem ganzen Wort zusammengefügt werden. Je effizienter das phonetische Rekodieren im Arbeitsspeicher funktioniert, desto mehr kognitive Ressourcen sind frei, um die Phoneme schnell und flüssig zu Worten zu verbinden (Baddeley, 1982b).

Um die Bedeutung des Arbeitsspeichers für das Lesenlernen zu verstehen, wird meist auf das Gedächtnismodell von Baddeley (z.B. 1990) verwiesen. Nach diesem Modell ist zentrale Komponente des Arbeitsgedächtnisses ein

Aufmerksamkeitssystem („zentrale Exekutive“), das weitere untergeordnete und unterstützende (Sub-)Systeme koordiniert und kontrolliert. Die wichtigsten Subsysteme sind das visuelle „Sketchpad“, das für die Manipulation und Organisation von visuellem Material zuständig ist und die phonologische Schleife („Loop“), die für die Manipulation und Enkodierung von sprachlichem Material verantwortlich und damit entscheidend für die phonetische Rekodierung im Arbeitsgedächtnis ist.

Die phonologische Schleife enthält einen phonologischen Speicher, in dem sprachliche Information in phonologischer Form, bzw. nach phonologischen Merkmalen gespeichert ist, die nach 1,5 – 2 Sekunden wieder gelöscht wird. Sie kann jedoch durch einen subvokalen artikulatorischen Wiederholungsprozess („Rehearsal“) länger aufrecht erhalten bleiben. Auditive Information gelangt direkt in den phonologischen Speicher, während visuell verbale (geschriebene) Information zuerst über den artikulatorischen Rehearsal-Prozess phonologisch rekodiert werden muss. Die Existenz des phonologischen Ähnlichkeitseffektes (schlechteres Erinnern von ähnlich klingenden Worten, Nichtworten oder Pseudoworten; Hulme, 1984, Hulme & Tordoff, 1989) und des Wortlängeneffektes (schlechteres Erinnern von langen Worten; Hulme & Tordoff, 1989; Cowan et al., 1992) gelten als zuverlässige Belege für die phonologische Schleife.

Den Zusammenhang zwischen phonologischer Schleife und Leseschwierigkeiten untersuchten bereits 1979 Shankweiler et al.: Sie fanden, dass die Gedächtnisspanne für Buchstaben bei guten Lesern durch ähnlich klingende Buchstaben beeinträchtigt wird (vgl. phonologischer Ähnlichkeitseffekt), während bei schlechten Lesern die Gedächtnisspanne immer gleich groß bleibt, unabhängig davon, ob ähnlich oder nicht ähnlich klingende Buchstaben verwendet wurden. Daraus folgerten die Autoren, dass gute Leser sich bei Aufgaben zur Gedächtnisspanne phonologische Information mehr zu nutze machen (können) als schlechte Leser. Katz et al. (1981) konnten dagegen zeigen, dass bei einer Wiedergabe von Bilderserien Kinder mit Leseschwierigkeiten nur bei konkreten Gegenständen schlechtere Leistungen erbrachten als Kinder ohne die Schwierigkeiten, während die Leistungen für abstrakte Strichzeichnungen bei beiden Gruppen gleich war.

Kinder mit Leseschwierigkeiten scheinen also kein generelles Defizit im Arbeitsgedächtnis, sondern ein spezifisches Problem bei der phonetischen Kodierung von Objekten zu haben.

Dieser Überblick zeigt, dass es eine große Anzahl an Studien gibt, die die Existenz eines phonologischen Verarbeitungsdefizits und seinen Beitrag zur LRS eindrücklich stützen. Es wird jedoch häufig argumentiert, dass das phonologische Verarbeitungsdefizit selbst nur Folge einer tiefer liegenden Störung sei (Ramus, 2003). Ob es sich bei dieser ursprünglichen Störung um motorische Probleme, generelle sensorische Verarbeitungsschwächen oder spezifisch temporale Verarbeitungsdefizite handelt oder ob es sich um ein rein sprachlich-kognitives Problem handelt, ist bislang nicht eindeutig geklärt. Im den nächsten Abschnitten werden Theorien und Studien dargestellt, die den potentiellen Zusammenhang zwischen einigen dieser möglicherweise ursächlichen perzeptuellen oder prozessualen Störungen und phonologischen Verarbeitungsprozessen bzw. Schwierigkeiten beim Lesen und Schreiben untersucht haben.

In der vorliegenden Studie soll die phonologische Theorie der Dyslexie mit Hilfe eines phonologischen Trainings (s. Kap. 3.2 und 5.5.2) überprüft werden, indem dessen Auswirkung auf phonologische und hirnelektrische Parameter sowie die Lese- und Rechtschreibleistung mit der Auswirkung eines temporalen (Computertraining s. Kap. 3.3 und 5.5.3) und eines Regeltrainings (s. Kap. 3.1 und 5.3.1) verglichen wird.

2.2 Das kategoriale Wahrnehmungsdefizit

Nach Meinung einiger Autoren könnte eine mögliche Ursache für phonologische Defizite bei Dyslexie darin bestehen, dass viele Probanden mit LRS Schwierigkeiten bei der Sprachwahrnehmung bzw. bei der zuverlässigen Unterscheidung von Phonemen haben (Joanisse et al., 2000; Adlard, Hazan, 1998; Mody et al., 1997; Reed, 1989). Diese Sprachwahrnehmungsfähigkeit wird mit Aufgaben zur kategorialen Wahrnehmung überprüft. Damit handelt es sich bei der „Kategorialen Wahrnehmung“ nicht um eine eigenständige Theorie der Dyslexie, sondern um ein experimentelles Design zur Untersuchung von Sprachwahrnehmungsdefiziten, das zunächst die Theorie des temporalen Verarbeitungsdefizits stützen sollte, mittlerweile aber häufiger herangezogen wird, um Defizite in der phonologischen

Kodierungsfähigkeit bei Dyslexie zu belegen (vgl., Blomert, Mitterer, 2004; Studdert-Kennedy, 2002; zur Theorie des temporalen Verarbeitungsdefizits bei Dyslexie: s. Kap. 2.3). Wegen dieser Mittelstellung zwischen der phonologischen Theorie und der Theorie des temporalen Verarbeitungsdefizits sollen die Studien zu kategorialen Wahrnehmung auch hier zwischen den beiden Theorien berichtet werden.

Akustische Variationen bei der Sprachproduktion verlaufen entlang eines Kontinuums und werden bei der Sprachverarbeitung nicht im Verhältnis 1:1 in distinkte Sprachlaute übertragen, sondern erhalten ein „Etikett“, dem eine phonemische Kategorie entspricht (Fitch et al., 1997). Besonders deutlich werden diese Kategorien z.B. bei der Unterscheidung von stimmhaften und stimmlosen Konsonanten. Stimmhafte Konsonanten (/b/, /d/, /g/) weisen eine kurze VOT („voice onset time“: Zeit zwischen dem Öffnen der Lippen und dem Beginn der Vibration der Stimmbänder) auf, während stimmlose Konsonanten (/p/, /t/, /k/) durch eine relativ lange VOT charakterisiert sind. Die verschiedenen möglichen VOTs zwischen z.B. /b/ und /p/ werden jedoch nicht wahrgenommen, sondern bis zu einer VOT von ca. 30ms die Kategorie /b/ und danach die Kategorie /p/.

Dies verdeutlicht, dass akustische Differenzen innerhalb einer Kategorie normalerweise nicht wahrgenommen werden, wogegen gleich große Differenzen zwischen zwei Kategorien gut wahrgenommen werden können (Serniclaes et al., 2001; Diehl et al., 2004). Für diese phonemischen Kategorien gibt es zwar angeborene Prädispositionen, die scharfen psychophysischen oder perzeptuellen Grenzen der Kategorien bilden sich aber zu einem Großteil durch expressive und rezeptive Spracherfahrungen ab der Geburt aus (Kuhl, 1992). Die Fähigkeit, perzeptuelle Grenzen zwischen Sprachklängen zu etablieren, wird kategoriale Wahrnehmung genannt und führt zu klar umgrenzten (kategorialen) Reaktionsmustern auf Sprachlaute aus der eigenen Sprache (Fitch et al., 1997), unabhängig davon, dass sich jeder Sprachlaut auf einem akustischen Kontinuum befindet und nicht per se eine definierte Kategorie ist (Libermann et al., 1957). Dies ermöglicht eine zuverlässige Sprachwahrnehmung trotz inter- und intraindividuellen Variationen der Sprachlautproduktion (Adlard, Hazan, 1998).

Für Aufgaben zur kategorialen Wahrnehmung werden meistens die Startfrequenzen des zweiten und dritten Formanten eines Stop-Konsonanten über 8-10 Stufen erhöht. Dies bewirkt z.B. bei der ursprünglichen CV-Silbe /ba/ ab einer bestimmten Frequenzstufe die abrupte Wahrnehmung eines /da/ und bei weiterer Erhöhung der

Frequenz ab einem bestimmten Frequenzbereich die abrupte Wahrnehmung eines /ga/ (z.B. Godfrey et al., 1981).

Einige Autoren gehen davon aus, dass als Ursache für Sprachwahrnehmungsdefizite bei Personen mit Dyslexie die perzeptuellen Grenzen der phonemischen Kategorien weniger scharf definiert seien, wodurch die Grenzen zwischen verschiedenen Sprachlauten verwischt und die Sprachlaute weniger zuverlässig wahrgenommen würden (z.B. McAnally et al., 1997; Serniclaes et al., 2001). Godfrey et al. (1981) verglichen als eine der ersten Gruppen die kategoriale Wahrnehmung bei Kindern mit und ohne Leseschwierigkeiten und fanden bei den dyslektischen Kindern für die Identifikationsfunktionen des /ba-/da/- und des /da-/ga/-Kontinuums signifikant flachere Gradienten und damit weniger scharfe Phonemkategoriegrenzen als bei den gleichaltrigen, unbeeinträchtigten Kindern. In Anlehnung an die Schlussfolgerungen von Tallal et al. (1974, 1975, 1980), dass die Probleme bei der Diskriminierung von CV-Silben auf Schwierigkeiten bei der Unterscheidung kurzer konstituierender Komponenten zurückzuführen seien, wurde in dieser Studie ein temporales Verarbeitungsdefizit als mögliche Ursache für die Defizite bei der kategorialen Wahrnehmung in Betracht gezogen.

Die Ergebnisse der Studie von Reed (1989) gaben zusätzliche Hinweise für einen Zusammenhang zwischen Defiziten bei der kategorialen Wahrnehmung und einem temporalen Verarbeitungsdefizit. Sie berichtet für die 23 dyslektischen Kinder ihrer Studie einen signifikant flacheren Gradienten der Identifikationsfunktion des /ba-/da/-Kontinuums als für die gleichaltrige Kontrollgruppe und außerdem signifikant schlechtere Leistungen in einer Aufgabe zur temporalen Verarbeitung (TOJ, nach Tallal, 1980) mit kurzen Tönen und CV-Silben. Daraus zog sie den Schluss, dass das Defizit bei der Verarbeitung schnell präsentierter Reize die weniger deutlich ausgeprägten phonologischen Kategorien bei Kindern mit Dyslexie bewirken könnten.

Adlard und Hazan (1998) fanden dagegen bei einem /d-/g/-Kontinuum keinen Unterschied in der Steilheit des Gradienten zwischen den dyslektischen und den Kontrollkindern, während beim Kontinuum mit den Frikativen /s-/z/ ein signifikanter Unterschied festgestellt wurde.

Joanisse et al. (2000) führten in ihrer breit angelegten Studie zur Untersuchung sprachlicher und phonologischer Eigenschaften bei dyslektischen Kindern zur Überprüfung der Sprachwahrnehmungsfähigkeit zwei Aufgaben zur kategorialen

Wahrnehmung durch. Bei der ersten variierten sie die VOT in acht Stufen, so dass am Ende „tug“ statt „dug“ wahrgenommen werden sollte. Bei der zweiten, schwierigeren Aufgabe variierten sie die (imaginäre) Stelle der Artikulation beim zweiten Konsonanten durch eine Erhöhung der Frequenz des zweiten Formanten über acht Stufen, so dass am Ende „sky“ statt „spy“ wahrgenommen werden sollte. Auf Grund der großen Heterogenität der Leistungen in Aufgaben zum Lesen, der Sprachwahrnehmung, Phonologie und Morphologie unterteilten sie die Stichprobe von 61 dyslektischen Kindern (alleiniges Kriterium: PR<25 in der Woodcock Reading Mastery Task) in drei Subgruppen: phonologische, sprachbeeinträchtigte und entwicklungsverzögerte Dyslektiker. Nur die Gruppe der sprachbeeinträchtigten Kinder mit Dyslexie, die sich von der phonologischen Gruppe außerdem durch signifikant reduzierte Leistungen in zwei standardisierten Sprachtests unterschied, zeigte signifikant flachere Gradienten bei beiden Aufgaben zur kategorialen Wahrnehmung als die Kontrollgruppe. Die Gruppe mit ausschließlich phonologischen Defiziten und die Gruppe, deren Leistung in allen Tests der von jüngeren Kindern ohne Dyslexie entsprach, zeigten bei beiden kategorialen Aufgaben der Kontrollgruppe identische Leistungen.

Auch Manis et al. (1997) fanden nur bei einem Teil der dyslektischen Kinder Defizite bei der kategorialen Wahrnehmung. Nur die Gruppe der Kinder, die in den Aufgaben zur phonologischen Bewusstheit schlecht abschnitten, unterschied sich bei der kategorialen Wahrnehmung des /b/-/p/-Kontinuums (Variation der VOT in „bath“) signifikant von beiden Kontrollgruppen (parallelisiert nach Alter bzw. Leseleistung bei geringerem Alter). Damit mehrten sich die Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen mangelnder phonologischer Bewusstheit und Schwierigkeiten bei der Phonemdiskrimination. Allerdings zeigte auch in dieser Subgruppe die Hälfte der Probanden normale Phonemidentifikationsfunktionen, so dass ein direkter oder gar kausaler Zusammenhang ausgeschlossen werden kann.

Damit übereinstimmend kommen auch Mody et al. (1997) zu dem Schluss, dass zwischen der Leistung in temporaler Verarbeitung und kategorialer Wahrnehmung kein Zusammenhang besteht. An ihrer Studie nahmen 20 dyslektische und 20 gut lesende Kinder teil, die sich in ihrer Leistung in einer /ba/-/da/-TOJ-Aufgabe signifikant unterscheiden, die normalerweise zur Überprüfung der temporalen Verarbeitung verwendet wird (zu TOJ-Aufgaben: s. Kap. 2.3). Sie verglichen u.a. die Leistung in einem neunstufigen „say“-„stay“-Kontinuum, das durch die Variation der

Anfangsfrequenz des ersten Formanten des /s/ erreicht wird, für das es zwischen den beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede gab. Da sich die dyslektischen Kinder in ihrer Sensitivität für die kurzen Formantentransitionsveränderungen im Millisekundenbereich nicht von den Kontrollkindern unterschieden, sahen sie die Unterschiede bei der /ba/-/da/-TOJ-Aufgabe auch nicht durch temporale Verarbeitungsschwächen, sondern durch rein phonologisch-sprachliche Defizite verursacht. Außerdem weisen Mody et al. (1997) darauf hin, dass Aufgaben die eine Identifikation erfordern (z.B. kategoriale Wahrnehmung), nicht geeignet sind, um temporale Verarbeitung zu untersuchen, da nicht unterschieden werden kann, ob mögliche Defizite auf mangelhafte temporale Verarbeitung oder auf Schwierigkeiten bei der Zuordnung von z.B. phonemischen Kategorien für das Defizit verantwortlich sind (vgl. Kap 2.3).

Gegen ein temporales Verarbeitungsdefizit als Ursache für flachere Identifikationsfunktionen bei kategorialen Wahrnehmungsaufgaben sprechen auch die Ergebnisse von Serniclaes et al. (2001), die zeigen, dass dyslektische Probanden bei der Diskriminierung innerhalb einer Phonem-Kategorie besser sind, als Probanden ohne Dyslexie. Damit müssen sie in der Lage sein, die kurzen Formantentransitionen richtig zu verarbeiten.

Blomert und Mitterer (2004) schließlich untersuchten, ob das in einigen Studien mit synthetischen Sprachlauten berichtete Defizit in der kategorialen Wahrnehmung bei Probanden mit Dyslexie auch auf natürliche Sprachlaute generalisiert werden kann. Dazu verglichen sie ein synthetisches /ba/-/da/-Kontinuum mit einem „natürlichen“ /ta/-/ka/-Kontinuum (das /ta/ wurde von einem weiblichen Sprecher gesprochen, die Formanten mit einer PC-Software gemessen und die Anfangsfrequenz des dritten Formanten in 6 Stufen reduziert). Während mit dem synthetischen Kontinuum ein Wahrnehmungsdefizit gezeigt werden konnte (allerdings nicht für die Steigung der Identifikationskurven, sondern nur für die Zuverlässigkeit der Antworten an den Endpunkten des Kontinuums), gab es keine signifikanten Gruppenunterschiede bei dem Kontinuum, das auf dem natürlichen Sprachlaut beruhte. Damit stellen die Autoren die berichteten kategorialen Wahrnehmungsdefizite bei Probanden mit Dyslexie in Frage und betrachten es lediglich als Epiphänomen der synthetischen Stimuli. Außerdem sprechen die Daten der Studie gegen ein temporales Verarbeitungsdefizit, für dessen Existenz es nur dann Hinweise gegeben hätte, wenn die Gruppenunterschiede auch bei dem für beide Gruppen schwerer zu

identifizierenden natürlichen Kontinuum aufgetreten wären (signifikant flacherer Identifikationsgradient als beim synthetischen Kontinuum).

Folglich wird in der vorliegenden Studie die Aufgabe zur kategorialen Wahrnehmung als phonologische Aufgabe betrachtet, mit der überprüft werden soll, ob bei unserer Stichprobe (phonemische) Sprachwahrnehmungsdefizite auftreten, durch welches Training sie am besten reduziert werden können und ob es Zusammenhänge mit der Verbesserung bei phonologischen Aufgaben, der temporalen Verarbeitung (MMF) oder dem Lesen und Schreiben gibt.

2.3 Das temporale Verarbeitungsdefizit

Temporale oder sequentielle Verarbeitung beschreibt jede Verarbeitung, die zwei oder mehr nicht simultan, aber mit kurzer Dauer und kurzem Interstimulusintervall (ISI) präsentierte Stimuli beinhaltet (Farmer, Klein, 1995). Entsprechend wird unter einem temporalen Verarbeitungsdefizit die Schwierigkeit verstanden, kurz oder schnell nacheinander präsentierte sensorische Reize im Millisekundenbereich zu verarbeiten bzw. zu unterscheiden oder zu identifizieren (Tallal, 1980; Tallal et al., 1993).

Die meisten Studien zur auditiven temporalen Verarbeitung verwenden in Anlehnung an den Repetition Test von Tallal & Piercy (1973, 1980) Aufgaben zur Wiedergabe der zeitlichen Reihenfolge von zwei oder mehr Stimuli mit variablem Interstimulusintervall (ISI) („temporal order judgement“, TOJ) und Diskriminationsaufgaben („same – different“) mit zwei gleichen (zwei mal Stimulus 1 oder zwei mal Stimulus 2) oder zwei verschiedenen Stimuli (1-2 oder 2-1) mit verschieden langem ISI. Mody et al. (1997) weisen jedoch darauf hin, dass nur Defizite bei Diskriminationsaufgaben, nicht aber bei Aufgaben die eine Identifikation erfordern (z.B. TOJ-Aufgaben), für ein temporales Verarbeitungsdefizit sprechen: Um zwei Stimuli zu diskriminieren muss nur festgestellt werden, dass sie sich in irgendeiner Eigenschaft unterscheiden. Die Identifikation erfordert darüber hinaus die Zuordnung einer spezifischen Reaktion, die die Zuordnung einer Kategorie oder eines Begriffs erfordert. Damit kann bei solchen Aufgaben nicht unterschieden werden, ob es sich um ein temporales Verarbeitungsdefizit, ein Gedächtnisdefizit, ein generelles Problem bei der Zuordnung einer Kategorie (bei verbalen und nonverbalen Stimuli) oder ein phonologisches Defizit bei der Zuordnung des Begriffes (bei verbalen Stimuli) handelt. Damit scheinen die TOJ-Aufgaben

grundsätzlich ungeeignet, um die temporale Verarbeitung zu untersuchen, da die korrekte Wiedergabe einer Reihenfolge von Stimuli erfordert, dass sie zuvor identifiziert werden. Zentrales Element im Repetition Test von Tallal und allen anderen Tests, die diesem nachempfunden sind, ist jedoch eine Trainingsphase, in der sichergestellt wird, dass die Probanden in der Lage sind, die verwendeten Stimuli sicher zu identifizieren. Wer in der Trainingsphase nicht mindestens 85% richtige Identifikationen erreicht, wird ausgeschlossen. Da bei den folgenden TOJ-Aufgaben nur das ISI aber nicht die Stimuli an sich verändert werden, sollte damit die mangelhafte Identifikation und damit der Einwand Modys (1997) als mögliche Ursache für Fehler ausgeschlossen und Rückschlüsse auf die temporale Verarbeitung gezogen werden können.

Das temporale Verarbeitungsdefizit kann auf eine Modalität beschränkt sein (z.B. auditorisch) oder für mehrere Modalitäten (v.a. visuell, taktil, crossmodal bzw. pansensorisch) gelten (Tallal et al., 1993) und wird v.a. für die auditorische Modalität schon seit vielen Jahren als mögliche Ursache für mangelhafte phonologische Verarbeitungsprozesse bei LRS diskutiert und untersucht (z.B. Tallal, 1980, 1984; Reed, 1989). Allerdings ist diese Theorie stärker umstritten als die Theorie des phonologischen Verarbeitungsdefizits, da es sehr widersprüchliche Befunde gibt. In einer Übersicht über 10 neuere Studien zeigt Ramus (2003), dass bei lediglich 67 von 174 Probanden mit LRS (39%) ein auditorisches Defizit vorliegt, wobei nicht alle Studien explizit die temporale auditive Verarbeitung untersuchten. Dennoch machen diese Zahlen deutlich, dass ein temporales Verarbeitungsdefizit als *die* einzige und notwendige Ursache für phonologische Verarbeitungsdefizite kaum in Frage kommen kann (vgl. Rosen, Manganari, 2001).

Dabei scheint die theoretische Überlegung der Bedeutung von auditiver temporaler Verarbeitung für die Verarbeitung von gesprochener Sprache überzeugend, da die Verarbeitung des Sprachflusses und insbesondere der Stopkonsonanten die Diskrimination von schnellen spektralen Veränderungen innerhalb von sehr kurzen Zeitintervallen im Millisekundenbereich erfordert (Share et al., 2002). Während bei Vokalen die akustische Information über die Frequenzspektren während der Dauer der Darbietung konstant bleibt („steady state“), haben z.B. Stop-Konsonanten-Silben (/ba/, /da/, /ga/, /pa/, /ta/, /ka/) eine Formantentransitionsperiode (FT), während der sich die Frequenzen bzw. Formanten sehr schnell ändern. Diese FT während der ersten ca. 40ms einer Stop-Konsonanten-Silbe unterscheidet die Silben voneinander

und enthält die konstituierende Information in so kurzen Zeitabschnitten, wie sie bei einem (postulierten) temporalen Verarbeitungsdefizit nicht verarbeitet werden können sollten. Nach diesen 40ms unterscheiden sich die Silben nicht mehr (Tallal et al., 1993). Aufgrund dieser zeitlichen Eigenschaften von Sprache ist es nahe liegend, dass Schwierigkeiten bei der temporalen Verarbeitung im Bereich von wenigen Millisekunden auch zu Schwierigkeiten bei der Verarbeitung von gesprochener Sprache und in der Folge zu ungenügenden Repräsentationen von Sprachlauten führen sollten. So argumentieren Farmer und Klein (1995) in ihrem Übersichtsartikel über zahlreiche Studien, die die Leistung in verbalen und nonverbalen temporalen Verarbeitungsaufgaben miteinander und mit Leistungen in Leseaufgaben korrelierten, dass ein verzögert entwickeltes oder gestörtes temporales Verarbeitungssystem in der frühen Kindheit zu Schwierigkeiten bei der Unterscheidung und Kategorisierung von Sprachlauten führen kann. Das wiederum bewirke dann die Schwierigkeiten bei der phonemischen Diskriminationsfähigkeit und phonemischen Bewusstheit, die bei Kindern mit Leseschwierigkeiten gefunden werden. Allerdings weisen Farmer und Klein darauf hin, dass diese Schlussfolgerungen nur auf korrelativen Zusammenhängen zwischen temporaler Verarbeitung, phonologischer Verarbeitung und Lesen beruhen, so dass die beeinträchtigte Leseleistung auch durch nicht erfasste Störvariablen und nicht nur durch ein temporales Verarbeitungsdefizit verursacht worden sein könnte.

Die ersten Studien zur temporalen Verarbeitung, die die weitere Forschung stark beeinflussten, wurden von Tallal et al. in den 70er Jahren durchgeführt (Tallal & Piercy, 1973). Diese Studien schienen die theoretischen Überlegungen zum Zusammenhang von Defiziten bei der phonologischen Verarbeitung und Defiziten bei der temporalen Verarbeitung zunächst eindrucksvoll zu stützen. Tallal untersuchte dabei Kinder mit spezifischer Sprachbeeinträchtigung („specific language impairment“, SLI), die in allen Bereichen inklusive der Intelligenz eine normale Entwicklung zeigen, aber in Tests zur sprachlichen Entwicklung signifikant hinter den erwarteten Leistungen zurückbleiben (Tallal und Piercy, 1973a/b, 1974, 1975). Bei einer Großzahl dieser Kinder werden wie bei Kindern mit LRS starke Defizite bei der phonologischen Verarbeitung festgestellt (Tallal, 1993). Außerdem konnte in Längsschnittstudien gezeigt werden, dass die überwiegende Mehrheit der Kindergartenkinder mit SLI in der Grundschule überdurchschnittliche Schwierigkeiten beim Leselernen haben (Tallal et al., 1988). Die Ähnlichkeit der Störungen ließ Tallal

erwarten, dass die Ergebnisse der Studien zur temporalen Verarbeitung mit der SLI-Gruppe auch für Kinder mit Dyslexie Gültigkeit haben sollten (vgl. Tallal, 1998). Der enge Zusammenhang von frühen Sprachstörungen und späterer Lesestörung ist mittlerweile auch empirisch gut belegt (z.B. Beitchman, Inglis, 1991; Kamhi, Catts, 1989, Stanovich, 1986), auch wenn nicht immer eine Sprachstörung zu einer Lesestörung führt (Aaron et al., 1985) und nicht jeder Lesestörung eine Sprachstörung vorausgeht (Tallal, Stark, 1982).

Zwei Vorstudien mit den Diskriminationsaufgaben aus dem Repetition Test (Tallal und Piercy, 1973a/b) zeigten, dass Kinder mit SLI komplexe Töne nicht mehr unterscheiden können, wenn bei einer Präsentationsdauer von 75ms das ISI kleiner als 300ms (1973a) bzw. bei einer Präsentationsdauer von 175ms kleiner als 15ms ist (1973b), während Kinder ohne SLI die Töne bei einer deutlich kürzeren Präsentationsdauer bzw. einem kürzeren ISI noch unterscheiden können. Damit konnte bei der Stichprobe der Kinder mit SLI ein temporales Verarbeitungsdefizit für kurze bzw. mit kurzem ISI präsentierte, nonverbale auditorische Stimuli gezeigt werden.

Auf Grund dieser Ergebnisse, die Diskriminationsschwierigkeiten bei den SLI-Kindern im zeitlichen Bereich der FT zeigten, führten Tallal und Piercy (1974) als nächstes eine Diskriminationsaufgabe von Vokalen und Silben durch. Wie erwartet konnten sowohl die Kontrollkinder als auch die Kinder mit SLI die Vokale /ɛ/ und /æ/ bei einer Präsentationsdauer von 250ms zuverlässig unterscheiden, während die ebenfalls für 250ms präsentierten CV-Silben /ba/ und /da/ wegen ihrer kurzen, die CV-Silben unterscheidenden FT von 43ms nur von zwei der 12 Kinder mit SLI, aber von allen Kontrollkindern unterschieden werden konnten.

Im darauffolgenden Experiment untersuchten Tallal und Piercy (1975), ob die Schwierigkeiten der SLI-Kinder bei der Unterscheidung von CV-Silben ausschließlich mit der Kürze der Periode, die die Information kodiert, zusammenhängt oder ob Schwierigkeiten bei der Verarbeitung von transitionalen Elementen auditorischer Information an sich zu der Unfähigkeit führen, die CV-Silben zu unterscheiden. Dazu mussten die Kinder die zwei Vokalsilben /ɛ/ und /æ/ und die zwei CV-Silben /ba/ und /da/ unterscheiden. Im Gegensatz zum vorherigen Experiment wurden die FT der CV-Silben auf 95ms gestreckt und das /ɛ/ bzw. /æ/ der Vokalsilben auf nur 43ms festgesetzt. Die Gesamtdauer der Silben betrug wieder 250ms. Wie erwartet hatten die SLI-Kinder jetzt Probleme die Vokalsilben zu unterscheiden, während sie die CV-

Silben genauso zuverlässig unterschieden wie die Kontrollkinder. Damit schien es erwiesen, dass unabhängig von phonetischen Eigenschaften die Kürze der informationskodierenden Periode entscheidend für die Unterscheidungsschwierigkeiten der SLI-Kinder ist und dass ein temporales Verarbeitungsdefizit für verbale und nonverbale auditiv präsentierte Stimuli für diese Schwierigkeiten verantwortlich gemacht werden kann.

In einer Studie mit dyslektischen Kindern konnte Tallal (1980) zeigen, dass die Ergebnisse der Studie mit SLI-Kindern auch für diese Stichprobe zutrifft: So hatten die dyslektischen Kinder weder bei der TOJ-Aufgabe noch bei der Diskriminationsaufgabe mit **komplexen Tönen** Schwierigkeiten, wenn das ISI lang genug war (428ms). Bei kürzer werdendem ISI (305-8ms) fiel die Leistung der LRS-Kinder im Vergleich zu Kontrollkindern mit gleichem Lesealter immer mehr ab und war signifikant schlechter. Da es bei den schnellen Präsentationsraten für die dyslektische Gruppe keinen Unterschied in der Leistung bei der TOJ- und der Diskriminationsaufgabe gab, ging Tallal davon aus, dass nicht die Wahrnehmung der zeitlichen Reihenfolge sondern die beiden Aufgabentypen zu Grunde liegende Diskriminationsleistung bei kurzem ISI das Hauptproblem der dyslektischen Probanden sei. Diese Interpretation wird u.a. auch durch die Ergebnisse von Reed (1989) und Mody (1997) gestützt. Während jedoch bei diesen Aufgaben die überwiegende Mehrheit der SLI-Kinder stark beeinträchtigt war, kam bei der dyslektischen Gruppe die im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant schlechtere Leistung nur durch die extrem hohe Fehlerzahl einer Minderheit der dyslektischen Kinder zustande: 55% der LRS-Kinder zeigten eine der Kontrollgruppe vergleichbare Leistung und nur 45% schnitten schlechter ab als das schwächste Kind aus der Kontrollgruppe. Trotz dieser hohen Variabilität konnte der Zusammenhang zwischen der Leistung bei den Aufgaben zur temporalen Verarbeitung und der Leseleistung bzw. der phonologischen Verarbeitung (Pseudowörterlesen) nachgewiesen werden: Die Anzahl der Fehler, die die LRS-Kinder bei der Reaktion auf die schnell präsentierten, nichtverbalen auditorischen Stimuli machten, korrelierte signifikant mit ihrer Lesefähigkeit, wobei die Korrelation mit der Leseleistung der Pseudowörter am höchsten war. Nur bei einer Subgruppe von Dyslektikern schien also die Schwierigkeit bei der Analyse von schneller akustischer Information zu Schwierigkeiten bei der Analyse von Sprache auf phonemischem Level zu führen. Die in vielen Studien gefundenen Probleme beeinträchtigter Leser bei der

phonemischen Rekodierung und Segmentierung (vgl. Kap. 2.1) könnten nach Tallal also möglicherweise durch einen defekten basalen Wahrnehmungsmechanismus erklärt werden.

Heim et al. (2000b) untersuchten die temporale Verarbeitung von **verbalem Stimulusmaterial** in einer Diskriminationsaufgabe mit zwei sukzessiv präsentierten CV-Silben (/ba/ und /da/; ISI: 305 – 8ms), die mit einer normal langen (40ms) und einer verlängerten FT (90ms) präsentiert wurden. Obwohl für die kurze FT der stärkste Unterschied zwischen den Gruppen erwartet wurde, war die LRS-Gruppe unabhängig von der Länge der FT und des ISIs signifikant schlechter als die Kontrollgruppe. In einer zweiten Analyse wurden die LRS-Kinder anhand ihrer Leistung bei der kurzen FT bei den drei kurzen ISI (8, 15, 30ms) in eine gute (>87% der erreichbaren Leistung) und eine schlechte Gruppe eingeteilt. Die schlechte Gruppe (N=8) unterschied sich bei der kurzen FT signifikant von der Leistung der guten Gruppe (N=14), der Kontrollgruppe (N=11) und von ihrer eigenen Leistung bei der langen FT. Bei der langen FT gab es zwischen allen Gruppen keine Unterschiede. Wie in der Studie von Tallal (1980) mit komplexen Tönen konnte auch in dieser Studie mit CV-Silben nur für einen Teil der LRS-Kinder auditorische temporale Verarbeitungsschwächen gezeigt werden. Eine zusätzlich durchgeführte TOJ-Aufgabe mit roten und grünen **visuellen Stimuli** (adaptive Veränderung des ISI) bewältigten die Kinder mit und ohne LRS gleich gut, so dass hier eine temporale Verarbeitungsschwäche für visuelle Stimuli ausgeschlossen wurde.

Reed (1989) untersuchte als erste die Verarbeitung von **kurzen Tönen und CV-Silben** an derselben dyslektischen Stichprobe und konnte mit dem Repetition Test nach Tallal (1980) zeigen, dass die dyslektischen Kinder sowohl Schwierigkeiten bei der Beurteilung der temporalen Reihenfolge von kurzen Tönen als auch bei der Beurteilung der Reihenfolge von sprachlichen Stimuli mit kurzen Transitionsperioden (CV-Silben) haben. Wurden dagegen Vokale präsentiert, für deren Unterscheidung keine Verarbeitung von kurzen Formantentransitionen notwendig ist, bestanden diese Schwierigkeiten nicht mehr, selbst wenn die Vokale unter erschwerten Bedingungen (zusätzliches weißes Rauschen) präsentiert wurden. Auch bei der Diskrimination von kurzen **visuellen Stimuli**, die in ihrer Charakteristik den kurzen Tönen nachempfunden wurden, gab es keine Unterschiede zwischen den Kindern mit Dyslexie und den Kontrollprobanden. Auch diese Ergebnisse wurden als deutlicher Beleg für spezifische Probleme bei der Verarbeitung kurzer auditorischer

Stimuli bei Dyslexie interpretiert. Zusätzlich wurden bei den Kindern mit Dyslexie auch Schwierigkeiten bei der Diskriminierung von Stop-Konsonanten in der natürlichen Sprache und weniger klare kategoriale Grenzen bei der Wahrnehmung eines /ba/-/da/-Kontinuums gefunden, was auch auf die Schwierigkeiten bei der Verarbeitung von kurzen Reizen zurückgeführt wurde. Allerdings wurden keine Korrelationen zwischen den Leistungen bei den verbalen und nonverbalen Aufgaben berechnet, die den Zusammenhang stützen könnten. Außerdem wären Angaben darüber wünschenswert, ob diese Gruppeneffekte durch die Probleme aller Kinder mit Dyslexie bei der Verarbeitung kurzer auditorischer Stimuli zu Stande kamen, oder ob wie bei Tallal (1980) oder Heim (2000) nur ein Teil der dyslektischen Kinder zu diesen Gruppeneffekten beigetragen haben.

Auch Studien, die keine Diskriminations- oder TOJ-Aufgaben verwendeten, konnten bei Dyslektikern eine defizitäre temporale Verarbeitung zeigen. So untersuchten z.B. Hari und Kiesilä (1996) die temporale Verarbeitung bei erwachsenen Dyslektikern mit binaural präsentierten Reihen von **Klicktönen**. In einer Vorstudie mit unbeeinträchtigten Probanden konnte gezeigt werden, dass es auf Grund der spezifischen Charakteristik dieser Klicktöne bei kurzem ISI zu einer illusionären Wahrnehmung einer linearen Bewegung der Klänge von links nach rechts kommt (Hari, 1995). Während bei den Kontrollprobanden in der Studie von Hari und Kiesilä (1996) wie erwartet diese illusionäre Bewegungswahrnehmung ab einem ISI von 90-120ms nicht mehr auftrat, blieb sie bei den dyslektischen Probanden auch noch bei einem ISI von 250 bis 500ms erhalten. Diese geringere zeitliche Auflösung wurde von den Autoren als ein verlängertes Zeitfenster interpretiert, in dem weiter zurückliegende Reize die Verarbeitung von neuen Reizen stören können. Dies führe zu einer signifikant verlangsamten Bildung von bewussten auditorischen Perzepten, was dann zu einer Beeinträchtigung im Sprachverständnis führen könnte. Der Zusammenhang zwischen der Beeinträchtigung in der temporalen Verarbeitung und schlechten Leistungen in Lese- oder Rechtschreibtest oder Tests zur phonologischen Verarbeitung wurde jedoch nicht überprüft.

Allerdings könnte die schlechtere Leistung der dyslektischen Probanden auch durch Beeinträchtigungen im Arbeitsgedächtnis zustande gekommen sein, da eine Beurteilung der räumlichen Position der Klicks erst erfolgen kann, nachdem die gesamte Folge der Klicks gehört wurde (Helenius et al., 1999). Außerdem erfordert die räumliche Zuordnung der einzelnen Klicks jeweils eine Identifikation, so dass

nach Mody (1997) nicht entschieden werden kann, ob es sich um ein Problem der temporalen Verarbeitung oder der Identifikation handelt. Um diese Effekte auszuschließen, verwendeten Helenius et al. (1999) das Paradigma der „auditoric stream segregation“ („Klangflusstrennung“), bei der den Probanden abwechselnd hohe und tiefe Töne präsentiert werden. Je größer der Tonhöhenunterschied und je schneller die Präsentationsrate der Töne ist, desto eher werden zwei getrennte Klangflüsse wahrgenommen: eine Klangreihe mit hohen Tönen und eine Klangreihe mit tiefen Tönen. Werden aber die Tonhöhenunterschiede und / oder die Präsentationsrate reduziert, nimmt man eine verbundene Klangreihe von abwechselnd hohen und tiefen Tönen wahr (van Norden, 1975). Zur Bearbeitung dieser Aufgabe sind weder das Arbeitsgedächtnis noch Identifikationsleistungen notwendig.

In der Studie von Helenius et al. (1999) wurde nur die Präsentationsrate variiert: Die Kontrollprobanden nahmen bis zu einem SOA („Stimulus Onset Asynchrony“ = Dauer von Stimulus Onset zu Stimulus Onset) von 130ms eine verbundene Klangreihe von hohen und tiefen Tönen (49ms Dauer) wahr und bei kürzerer SOA zwei getrennte Klangreihen. Die Probanden mit Dyslexie nahmen dagegen bis zu einem SOA von 210ms zwei getrennte Klangreihen wahr und erst bei einer noch langsameren Präsentationsrate eine verbundene Klangreihe von hohen und tiefen Tönen. Damit konnte mit dieser Studie erneut gezeigt werden, dass die Probanden mit Dyslexie kurze auditorische Reize schlechter verarbeiten, als Kontrollprobanden und dass dafür nicht Probleme mit dem Arbeitsgedächtnis verantwortlich gemacht werden können. Diese Wahrnehmung einer verbundenen Klangreihe erst ab einem SOA von 210ms wurde von den Autoren wie die Ergebnisse der Studie von Hari und Kiesilä (1996) als ein verlängertes Zeitfenster für die perzeptuelle Integration interpretiert, in dem frühe Klänge mit späten Klängen bzw. übertragen auf die Sprachwahrnehmung frühe Laute oder Lautanteile mit späteren interferieren können, was dann zu phonologischen Verarbeitungsschwierigkeiten führen kann. Außerdem konnte in dieser Studie auch eine signifikante Korrelation zwischen temporaler und phonologischer Verarbeitung gezeigt werden: Je langsamer die Probanden mit Dyslexie bei der Benennungsaufgabe waren, die als Maß für die Geschwindigkeit gilt, mit der phonologische Informationen aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden können, desto größer musste das SOA sein, bis eine verbundene Klangreihe wahrgenommen wurde. Zusätzlich verfehlte die Korrelation mit dem Lexikalitätseffekt

nur knapp das Signifikanzniveau ($p < 0,08$). (Lexikalitätseffekt: überproportional langsames Lesen der Pseudowörter als der Inhaltswörter)

Neben diesen Studien, die ein auditorisch temporales Verarbeitungsdefizit zumindest bei einem Teil der Probanden mit Dyslexie berichten, und damit Tallals Hypothese stützen, dass für diese Probanden ein temporales Verarbeitungsdefizit der recht konsistent bei Dyslexie gefundenen phonologischen Verarbeitungsschwäche ursächlich zu Grunde liegen könnte, gibt es jedoch auch zahlreiche Studien, die Tallals Hypothese widerlegen.

Mody et al. (1997) untersuchten in drei aufeinander folgenden Experimenten 20 dyslektische Kinder, die so ausgewählt wurden, dass sie sich in einer TOJ-Aufgabe nach Tallal (1980) mit **CV-Silben** (/ba-/da/) signifikant von den nicht dyslektischen Kontrollkindern unterschieden. Im ersten Experiment, einer TOJ- bzw. Diskriminationsaufgabe mit den Stimuli /ba-/sa/ und /da-/ja/, zeigten die dyslektischen Kinder wie die Kontrollprobanden selbst beim kürzesten ISI von 10ms keine Schwierigkeiten. Daraus zogen die Autoren den Schluss, dass schlechte Leser die temporale Reihenfolge selbst bei hohen Präsentationsraten richtig beurteilen könnten, wenn es ihnen gelingt, die zu ordnenden Stimuli leicht zu identifizieren. Dies sei bei den /ba-/sa/- bzw. /da-/ja/-Unterscheidungen eher gegeben als z.B. bei einer /ba-/da/-Unterscheidung, was jedoch v.a. auf die höhere Anzahl an unterscheidenden phonetischen Merkmalen (Artikulationsort, Art der Artikulation und Stimmhaftigkeit vs. nur Artikulationsort beim /ba-/da/-Vergleich) und den möglicherweise weniger differenzierten phonologischen Kategorien bei den dyslektischen Probanden und weniger auf die akustisch-temporalen Eigenschaften der Stimuli zurückzuführen sei. Diese Interpretation wurde durch die Ergebnisse in einem zweiten, sprachfreien Diskriminationsexperiment mit frequenzmodulierten Sinuswellenmustern, die der Struktur der /ba/- und /da/-Silben entsprachen, gestützt: Auch in diesem Experiment gab es weder bei der Identifikation noch bei der Diskrimination signifikante Unterschiede in der Leistung der beiden Gruppen (die Gruppe der dyslektischen Kinder war sogar tendentiell besser), was gegen ein generelles Defizit in der Wahrnehmung schneller akustischer Wechsel spricht. Allerdings widersprechen diese Ergebnisse den Ergebnissen von Reed (1989), die bei einer identischen dyslektischen Stichprobe Schwierigkeiten bei der Diskrimination von komplexen Tönen und Silben gefunden hat. In einem dritten Experiment variierten Mody et al. (1997) die F1 Anfangsfrequenz des Stopkonsonanten /t/ in dem

Wort *stay*. Falls bei den Dyslektikern, wie von den Autoren erwartet, weder ein generell-auditives, noch ein spezifisch-auditives temporales Verarbeitungsdefizit für Sprachlaute bzw. schnelle Formantentransitionen vorliegt, sollte die dyslektische Gruppe keine niedrigere F1 Onset Frequenz benötigen, um das /t/ in *stay* wahrzunehmen, als die Kontrollprobanden. Genau diese Erwartung traf ein, die aber den Ergebnissen einiger anderer Studien gegenüber steht, in denen die Dyslektiker weniger sensitiv auf die F1-Transition reagierten (für /sa/ - /sta/: Steffens et al., 1992; für /ba/ - /da/: Godfrey et al., 1981; Reed, 1989; Steffens et al., 1992). Auf Grund der Ergebnisse dieser drei Experimente folgerten Mody et al., dass die Defizite in der Sprachwahrnehmung bei Dyslektikern phonologischen und nicht generell auditorischen Ursprung haben. Mögliche Probleme bei der /ba/-/da/-TOJ-Aufgabe, wenn vorhanden, beruhten folglich nicht auf einem generellen, auditorischen temporalen Verarbeitungsdefizit oder einem Problem bei der Verarbeitung schneller Formantentransitionen, sondern auf Schwierigkeiten in der Identifizierung phonologischer Kategorien bei phonologisch ähnlichen Sprachlauten. Woher jedoch diese Schwierigkeiten in der Identifizierung phonologischer Kategorien stammen und warum diese Identifikationsschwierigkeiten nur bei kurzem ISI auftreten, vermögen sie nicht zu erklären.

Auch die Ergebnisse der Längsschnittstudie von Share et al. (2002) widersprechen der klassischen temporalen Verarbeitungsdefizitshypothese: Sie konnten zwar in einer ersten Studie ein temporales Verarbeitungsdefizit bei einer TOJ-Aufgabe mit frequenzmodulierten **Tönen** (entspricht der Aufgabe von Tallal, z.B. 1980) bei dyslektischen Erstklässlern zeigen, jedoch entgegengesetzt der Erwartung: acht von siebzehn dyslektischen Kindern (47%) erreichten bei der Bedingung mit langem ISI (428ms) weniger als 50% richtige Reaktionen, während das nur bei einem der gleichaltrigen Kontrollkinder der Fall war. Für die kurzen ISI (305-8ms) gab es keine signifikanten Gruppenunterschiede. Der Vergleich der acht Probanden unter 50% richtiger Reaktionen beim langen ISI mit den neun Probanden über 50% richtiger Reaktionen in den Tests zu phonologischer Verarbeitung, Sprache und Lesen ergab zwar in allen Tests schlechtere Leistungen für die schwache Gruppe, jedoch erreichte der Vergleich in keinem Test das Signifikanzniveau. Im weiteren Verlauf der Untersuchung konnte außerdem gezeigt werden, dass ein auditorisches Verarbeitungsdefizit im Kindergartenalter (langes ISI) weder phonemische Bewusstheit in der ersten Klasse vorhersagt, noch mit einem anderen Maß der

phonologischen Verarbeitung korreliert ist. Auch hinsichtlich der Leseprobleme in der zweiten Klasse gab es keine signifikanten Unterschiede: 10% der Kinder mit temporalen Verarbeitungsschwierigkeiten hatten ein spezifisches Lesedefizit im Vergleich zu 7,5% der Kinder ohne diese Schwierigkeiten. In dieser Studie gab es auch Kinder mit einem klassischen temporalen Verarbeitungsdefizit (beim kurzen ISI) im Kindergartenalter. Aber auch diese Kinder unterschieden sich in der ersten und zweiten Klasse in Tests zur phonologischen Verarbeitung nicht signifikant von den Kindern ohne temporales Verarbeitungsdefizit und bei den Lesetests waren die beeinträchtigten Kinder sogar leicht besser. Damit scheint das temporale Verarbeitungsdefizit in diesen Studien eher begleitendes Merkmal als Grundlage oder Ursache der phonologischen Verarbeitungsdefizite zu sein.

Bretherton und Holmes (2003) untersuchten die Beziehung zwischen der auditorischen temporalen Verarbeitung mit der TOJ-Aufgabe nach Tallal (1980) und phonologischer Bewusstheit bei Kindern mit LRS und gleichaltrigen Kontrollprobanden. Zunächst erhoben sie die Leistung in der TOJ-Aufgabe mit Tönen. Zusätzlich zum Design nach Tallal (1980) wurde die Reaktionszeit gemessen. Die Kontrollgruppe (N=36) war über alle ISI signifikant schneller und machte bei allen ISI signifikant weniger Fehler als die Gruppe der Kinder mit LRS; je kürzer das ISI desto mehr Fehler und desto langsamer reagierten alle Kinder. Die LRS-Kinder machten zwar mit kürzerem ISI mehr Fehler als die Kontrollgruppe, die Unterschiede waren aber nicht signifikant. Allerdings zeigten nur 48% (N=20) der Kinder mit LRS über die Fehlerrate und Reaktionszeit signifikant schlechtere Leistungen als die Kontrollgruppe, während die andere Hälfte (N=22, 52%) gleich gut wie die Kontrollgruppe abschnitt.

In einem nächsten Schritt wurden die Leistungen in den anderen Tests zwischen den beiden Subgruppen mit LRS verglichen: Weder in den TOJ-Aufgaben mit zwei CV-Silben (/ba/, /da/), zwei Vokalsilben (/æ/ oder /ɛ/) und zwei visuellen Symbolen (x und O), noch bei Aufgaben zur phonologischen Bewusstheit oder zum Lesen konnten signifikante Unterschiede zwischen diesen beiden Subgruppen gefunden werden, wobei die Kontrollgruppe in allen Aufgaben signifikant besser war als beide LRS-Gruppen (TOJ mit CV-Silben und Vokalen wurden bei der Kontrollgruppe nicht erhoben). In dieser Studie konnte also kein Zusammenhang zwischen einer defizitären Verarbeitung von sprachlichen und nichtsprachlichen Klängen gefunden werden, die einen Hinweis auf einen möglichen generellen Mechanismus für die

Wahrnehmung von kurz präsentierter phonemischer Information hätte liefern können. Außerdem gab es auch keine Hinweise für einen Zusammenhang zwischen Schwierigkeiten bei der TOJ-Aufgabe mit Tönen und Problemen bei der phonologischen Bewusstheit oder dem Lesen, so dass Defizite bei der temporalen Verarbeitung nichtsprachlicher Stimuli als Ursache für Leseschwierigkeiten ausgeschlossen wurden. Zudem konnte Tallals Postulat einer für die Gruppe mit LRS spezifischen Beeinträchtigung in der Verarbeitung kurz aufeinander präsentierter Töne oder Silben nicht bestätigt werden. Wenn dem so wäre, sollten die dyslektischen Probanden mit zunehmend kürzerem ISI eine schlechtere Leistung zeigen als die Kontrollgruppe. Aber in dieser Studie machten auch die Kinder der Kontrollgruppe mit zunehmend kürzerem ISI mehr Fehler und benötigten längere Reaktionszeiten. Nur über alle ISI war die Kontrollgruppe signifikant besser als die gesamte Gruppe der Kinder mit LRS.

Defizite im visuellen oder taktilen System bzw. bei der Verarbeitung kurz präsentierter visueller oder taktiler Stimuli werden meist im Rahmen der magnozellulären Theorie der Dyslexie behandelt (z.B. Stein, 2001; Schulte-Körne et al., 2003; Scheuerpflug et al., 2004; Cestnick, 2001; vgl. Abschnitt 2.3). Über einige Studien, in denen die temporale Verarbeitung visueller Stimuli untersucht wurde, und bei denen keine Unterschiede zwischen den dyslektischen und den Kontrollprobanden gefunden wurden, ist schon berichtet worden (Heim et al. 2001; Reed 1989; Bretherton & Holmes, 2003).

Abschließend soll hier noch eine sehr umfassende Studie von Laasonen et al. (2001) vorgestellt werden, in der die (pansensorische) temporale Verarbeitung mit visuellen, taktilen und nonverbalen auditorischen Stimuli bei 16 jungen erwachsenen finnischen Probanden mit Dyslexie und 16 gleich alten finnischen Kontrollprobanden (20-36 Jahre alt) untersucht wurde. Alle Stimuli wurden einmal im Rahmen einer TOJ-Aufgabe und einmal zur Überprüfung der TPA („temporal processing acuity“ = temporale Verarbeitungsschärfe) als zwei parallele Sequenzen mit drei Stimuli präsentiert. Bei der TPA-Aufgabe musste entschieden werden, ob die Sequenzen simultan oder nicht simultan präsentiert wurden. In dieser Studie wurde zwar keine Trainingsphase vorgeschaltet, in der sichergestellt wird, dass die Stimuli korrekt identifiziert werden, es wird jedoch berichtet, dass alle Probanden beim längsten SOA keine Fehler machten, so dass die Fähigkeit zur Identifikation der Stimuli sichergestellt ist. Sowohl in den TOJ- wie auch in den TPA-Aufgaben benötigten die

Probanden mit Dyslexie in allen Modalitäten ein längeres SOA als die Kontrollprobanden, um die Schwelle von 84% richtigen Antworten einzuhalten. Signifikant waren die Unterschiede jedoch bei den TOJ-Aufgaben nur für die taktile und die auditorische Modalität und bei den TPA-Aufgaben nur bei der auditorischen Modalität. Diese Ergebnisse stützen zunächst die Vermutung von pansensorisch temporalen Defiziten bei Dyslektikern und sprechen gegen ein spezifisches temporales Verarbeitungsdefizit für sprachliche Stimuli, zumal es auch bei der taktilen Stimulation signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen gab. Zudem korrelierte die Leistung in der TPA-Aufgabe positiv mit phonologischer Bewusstheit, was aus zwei Gründen besonders bemerkenswert erscheint: Erstens gilt diese Korrelation auch für die taktile Stimulation, was einen Zusammenhang zwischen einer generell beeinträchtigten temporalen Verarbeitung und phonologischen Verarbeitungsprozessen vermuten lässt und zweitens war diese Korrelation bei der finnischen Sprache mit sehr flacher Orthographie (jedem Graphem entspricht nur ein Phonem) nicht unbedingt zu erwarten. Allerdings gab es keine signifikante Korrelation zwischen der Leistung bei der TPA-Aufgabe und der Leseleistung.

Den signifikanten Unterschieden bei den TPA-Aufgaben steht eine starke Überlappung der Ergebnisse zwischen den Gruppen gegenüber: Nach einer Diskriminationsanalyse über die drei Modalitäten und die beiden Aufgaben (TOJ und TPA) wären vier Kontrollprobanden als dyslektische Probanden und sieben dyslektische Probanden als Kontrollprobanden klassifiziert worden. Diese Tests alleine genügen also nicht zur zuverlässigen Klassifikation als dyslektischer oder Kontrollproband ($p < 0,38$ in Wilk's Lambda). Damit wurde auch von den Autoren eine generelle kausale Rolle der temporalen Verarbeitung für Dyslexie ausgeschlossen.

Dieser Überblick zeigt, dass in allen Studien dyslektische Probanden mit einem auditiven Verarbeitungsdefizit gefunden werden, dass diese allerdings nie mehr als 30% bis 50% der dyslektischen Stichprobe ausmachen, womit ein solches Defizit als generelle Ursache für Dyslexie ausscheidet. Temporale Verarbeitungsschwächen mit visuellen Stimuli werden in diesen Studien äußerst selten gefunden, so dass generelle pansensorische temporale Verarbeitungsschwächen als Ursache für Dyslexie praktisch ausgeschlossen werden können.

Außerdem wird von einigen Autoren angezweifelt, ob die erfassten auditiven Defizite tatsächlich temporalen Ursprungs sind (Mody et al., 1997, Studdert-Kennedy & Mody, 1995). Selbst wenn man die berichteten Defizite als temporal-auditorisch

anerkennt, so scheinen sie bei den Probanden, die Schwierigkeiten mit dem Lesen und dem Schreiben haben, eher begleitendes Merkmal als ursächlicher Faktor zu sein.

Um das Problem der möglicherweise unzureichenden Validität der Verhaltenstests zur Erfassung eines auditorisch temporalen Verarbeitungsdefizits zu umgehen, werden wir in der vorliegenden Studie versuchen, ein temporales Verarbeitungsdefizit mit Hilfe des MMN-Paradigmas im zeitlich hoch auflösenden MEG zu untersuchen. Dabei interessiert, ob es erstens Hinweise für den Zusammenhang zwischen einem temporalen Verarbeitungsdefizit, phonologischen Verarbeitungsdefiziten und Dyslexie gibt, ob zweitens durch ein temporales Training die kortikale Diskriminationsfähigkeit stärker verbessert werden kann als durch ein phonologisches Training und ob drittens Zusammenhänge mit einer möglicherweise verbesserten Lese- und Rechtschreibleistung hergestellt werden können.

2.4 Die magnozelluläre Theorie der Dyslexie

Mit der magnozellulären Theorie wird der Versuch unternommen, auditive, visuelle, taktile und motorische Störungen, die im Zusammenhang mit Dyslexie berichtet wurden, in eine umfassende Theorie zu integrieren (Ramus, 2003a).

Ihren Ursprung hat diese Theorie in der **visuellen Theorie** der Dyslexie, die von Lovegrove in den 80er-Jahren entscheidend geprägt und durch zahlreiche Studien zu stützen versucht wurde (z.B. Lovegrove et al., 1982, 1986, Martin & Lovegrove 1984, 1987). Auch diese Theorie stellt phonologische Probleme bei Dyslexie nicht in Frage, sie versucht jedoch eine zusätzliche visuelle Erklärung für die Leseprobleme zu leisten. Die Theorie geht von zwei Pfaden im visuellen System aus, die mittlerweile gut belegt sind: das magnozelluläre und das parvozelluläre System (z.B. Livingstone, Hubel, 1988). Ein Teil der Ganglionzellen des Sehnervs sind magnozelluläre Neurone, die ihren Ursprung weit über die gesamte Retina verteilt haben und in den beiden ventralen, magnozellulären Schichten des lateralen Nukleus Genikulatus (LGN) des Thalamus verschaltet werden. Von dort projizieren sie nach V1. Die kleineren Ganglionzellen haben ihren Ursprung vor allem in der Fovea und werden in den vier dorsalen, parvozellulären Schichten des LGN verschaltet, bevor ihre Signale V1 erreichen. Die magnozellulären Neurone haben deutlich größere rezeptive Felder und eine dickere Myelinisierung, was sie für Aufgaben mit Stimuli mit geringer räumlicher, aber hoher zeitlicher Frequenz und

Kontrastsensitivität und für die Detektion visueller Bewegung spezialisiert (Stein, 2003; Scheuerpflug, 2004; Schulte-Körne, 2004).

Diese funktionale und räumliche Trennung der Bahnen bleibt auch bei der weiteren Verarbeitung der visuellen Information mit unterschiedlichen Aufgaben und Eigenschaften bis in funktional höhere Areale erhalten: Der *dorsale Pfad*, der hauptsächlich aus magnozellulären Zellen besteht und in den posterior-parietalen Kortex projiziert, ist für die Verarbeitung von (schneller) visueller Bewegung (in V5), zeitlicher Information und für die Steuerung von Augen- und Körperbewegungen zuständig, wogegen der *ventrale Pfad*, der vor allem parvozelluläre Zellen enthält und in den Temporallappen projiziert, auf die Identifizierung der visuell-räumlichen Form und der Farbe von Objekten spezialisiert ist (Stein, 2001; Skottun, 2000).

Schon bevor die Existenz des parvo- und magnozellulären Systems anatomisch belegt werden konnte, wurde in psychophysikalischen Experimenten von zwei funktional verschiedenen Teilen des visuellen Systems berichtet, die mit dem magno- und dem parvozellulären System identisch sind: Das „Transient System“, das in diesen Experimenten für die Detektion von Experimentalstimuli mit geringer räumlicher und hoher zeitlicher Frequenz verantwortlich gemacht wurde und auf transiente bzw. nicht konstante oder fluktuierende Stimuluseigenschaften reagiere entspricht dem magnozellulären System und das „Sustained System“, das für die Detektion von Experimentalstimuli mit hoher räumlicher und geringer zeitlicher Frequenz¹ verantwortlich sei und auf statische Stimuluseigenschaften reagiere, entspricht dem parvozellulären System.

Die klassische visuelle Magnozelluläres-Defizit-Theorie der Dyslexie (z.B. Lovegrove et al., 1986; Livingstone et al., 1991) setzt an der gut belegten Tatsache an, dass das Lesen durch kurze Fixationen charakterisiert ist, die durch kleine Sakkaden unterbrochen werden (z.B. Rayner, 1978). Die Theorie postuliert, dass normalerweise während jeder Sakkade das magnozelluläre System die Aktivität des parvozellulären Systems unterdrückt, wodurch verhindert wird, dass die Aktivität während einer Fixation die Aktivität während folgender Fixationen überlagert. Genau das geschehe aber, wenn Personen mit Dyslexie lesen: auf Grund einer Störung des

¹ Unter der räumlichen Frequenz wird der Unterschied zwischen den höchsten und niedrigsten Werten einer kontinuierlichen Folge von Pixeln verstanden. Jensen (1986) definiert sie als die Anzahl der Helligkeitsveränderungen pro Raumeinheit in einem bestimmten Teil des Bildes. Sie wird in Cycles / Degree (c/deg) angegeben.

Unter der zeitlichen Frequenz wird die Frequenz des Flackerns bei nicht statischer Präsentation der Stimuli verstanden. Sie wird in Hz angegeben.

magnozellulären Systems funktioniere die Unterdrückung der parvozellulären Aktivität während der Sakkaden nicht und die Buchstaben würden „verschmiert“ und überlagert wahrgenommen (Skottun, 2000).

Die meisten Studien zur Überprüfung des magnozellulären Systems bei dyslektischen Probanden sind Studien zur temporalen und / oder räumlichen Kontrastsensitivität. Auf Grund der geschilderten Eigenschaften des magno- und des parvozellulären Systems sollte eine Beeinträchtigung des magnozellulären Systems dann vorliegen, wenn die Kontrastsensitivität bei Experimentalstimuli mit geringer räumlicher Frequenz und hoher zeitlicher Frequenz gegenüber Stimuli mit hoher Raum- und niedriger Zeitfrequenz reduziert ist. Uneinigkeit herrscht aber darüber, wie strikt das Kriterium der geringen Raumfrequenz erfüllt sein muss, um Defizite im magnozellulären System belegen zu können. So untersuchten z.B. Hill and Lovegrove (1993) mit flackernden Stimuli (hohe temporale Frequenz: 20Hz) die räumliche Kontrastsensitivität bei dyslektischen und Kontrollprobanden mit Raumfrequenzen von 0,3 c/deg und 6 c/deg. Bei 0,3 c/deg fanden sie keine Unterschiede zwischen den Gruppen, bei einer Raumfrequenz von 6 c/deg dagegen eine reduzierte Kontrastsensitivität für die dyslektische Gruppe, die sie im Sinne einer beeinträchtigten magnozellulären Verarbeitung interpretierten. Skottun (2000) schlägt dagegen auf Grund von Läsionsstudien bei Affen und von Studien zur Bestimmung des Transitionspunktes zwischen den beiden Systemen beim Menschen (Tolhurst, 1975, Breitmeyer et al., 1981) einen Grenzwert von 1,5 c/deg vor. Allerdings gibt es keine Studie, die bei dieser geringen räumlichen Frequenz Unterschiede in der Kontrastsensitivität zwischen dyslektischen und Kontrollprobanden untersucht hat. Selbst wenn man den Transitionspunkt auf 5c/deg ausdehnt, findet Skottun (2000) in einem Überblick über 22 Studien nur 4, die für eine Beeinträchtigung des magnozellulären Systems bei Dyslektikern sprechen, während 11 Studien Ergebnisse liefern, die strikt gegen die magnozelluläre Theorie sprechen. Die restlichen 7 Studien zeigen zwar keinen Verlust der Kontrastsensitivität bei dyslektischen Probanden, sprechen auf Grund der Ergebnisse von Läsionsstudien mit Affen aber auch nicht eindeutig gegen ein magnozelluläres Defizit: In zahlreichen Studien, in denen die magnozellulären Schichten im LGN von Affen zerstört wurden, wurde berichtet, dass diese Läsionen nur einen geringen Effekt auf die Kontrastsensitivität haben. So konnten z.B. Merigan et al. (1991) zeigen, dass diese Läsionen erst bei Stimuli mit sehr geringer

räumlicher Frequenz (1 c/deg) und gleichzeitig hoher zeitlicher Frequenz (10Hz) zu einer reduzierten Kontrastsensitivität führen. Läsionen des parvozellulären Systems dagegen führen zu einer deutlich stärker reduzierten Kontrastsensitivität, wenn entweder die räumliche Frequenz niedrig oder die zeitliche Frequenz hoch ist (Merigan, Eskin, 1986). Diese und weitere Studien (für einen Überblick siehe Skottun et al., 2000) zeigen, dass das parvozelluläre System aufgrund der höheren Anzahl an Neuronen sensibler für visuelle Kontraste zu sein scheint, als das magnozellular System, auch wenn die einzelne Magno-Zelle geringere Kontrastschwellen hat und damit sensibler ist als die Parvo-Zelle.

Es gibt allerdings mittlerweile neuere Studien, die in dem Überblick von Skottun (2000) noch nicht enthalten sind, die mit visuell evozierten Potentialen auf sich schnell bewegende Stimuli mit geringer Raumfrequenz signifikante Unterschiede in der Kontrastsensitivität zwischen dyslektischen Kindern und Kontrollen zeigen konnten. So fanden Schulte-Körne et al. (2004) bei dyslektischen Kindern auf sich mit einer Geschwindigkeit von 8 und 16 deg/s bewegende sinusförmige Gitter (Raumfrequenz: 2 c/deg) eine im Vergleich zu den Kontrollen signifikant reduzierte P100 und P200. Der Unterschied zwischen den dyslektischen Kindern und den Kontrollprobanden wurde mit zunehmender Geschwindigkeit größer. Mit den gleichen Stimuli fanden auch Scheuerpflug et al. (2004) bei einer Geschwindigkeit von 16 deg/s einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen bei der P3.

Dagegen fanden Schulte-Körne et al. (1999) mit statisch präsentierten Sinuswellengittern mit einer Raumfrequenz von 2 bzw. 11,33 c/deg und verschiedenen Kontrasten keine Unterschiede im visuell evozierten Potential (VEP) zwischen erwachsenen dyslektischen und Kontrollprobanden. Dies wurde als Beleg gegen magnozelluläre Defizite bei dyslektischen Probanden interpretiert, wobei durch die statische Präsentation zumindest bei der hohen Raumfrequenz überwiegend das parvozelluläre System aktiviert worden sein müsste.

Gegen die Annahmen der magnozellulären Theorie sprechen auch die Ergebnisse der Metaanalyse von Stuart et al. (2001) über Studien zur Kontrastsensitivität bei Personen mit Dyslexie, die zeigt, dass es bei den Dyslektikern eine reduzierte Kontrastsensitivität bei allen räumlichen und zeitlichen Frequenzen gibt. Für diese Defizite bei allen Frequenzen kann aber nicht das magnozelluläre System alleine verantwortlich gemacht werden.

Eine andere Argumentation gegen das magnozelluläre Defizit als Ursache für Dyslexie bieten Skoyles und Skottun (2004): Sie rechneten die Daten von Lovegrove et al. (1986) und Mason et al. (1993) zur Prävalenz von Dyslexie (zwischen 4% und 15%) und der Häufigkeit von magnozellulären Defiziten bei Personen mit und ohne Dyslexie hoch (75% der Probanden mit und 8% der Probanden ohne Dyslexie aus der Studie von Lovegrove et al. haben visuelle Defizite, die von den Autoren als magnozelluläre Defizite interpretiert wurden und 65% der Probanden mit und 20% der Probanden ohne Dyslexie aus der Studie von Mason et al. haben eine mangelnde okuläre Dominanz oder eine instabile binokulare Kontrolle, als Zeichen für magnozelluläre Defizite). Damit konnten sie zeigen, dass bis zu einer Dyslexie-Prävalenzrate von 10% der Anteil der Personen mit magnozellulären Defiziten in der „Kontrollbevölkerung“ höher ist als bei den Personen mit Dyslexie. Dieser Fakt wird meistens übersehen, da in Studien immer die gleiche Anzahl an Kontrollprobanden und Dyslektikern teilnehmen, was nicht der Verteilung in der Gesamtbevölkerung entspricht. Da dieser große Anteil der Bevölkerung trotz magnozellulärem Defizit keine Dyslexie entwickelt, kann dieses Defizit kaum eine bedeutende Ursache für Dyslexie sein.

Neben den psychophysiologischen Studien zur Überprüfung der Kontrastsensitivität des peripheren visuellen Systems, wurden auch Studien zur Überprüfung der magnozellulären Verarbeitung im visuellen Kortex durchgeführt. Dabei gelten bewegte visuelle Stimuli als probates Mittel, um magnozelluläre Neuronen im okzipitalen Kortex zu aktivieren. Ein häufig verwendeter Versuchsaufbau zur Überprüfung der magnozellulären Verarbeitung im okzipitalen Kortex besteht aus zwei Bildschirmen, auf denen sich Punkte bewegen. Auf einem zufällig ausgewählten Bildschirm bewegt sich eine bestimmte Anzahl von Punkten kohärent. Aufgabe der Probanden ist es, zu bestimmen, auf welchem Bildschirm sich die Punkte gemeinsam bewegen. Die Anzahl der sich kohärent bewegenden Punkte wird so weit reduziert, bis die richtige Seite nicht mehr angegeben werden kann (z.B. Stein, 2001). Mit diesem RDK-Test („random dot kinematogram“) konnten z.B. Talcott et al. bei Erwachsenen (1998) und Kindern mit Dyslexie (2000) zeigen, dass ein Großteil dieser Probanden über eine signifikant schlechtere visuelle Bewegungssensitivität verfügt, als gleich alte und gleich intelligente Kontrollprobanden. Zudem konnte in der Studie mit Kindern (2000) gezeigt werden, dass unabhängig von der Kategorisierung der Kinder als dyslektisch oder gut lesend eine hohe Bewegungssensitivität in einem

RDK-Test hoch mit der korrekten Rechtschreibung von irregulären (englischen) Wörtern und Pseudohomophonen (z.B. „rain“ vs. „rane“) korreliert, die nur über ihre visuelle Form und nicht durch phonologische Verarbeitungsprozesse richtig geschrieben werden können.

Amitay et al. (2002) dagegen fanden bei jungen erwachsenen Probanden mit und ohne Dyslexie keine Unterschiede in einem RDK-Test mit verschiedenen Kohärenzmaßen, Präsentationsdauern und Bewegungsgeschwindigkeiten der RDKs. Auch in einer elektrophysiologischen Studie (Scheuerpflug et al., 2004) konnte kein Unterschied in der globalen Amplitude nach der Präsentation von RDKs mit verschiedenem Kohärenzausmaß zwischen der dyslektischen Gruppe und der Kontrollgruppe gezeigt werden.

Skottun (2000) verweist außerdem auf eine Studie von Sawatari und Callaway mit Rhesusaffen (1996), die zeigt, dass der Input in das bewegungssensitive Areal V5 auch zu einem großen Teil vom parvozellulären System kommt. Deshalb sei es nicht möglich, Defizite in der Bewegungssensitivität nach der Stimulation mit RDKs auf Defizite im magnozellulären System zurückzuführen, da das Defizit genauso auch parvozellulären Ursprung haben könnte.

Die hier aufgeführten Befunde stehen im Widerspruch zu der oben skizzierten „magnozellulären“ Theorie der Lese Probleme bei dyslektischen Personen: So lange es so wenige und so wenig überzeugende Befunde für ein (zumindest visuelles) magnozelluläres Defizit bei dyslektischen Personen gibt, kann ein solches Defizit auch nicht für die mangelnde Unterdrückung des parvozellulären Systems verantwortlich gemacht werden. Zudem gibt es auch zahlreiche Studien, die, entgegen der Vorhersagen der magnozellulären Theorie, während der Sakkaden eine Unterdrückung des magnozellulären Systems durch das parvozelluläre System berichten (z.B. Burr & Morrone, 1996; Bridgeman & Macknick, 1995; Ilg & Hoffman, 1993).

Auch der von Stein (2001) konstruierte Zusammenhang zwischen magnozellulären Defiziten und schlechten Leseleistungen muss rein theoretisch bleiben, so lange die Befundlage für ein magnozelluläres Defizit nicht klarer wird: Bei schlechten Lesern habe es in der frühkindlichen oder pränatalen Phase eine leicht beeinträchtigte Entwicklung der Magno-Zellen gegeben. Dadurch erreiche der magnozelluläre Input die visuomotorischen Zentren im posterior-parietalen Kortex, im Colliculus Superior und im Cerebellum verzögert und zeitlich verschmiert. Das wiederum führe zu einer

zeitlich ungenauen muskulären Augenkontrolle, was eine unzuverlässige und ungenügende Fixierung der Augen beim Lesen bedinge. Der Fixationspunkt der Augen überschneide sich und dadurch würde die Buchstabenreihenfolge verändert wahrgenommen und ähnlich aussehende Buchstaben verwechselt (z.B. b und d). Abhilfe sei durch das Abdecken eines Auges während des Lesens zu erreichen, da es dann keine Überschneidung der Blicke mehr gebe. Da die Evidenz für ein magnozelluläres Defizit bei Personen mit Dyslexie stark widersprüchlich ist und sich sein Erklärungsansatz nur auf ein stark eingeschränktes Feld von Lese Problemen (Verwechslung von benachbarten oder ähnlichen Buchstaben) bezieht, kann dieses Modell kaum Allgemeingültigkeit beanspruchen.

Auch wenn schon auf Grund der Befundlage zum visuellen magnozellulären Defizit ein modalitätsübergreifendes magnozelluläres Defizit ausgeschlossen werden kann, war die Bedeutung der Magno-Neurone für eine hohe zeitliche Auflösung bzw. für die Verarbeitung schneller (visueller) Reize für einige Forschergruppen Anreiz, um die Bedeutung einer defizitären Entwicklung des magnozellulären Systems auch als Ursache für temporale Verarbeitungsdefizite in anderen Modalitäten zu untersuchen. Stein (2001) geht dabei bei der Postulierung der hypothetischen Zusammenhänge am weitesten: Eine generelle magnozelluläre Dysfunktion sei verantwortlich für auditorische, visuelle und zerebelläre bzw. motorische Defizite. Das auditorische Defizit führe zu einem phonologischen Defizit, was dann über mangelhafte phonologische Fertigkeiten und eine unzuverlässige Graphem-Phonem-Entsprechung eine beeinträchtigte Leseleistung bewirke. Das visuelle Defizit führe über den schon beschriebenen Mechanismus direkt zu Lese Problemen und das defizitäre motorische System sei zumindest über die Steuerung der Okulomotorik auch am defizitären Lesen beteiligt. Weitreichendere Aussagen über das Verhältnis von motorischen Defiziten und Dyslexie werden in der zerebellären Theorie der Dyslexie gemacht (Nicolson & Fawcett, 1990; Nicolson et al., 2001), in der auch magnozelluläre Defizite als mögliche Ursache für zerebelläre Dysfunktionen in Betracht gezogen werden (Nicolson et al., 2002). Diese zerebellären Dysfunktionen bewirkten einerseits eine mangelhafte motorische Kontrolle, was sich auch in einer beeinträchtigten Artikulation und als Folge in fehlerhaften phonologischen Repräsentationen äußere. Andererseits führten sie zu Beeinträchtigungen bei der Automatisierung überlernter Aufgaben wie Autofahren oder eben Lesen. Die

Automatisierungsprobleme würden sich beim Lesenlernen vor allem beim Erlernen der Phonem-Graphem-Korrespondenzen negativ auswirken.

Laasonen et al. (2002) sprechen zwar nicht von einem magnozellulären Defizit, sind aber auch der Meinung, dass das Lesen die crossmodale Verarbeitung schneller sequentieller Stimuli bzw. den schnellen Austausch zwischen der visuellen und auditorischen, der visuellen und taktilen und der auditorischen und taktilen Modalität verlangt. In ihrer Studie (2002) fanden sie bei erwachsenen Personen mit Dyslexie bei der temporalen Verarbeitung hypothesenkonform in allen Modalitäten Einbußen, wenn auch die Unterschiede zu den Kontrollen nicht immer signifikant waren. Sie weisen aber darauf hin, dass dieser Zusammenhang zwischen mangelhafter temporaler Verarbeitung und mangelhafter Leseleistung kein kausaler Zusammenhang sei, da auch einige der Kontrollprobanden über temporale Verarbeitungsdefizite verfügen, ohne eine Dyslexie zu entwickeln.

Um die generalisierte magnozelluläre Theorie als ursächliche Erklärung für zumindest einen Teil von Personen mit Dyslexie in Betracht ziehen zu können, müssten wenigstens bei einer Subgruppe von dyslektischen Probanden in verschiedenen Modalitäten Defizite gefunden werden, die auf ein defizitäres magnozelluläres System zurückgeführt werden können und die bei einer normal lesenden Kontrollgruppe nicht gefunden werden. Außerdem dürfte bei den dyslektischen Probanden die Leistung bei Aufgaben, die nichts mit magnozellulärer Verarbeitung zu tun haben, wie z.B. Aufgaben mit lang präsentierten Stimuli oder Aufgaben, die keine Detektion oder Diskrimination von kurz präsentierten Reizen verlangen, nicht beeinträchtigt sein (Amitay et al., 2002).

So fanden Amitay et al. (2002) zwar eine Subgruppe von Probanden mit Dyslexie (6/30), die in fünf visuellen und zwei auditiven Aufgaben zur magnozellulären Verarbeitung signifikant schlechter waren als die Kontrollgruppe, während sich die restliche dyslektische Gruppe in ihrer Leistung nicht von den Kontrollen unterschied. Wurden die Parameter der Aufgaben so verändert, dass sie nicht mehr spezifisch das magnozelluläre System ansprechen, waren sowohl die „magnozelluläre“ Subgruppe als auch die übrigen dyslektischen Probanden signifikant schlechter als die Kontrollgruppe. Außerdem war die Leistung in den Aufgaben mit den magnozellulären Parametern in keiner Untersuchungsgruppe mit der Leseleistung korreliert. Damit gibt es keine Hinweise für ein ursächliches magnozelluläres Defizit

bei den dyslektischen Probanden, die Leseproblematik scheint eher durch eine generelle Wahrnehmungsschwäche begleitet zu sein.

Ramus et al. (2003a) untersuchten 16 dyslektische und 16 Kontrollprobanden hinsichtlich einer Vielzahl von Aufgaben zur phonologischen, auditorischen, visuellen und zerebellaren / motorischen Verarbeitung. Während alle dyslektischen Probanden phonologische Defizite zeigten und sich signifikant von den Kontrollen unterschieden, hatten nur 10 der 16 dyslektischen Probanden Defizite bei der auditorischen Verarbeitung, von denen wiederum nur 4 ausschließlich Probleme bei der Verarbeitung von Stimuli hatte, die das magnozelluläre System aktivieren sollten. Motorische Probleme, die jedoch nicht auf Probleme bei der magnozellulären Verarbeitung hinwiesen, hatten 4 der 16 dyslektischen Probanden. Außerdem bestanden keine Korrelationen zwischen der Leistung in den motorischen Tests und der Leseleistung. Nur zwei Probanden mit Dyslexie hatten magnozelluläre visuelle Probleme. Da diese beiden Probanden aber in den motorischen und auditorischen Aufgaben Defizite bei den nichtmagnozellulären Parametern hatten, sprechen auch die Ergebnisse dieser Studien eindeutig gegen die Theorie des magnozellulären Defizits. Andererseits zeigen sie erneut die Bedeutung von phonologischen Defiziten für die Dyslexie. Die auditorischen Defizite aus den insgesamt 12 Tests ergaben zwar bei keinem Probanden ein konsistentes Muster und keinen Hinweis auf ein magnozelluläres Defizit, erklärten aber 30% der Varianz der phonologischen Fähigkeiten: Probanden mit auditorischem Defizit hatten tendentiell ein schwerwiegenderes phonologisches Defizit, während es umgekehrt auch einige dyslektische Probanden mit hervorragenden Höreigenschaften gab, die dennoch ein starkes phonologisches Defizit zeigten. Auch diese sehr umfassende Studie zeigt, dass sensorische Defizite lediglich unabhängige Begleiterscheinung der phonologischen Beeinträchtigung zu sein scheinen. Außerdem werden hier die Hauptprobleme der phonologischen und der magnozellulären Theorie deutlich: während erstere daran krankt, dass sie das *Auftreten* von sensorischen und motorischen Probleme bei Dyslektikern nicht erklären kann, hat zweitens das Problem, das *Ausbleiben* eben dieser Defizite bei einer großen Zahl von Probanden mit Dyslexie nicht erklären zu können.

Auf Grund der zahlreichen und widersprüchlichen Befunde zum auditorisch-temporalen Verarbeitungsdefizit und zur visuellen Kontrast- und Bewegungssensibilität scheint es äußerst unwahrscheinlich, dass es jemals eine

Studie geben wird, die Befunde liefern könnte, um die Theorie des magnozellulären Defizits überzeugend zu belegen.

Selbst wenn dies gelänge, bliebe immer noch zu klären, wie diese defizitäre Entwicklung des magnozellulären Systems zustande kommt. Stein (2001) liefert auch hierfür eine Erklärung, die jedoch wenig überzeugend ist. Der Erklärungsansatz beruht auf der Tatsache, dass Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten eine hohe Vererblichkeit aufweisen. So konnte z.B. in Zwillingsstudien gezeigt werden, dass ca. 50% der Lese- und ca. 60% der Rechtschreibfähigkeit vererbt werden (Olson et al., 1994; Stevenson, 1991). Stein proklamiert, dass es mindestens drei Gene geben müsse, die für die gesamte Ausprägung der Dyslexie verantwortlich seien: eines, das die Orthographie kontrolliert, ein zweites, das die Phonologie kontrolliert und ein drittes, das die Verbindung von orthographischen und phonologischen Fähigkeiten kontrolliert und das bereits auf Chromosom 6 lokalisiert worden sei. Diese Stelle sei mit orthographischen und phonologischen Fähigkeiten verbunden. Der Zusammenhang mit einer defizitären Entwicklung des magnozellulären Systems ist damit aber nicht belegt.

Die magnozelluläre Theorie als integrative Theorie, die alle sensorischen und motorischen Probleme bei Dyslexie erklärt und in direkten Zusammenhang mit der Leseschwäche bringt, ist schon allein auf Grund der Befundlage zum visuellen und auditiven magnozellulären System nicht haltbar. Auch wenn in einigen Studien einzelne Probanden gefunden werden, die einzelne oder auch mehrere Symptome zeigen, die mit der Theorie übereinstimmen, fehlt selbst für eine Subgruppe von dyslektischen Probanden Evidenz für modalitätsübergreifende magnozelluläre Defizite. Deshalb spielt die magnozelluläre Theorie der Dyslexie für die vorliegende Studie keine Rolle.

2.5 Neurophysiologische Korrelate der Dyslexie

Hier soll der aktuelle Forschungsstand zu den in unserer Studie verwendeten Paradigmen (MMF, Lokalisation von Quellen der ERP, Fast Words) aus dem Bereich der elektro- und magnetoenzephalographischen Forschung berichtet werden.

2.5.1 Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP) bei auditiver Stimulation

Ereigniskorrelierte Potentiale verschaffen ein sensibles neurophysiologisches Maß für den genauen zeitlichen Ablauf und die kortikale Beanspruchung während

kognitiver Verarbeitung und sind daher gut geeignet, um die kognitiven Prozesse, die fürs Lesen und Schreiben erforderlich sind, zu erforschen (Habib, 2000). Da als Ursache für Dyslexie vor allem phonologische oder temporal-auditive Verarbeitungsdefizite vermutet werden, sind im Zusammenhang mit Dyslexie häufig EKP nach auditorischer Stimulation untersucht worden, um Aufschluss über möglicherweise defizitäre auditorische Verarbeitungsprozesse bei Dyslexie zu erhalten.

Die am häufigsten untersuchte Komponente bei auditorischer Stimulation in Zusammenhang mit Dyslexie ist die MMN mit einem Maximum zwischen 100 und 250ms, die bei wiederholter Darbietung identischer auditorischer Stimuli („standard“) durch leicht abweichende Stimuli („deviant“) evoziert wird (s. Kap. 2.5.2).

Bei einfacher auditorischer Stimulation werden in unbeeinträchtigten Stichproben schon nach 50 (P50) und 100ms (N1) stabile Komponenten sichtbar (Pekkonen et al., 1995). Quellenberechnungen auf Grundlage von MEG-Daten zeigen, dass bei gesunden erwachsenen Probanden die Generatoren dieser Komponenten im primären und sekundären auditorischen Kortex im Temporallappen liegen (Hari et al., 1980; McEvoy et al., 1994) und die Komponenten kontralateral zur stimulierten Seite eine größere Amplitude und kürzere Latenz aufweisen (Reite et al., 1981). Einige Autoren vermuten den Ursprung der N1 im Planum Temporale (Elbert, 1998; Lütkenhöner et al., 1998). Das Planum Temporale liegt im Bereich der Sylvischen Furche im supratemporalen Kortex und ist in der linken Hemisphäre als Teil des Wernicke Areals an der Sprachverarbeitung beteiligt. Außerdem ist es in der linken Hemisphäre bei Erwachsenen normalerweise größer als in der rechten Hemisphäre (für einen Überblick: Steinmetz et al., 1990). Diese Asymmetrie wird schon im Kindesalter gefunden (Galaburda, Geschwind, 1981) und verstärkt sich im Verlauf der Kindheit bis zur Adoleszenz (Sowell et al., 2002). Die Asymmetrie scheint mit phonologischen und verbalen Fähigkeiten assoziiert zu sein (Eckert et al., 2001) und ist bei Kindern mit SLI häufig nicht vorhanden (Jernigan et al., 1991; Gauger et al., 1997).

Auch bei Personen mit LRS wird die Asymmetrie in der Größe des Planum Temporale häufig nicht gefunden (z.B. Hynd et al., 1990; Kushch et al., 1993). So berichten z.B. Larsen et al. (1990) in einer MRI-Studie von symmetrischen Planum Temporale bei Probanden mit LRS und auch Galaburda et al. fanden in ihrer post-

mortem-Studie (1985) mit Gehirnen von vier erwachsenen dyslektischen Personen symmetrische Plana Temporale.

Zusätzlich zu diesen strukturellen Asymmetrien bei unbeeinträchtigten Probanden werden auch bei der Lokalisierung der frühen auditorischen ERP, die möglicherweise ihren Ursprung im Planum temporale haben (Elbert, 1998; Lütkenhöner et al., 1998), rechts-links Asymmetrien gefunden. Eulitz et al. (1995) fanden z.B. in einer MEG-Studie mit erwachsenen, unbeeinträchtigten Versuchspersonen, dass die Quellen, die einer N1 auf Töne oder Silben zugrunde liegen, in der rechten Hemisphäre weiter anterior liegen als in der linken Hemisphäre. Diese Asymmetrie wird in vielen MEG-Studien zur Lokalisierung der N1 bei unbeeinträchtigten Probanden berichtet (z.B. Nakasato et al., 1993; Reite et al. 1995, Teale et al., 1998, Ohtomo et al. 1998). Bei Probanden mit Dyslexie könnte diese rechts-links Asymmetrie fehlen. So unterschied sich in der Studie von Heim et al. (2003a) bei erwachsenen dyslektischen Probanden die Lokalisation der N1 in der rechten Hemisphäre nicht signifikant von der Lokalisation in der linken Hemisphäre, während die N1 bei den Kontrollprobanden in der rechten Hemisphäre signifikant weiter anterior lokalisiert wurde. Die fehlende Asymmetrie wurde dahingehend interpretiert, dass in der rechten Hemisphäre Areale die Sprachverarbeitung übernehmen, die normalerweise nicht für die Sprachverarbeitung spezialisiert und deshalb weniger effektiv seien.

Bei Untersuchungen der N1 bei Kindern muss berücksichtigt werden, dass die Latenz und die Amplitude der N1 vom ISI und dem Alter abhängen (Rojas et al. 1998). In einem Überblick kommen Ceponiene et al. (2002) zu dem Schluss, dass von den ERP bei Kindern die P1 und N2 am deutlichsten evoziert werden können, während bei Erwachsenen der P1-N1-P2-Komplex vorherrschend sei. Im Alter von 1-4 Jahren sei die P1 dominierend, während von 3-6 Jahren die N2 zunehmend robust würde und bis in die Adoleszenz die stärkste Komponente der ERP sei. Ab drei Jahren könne zusätzlich die N1 evoziert werden, aber nur mit sehr langsamer Stimulation bzw. langem ISI. Karhu et al. (1997) erzielten mit dem EEG bei 9-jährigen mit einer Sequenz von vier Tönen bei einem ISI von 1s eine N1, die jedoch nach jedem Ton geringer wurde. Entsprechend konnten auch Ceponiene et al. (2002) mit dem EEG bei 9-jährigen mit drei Tönen mit einer SOA von 700ms mit einem normalen Bandpassfilter keine N1 entdecken, da sich die P1- und N2-Wellen überlappten. Wurde jedoch die langsame Aktivität herausgefiltert, konnte eine zwar kleine, aber deutliche N1 entdeckt werden, deren Latenz der N1 bei einer SOA von

4s entsprach. Während bei den 4-jährigen die Auswirkung der langen SOA nicht untersucht wurde, konnte bei der kurzen SOA (700ms) unabhängig vom Filter in dieser Altersgruppe keine N1 evoziert werden. Das entspricht den Ergebnissen von Paetau et al. (1995) mit 3-jährigen Kindern, die bei einem ISI von 2,4s eine N1 evozieren konnten, nicht aber bei einem ISI von 1,2s. Dies war die erste MEG-Studie, die systematisch die Auswirkung der ISI auf die ERP bei Kindern untersuchte. Auch in der Studie von Takeshita et al. (2002), in der an einer Stichprobe von 8 bis 14-jährigen Kindern und Erwachsenen sowohl mit dem EEG ereigniskorrelierte Potentiale als auch mit dem MEG auditorisch evozierte magnetische Felder erhoben wurden, konnten vergleichbare Ergebnisse berichtet werden: Bei der kürzesten SOA von 1,6s zeigten 21% der unter 12-jährigen keine N100m, bei der SOA von 3s zeigten noch 14% dieser Altersgruppe keine N100m, während bei einer SOA von 5s bei allen Probanden eine N100m evoziert werden konnte. Außerdem verkürzte sich die Latenz der N100 und N100m signifikant von der jüngsten Altersgruppe bis zur Gruppe der Erwachsenen.

Je älter die Kinder also sind, desto größer wird die Amplitude und desto kürzer die Latenz der N1 (Vaughan und Kurtzberg, 1992) bzw. desto weniger lang muss das ISI sein, um eine zuverlässige N1 zu evozieren. Dies könnte nach Ceponiene et al. (2002) mit dem deutlichen Zuwachs der Aufmerksamkeitsspanne zwischen 6 und 10 Jahren zusammenhängen: Wenn die Fähigkeit Aufmerksamkeit zu fokussieren ausgebildet ist, werden zusätzlich Mechanismen benötigt, um Ereignisse außerhalb des Aufmerksamkeitsfokusses wahrzunehmen. Diese könnten durch ein sich entwickelndes N1-System repräsentiert werden. Die Generatoren der N1 scheinen dagegen unabhängig vom Alter bei Erwachsenen und Kindern gleichermaßen im supratemporalen Kortex lokalisiert zu sein.

Bei Kindern mit Leseschwierigkeiten werden noch längere Latenzen und geringere Amplituden der N1 berichtet, als dies bei gleichaltrigen Kindern ohne eine Beeinträchtigung der Fall ist (z.B. Pinkerton et al., 1989; Neville et al., 1998). Dies könnte als Hinweis dafür gelten, dass der LRS ein kortikaler Entwicklungsrückstand zu Grunde liegt, da die Charakteristik der ERP der betroffenen Kinder der von unbeeinträchtigten jüngeren Kindern entspricht. Dieser Rückstand bleibt auch im Erwachsenenalter bestehen und könnte eine langsamere Verarbeitung in zentralen auditorischen Pfaden verursachen (vgl. Tonnquist-Uhlen et al., 1996).

Allerdings können auch diese Ergebnisse nicht in allen Studien repliziert werden, was erneut dafür spricht, dass es für die LRS keine homogene Pathophysiologie gibt (vgl. Tonnquist-Uhlen et al., 1996; Neville et al., 1993) und dass nicht nur verschiedene Untersuchungsmethoden, sondern auch verschiedene Stichproben zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

So untersuchten Brunswick und Rippon (1994) Unterschiede in der Lateralisation der N1 zwischen 7-11-jährigen Kindern mit und ohne LRS bei dichotischer Präsentation von verschiedenen CV-Silben mit einem ISI von 4s. Während die Amplitude der N1 bei der Kontrollgruppe in der linken Hemisphäre signifikant höher war als bei der dyslektischen Gruppe, gab es bei der Latenz keine signifikanten Unterschiede. Tonnquist-Uhlen et al. (1996) fanden dagegen bei 9-15-jährigen Kindern mit schwerer Sprachbeeinträchtigung und separater Präsentation von kurzen 500Hz-Tönen in das rechte und linke Ohr mit einem ISI von 1s keinen Unterschied in der N1-Amplitude zu einer gleich alten Kontrollgruppe, dafür aber längere Latenzen für die SLI-Gruppe bei Präsentation im rechten Ohr. Außerdem konnte bei der Kontrollgruppe bei Präsentation im linken Ohr die N1 trotz des sehr kurzen ISI von 1s bei allen Probanden evoziert werden, während dies nur bei 75% der Probanden mit SLI gelang. Bei Präsentation im rechten Ohr waren diese Unterschiede geringer.

Wie in ihrer Studie mit Erwachsenen (Heim et al., 2003a) untersuchten Heim et al. (2003b) auch bei 8-15jährigen Kindern und Jugendlichen mit und ohne LRS Unterschiede in der Quellenlokalisation der magnetischen Felder auf die deutsche Silbe /ba/. Während in der Studie mit den erwachsenen Probanden die Dipole der ersten Komponente nach unten orientiert waren und damit eine Negativität signalisierten (N100m), waren die Dipole bei der Kinderstichprobe nach oben orientiert (P100m). Wie bei den Erwachsenen war aber auch bei dieser Stichprobe bei den Kontrollprobanden der P1-Dipol in der rechten Hemisphäre weiter anterior als in der linken Hemisphäre, während diese Asymmetrie bei den dyslektischen Probanden nicht gefunden wurde. Dies kann als weiterer Beleg dafür gelten, dass bei Kindern die Amplitude und Latenz der N1 im Vergleich zu Erwachsenen verändert sind, dass jedoch mit Ausnahme der Orientierung die Lokalisierung dieser frühen Komponente unabhängig vom Alter ist.

Ziel der Dipollokalisierungen der vorliegenden Studie war es, mit einer großen Stichprobe zu überprüfen, ob es wie in der Studie von Heim et al. (2003b) zwischen dyslektischen und Kontrollkindern Unterschiede in der Lokalisation der frühen ERF-

Komponenten auf eine CV-Silbe als Maß für die räumliche Organisation der Sprachverarbeitung im auditorischen Kortex gibt und zu untersuchen, mit welchem Training (temporales, phonologisches oder Regeltraining) diese veränderte Organisation bei Kindern mit LRS, falls tatsächlich vorhanden, verändert werden kann.

2.5.2 Studien zur MMN bzw. zum MMF bei Probanden mit Dyslexie

Die MMN (Mismatch Negativity bei Messung mit dem EEG) bzw. das MMF (Mismatch Field bei Messung mit dem MEG) ist eine auditorische, ereigniskorrelierte negative Komponente, die ihr Maximum normalerweise 100-250ms nach Stimuluspräsentation erreicht. Allerdings besteht auch bei der MMN als ereigniskorreliertem Potential das Problem, dass die Latenz nicht immer unabhängig vom Alter ist. So wurde in einigen Studien mit Kindern die maximale Amplitude der MMN erst bei 300-600ms gefunden (Kraus et al., 1996, Schulte-Körne et al., 1998b, 1999b, 2001e).

Der MMN scheinen mindestens zwei Generatoren zugrunde zu liegen: ein bilateral-temporaler Generator, der bei abweichenden auditiven Reizen aktiv wird und etwas später ein frontaler Generator, der mit unwillentlichen Aufmerksamkeitswechseln assoziiert wird (Alho, 1995) und in der rechten Hemisphäre normalerweise stärker ist (Giard et al., 1990). Die MMN entsteht durch stärkere kortikale Aktivierung bei wahrnehmbaren Veränderungen bzw. abweichenden Stimuli („deviant“), die mit geringer Auftrittswahrscheinlichkeit bei kontinuierlicher auditorischer Stimulation identischer Stimuli („standard“) präsentiert werden. Als abweichender Stimulus werden entweder selten präsentierte Töne verwendet, die vom Standardton in der Frequenz, Intensität oder Dauer abweichen oder selten präsentierte Phoneme, die sich in einzelnen phonetischen (bzw. temporalen) Eigenschaften vom Standardphonem unterscheiden (Näätänen, 2000). Da die MMN nicht nur sensibel auf temporale Veränderungen reagiert, sondern außerdem unabhängig von gerichteter Aufmerksamkeit ist, eignet sie sich gut zur Untersuchung automatisch-auditorischer Diskriminationsgenauigkeit bei der Sprachverarbeitung (Näätänen, 2001a). Die Unabhängigkeit der MMN von Aufmerksamkeitsprozessen ermöglicht auch bei Kindern die Untersuchung sprachlicher oder sprachfreier Dysfunktionen der auditiven Verarbeitung, die möglicherweise mit der Ätiologie der Dyslexie in Zusammenhang stehen könnten.

So versuchten Schulte-Körne et al. (1998b) mit Hilfe der MMN zu klären, ob auditorische Wahrnehmungsdefizite bei LRS generell auditorisch oder nur sprachspezifisch sind (vgl. Kap. 2.2 und 2.3). Dazu verglichen sie bei einer kontinuierlichen Präsentation die MMN zwischen dyslektischen und Kontrollkindern auf abweichende Töne („deviant“: 1050Hz vs. „standard“: 1000Hz) und Silben (/da/ vs. /ba/). Während es für die Töne keine Gruppenunterschiede gab, war die MMN-Amplitude der LRS-Gruppe bei der abweichenden Silbe signifikant geringer als bei der Kontrollgruppe. Dieses Ergebnis konnte auch mit einer erwachsenen Stichprobe repliziert werden (Schulte-Körne, 2001e) und wurde als Hinweis für sprachspezifische bzw. phonologische Verarbeitungsdefizite bei LRS interpretiert. Allerdings konnten mit diesem Design keine Aussagen über ein generelles temporales Verarbeitungsdefizit getroffen werden.

Um ein potientes nichtsprachliches temporales Verarbeitungsdefizit bei erwachsenen Probanden mit Dyslexie zu untersuchen, setzten Schulte-Körne et al. (1999b) sich schnell ändernde Tonfolgemuster in fester Reihenfolge ein, die aus vier Tönen mit unterschiedlichen Frequenzen und unterschiedlicher Dauer (50, 90, 25, 50ms) bestanden. In der abweichenden Bedingung wurden zwei Töne ausgetauscht, die die gleiche Frequenz hatten und sich nur in der Länge unterschieden. Auch bei diesen nichtsprachlichen Reizen zeigten die Probanden mit Dyslexie im Vergleich zur Kontrollgruppe eine reduzierte MMN. Baldeweg et al. (1999) fanden dagegen keinen Unterschied in der MMN zwischen erwachsenen Probanden mit und ohne Dyslexie, wenn sich die abweichenden Töne in der Dauer vom Standardton (200ms vs 160, 120, 80, 40ms) unterschieden. Bestand der Unterschied zum Standardton bei sehr kurzen Tönen bei fester Dauer (50ms) jedoch in einer veränderten Frequenz des abweichenden Tons, kam es auch hier zu einer reduzierten und verzögerten MMN bei den Probanden mit Dyslexie, wobei der Unterschied zur Kontrollgruppe umso größer wurde, je geringer der Frequenzunterschied zwischen Standard- und abweichendem Ton war. In diesen beiden Studien zeigten die dyslektischen Probanden auch bei komplexen und kurz präsentierten nichtsprachlichen auditiven Stimuli ein Verarbeitungsdefizit.

In einer weiteren Studie mit nonverbalem Stimulusmaterial verglichen Kujala et al. (2000) die MMN auf Tonfolgen und Tonpaare bei acht erwachsene Probanden mit und ohne Dyslexie. Die Tonfolgen bestanden aus vier identischen Tönen, bei denen das ISI in der Standardbedingung von Ton zu Ton immer kürzer wurde (200, 150,

50ms). In der abweichenden Bedingung wurde die Reihenfolge der ISI verändert (200, 50, 150ms). Die Tonpaare waren in der Standardbedingung durch ein ISI von 150ms und in der abweichenden Bedingung von 50ms getrennt. Während es für die Tonpaar-Bedingung keine Gruppenunterschiede gab, bewirkten in der Tonfolge-Bedingung für die Kontrollgruppe beide abweichenden ISI eine MMN, während für die dyslektische Gruppe nur das zweite abweichende ISI eine MMN bewirkte. Kujala et al. interpretierten dies so, dass Personen mit Dyslexie nur dann Schwierigkeiten bei der Verarbeitung auditiver temporaler Information hätten, wenn direkt davor oder danach weitere auditive Information präsent sei und verarbeitet werden müsse, so wie das bei der Verarbeitung von Sprache der Fall sei.

Mittlerweile wurde die MMN auch in einigen Trainingsstudien verwendet, um den Trainingserfolg auf neuronaler Ebene zu überprüfen. So konnte Heim (2002) bei 7 lese-rechtschreibschwachen Kindern, die an einem vierwöchigen Training mit silbierendem Sprechen, Lesen und Schreiben teilnahmen (Buschmann-Training), mit dem MEG eine Veränderung des MMFs von vor zu nach dem Training zeigen. Als Kontrollgruppe diente eine Gruppe von Schülern, die keine Schwierigkeiten mit dem Lesen und Schreiben hatten, die jedoch auch im Intelligenztest signifikant besser abschnitten als die Trainingsgruppe und nur zu einem Zeitpunkt gemessen wurden. Das MMF wurde durch die von der Standardsilbe /ba/ abweichende Silbe /da/ evoziert. Die Kontrollgruppe zeigte wie erwartet ein dominantes MMF über dem linken auditorischen Kortex. Die Trainingsgruppe zeigte vor dem Training ein größeres MMF über dem rechten als über dem linken auditorischen Kortex, wobei das MMF über dem linken Kortex in etwa dem der Kontrollgruppe entsprach. Nach dem Training war bei der Trainingsgruppe das MMF über dem rechten Kortex so reduziert, dass ihre Topographie jetzt der Topographie der Kontrollgruppe entsprach. Da sich nach dem Training auch die kategoriale Wahrnehmung des /ba/-/da/-Kontinuums verbesserte, vermutete Heim, dass die größere MMF-Amplitude über dem rechten Kortex mit einer unzuverlässigeren Wahrnehmung von Stop-Konsonanten-Silben bzw. beeinträchtigten kognitiven Prozessen, die mit dem Lesen und Schreiben zu tun haben, zusammenhängt. Allerdings wurden keine Korrelationen berechnet, die diese Vermutung stützen könnten.

Kujala et al. (2001) konnten in einer Trainingsstudie auch mit nichtsprachlichem Training und einer nichtsprachlichen MMN einen Trainingseffekt zeigen. Sie ließen 24 7-jährige Schüler mit schwerwiegenden Leseproblemen ein audio-visuelles

Trainingsprogramm absolvieren und führten vor und nach der 7-wöchigen Trainingsphase eine EEG-Messung zur Bestimmung der MMN und verschiedene Verhaltenstests durch. Das Training enthielt nonverbale Klänge, die sich in ihrer Tonhöhe, Dauer und Intensität unterschieden und durch entsprechende visuelle Balken begleitet wurden. Die Probanden konnten das SOA und die Klangdauer selbständig verändern. Aufgabe war, entweder eine auditiv präsentierte Sequenz einer von zwei zuvor präsentierten visuellen Sequenzen zuzuordnen oder eine Sequenz auf dem Bildschirm zu verfolgen und eine Taste zu drücken, wenn der letzte Ton präsentiert wurde. Zur Messung der MMN wurde ein Tonpaar (500 und 750Hz) als Standardreiz und in der umgekehrten Reihenfolge als abweichender Reiz präsentiert. Vor dem Training unterschied sich die MMN der Trainingsgruppe nicht von einer legasthenischen Kontrollgruppe. Nach dem Training war die MMN nur für die Trainingsgruppe erhöht. Außerdem verbesserte sich die Trainingsgruppe auch im Lesen und die beiden Verbesserungen korrelierten signifikant. Aus diesen Ergebnissen schlossen die Autoren, dass der Dyslexie nicht ein auf die Phonologie beschränktes, sondern ein generelles auditorisches Verarbeitungsdefizit zugrunde liege.

Die zitierten Studien legen den Schluss nahe, dass mit der MMN schon zu einem frühen Verarbeitungszeitpunkt Defizite im auditorischen System nachgewiesen werden können, v.a. bei der auditorischen Diskrimination (vgl. Kujala & Näätänen, 2001), die auf ein auditorisch temporales Verarbeitungsdefizit hinweisen. Damit besteht ein Widerspruch zwischen diesen Studien und den Verhaltensstudien zur temporalen Verarbeitung, die insgesamt eher auf eine geringe Bedeutung der temporalen Verarbeitung hinweisen. Möglicherweise liegt dieser Widerspruch darin begründet, dass es nur sehr wenige Studien zur MMN bei Dyslexie gibt und dass die Stichproben eher klein sind. Andererseits wäre es natürlich auch möglich, dass die MMN ein sensibleres Maß und besser geeignet ist als TOJ- und Diskriminationsaufgaben, um die temporale Verarbeitung zu untersuchen. Weitere Studien zur MMN und temporalen Verarbeitung mit großen, unselektierten Stichproben könnten helfen, darüber mehr Klarheit zu erlangen.

In der vorliegenden Studie soll untersucht werden, ob bei Kindern mit LRS eine reduzierte MMF-Amplitude als Hinweis auf temporale Verarbeitungsdefizit gefunden werden kann und ob ein temporales Training eine möglicherweise reduziertes MMF bei Kindern mit Dyslexie effektiver verändert als ein phonologisches oder

Regeltraining. Aus diesen Daten sollen dann Rückschlüsse auf die Bedeutung der temporalen Verarbeitungsdefizithypothese gezogen werden.

2.5.3 Fast Words

In vielen Studien konnte gezeigt werden, dass die Leseleistung dyslektischer Probanden nicht bei allen Wörtern gleich schlecht ist (z.B. Boder, 1973; Coltheart et al., 1983; Temple, Marshall, 1983). Während häufige Wörter meist recht gut gelesen werden können, bestehen beim Lesen seltener Wörter oft große Schwierigkeiten. Das kann mit dem Dual-Route Model des Lesens erklärt werden (Coltheart, Rastles, 1994; vgl. Kap. 1.3): Für häufige Wörter bestehen auch bei Probanden mit LRS orthographisch-visuelle Repräsentationen der ganzen Wörter, die ohne die Notwendigkeit von Graphem-Phonem-Konversions-Regeln über die Ganzwort-Leseroute erreicht werden und beim Lesen auch als Ganzes wieder abgerufen werden können (lexikalische Route). Für seltene Wörter bestehen diese Repräsentationen nicht. Diese müssen seriell Graphem für Graphem in Phoneme übertragen werden, wodurch der Leseprozess länger dauert (phonologische Route). Castles und Coltheart (1993) konnten wie Boder (1973) zeigen, dass bei irregulären Wörtern, die nur über die lexikalische Route korrekt ausgesprochen werden können, nur 19% der dyslektischen Probanden beeinträchtigt sind, während bei Pseudowörtern, die nur über die phonologische Route gelesen werden können, 72% der Probanden deutliche Schwierigkeiten haben. Da zudem noch etwa die Hälfte der verwendeten irregulären Wörter eher selten in geschriebener Form vorkommen, scheint das visuelle Enkodieren des orthographischen Musters von Wörtern und damit die lexikalische Route bei der Mehrzahl der Probanden mit Dyslexie unbeeinträchtigt zu sein, während die überwiegende Mehrzahl Probleme bei der phonologischen Route und damit bei phonologischen Verarbeitungsprozessen hat. Es gibt nur wenige Studien, die bei Probanden mit Dyslexie direkt das Lesen von häufigen (hoch frequenten) und seltenen (nieder frequenten) Wörtern untersucht haben, während es dazu zahlreiche Studien mit unbeeinträchtigten Probanden gibt. In elektrophysiologischen Studien mit erwachsenen unbeeinträchtigten Versuchspersonen wird übereinstimmend berichtet, dass die nieder frequenten Wörter im Zeitbereich von 120-190 ms in v.a. okzipitalen Regionen eine stärkere kortikale Aktivierung bewirken als die hoch frequenten Wörter (Sereno et al., 1998; Assadolahi, Pulvermüller, 2001, 2003; Hauk, Pulvermüller, 2004). Dies gilt als

Hinweis darauf, dass die häufigen Wörter ohne viel Verarbeitungsaufwand direkt aus einem semantischen Lexikon abgerufen werden können, während für die Anwendung der Graphem-Phonem-Regeln zusätzliche kortikale Ressourcen erforderlich sind.

Es gibt lediglich zwei Studien, die das Lesen und die Enkodierung des Gelesenen bei Probanden mit Dyslexie überprüft haben. Johannes et al. (1995) präsentierten 6 dyslektischen Probanden, die sie an einer Universität rekrutierten, hoch und nieder frequente Wörter für 2500ms mit einem ISI von 3300ms. Bei beiden Gruppen evozierten die nieder frequenten Wörter im EEG eine höhere N400-Amplitude als die hoch frequenten Wörter, obwohl für die nieder frequenten Wörter, die über die phonologische Route gelesen werden müssen, Unterschiede zwischen den dyslektischen und den Kontrollprobanden erwartet hätten werden können. Für diesen fehlenden Unterschied kann es mehrere Gründe geben: Erstens waren die untersuchten Gruppen sehr klein, so dass mögliche Ausreißer das Ergebnis bestimmt haben könnten. Zweitens sind studierende Probanden mit Dyslexie nicht repräsentativ, da sie über ein hohes Maß von Kompensationsstrategien verfügen müssen. Drittens schließlich könnte die lange Präsentationsdauer und das lange ISI für diese hochkompensierte Gruppe von dyslektischen Probanden eine zu einfache Bedingung gewesen sein, um Unterschiede zur Kontrollgruppe erzielen zu können.

Rüsseler et al. (2003) untersuchten bei 12 studierenden dyslektischen und 12 Kontrollprobanden im EEG Wiedererkennungseffekte mit nieder und hoch frequenten Wörtern, die mit einem ISI von 2500-3500ms für 300ms präsentiert wurden. Die Wiedererkennungsleistung der dyslektischen Probanden war bei beiden Wortarten gegenüber der Kontrollgruppe reduziert und es gab keine Wortarteneffekte. Einen alt/neu-Effekt für die P600 (stärker für die nieder frequenten Worte) gab es nur für die Kontrollprobanden. Damit erlaubt auch diese Studie keinen Rückschluss auf Unterschiede in der Verarbeitung von hoch und niederfrequenten Wörtern bei Probanden mit Dyslexie. Während in dieser Studie immerhin 12 Probanden mit Dyslexie untersucht wurden und die Wörter nur für 300ms präsentiert wurden, könnte das lange ISI für diese nichtrepräsentative studentische Stichprobe immer noch eine zu einfache Lesebedingung dargestellt haben.

Um mögliche Unterschiede in der Wortverarbeitung mit dem MEG zu untersuchen und die konfundierenden Variablen der bisherigen Studien auszuschließen, sollten in unserer Studie mit einer großen, repräsentativen Stichprobe die hoch und

niederfrequenten Wörter und die Pseudowörter sehr kurz und direkt aufeinander folgend (ISI = 0ms) präsentiert werden („Fast Words“).

Junghöfer et al. (2001) und Schupp et al. (2004) konnten in EEG-Studien zeigen, dass mit dieser Präsentationsart (Stimulusdauer: 333 und 200ms bzw. 120ms) unterschiedliche kortikale Reaktionen in Abhängigkeit vom emotionalen Inhalt der Bilder evoziert werden können. Rudell (1999) präsentierte unbeeinträchtigten Probanden hoch und nieder frequente Wörter für 200ms, direkt gefolgt von einer nicht als Wort lesbaren Buchstabenreihe, nach der direkt das nächste Wort präsentiert wurde (RSVP: „rapid serial visual presentation“). Mit diesem Paradigma wird ein „Recognition Potential“ (RP) evoziert, das bei den hoch frequenten Wörter eine kürzere Latenz hatte (266 vs 292ms).

Da also sowohl bei kurzer Präsentation von emotionalen Bildern, die direkt nach einander präsentiert werden, als auch bei kurzer Präsentation von Wörtern, die nur durch Buchstabenreihen von einander getrennt sind, differentielle Hirnantworten erreicht werden können, sollte auch bei kurzer Präsentation von direkt aufeinander folgenden hoch und nieder frequenten Wörtern und Pseudowörtern differentielle Hirnantworten erreicht werden können. Da außerdem in den ERP-Studien zur Wortverarbeitung die stärksten Unterschiede zwischen den Wortklassen bei frühen Komponenten gefunden wurden (Serenio et al., 1998; Assadollahi, Pulvermüller, 2001, 2003; Hauk, Pulvermüller, 2004) und frühe Wortverarbeitungsunterschiede eher bei höheren Präsentationsraten gefunden werden (Rubin, Turano, 1992), scheint das „Fast Words“-Paradigma optimal geeignet, um Unterschiede in automatischen Verarbeitungsprozessen in Abhängigkeit von Worthäufigkeiten zu untersuchen. Es wird erwartet, dass sich nur bei den nieder frequenten und den Pseudowörtern Unterschiede in der kortikalen Verarbeitung zwischen den Kindern mit und ohne LRS zeigen, da für diese Wortarten phonologische Verarbeitungsprozesse nötig sind, von denen erwartet wird, dass sie bei Probanden mit Dyslexie defizitär sind.

2.6 Genetische Beiträge zur Dyslexie

Zur Überprüfung des genetischen Einflusses auf Dyslexie werden vier verschiedene Analyseverfahren verwendet (Rutter et al., 1999): Das erhöhte Risiko für Verwandte der Betroffenen kann mit Familienstudien geschätzt werden. Zwillingsstudien werden verwendet, um die Erbllichkeit der Störung zu schätzen und Segregationsanalysen in

Stammbaumuntersuchungen geben Aufschluss über die Art der Vererbung. Molekular-genetische Analysen schließlich versuchen die für LRS relevanten Genorte zu identifizieren und die genetischen Veränderungen an diesen Genorten zu erkennen (Schulte-Körne, 2002).

Alle Studien aus einem Überblick über neuere Familienstudien zur Legasthenie von Schulte-Körne (2001d) zeigen eine signifikant höhere Rate an betroffenen Geschwistern und Eltern, als das auf Grund der allgemeinen Prävalenzrate erwartet würde. Dies entspricht den Ergebnissen früherer Studien, in denen die LRS der Eltern nicht psychometrisch, sondern nur anamnestisch erfasst wurde. Wie erwartet unterscheidet sich die familiäre Häufung von Rechtschreibproblemen und Lesestörungen nicht. Die genetische Ladung scheint in den betroffenen Familien für beide Bereiche gleich hoch zu sein. Die Tatsache, dass Kinder einer erhöhten Gefahr unterliegen, selbst eine LRS zu entwickeln, wenn mehr als ein Elternteil eine LRS-Problematik aufweist, muss nicht zwangsläufig auf einen genetischen Ursprung hinweisen, sondern könnte auch auf nichtförderliche Umweltbedingungen oder Interaktionen zwischen Umwelt und Genen zurückgeführt werden. Diese mögliche Interaktion kann mit Zwillingsstudien untersucht werden.

Frühe Zwillingsstudien (z.B. Bakwin, 1973, Zerbin-Rüdin, 1967) fanden bei monozygoten Zwillingen Konkordanzraten von 100% und bei dizygoten Zwillingen von 50%, was für eine starke Vererbung der LRS sprach. Allerdings reduzieren methodische Mängel die Aussagekraft dieser Studien. In einer groß angelegten neueren Zwillingsstudie mit Zwillingen aus der Gesamtpopulation fanden Stevenson et al. (1987) eine Vererblichkeit von Rechtschreibproblemen von 53%, die bis auf 75% anstieg, wenn die Intelligenz kontrolliert wurde. Diese hohe Vererblichkeit konnte von Olson et al. (1989) repliziert werden. Auch für die Lesefähigkeit konnte in den meisten Zwillingsstudien eine Vererbbarkeit von ungefähr 50% berichtet werden. Insgesamt scheinen also 50-60% der Varianz der Lese- und Rechtschreibstörungen durch genetische Faktoren erklärt werden zu können (Schulte-Körne, 2001).

Segregationsanalysen zur Untersuchung der Vererbung von LRS in Familien gibt es nur wenige. In der ersten Studie dieser Art fand Hallgren (1950) bei 90 von 120 Familien eine autosomal-dominante Transmission, wobei bei dieser Studie die mangelhafte Diagnostik nur begrenzte Aussagen zulässt. Lewitter et al. (1980) fanden dagegen keine Hinweise auf autosomal-dominante, autosomal-rezessive oder kodominante Transmission, was eher für ein polygentisches Transmissionsmodell

spricht. Die neueste Segregationsstudie mit 204 Familien (Pennington et al., 1991) ist eine Metaanalyse über drei Studien. Während die Daten von zwei Studien am ehesten für eine geschlechtsbeeinflusste autosomale Transmission sprechen und sowohl polygenetische als auch rezessive Transmissionen ausgeschlossen werden konnten, passen die Daten der dritten Studie am ehesten zu einer polygenetischen Transmission.

Leider leiden alle drei vorgestellten Segregationsstudien an methodischen Mängeln, so dass eindeutige Rückschlüsse nicht möglich sind. Es scheint jedoch etwas mehr Hinweise auf eine dominante Transmission zu geben, was die erhöhte Auftrittswahrscheinlichkeit der LRS in Familien gut erklären könnte.

Molekular-genetische Analysen postulieren mit LRS assoziierte Genorte auf den Chromosomen 1,2,3,6,15 und 18 (Schulte-Körne, 2002). Stärkste Evidenzen gibt es für die Chromosomen 6 und 15. So wurde bereits 1983 von Smith et al. unter Annahme eines autosomal-dominanten Erbgangs eine Kopplung auf Chromosom 15 beschrieben. Nach Erweiterung ihrer Stichprobe fanden Smith et al. (1991) mehrere Genorte, die eine Bedeutung für die LRS haben und deuteten dies als Hinweise für genetische Heterogenität: Neben der Kopplung auf Chromosom 15 (15q15) fand sich auch eine Kopplung auf Chromosom 6 (6p21.3). Der Genloкус auf Chromosom 6p21.3 konnte unter anderem von Cardon et al. (1994) und Grigorenko et al. (1997) repliziert werden, wobei Grigorenko auf Chromosom 6 eine Kopplung mit phonologischer Bewusstheit und auf Chromosom 15 eine Kopplung mit dem Wort-Lesen fand. In einer Studie mit deutschen Familien konnten Schulte-Körne et al. (1998) für den Phänotyp der Rechtschreibleistung ebenfalls eine Kopplung auf Chromosom 15 nachweisen.

Sollte in naher Zukunft der gesamte Genom entschlüsselt sein, dürfte das Hinweise für weitere Genloci bei LRS ergeben. Die Identifikation der Interaktion der verantwortlichen Gene könnte helfen, die neurobiologischen Zusammenhänge und ihre Beziehungen zu basalen Prozessen der phonologischen und visuellen Informationsverarbeitung zu verstehen. Dieses Wissen sollte dann für die Entwicklung neuer therapeutischer Ansätze bzw. für eine erhöhte Sensibilität und eine erleichterte Früherkennung verwendet werden können (Schulte-Körne, 2002). Die Identifikation der Genloci für LRS ist aber stark abhängig von dem Phänotyp, der für die Analyse herangezogen wurde. Verschiedene Phänotypen sind zwar mit dem Lesen und Schreiben korreliert, ein ätiologischer Zusammenhang konnte aber nicht

nachgewiesen werden. Außerdem sind diese Analysen abhängig von einer einheitlichen Diagnostik der Familien, was aber nur selten gewährleistet werden kann.

Unbestritten ist jedoch, dass die Entstehung der LRS einen erheblichen genetischen Anteil hat, der wahrscheinlich im Sinne einer Prädisposition zu einem erhöhten Risiko für LRS führt, wenn weitere Risikofaktoren auftreten.

3. Theoretische und empirische Grundlagen der verwendeten Trainingsverfahren

3.1 Marburger Rechtschreibtraining

Das Marburger Rechtschreibtraining (Schulte-Körne, Mathwig, 2001) besteht aus 12 Kapiteln, die aufeinander aufbauen. Dieses Regeltraining berücksichtigt zwar nicht alle Rechtschreibregeln bzw. -probleme, behandelt aber die typischen Rechtschreibprobleme von lese-rechtschreibschwachen Kindern der 2.-4. Grundschulklasse. Ziel des Trainings ist die Vermittlung von Lösungsstrategien. Um diese Strategien anwenden zu können, wurden spezielle Rechtschreibalgorithmen entwickelt. Mit Hilfe von Merk- und Regelkarten soll die Anwendung und Übertragung der Strategien und Rechtschreibalgorithmen zunächst auf die Übungsmaterialien des Trainingsprogramms, später möglichst auf alle Schreibsituationen erreicht werden.

Zur theoretischen Einordnung des Trainings beziehen sich Schulte-Körne und Mathwig (2001) auf das Phasenmodell von Frith (1985). Demnach durchlaufen die Kinder beim Schriftspracherwerb drei aufeinander aufbauende Phasen: die logographische Phase, für die ein Abmalen von Wörtern kennzeichnend ist, die alphabetische Phase, in der die Zuordnung von Phonemen zu Graphemen erfolgt und zuletzt die orthographische Phase, in der zunehmend Morpheme und andere Regelmäßigkeiten in der Verschriftlichung erkannt werden. Entsprechend lässt sich das Marburger Rechtschreibtraining der orthographischen Phase zuordnen. Nach Scheerer-Neumann (1979) sind Regeltrainings erst dann sinnvoll, wenn die Kinder sich die Laut-Buchstaben-Beziehungen angeeignet haben und ein kognitives Entwicklungsniveau erreicht haben, das es ihnen erlaubt, Regeln zu lernen, zu verstehen und anzuwenden. Regeltrainings seien daher ab der zweiten bis dritten Klasse geeignet. Da die Kenntnis von Regeln nicht automatisch bedeutet, dass die Regeln auch richtig angewendet und auf den gesamten Schriftsprachprozess

übertragen werden können, wurde in dem Trainingsprogramm versucht, die Forderung von Scheerer-Neumann (1988) zu berücksichtigen und einen Schwerpunkt auf die *Vermittlung* von Lösungsstrategien zu legen.

Die Wirksamkeit des Programms konnte bislang in vier Evaluationsstudien gezeigt werden. Allerdings wurden alle Studien von der Gruppe um Schulte-Körne durchgeführt und es fehlt bislang eine Evaluation des Trainings durch andere (unabhängige) Forschergruppen.

In der ersten Studie von Schulte-Körne et al. (1997) führten die Eltern von Kindern mit Lese- und Rechtschreibproblemen in der 2., 3. und 4. Klasse das Training ein Jahr lang an zwei bis drei Terminen pro Woche für je ca. 20 Minuten durch. Zwei mal im Monat erhielten sie im Rahmen eines Elternabends eine Art Supervision. In den standardisierten Rechtschreibtests ergab sich keine signifikante Verbesserung. Nur in den geübten Bereichen erfolgte eine „bedeutsame“ Leistungssteigerung, aber erst nach zwei Jahren ergab sich auch für nicht geübte Rechtschreibproblembereiche eine signifikante Leistungssteigerung (Schulte-Körne et al., 1998), die allerdings ohne eine Kontrollgruppe nicht spezifisch dem Marburger Training zugeordnet werden konnte.

In einer nachfolgenden Studie (Schulte-Körne et al., 2001c) wurde untersucht, ob sich mit einer intensiveren Einzelförderung ein schnellerer Trainingseffekt bei Kindern aus der gleichen Altersgruppe erzielen lasse. Außerdem wurde eine Kontrollgruppe mit untersucht, die ein phonologisches Training erhielt, um spezifische Aussagen über die Wirksamkeit des Trainings machen zu können. Beide Gruppen (mit je 10 Kindern) erhielten über 3 Monate wöchentlich zwei mal 45 Minuten Training. Nach der Trainingsphase verbesserten sich die Kinder der Experimentalgruppe signifikant in einem standardisierten Rechtschreibtest und in einem standardisierten Lesetest, wogegen sich die Kinder der Kontrollgruppe nicht verbesserten.

In ihrer neusten Studie untersuchten Schulte-Körne et al. (2003) den Einfluss ihres Trainings im Rahmen einer zwei Jahre dauernden Studie im Schulunterricht, d.h. unterrichtet durch die Deutschlehrerin der Klasse. Sie verglichen den Leistungszuwachs einer Gruppe, die im zwei mal wöchentlich stattfindenden Förderunterricht das Marburger Rechtschreibtraining erhielt, mit einer Gruppe, die das normale Schulförderprogramm erhielt und mit dem Rest der Klasse, der keine zusätzliche Förderung benötigte. Die Lehrerinnen sollten die Selektion in die

Gruppen nach der eingeschätzten Rechtschreibleistung vornehmen. Tatsächlich spielten bei der Gruppeneinteilung aber noch weitere Faktoren eine Rolle, so dass auch in der Kontrollgruppe ohne Förderung sehr schwache Kinder waren. Zwar kam es im Rechtschreibtest der Marburger Gruppe zu einer signifikanten Verbesserung, allerdings verbesserten sich auch die beiden anderen Gruppen signifikant, so dass man keine spezifische Wirkung des Marburger Rechtschreibtrainings im Schulförderunterricht konstatieren kann.

Aus diesen Studien gibt es also nur zuverlässige Evidenz für eine Leistungsverbesserung durch das Marburger Rechtschreibtraining bei intensiver Einzelförderung.

In der vorliegenden Studie soll es als kognitives Regeltraining eingesetzt werden, das als Kontrollbedingung für das phonologische (Buschmanntraining) und temporale Training (Computertraining) gelten soll (vgl. Kap. 5.5.1)

3.2 Buschmanntraining

Heide Buschmann (1988, nach Hofmann, 1998) nimmt als Hauptursache der Lese-Rechtschreibschwäche eine mangelnde Koordination von Wahrnehmung, Denken und Motorik an, ohne jedoch dafür empirische Befunde anzugeben. Die mangelnde Koordination zeige sich in asynchronem oder arhythmischem Sprech-Schreiben. Das wiederum verhindere eine ausreichende Differenzierung der Laute. Dem versucht sie durch ein integratives Konzept entgegenzusteuern, in dem Sprechen, Schreiben, Hören und Sehen als Steuerungshilfen zusammenwirken sollen. Zentrales Element ist dabei das rhythmisch-melodische Sprechen von Wörtern und Sätzen, das synchron durch Körper- oder Handbewegungen begleitet wird („Silbieren“ oder „Syllabieren“). Grundlegende Segmentierungseinheit ist die Silbe. Wörter in Silben zu trennen gelänge den meisten Kindern intuitiv. Entscheidend für den Erfolg des rhythmisch-melodischen Silbierens sei jedoch ein tiefes, durch die Schreibhand begleitetes Bogenschwingen von den Augen zum Bauch und wieder nach oben, das in seiner Grundform während seitlicher Tanzschritte (je Silbe ein Schritt), später auch im stehenden Wippen aus den Knien heraus durchgeführt wird. Bei entsprechender Übung kann das Schwingen auch im Sitzen, z.B. mit dem Finger auf dem Tisch erfolgen, entscheidend sei aber, dass es trotzdem „aus der Tiefe“ komme.

Bevor dieses Vorgehen beim Lesen und Schreiben angewandt wird, soll es zunächst mit vielsilbigen Wörtern und Nichtwörtern trainiert werden, um im Silbieren eine

Sicherheit zu bekommen und es zu automatisieren. Dann soll das Silbieren und rhythmisch-melodische Sprechen auch das Lesen begleiten (indem z.B. die silbierenden Bögen während des Lesens unter die Silben der geschriebenen Wörter gezeichnet werden) und bis in den Schreibbewegungsablauf hinein weitergeführt werden. Diese Selbststeuerungshilfe sei ausreichend, wenn sie durch intensives Üben automatisiert werde. Mit zunehmender Automatisierung könnten die körperlichen Steuerungshilfen reduziert werden und z.B. das anfangs laute Mitsprechen bei allen Schreibübungen über das halblaute, dann flüsternde zum letztlich innerlichen Mitsprechen überführt werden (vgl. auch Buschmann 1986 und 1989, nach Tacke, 1994).

Buschmanns „Basistraining Rechtschreiben“ umfasst 3 Trainingsschwerpunkte: das Elementartraining, das Merkworttraining und das Regeltraining.

Die größte Bedeutung komme dem Elementartraining zu, worunter das rhythmisch-melodische Sprechschwingen bzw. schwingende Sprechschreiben fällt. Hierbei wird unterschieden zwischen dem Sprechschreiben im Wortinneren und am freischwingenden Wortende:

Das Sprechschreiben im Wortinneren soll zur Unterscheidung von Einfachkonsonanten, Konsonantenverbindungen, Doppelkonsonanten, Mehrfachkonsonanten, Mehrfachvokalen und schwierig zu artikulierenden Vokalen in Fremdwörtern dienen. Besonders bei Verstößen gegen die lautgetreue Verschriftlichung und für die Fehlerkategorie „Doppelkonsonanten“ scheint die Methode hoch effektiv, da durch das Silbieren im Rhythmus und dem synchronen Koartikulieren Buchstabenverwechslungen oder Auslassungen vermieden und Doppelungen hörbar gemacht werden könnten. Gegen den letzten Punkt sprechen allerdings sprachwissenschaftlichen Analysen, auf die sich z.B. Betz und Breuninger (1987) oder Balhorn (1989) in ihrer Kritik stützen und die den Schluss nahe legen, dass beim Silbieren die beiden Konsonanten nur dann gehört werden können, wenn die richtige Schreibung schon bekannt ist. Dem hält Buschmann entgegen, dass die Verdopplung beim Silbieren aufgrund kinästhetischer Rückmeldung ohne Rückgriff auf Rechtschreibwissen deutlich spürbar werde, so dass Wörter mit Doppelkonsonanten zu den lautgetreuen Wörtern gezählt werden müssten. Unterstützt wird sie in ihrer Argumentation z.B. durch Arbeiten von Ramers (1992; vgl. Tacke, 1994).

Das schwingende Sprechschreiben am Wort- oder Wortstammende erlaube es, die Auslaute oder Doppelungen am Wortende deutlich hörbar zu machen. Dazu muss das Wort verlängert geschwungen werden („schnell“ – „schneller“, „Pilz – Pilze“, „kommt“ – „kommen“).

Mit dem Elementartraining soll der größte Bereich der Rechtschreibprobleme abgedeckt werden, so dass nur noch ein paar Restregeln und Merkwörter zu lernen sind. Die wichtigsten Restregeln sind die Groß-Kleinschreibungsregel, die „ß“-Regel und die „e“-„ä“-Ableitungsregeln. Zu den Merkwörtern gehören unter anderem die „v“-Wörter und Worte mit stummem „h“, mit Doppelvokalen, mit langem „i“ ohne „ie“ oder mit gleichklingenden Lauten.

Ähnlich wie für das Marburger Rechtschreibtraining gibt es auch für die Auswirkung des Buschmanntrainings auf die Rechtschreibung nur wenige kontrollierte Studien, obschon es viele positive Erfahrungsberichte von Schulpsychologen und Lehrern gibt. Die erste Studie zur Wirksamkeit des Buschmanntrainings von Reuter-Liehr (1991) ist methodisch so unsauber geplant und durchgeführt worden (z.B. keine Vergleichbarkeit von Experimental und Kontrollgruppe), dass sie keine Rückschlüsse auf die Wirksamkeit des Trainings zulässt (vgl. Tacke et al., 1994).

Die meisten anderen Studien zur Effektivität des Buschmanntrainings wurden von Tacke et al. durchgeführt.

In ihrer ersten Studie (1992) verglichen sie acht Schüler der dritten Klasse mit Rechtschreibproblemen, die fünf Wochen nach der Buschmannmethode Förderunterricht erhielten mit acht rechtschreibschwachen Schülern, die zur selben Zeit den „normalen“ Förderunterricht erhielten (Kontrollgruppe). Nach dem Training verbesserte sich die Buschmanngruppe in der Fehlerkategorie „Konsonantenverdopplung“ signifikant. Im Bereich der lautgetreuen Schreibung konnte entgegen der Erwartung keine signifikante Verbesserung erzielt werden, wogegen die Verbesserung bei der Groß- und Kleinschreibung die Signifikanz nur knapp verfehlte. Dies wird als Hinweis für die Wirkung unspezifischer Faktoren betrachtet.

In ihrer zweiten Studie (Tacke et al., 1993) erhöhten sie die Anzahl der Probanden auf 37 Grundschüler der dritten Klasse, wobei jedem Schüler der Experimentalgruppe (Buschmanngruppe) ein Schüler mit gleicher Leistung im DRT (Diagnostischer Rechtschreibtest) zugeordnet wurde, der ein konventionelles

Fördertraining erhielt (Kontrollgruppe). Die Gruppen unterschieden sich vor dem Training in keinem der erhobenen Parameter. Das Training (einmal pro Woche für sechs Monate) führte in den meisten Parametern zu keiner signifikanten Leistungsverbesserung der Experimentalgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe („Gesamtfehlerzahl“, „fälschliche Konsonantenverdopplung nach langen Vokal“, „Verstöße gegen die lautgetreue Schreibung“ und „Zusammenhang zwischen richtiger Syllabierung und richtiger Schreibung von Wörtern mit *Einfach*konsonanten“). Eine signifikante Verbesserung erzielte die Experimentalgruppe lediglich in den zwei Kategorien die direkt und ausschließlich mit dem gelernten Silbieren zu tun haben: Erstens beim „Silbieren von Wörtern mit Einfach- und Doppelkonsonanten“, was vor allem dadurch zustande kam, dass die Schüler entgegen der Erwartungen Wörter mit Doppelkonsonanten vor dem Training nicht intuitiv richtig silbieren konnten und zweitens beim „Zusammenhang zwischen richtiger Syllabierung und richtiger Schreibung von Wörtern mit *Doppel*konsonanten“. Eine weitere Verbesserung, die allerdings nicht signifikant wurde, ergab sich bei „fehlender Konsonantenverdopplung“, also dem Bereich, der die geringste Transferleistung benötigt.

Um den Widerspruch zwischen den recht vielversprechenden Ergebnissen der ersten Studie und den die Buschmannmethode wenig stützenden Ergebnisse der zweiten Studie zu klären, wurde direkt im Anschluss eine dritte Studie (Tacke et al., 1993) mit 60 Probanden durchgeführt. Wieder wurde jedem Schüler der Experimentalgruppe ein Schüler mit gleicher Punktezahl im DRT zugeteilt und wieder wurde sechs Monate lang trainiert. Ein Teil der Experimentalgruppe (n=9) trainierte zwei mal pro Woche. Allerdings erhielt die Kontrollgruppe diesmal kein Fördertraining.

In dieser Studie zeigte sich für die Experimentalgruppe in den meisten Parametern eine signifikante Verbesserung: in den Kategorien „Gesamtfehlerzahl“ und „fehlende Konsonantenverdopplung“ im DRT, außerdem in den Kategorien „richtig silbieren und schreiben“, „Groß- und Kleinschreibung“ und in einem zusätzlich durchgeführten Diktat in den Kategorien „Gesamtfehlerzahl“, „Konsonantenverdopplung“ und „Verstöße gegen die lautgetreue Schreibung“. Keine Verbesserung ergab sich wieder bei der „lautgetreuen Schreibung“ im DRT. Die Schüler mit zwei Stunden Training pro Woche verbesserten sich in der Gesamtfehlerzahl im DRT signifikant stärker als die

Schüler mit nur einer Stunde Training, im Diktat wurde die Signifikanzgrenze knapp verfehlt. Insgesamt ergaben sich beim Diktat stärkere Effekte als beim DRT.

Als wahrscheinliche Ursache für den größeren Trainingseffekt in der zweiten Studie sehen die Autoren das verschiedene Niveau der Leistung beim Silbieren von Wörtern mit Doppelkonsonanten. Während sich die Schüler der Experimentalgruppe aus der ersten Studie von 27,4% auf 60,3% richtig silbierter Wörter steigerten, konnten die Schüler der zweiten Studie schon vor dem Training 72,6% der Wörter mit Doppelkonsonanten richtig silbieren (wobei die Schüler der Experimentalgruppe das Silbieren schon vor Beginn des Trainings geübt hatten). Wenn die Fähigkeit des Silbierens aber Prädiktor für die Rechtschreibleistung sein soll, dann müssten die Schüler der zweiten Studie aber auch in den verschiedenen Rechtschreibtests vor dem Training viel besser sein als die Schüler der ersten Gruppe, was sie aber nicht sind. Wenn andererseits der Zuwachs der Silbierungsfähigkeit den Zuwachs in der Rechtschreibleistung vorhersagen sollte, dann dürften sich die Schüler der zweiten Studie viel weniger verbessert haben als die Schüler der ersten Studie, was aber auch nicht der Fall ist.

Ein weiterer Kritikpunkt ist in der letzten Studie das fehlende Training für die Kontrollgruppe, was eine spezifische Rückführung einer möglichen Leistungsverbesserung auf das Buschmanntraining schwierig macht. Mögliche Effekte könnten auch unspezifisch durch die zusätzlich aufgewendete Zeit oder ein erhöhtes Maß an Aufmerksamkeit für die Kinder der Experimentalgruppe erklärt werden. Auch die Verbesserung bei der Groß- und Kleinschreibung (ohne dass dieser Bereich trainiert worden war) spricht für eine unspezifische Wirkung des Trainings. Dies versuchen die Autoren dadurch zu erklären, dass das Silbieren eine gewisse Entspannung und Fokussierung der Aufmerksamkeit zur Folge habe. Aber auch das unterstreicht nur noch mehr die Bedeutung unspezifischer Effekte. Bei der Konsonantenverdopplung versuchen die Autoren eine spezifische Wirkung der Silbierung dadurch zu belegen, dass für die Experimentalgruppe die Zahl der Wörter, die richtig silbiert und richtig geschrieben werden, stärker zunehme, als für die Kontrollgruppe. Hierbei handelt es sich jedoch nur um einen korrelativen Zusammenhang, der nicht statistisch abgesichert wurde.

Eine weitere Studie zur Effektivität des Buschmanntrainings wurde von Heim et al. (2000a) durchgeführt. Sie trainierte sieben Kinder mit sprachlichen Beeinträchtigungen und „Dyslexiesymptomen“ in einer Sonderschule zwei mal pro

Woche vier Wochen lang. Als Kontrollgruppe dienten sieben gleich alte Schüler, die keine Schwierigkeiten im Lesen und Schreiben hatten und kein Training erhielten. Für die Trainingsgruppe wurden vor und nach dem Training, für die Kontrollgruppe nur zu einem Zeitpunkt ein nonverbaler Intelligenztest, verschiedene Lesetests, der DRT, ein lautgetreues Diktat und Tests zur phonologischen Verarbeitung durchgeführt. Die Kinder der Trainingsgruppe verbesserten sich in allen Tests signifikant, die Kinder der Kontrollgruppe waren aber in allen Tests signifikant besser als die Kinder der Experimentalgruppe vor und nach dem Training. Zusätzlich wurde für die Experimentalgruppe vor und nach dem Training eine MEG-Messung (Magnetoenzephalographie) durchgeführt, für die Kinder der Kontrollgruppe wieder nur zu einem Zeitpunkt. Die Kinder der Kontrollgruppe zeigten wie erwartet auf Stoppkonsonanten ein dominantes MMF (Mismatch Field) im linken auditorischen Kortex. Die Kinder der Experimentalgruppe dagegen zeigten vor dem Training in der rechten Hemisphäre ein stärkeres MMF als in der linken Hemisphäre, während das MMF in der linken Hemisphäre so stark war wie bei den Kontrollprobanden. Nach dem Training zeigten sie ein der Kontrollgruppe vergleichbares MMF. Die Veränderung wurde entsprechend als mögliches Korrelat der Verbesserung der kognitiven Prozesse interpretiert, die dem Lesen und Schreiben zu Grunde liegen. Auch bei dieser Studie kann wieder kritisiert werden, dass es keine legasthenische Kontrollgruppe gab, die ein anderes Training erhalten hat, so dass die eindruckliche Verbesserung der Experimentalgruppe auch durch unspezifische Faktoren zustande gekommen sein könnte. Die Ergebnisse der MEG-Messung zeigen, dass sich das Training nicht nur auf der Verhaltensebene auswirkt, sondern dass die zunächst abweichende Verarbeitung von Silben innerhalb kurzer Zeit dem Verarbeitungsmuster der Kontrollgruppe angeglichen werden kann. Allerdings kann auch dieser Effekt auf Grund des Studiendesigns nicht eindeutig der spezifischen Wirkung des Buschmanntrainings zugeordnet werden.

In der vorliegenden Studie soll das Buschmanntraining mit dem Schwerpunkt auf der Segmentierungseinheit „Silbe“ als phonologisches Training dem temporalen Computertraining und dem kognitiven Regeltraining gegenübergestellt werden, um die Ergebnisse von Heim (2000a) zu replizieren und möglicherweise differentielle Aussagen über die Bedeutung dysfunktionaler phonologischer Prozesse zur Genese der Legasthenie treffen zu können (vgl. Kap. 5.2.2).

3.3 Wahrnehmungstraining zur temporalen Verarbeitung am PC

Das Computertraining wurde von Heim, Eulitz und Elbert (unveröffentlicht) als Laborversion in Anlehnung an das Trainingsprogramm von Tallal et al. (1996) und Merzenich et al. (1996) entwickelt. Dieses Training basiert auf der Annahme Tallals (1980, 1984), dass ein temporales Verarbeitungsdefizit Ursache von phonologischen Verarbeitungsschwächen sein könnte, welche dann zu Problemen beim Lesen und Schreiben führen können (s. Kap. 2.2). Tallal et al. (1996) gehen davon aus, dass durch das temporale Verarbeitungsdefizit kurze Elemente im Sprachfluss nicht zuverlässig identifiziert werden können, wie zum Beispiel phonetische Unterschiede, die im Bereich von wenigen Millisekunden stattfinden. Wichtige phonetische Merkmale sind z.B. die Formantentransitionen zur Unterscheidung von Stopp-Konsonant-Silben (z.B. /ba/ - /da/).

In einer ersten Trainingsstudie von Tallal und Merzenich (1996) mit sprachlernbeeinträchtigten Kindern (LLI: „language learning impaired“) wurde versucht, über ein adaptives Computertraining mit zunächst künstlich verlängerten Formantentransitionen eine zuverlässige Wahrnehmung der Silben zu erreichen. Das Trainingsprogramm passt sich automatisch dem Leistungsniveau des Probanden an und verringert mit zunehmend besserer Leistung die Rate der kritischen Formantentransition oder die Stimulusdauer, bis die Stimuli auch ohne künstliche Veränderungen zuverlässig wahrgenommen werden können. Diese Trainingsstudie diente als Vorlage für die Adaption von Heim et al. für den deutschen Sprachraum.

Für die Studie von Merzenich, Tallal et al. (1996) wurden zwei audiovisuelle Spiele entwickelt, die in ein Zirkusthema eingebettet waren, um für die Zielgruppe der fünf bis zehn Jahre alten Kinder einen hohen Aufforderungscharakter zu haben. Beim ersten Spiel wurden jeweils zwei aufeinanderfolgende Stimuli präsentiert. Die Stimuli waren 16 verschiedene frequenzmodulierte Tonpaare aus vier Frequenzbereichen (0,5, 1, 2 und 4 kHz). Die einzelnen Töne veränderten sich während ihrer Darbietung von 60ms um eine Oktave in der Tonleiter nach oben oder nach unten. Per Druck auf einen Touchscreen-Button sollte bestimmt werden, ob sich beide Stimuli nach oben bewegten, der erste nach oben und der zweite nach unten usw.. Die Stimuli entsprachen in ihrer Frequenz und Schnelligkeit der Formantentransition englischer Konsonanten. Nach drei aufeinanderfolgenden richtigen Antworten verringerte sich entweder das Interstimulusintervall (ISI) oder die Stimulusdauer, bei einem Fehler wurde eines von beiden verlängert. Das zweite Spiel sollte direkt die Wahrnehmung

von Phonemen trainieren. Aufgabe war es, die Position einer zuerst präsentierten Konsonant-Vokal-Silbe (CV) aus zwei schnell aufeinander präsentierten CV-Silben zu bestimmen. Bei diesem Spiel wurde in einer festen Abfolge (nicht adaptiv) zuerst die Länge der Formantentransition, dann die Lautstärke der Konsonanten und dann das ISI reduziert.

Die sieben teilnehmenden Kinder hatten ein durchschnittliches Intelligenzniveau (IQ 106), aber sowohl rezeptive als auch expressive Sprachprobleme, ein temporales Verarbeitungsdefizit (erfasst durch den Repetition Test von Tallal, 1973) und Schwierigkeiten beim Lesen. Sie trainierten vier Wochen lang in 19-28 je 20-minütigen Sitzungen. Sechs der sieben Kinder konnten sich beim ersten nonverbalen und adaptiven Spiel deutlich verbessern, zwei erreichten ein normales Leistungsniveau. Im Repetition Test zur temporalen Verarbeitung verbesserten sich alle Kinder signifikant. Am Ende des zweiten Spiels konnten alle Kinder die Phoneme mit kurzer Formantentransition zuverlässig unterscheiden. Bei einem Schwellentest zur phonemischen Wahrnehmung (Goldman-Fistoe-Woodcock Diagnostic Auditory Discrimination Test) konnten sich sechs von sieben Kindern signifikant verbessern. In einer nachfolgenden Studie (Tallal et al. 1996) mit mehr LLI-Kindern (n=11), einer Kontrollgruppe und einem adaptiven Verlauf des Phonemwahrnehmungstrainings konnte der Effekt der ersten Studie repliziert werden. Habib et al. (1999) führten mit zwölf französisch sprechenden, dyslektischen Kindern ein ähnliches Training durch, das jedoch nicht adaptiv war. Bei diesem Training wurde die Konsonant-Vokal-Transition zunächst um einen konstanten Faktor verlangsamt und allmählich wieder verkürzt, bis sie nach fünf Wochen die normale Geschwindigkeit erreichte. In einem vor und nach dem Training durchgeführten, selbst entwickelten Test zur phonologischen Verarbeitung konnte eine signifikante Verbesserung gefunden werden.

Es konnte also gezeigt werden, dass ein temporales Verarbeitungsdefizit durch Training reduziert werden kann, welche Auswirkung das auf den Lese- und Schreiblernprozess hat, bleibt jedoch offen.

Mittlerweile wurde das Trainingsprogramm von Tallal um fünf weitere, adaptive Spiele ergänzt, die mit sprachlichem und nichtsprachlichem Material die temporale und phonologische Verarbeitung trainieren. Es ist auf dem amerikanischen Markt frei erhältlich (Fast ForWord Language) und wurde bis 1998 an über 500 Kindern erfolgreich evaluiert (Tallal et al., 1998).

Über den Nachweis der Wirksamkeit für phonologische Verarbeitungsprozesse hinaus konnten Temple et al. (2003) bei 20 dyslektischen Kindern, die an diesem gesamten Programm an 28 Trainingstagen teilgenommen hatten, zeigen, dass einerseits die verbale Sprachleistung und die Leseleistung signifikant verbessert und dass andererseits auch funktionale hirnpysiologische Veränderungen erzielt werden können: Diese lassen sich unterscheiden in erhöhte Aktivität in Regionen, in denen die Kinder vor dem Training im Vergleich zur Kontrollgruppe eine Unteraktivierung zeigten („Reorganisation“) und in „kompensatorische“ Aktivierung in Regionen, die bei phonologischen Aufgaben normalerweise nicht aktiv sind. Reorganisation fand im linken temporo-parietalen Kortex und in der hinteren Spitze des linken inferior-frontalen Gyrus statt; in diesen Regionen entsprach die Aktivierung nach dem Training der Aktivität von Kindern ohne Dyslexie. In zahlreichen fMRI-Studien konnte bislang gezeigt werden, dass Strukturen im linken temporo-parietalen Kortex und im linken inferior-frontalen Gyrus bei der phonologischen Verarbeitung von Personen ohne Probleme im Lesen und Schreiben aktiv sind und dass umgekehrt Kinder mit Dyslexie in diesen Bereichen eine sehr geringe Aktivierung bei phonologischen Aufgaben zeigen (Temple, 2002, Temple et al. 2001, Poldrack et al. 1999, Demb et al., 1999, Fiez et al., 1998, Pugh et al., 1996, Cabeza & Nyberg, 2000). Kompensatorische Aktivierung zeigte sich nach dem Training v.a. in rechtshemisphärischen Arealen, z.B. in rechtsfrontalen inferioren und superioren Gyri und dem mittleren Temporalgyrus. Kompensatorische Aktivität in diesen Regionen wurde auch bei Patienten gefunden, bei denen rechtshemisphärische Sprachareale beschädigt waren (Vikingstad et al., 2000, Cao et al, 1999, Thulburn et al., 1999). Habib et al. (1999, 2002) legten bei ihren Untersuchungen den Schwerpunkt auf die Verbindung von temporaler Wahrnehmung und phonologischen Prozessen. Um Störvariablen zu reduzieren, entwickelten sie ihr Computertraining in französischer Sprache nur als auditives und nicht als audio-visuelles Spiel. An ihrer ersten Studie (vgl. Habib et al., 1999) nahmen 12 dyslektische Kinder teil, die alle starke phonologische Verarbeitungsschwächen zeigten. Alle Kinder erhielten für fünf Wochen fünf mal wöchentlich für eine Stunde ein auditives Training, bei dem es um die Detektion einer abweichenden Silbe ging. Bei sechs Kindern wurden die Konsonant-Vokal-Transitionen verstärkt und um den Faktor zwei verlangsamt. Die Verstärkung und Verlangsamung wurde kontinuierlich reduziert (unabhängig von der Leistung des einzelnen Kindes), bis das Sprachmaterial am Ende des Trainings der

normalen Sprache entsprach. Alle Kinder verbesserten sich im Lesen, der verbalen Sprache, bei der Aufmerksamkeit und in untrainierten Bereichen der phonologischen Verarbeitung (z.B. Silben zählen, phonemische Segmentierung usw.), was die Autoren als Hinweis für die Wirkung eines phonologischen Trainings betrachten. Da es jedoch keine Trainingsgruppe gab, die ein nicht phonologisches Training erhielt, könnte sich bei den Verbesserungen auch um unspezifische Effekte handeln. Im trainierten Bereich (Erkennen einer abweichenden Silbe) verbesserten sich die Kinder, die das veränderte Sprachmaterial während des Trainings erhielten, signifikant mehr, als die Kinder, die das natürliche Sprachmaterial erhielten, was die Autoren als Beleg für eine temporale Verarbeitungsschwäche bei diesen Kindern betrachteten. Wenn jedoch tatsächlich eine temporale Verarbeitungsschwäche den phonologischen Problemen zu Grunde liegt, sollte man erwarten, dass sich die stärkere Verbesserung der Gruppe mit der modifizierten Sprache nicht nur auf den trainierten Bereich beschränken, sondern dass ein Transfer auf alle Bereiche der phonologischen Verarbeitung stattfindet.

In einer nächsten Studie (Habib et al., 2002) untersuchten sie 29 Kinder, die für sechs Wochen zu Hause täglich 15 Minuten trainierten und ein bis zwei mal pro Woche das Training bei einem Sprachtherapeuten durchführten. Diesmal gab es keine Trainingsgruppe mit unmodifiziertem Sprachmaterial, was einen Vergleich von phonologischem und temporalem Training unmöglich macht. Wünschenswert wäre jedoch eine dritte Trainingsgruppe mit einem nichtphonologischen Training gewesen, um unspezifische Effekte ausschließen zu können. Die Ergebnisse entsprachen denen der ersten Untersuchung, wodurch die Autoren die Effektivität eines temporalen Trainings auch unter klinischen Bedingungen gewährleistet sehen. Allerdings zeigten etwa 25% der Kinder keine Verbesserung in den Tests.

Um zu untersuchen, wodurch sich diese Kinder von denen unterscheiden, die sich durch das Training verbessern, wurden zwei temporale Verarbeitungsaufgaben entwickelt, die vor und nach dem Training der Experimentalgruppe (n=23) durchgeführt wurden, um ihren prädiktiven Wert und eine mögliche Verbesserung feststellen zu können. Die erste Aufgabe war eine Diskriminationsaufgabe: die Kinder mussten per Knopfdruck unterscheiden, ob die Dauer der Konsonanten in zwei Vokal-Konsonant-Vokal-Ketten identisch sind. Die Konsonantendauer in einer der Ketten blieb konstant, in der anderen Kette war sie identisch oder in drei Stufen verlängert. Die zweite Aufgabe war eine Aufgabe zur Beurteilung der Reihenfolge

von Vokal-Konsonant-Konsonant-Vokal-Ketten (TOJ, z.B. /apsa/ vs. /aspa/), bei denen die Konsonanten in manchen Durchgängen verlängert waren. Außerdem gab es diesmal zwei Kontrollgruppen: eine die das gleiche Lebensalter (N=10) und eine, die das gleiche Lesealter wie die Experimentalgruppe hatte (N=10). Die Parameter und der Ablauf des Trainings entsprachen denen der zweiten Studie. In der Diskriminationsaufgabe ergab sich durch das Training keine signifikante Verbesserung. Die Leistung in der TOJ-Aufgabe war zu Beginn des Trainings bei der Experimentalgruppe signifikant schlechter als bei den Kontrollgruppen. Die dyslektischen Probanden konnten sich aber bei den verlangsamten Konsonanten signifikant auf das Niveau der Kontrollprobanden verbessern. Die Verbesserung war auch bei den nicht veränderten Stimuli signifikant, auch wenn hier der Unterschied zu den Kontrollen bestehen blieb. Außerdem war die Leistung in der verlangsamten Version der TOJ-Aufgabe vor dem Training ein Prädiktor für eine allgemeine Verbesserung bei den phonologischen Aufgaben. Aus diesen Ergebnissen folgerten die Autoren, dass je mehr sich ein Kind bei der TOJ-Aufgabe verbessern kann, desto stärker wird es von einem temporal-phonologischen Trainingsprogramm profitieren können.

Mittlerweile gibt es auch für den deutschen Sprachraum einige wenige Studien, die die Wirksamkeit eines Trainings der temporalen Verarbeitung bei dyslektischen Kindern untersucht haben. Bischof et al. (2002) versuchten das Design der Studie von Tallal et al. (1996) für die deutsche Sprache zu adaptieren. In einer ersten Studie konnte gezeigt werden, dass zwischen der Phonemdiskrimination, nicht aber zwischen der Tondiskrimination, und der Rechtschreibleistung bei LRS-Kindern und Kontrollkindern ein signifikanter Zusammenhang besteht. In der zweiten Studie konnte gezeigt werden, dass die jeweiligen auditiven Schwellen sowohl bei einer LRS-Gruppe mit einem Tondiskriminationstraining als auch bei einer anderen Gruppe mit einem Phonemdiskriminationstraining signifikant trainierbar sind, wobei nur der Effekt für das Phonemtraining über ein halbes Jahr stabil blieb. Transfereffekte gab es keine, d.h. das Training der phonemischen Diskrimination wirkte sich nicht auf die Tondiskrimination aus, genauso wenig wie sich das Training der Tondiskrimination auf die Leistung der phonemischen Diskrimination auswirkte. Leider wurde bei der Trainingsstudie die Auswirkung auf die Lese- oder Rechtschreibleistung nicht überprüft.

An einer Studie mit einem adaptiven Training (Variation des ISI) der auditiven und visuellen Ordnungsschwelle und des Richtungshörens von Berwanger & von Suchodoletz (2004) nahmen 21 Kinder (10-13 Jahre) mit LRS teil. Die Ordnungsschwelle als Zeitbereich, in dem die richtige Reihenfolge zweier kurz hintereinander präsentierter Reize noch angegeben werden kann, diente der Operationalisierung der temporalen Diskriminationsfähigkeit. Damit entspricht die Struktur dieser Trainingsaufgaben der Struktur der Aufgaben zur Überprüfung der TOJ. Mit dem Richtungshören sollte eine noch feinere zeitliche Verarbeitung im Mikrosekundenbereich untersucht und trainiert werden. Während für das Richtungshören das achtwöchige Training ineffektiv war, konnte die auditive und visuelle Ordnungsschwelle deutlich verbessert werden. Sechs Monate nach dem Training war die Trainingsgruppe jedoch nur noch in der visuellen Ordnungsschwelle der Kontrollgruppe signifikant überlegen. Außerdem gab es in den Lese- und Rechtschreibtests keine Verbesserung.

Es konnte also in einigen Studien gezeigt werden, dass die temporale Verarbeitung trainierbar ist. Die Befunde zur Auswirkung dieser Verbesserung auf phonologische Prozesse und die Leistung im Lesen und Schreiben sind jedoch rar, widersprüchlich und lassen sich oft auf Grund methodischer Mängel nicht sinnvoll interpretieren.

In der vorliegenden Studie soll die Auswirkung des Computertrainings auf die temporale Verarbeitung (Messung des MMF), die phonologische Verarbeitung und die Lese-Rechtschreibleistung im Vergleich mit dem phonologischen (Buschmanntraining) und dem Regeltraining (Marburger Rechtschreibtraining) erfasst werden, um neben Hinweisen auf die Effektivität des Training möglicherweise differentielle Aussagen über die Bedeutung eines temporalen Verarbeitungsdefizits für die Ätiologie der LRS treffen zu können.

4. Zusammenfassung der Zielsetzung der vorliegenden Studie

Wegen der Vielzahl der untersuchten und zum Großteil explorativen Fragestellungen werden an dieser Stelle statt expliziter Hypothesen wesentliche Fragen formuliert, die mit der Studie geklärt werden sollen und in Kap. 7.7 beantwortet werden.

1. Welches von drei Trainingsverfahren (Marburger Training, Buschmanntraining, Computertraining), durchgeführt als intensive Kurzzeitintervention (2-4mal pro

Woche für 5 Wochen), bewirkt bei lese- rechtschreibschwachen Kindern der 3. und 4. Klasse im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Lese- und Rechtschreibprobleme die stärkste Verbesserung

- a) der Lese- und Rechtschreibleistung,
- b) der phonologischen Verarbeitung
- c) temporalen Verarbeitung (MMF)

2. Können mit Hilfe der Magnetoenzephalographie (MEG) vor dem Training Unterschiede zwischen dyslektischen und nicht dyslektischen Kindern

- a) in der Größe der MMF-Amplitude als Maß für die präattentive Diskriminationsleistung bzw. temporale Verarbeitung,
- b) in der Quellenlokalisationen auf auditive Stimulation mit der Silbe /ba/ als Maß für die räumliche Organisation auditorischer sprachverarbeitender Areale im Kortex
- c) und in der Verarbeitung von schnell präsentierten nieder frequenten Wörtern und Pseudowörtern (Fast Words) als kortikales Maß für defizitäre phonologische Verarbeitungsprozesse

gefunden werden?

- 3. Gibt es systematische Veränderungen der kortikalen Parameter in Abhängigkeit vom jeweiligen Training?
- 4. Gibt es Zusammenhänge zwischen der Testleistung in den Tests zur phonologischen Verarbeitung und kategorialen Wahrnehmung und den Lese- und Rechtschreibtests? Verändern sich diese Zusammenhänge nach dem Training?
- 5. Gibt es Zusammenhänge zwischen den Verbesserungen in den Verhaltensmaßen?
- 6. Gibt es Zusammenhänge zwischen der Verbesserung in einem Verhaltensmaß und der Veränderung in einem Hirnparameter in Abhängigkeit vom jeweiligen Training?
- 7. Gibt es Hinweise aus den Daten, die eine bestimmte Theorie der Dyslexie stützen oder Aufschluss über die Ätiologie der Dyslexie geben?
- 8. Messen die Tests, die ausgewählt wurden, um die Lese-, Rechtschreibleistung, die phonologische Verarbeitung und die Sprachwahrnehmung zu erfassen, tatsächlich Leistung aus diesen Bereichen?

Anmerkung:

Die Rohdaten dieser Arbeit sind identisch mit den Rohdaten der Arbeit von Paul (2005).

5. Methoden

5.1 Zeitlicher Ablauf der Studie

Um die angestrebte Zahl von ca. 20 Versuchspersonen für jede der vier Trainingsgruppen (Marburgertraining, Buschmanntraining, Computertaining, Kontrollgruppe) zu erreichen, wurden drei aufeinanderfolgende, zeitlich und inhaltlich identische Untersuchungsabschnitte durchgeführt: Der erste Untersuchungsabschnitt, aus dem die Daten von 27 Kindern ausgewertet werden konnten, startete Ende Oktober 2002 und endete mit der Postdiagnostik und der Postmessung im MEG im Januar 2003. Der zweite Untersuchungsabschnitt begann direkt im Anschluss Ende Januar 2003 und dauerte bis Mitte April 2003. Aus dieser Gruppe konnten die Daten von 39 Kindern ausgewertet werden. Um die Varianz bezüglich des erhaltenen Unterrichts zum Zeitpunkt der Studie möglichst gering zu halten, begann der dritte Untersuchungsabschnitt, aus dem 20 verwertbare Datensätze hervorgingen, erst wieder im Oktober 2003 und dauerte bis zum Januar 2004. Damit war das Ziel erreicht: In jeder der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe waren zwischen 20 und 23 Kinder (vgl. Tab. 5.1).

Gruppe	Zeitraum	Marburger	Buschmann	Computer	Kontrollen	LRS	Gesamt
I	10/02 - 01/03	7	10	4	6	21	27
II	01/03 - 04/03	6	13	12	8	31	39
III	10/03 - 01/04	7	0	5	8	12	20
gesamt	10/02 - 01/04	20	23	21	22	64	86

Tab. 5.1: Verteilung der Versuchspersonen über die Trainings- (Marburger, Buschmann, Computer, Kontrollen) und Untersuchungsgruppen (I, II, III)

Die Untersuchung begann in jedem Abschnitt mit einer Periode von zwei Wochen, in der mit den Kinder einzeln an jeweils drei Terminen für ca. 30 Minuten in der Schule die Tests durchgeführt wurden (vgl. Tab 2.2). Für die Tests wurden sie vom Unterricht befreit. Direkt im Anschluss fanden für weitere zwei Wochen die MEG-Messungen im MEG-Labor der Universität Konstanz im Zentrum für Psychiatrie Reichenau statt. Einschließlich der Tests zur kategorialen Wahrnehmung und der Vorbereitung für die Messung dauerten diese Termine pro Kind ca. zwei Stunden. Danach fanden für fünf Wochen (Ferienzeiten nicht mit einberechnet) die Trainings in den Schulen statt. In der zweiwöchigen Periode nach dem Training fanden vormittags für jeden teilnehmenden Schüler wieder die drei Diagnostiktermine statt,

während nachmittags die MEG-Post-Messungen durchgeführt wurden. Nachdem den Schülern das Procedere beim zweiten Mal bekannt war, war es möglich die Postdiagnostik und die Postmessungen innerhalb von zwei Wochen durchzuführen und durch die zeitliche Nähe zwischen Training und Diagnostik bzw. MEG-Messung auch mögliche kurzfristige Effekte zu erfassen.

1. W	2. W	3. W	4. W	5. W	6. W	7. W	8. W	9. W	10. W	11. W
Prädiagnostik an den Schulen: 3 Termine à 30 min je Kind		MEG-Messung Prä im Uni-Labor: je Kind ca. 2h		Durchführung der Trainings in den Schulen					Postdiagnostik und MEG-Messung post, wie prä	

Tab. 5.2: Ablauf der Wochen während eines Untersuchungsabschnittes

Bei der ersten und der dritten Untersuchungsgruppe war die Prädiagnostik durch eine Woche Herbstferien und das Training durch zwei Wochen Weihnachtsferien unterbrochen, bei der zweiten Gruppe war das Training durch 10 Tage Faschingsferien unterbrochen.

5.2 Versuchspersonen

Für die Rekrutierung der Versuchspersonen wurden im August / September 2002 24 Schulen im Landkreis Konstanz mit einer Informationsbroschüre für Eltern und Lehrer (siehe Anhang) über das Vorhaben der Studie informiert. Die Herstellung der Kontakte erfolgte im Anschluss telefonisch, wobei es gelang, 14 Schulen für eine Teilnahme zu gewinnen.

In der Informationsbroschüre wurden folgende Teilnahmekriterien formuliert:

- Schüler und Schülerinnen der 3. und 4. Klasse mit und ohne Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten
- Deutsch als Muttersprache
- keine feste Zahnsperre
- keine schwerwiegenden Hörbeeinträchtigungen oder unkorrigierte Sehprobleme
- bisher noch keine Teilnahme an einem systematischen Lese- und Rechtschreibtraining

In den meisten Schulen wählten die Klassenlehrer und Klassenlehrerinnen Schüler aus, von denen sie annahmen, dass sie für eine Teilnahme geeignet seien und gaben den Kindern die Informationsbroschüre für die Eltern mit nach Hause. Manche Klassenlehrer überließen die Anmeldung auch alleine den Eltern. Sobald die

beigefügte Einverständniserklärung unterschrieben per Post wieder bei uns eingetroffen war, galt das Kind als angemeldet.

Insgesamt meldeten sich 106 Kinder an, von denen 86 die Studie beendeten. Von den 20 Kindern, die die Studie nicht beendeten, wurden 6 Kinder vor der 2. MEG-Messung ausgeschlossen, weil sie im Computertraining zu Hause zu wenig trainiert hatten (insgesamt weniger als 20 Durchgänge), 2 Kinder brachen das Computertraining zu Hause vorzeitig ab, 2 Kinder mussten ausgeschlossen werden, weil sie nicht Deutsch als Muttersprache hatten, 1 Kind schied wegen Krankheit aus, 1 Kind konnte wegen dauerhaft störendem Verhalten nicht in der Marburger Trainingsgruppe behalten werden, 2 Kinder, die als Kinder mit Lese-Rechtschreibschwäche angemeldet waren, waren im DRT zu gut und 5 Kinder, die als Kontrollprobanden angemeldet waren, waren zu schlecht. Drei Kinder, die als Kontrollprobanden angemeldet wurden, wurden auf Grund der schlechten Testergebnisse auf die drei Trainingsgruppen verteilt. Zwei Kinder, die als Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung angemeldet waren, wurden auf Grund der überdurchschnittlichen Testleistungen in die Kontrollgruppe eingeordnet.

Als Kriterium für die Aufnahme in eine der Trainingsgruppen galt zunächst das Ergebnis im DRT. Kinder mit einem T-Wert kleiner 50 wurden einer der Trainingsgruppen zugewiesen und Kinder mit einem T-Wert größer 50 galten als Kontrollprobanden. Bei Kindern mit einem T-Wert, der nur wenig größer war als 50 wurden zusätzlich noch die T-Werte im ZLT und die anderen Testparameter herangezogen, um zu entscheiden, ob das Kind für die Kontrollgruppe geeignet ist, oder ob es ausgeschlossen werden muss.

Aus Praktikabilitätsgründen erhielten immer drei bis vier Schüler einer Schule das gleiche Training. Die Zuteilung der Trainingsverfahren zu den Schulen erfolgte per Los. Nahmen mehr als vier Schüler einer Schule an der Studie teil, wurden zwei Trainingsverfahren für die Schule ausgelost, und die Schüler per Los den Gruppen zugeteilt. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Untersuchungsabschnitten und den Trainingsverfahren herzustellen, mussten in den Trainingsgruppen „Marburger Rechtschreibtraining“ und „Buschmann Training“ jeweils drei oder vier Kinder einer Schule teilnehmen. Über die drei Untersuchungsabschnitte hinweg gab es vier Marburger Trainingsgruppen und fünf Buschmanntrainingsgruppen mit drei Schülern und jeweils zwei Trainingsgruppen mit vier Schülern. Für das Computertraining war die Gruppengröße nicht relevant, hier war im zweiten und dritten

Untersuchungsabschnitt entscheidend, dass die Schule über PCs verfügte, an denen das Training durchgeführt werden kann. Im ersten Untersuchungsabschnitt sollten die Schüler das sich selbst erklärende Computertraining selbständig zu Hause durchführen. Allerdings brachten nur vier von acht Kindern das Training zu Ende. Deshalb wurde das Computertraining im zweiten und dritten Untersuchungsabschnitt unter Anleitung und Aufsicht einer Mitarbeiterin der Arbeitsgruppe an der jeweiligen Schule durchgeführt.

Am Marburger Training nahmen 20 Kinder mit einem durchschnittlichen Alter von neun Jahren und vier Monaten teil. 75% waren Rechtshänder und 65% männlich. Am Buschmann-Training nahmen 23 Kinder teil, die ein durchschnittliches Alter von neun Jahren und sieben Monaten hatten. In dieser Gruppe waren 91% Rechtshänder und 74% männlich. Am Computer-Training nahmen 21 Kinder teil. Sie waren im Durchschnitt neun Jahre und neun Monate alt. 91% waren Rechtshänder und 71% männlich. Die Kontrollgruppe bestand aus 22 Kindern mit einem durchschnittlichen Alter von neun Jahren und acht Monaten. Hier waren 96% Rechtshänder und 64% männlich (vgl. Tab. 2.3). Die ANOVA für Alter ergab keinen signifikanten Haupteffekt für Training: Die Gruppen (Marburger, Buschmann, Computer, Kontrollen) unterschieden sich nicht ($F(3,82) = 0,66$; $p = 0,56$). Der χ^2 -Test für Geschlecht und Händigkeit zeigt, dass es auch hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gibt ($\chi^2(3,82) = 0,75$; $p = 0,86$ bzw. $\chi^2(3,82) = 4,4$; $p = 0,22$).

Gruppe	N	Alter	Händigkeit	Hä %-r	Geschlecht	Ge %-m
Marburger	20	9,3 (8,3-10,4)	5l ; 15r	75%	7w ; 13m	65%
Buschmann	23	9,6 (8,1-11,1)	2l ; 21r	91,30%	6w ; 17m	74%
Computer	21	9,7 (8,8-11,4)	2l ; 19r	90,50%	6w ; 15m	71,40%
Kontrollen	22	9,6 (8,4-10,3)	1l ; 21r	95,50%	8w ; 14m	63,60%
LRS	64	9,5 (8,1-11,4)	9l ; 55r	86%	19w ; 45m	70,30%
gesamt	86	9,6 (8,1-11,4)	10l ; 76r	88,4%	27w ; 59m	68,6%

Tab. 5.3: Demographische Daten der Probanden in den Trainingsgruppen

5.3 Testpsychologische Untersuchung

Alle für die Studie angemeldeten Kinder wurden einzeln im Zeitraum von 2 Wochen vor und nach dem Training in der Schule an jeweils drei Terminen mit einer Testbatterie untersucht. Die Termine dauerten jeweils ca. 30 Minuten, für die die Kinder vom Unterricht freigestellt wurden.

Am ersten Termin bearbeiteten die Kinder den SPM (Standard Progressive Matrices, Deutsche Version: Heller et al., 1998) als Powerversion ohne Zeitlimit. Am zweiten

Termin wurde der Wörterlesetest und der Pseudowörterlesetest von Heim (2002) und der Diagnostische Rechtschreibtest (DRT3 für die 3. Klasse, Müller, 1997; DRT4 für die 4. Klasse, Grund et al., 1994) durchgeführt. Am dritten Termin folgten der Mottiertest (Welte, 1981), der Züricher Lesetest (ZLT, Grisseman, 2000) und ein lauttreues Diktat (Findeisen, Melenk, 1991). Für die Tests, für die Parallelförmigkeiten existieren (DRT, Wörterlesetest, Pseudowörterlesetest, lauttreues Diktat), wurden diese so für die Schüler ausgelost, dass vor dem Training sowohl die Hälfte der Kontrollprobanden als auch die Hälfte der Kinder mit LRS die A-Form und die andere Hälfte die B-Form erhielt. Bei der Posttestung wurde dann die entsprechende andere Form verwendet.

Die Untersuchung der kategorialen Wahrnehmung und der Händigkeit fanden vor der MEG-Messung im MEG-Labor der Universität Konstanz statt.

5.3.1 SPM

Die Standardform des SPM-Tests (Standard Progressive Matrices, Deutsche Version: Heller et al., 1998) wurde in den 30er Jahren von Raven entwickelt, um den von Spearman postulierten allgemeinen Intelligenzfaktor zu messen. Er besteht aus fünf Aufgabensets zu je 12 Aufgaben, die unabhängig vom Alter von allen Teilnehmern bearbeitet werden müssen und für jedes Set von Aufgabe zu Aufgabe schwerer werden. Das jeweilige Prinzip einer oder mehrerer Zeichnungen, bei denen ein Ausschnitt fehlt, muss erkannt werden und die richtige Lösung für den fehlenden Abschnitt aus sechs oder acht Möglichkeiten ausgewählt werden. Der Test wurde sprachfrei konzipiert, um kulturunabhängig zu sein. Auch wenn diese Kulturunabhängigkeit nach wie vor sehr umstritten ist, ist ein sprachfreier Test für die Legastheniediagnostik von großem Nutzen, da so mögliche Konfundierungen mit einer ungenügenden Lese- oder Schreibleistung verhindert werden können.

Ein Problem des SPM ist jedoch die Erfassung von nur sehr begrenzten Intelligenzbereichen. Übereinstimmung besteht auf Grund faktorenanalytischer Untersuchungen lediglich darin, dass er allgemeine Intelligenz erfasst (Carroll, 1993). Carpenter et al. (1990) kamen jedoch auf Grund einer Analyse von Laut-Denk-Protokollen, Blickbewegungen und Fehlern bei der Testbearbeitung zu dem Schluss, dass der SPM die Probanden vor allem hinsichtlich ihrer Fähigkeit unterscheidet, abstrakte Relationen mittels induktiven Denkens zu erschließen und mit einer großen Anzahl von Problemlösezielen im Arbeitsgedächtnis umgehen zu können. Heller et

al. (1998) kommen zu dem Schluss, dass mit dem SPM neben der allgemeinen Intelligenz vor allem Unterscheidungsgenauigkeit, Analogieschlussdenken, Regelerkennen und Prinzipienanwendung bzw. induktives räumliches Denken gemessen werden. Auf die große Bedeutung von Matrizenaufgaben zur Erfassung des induktiven Denkens wird außerdem von Klauer (1993a, b) hingewiesen.

Die Validität des Tests wurde in einer vergleichenden Studie von Baving & Schmidt (2000) als hinreichend beurteilt. Heller et al. (1998) bescheinigen ihm eine hohe interne Konsistenz und eine Retestreliabilität von .90. Da die Rohwerte in der Regel nicht normalverteilt sind, sollte von einer Umwandlung der T-Werte in IQ-Werte abgesehen werden und das Ergebnis als Prozentrang oder T-Wert dargestellt werden (Heller et al, 1998).

In die statistische Analyse unserer Ergebnisse gingen die T-Werte ein.

5.3.2 DRT

Für unsere Studie kamen der DRT3 (Müller, 1997) für die Schüler der 3. Klasse und der DRT4 (Grund et al. 1994) für die Schüler der 4. Klasse zum Einsatz. Beide Tests haben zum Ziel, einerseits die Rechtschreibleistung eines Schülers oder einer Klasse objektiv zu messen (quantitative Auswertung) und andererseits spezifische Fehlerschwerpunkte zu bestimmen, um darauf ein gezieltes Rechtschreibfördertraining aufbauen zu können (qualitative Auswertung). Für unsere Zwecke war die quantitative Auswertung ausreichend. Die Tests können als Gruppen- oder Einzeltest durchgeführt werden. Es müssen von den Kindern 44 (DRT3) bzw. 42 (DRT4) Wörter mit zunehmender Schwierigkeit nach Diktat in Satzlücken geschrieben werden. Es existieren jeweils zwei Parallelförmigkeiten. Die Durchführungszeit beträgt für jede Form ca. 30 Minuten.

Der DRT3 ist für die letzten vier Monate des 3. und die ersten drei Monate des 4. Schuljahres geeicht, die Normen des DRT4 haben in der 4. Klasse für die Monate Oktober bis Januar Gültigkeit. Die Eichstichprobe des DRT3 enthält N=2234 (erhoben 1995), die Eichstichprobe des DRT4 enthält N=2148 (erhoben 1992). Die Split-half-Reliabilität beträgt für den DRT3 für beide Parallelförmigkeiten .95, für den DRT4 .92. Als Maß für die Inhaltsvalidität gilt für den DRT3 die hohe Korrelation mit dem Lehrerurteil von $r=.78$. Für den DRT4 fehlt ein solches Korrelationsmaß, es wird aber darauf hingewiesen, dass (wie auch beim DRT3) die Auswahl der Wörter auf ihrer Häufigkeit und der lernalter-spezifischen Fehlerträchtigkeit beruht. Außerdem beträgt

beim DRT4 die Rangkorrelation der Fehlerzahlen mit den Fehlerzahlen beim Schreiben von 500-1000 Wörtern zwischen $r=.68$ und $r=.94$. Die Rohwerte werden in Prozentränge und T-Werte umgerechnet.

In die statistische Analyse unserer Studie gingen die T-Werte ein.

5.3.3 ZLT

Der Zürcher Lesetest (ZLT; Grisseman, 2000) ist ein Lesefertigkeitstest, bei dem es um die quantitative Auswertung der Lesezeit und der Fehlerzahlen geht. Die Schüler der dritten Klasse erhalten zwei Karten mit Worten (Wortlese-Test 1 und 2; insgesamt 56 Worte) und drei Karten mit kurzen Texten (Leseabschnitte 1, 2, 3; insgesamt 208 Worte), die Schüler der vierten Klasse erhalten drei Wortkarten (Wortlesetest 1, 2, 3; insgesamt 72 Worte) und drei Textkarten (Leseabschnitte 3, 4, 5; insgesamt 262 Worte). Parallelförmige gibt es keine.

Es existieren Normen für die 2. bis zur 6. Klasse, die bei Untersuchungen in einigen Gemeinden des Kantons Zürich erhoben wurden. Für die dritte Klasse stehen drei Normentabellen zur Verfügung, die in den Jahren 1973/74 Ende Juni (für das 1. Quartal; $N=192$), Ende September (für das 2. Quartal; $N=157$) und Anfang März (für das 4. Quartal; $N=105$) erhoben wurden. Die Normen für die 4. Klasse sind noch älter: sie stammen aus dem Jahr 1967 und beziehen sich nur auf das erste Quartal ($N=121$). Die Retestreliabilität nach einer Woche für Schüler der 3. Klasse ($N=26$) ergab für die Lesezeit beim Wortlesetest .86 und bei den Leseabschnitten .75, für die Lesefehler dagegen beim Wortlesetest nur .62 und bei den Leseabschnitten nur .57. Die Retestreliabilität der Gesamtleistung betrug jedoch .94. Für die vierte Klasse existieren keine Retestreliabilitätswerte. Angaben zur Validität fehlen gänzlich.

Insgesamt differenziert der Test im oberen Leistungsbereich schlecht und ist eher zur Erfassung leseschwacher Schüler geeignet. Für die Schüler der dritten Klasse können die Rohwerte den Prozentrangstufen <1, 1-5, 6-10, 11-15, 16-25, 26-50, 51-75 und 75-100 zugeordnet werden. Für die Schüler der vierten Klasse gibt es nur die Prozentrangstufen <25, 25-75 und >75. Insgesamt ist die Güte dieses Tests wegen der alten Normen, der geringen Normstichproben und der groben Einteilung kritisch zu beurteilen.

Wegen der fragwürdigen Güte der Normen und zu Gunsten einer besseren Vergleichbarkeit zwischen den Schülern der dritten und vierten Klasse wurde bei der statistischen Auswertung in unserer Studie auf die Normierung verzichtet: Es gingen lediglich der Anteil der richtig gelesenen Worte in Prozent („ZLT_richtig“) und ein

Zeitwert (Gesamtzeit in Sekunden geteilt durch Anzahl aller gelesener Worte: 334 für die Schüler der vierten Klasse und 264 für die Schüler der dritten Klasse; „ZLT_Zeit“) in die statistische Analyse ein. Ein Zeitwert von 1 bedeutet, dass pro Sekunde ein Wort gelesen wird. Zeitwerte größer 1 bedeuten, dass langsamer als ein Wort pro Sekunde gelesen wurde, Zeitwerte kleiner 1 bedeuten entsprechend, dass schneller als mit einem Wort pro Sekunde gelesen wurde.

Zur besseren Kontrolle wurde die Leistung der Kinder zunächst mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet und anschließend ausgewertet.

5.3.4 Mottiertest

Beim Mottiertest (Welte, 1981) werden den Kindern insgesamt 30 Pseudowörter (jeweils sechs Zweisilber, Dreisilber, Viersilber, Fünfsilber und Sechssilber) vorgesprochen, die sie unmittelbar im Anschluss nachsprechen sollen, ohne dass es ihnen möglich ist, von den Lippen des Versuchsleiters abzulesen. Ziel hierbei ist die Überprüfung der phonematischen Speicherung, der sprechmotorischen Koordination und der Artikulation. Ramus (2001) weist darauf hin, dass Kinder mit LRS auch beim Wiederholen von Worten, besonders aber beim Wiederholen von Non- oder Pseudowörtern große Schwierigkeiten haben. Das Wiederholen von Pseudowörtern ist eine verbale Kurzzeit-Gedächtnisaufgabe. Inhalte im verbalen Kurzzeitgedächtnis können nach Ramus als phonologische Repräsentationen betrachtet werden, die für einen bestimmten Zeitbereich aufrecht erhalten werden, im Fall von Pseudowörtern auf sublexikalischem Level. Daraus schließt er, dass bei Kindern mit LRS zumindest sublexikalisch–phonologische Prozesse mangelhaft zu sein scheinen; da sie oft auch beim Wortwiederholen Schwierigkeiten haben, könnte zusätzlich auch das phonologische Lexikon beeinträchtigt sein. Schon Snowling (1981) kam in ihrer Studie zu dem Schluss, dass die Probleme beim Pseudowörternachsprechen bei Kindern mit LRS auf phonemische Defizite hinweisen, die nicht nur in Graphem-Phonem-Konvertierungsaufgaben, sondern auch in der gesprochenen Sprache deutlich werden. Auch in unserer Studie wurde der Mottiertest als Verfahren zur Überprüfung phonologischer Verarbeitungsprozesse eingesetzt, da er den Vorteil hat, frei von Konfundierungen mit der Lese- oder Rechtschreibfähigkeit (im Gegensatz zum Lesen von Pseudowörtern oder dem Schreiben eines lauttreuen Diktats) und unabhängig von der Größe des Wortschatzes zu sein (im Gegensatz zum Nachsprechen von seltenen phonologisch komplexen Wörtern). Allerdings

können beim Nachsprechen der längeren Pseudowörter auch nicht phonologisch bedingte Gedächtnisprobleme die Leistung beeinflussen.

Für den Mottiertest gibt es wie für den ZLT nur Normen, die an sehr kleinen Normstichproben erhoben wurden (für die 3. Klasse: N=57, für die 4. Klasse: N=59). Außerdem können auch hier die Rohwerte nur sehr groben Prozentrangstufen zugeordnet werden (PR <25, 25-75 und >75), so dass für unsere Studie wie beim Zürcher Lesetest keine normierten Werte, sondern nur der Anteil der richtig gelesenen Worte in Prozent in die statistische Analyse einging. Für den Mottiertest wurde die Leistung der Kinder (wie bei allen Lesetests) zunächst mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet und erst im Anschluss ausgewertet.

5.3.5 Wortlesetest

Der nichtstandardisierte Wortlesetest wurde von Heim (2002) nach dem *Word Identification Test* aus den *Woodcock Reading Mastery Tests-Revised* (Woodcock, 1987) für den deutschen Sprachraum adaptiert. Die ursprünglich 100 Wörter wurden nach der Odd-even-Methode (Lienert, 1989) so auf zwei Testhälften aufgeteilt, dass zwei Parallelförmigkeiten mit je 50 Wörtern entstanden. Die Wörter variieren in ihrer Häufigkeit, Regularität und der Komplexität ihrer Graphem- und Silbenstruktur. Sie sind 2-15 Buchstaben lang und werden in der Reihenfolge ihrer Schwierigkeit präsentiert. Auch hier die Leistung der Kinder vor der Auswertung aufgezeichnet. Die Auswertung erfolgte nach einem Drei-Punkte-System: 0 Punkte gab es für keine oder eine falsche Antwort, 1 Punkt gab es für ein Wort, das zunächst falsch gelesen, dann aber richtig verbessert wurde, 2 Punkte gab es, wenn das Wort zum Teil oder komplett wiederholt wurde und 3 Punkte wurden für das korrekte Vorlesen vergeben. Insgesamt konnten also 150 Punkte erreicht werden. In die statistische Analyse ging der Prozentwert der erreichten Punkte (%-richtig) und die Lesezeit in Sekunden ein.

5.3.6 Pseudowörterlesetest

Der nichtstandardisierte Pseudowörterlesetest (Heim, 2002) dient ähnlich wie der Mottiertest zur Überprüfung phonologischer Verarbeitungsprozesse. Mit dem Pseudowörterlesen wird vor allem die Fähigkeit zum phonologischen Dekodieren, also die Anwendung von Graphem-Phonem-Übertragungsregeln, untersucht (vgl. z.B. Mayringer & Wimmer, 2000, Csépe et al., 2003, Rack et al., 1992). Die Pseudowörter wurden von Heim von den Wörtern des Wortlesetests (Heim, 2002)

abgeleitet, indem Buchstaben innerhalb und zwischen den Wörtern ausgetauscht wurden. Bei der Konstruktion der Pseudowörter wurde darauf geachtet, dass die Buchstabenkombinationen innerhalb der Pseudowörter keine deutschen Morpheme ergab. Die Testkonstruktion (zwei Parallelformen mit je 50 Wörtern, nach der Reihenfolge ihrer Schwierigkeit präsentiert), Bewertung (Drei-Punkte-System) und Auswertung (Aufzeichnung, Berechnung des Prozentwertes für die statistische Analyse und Messung der Lesezeit) entspricht der des Wortlesetests.

5.3.7 Lauttreues Diktat

Mit dem lauttreuen Diktat soll die Fähigkeit zum phonologischen Enkodieren (z.B. die Anwendung von Phonem-Graphem-Übertragungs-Regeln) als ein Teilaspekt der phonologischen Verarbeitung überprüft werden. Um mögliche Lerneffekte auf Grund desselben Prä- und Posttests zu vermeiden, wurden zwei vergleichbare, aber nicht parallelisierte Diktate mit 83 („Eine Rakete“) bzw. 85 („Lange Flüge“) Wörtern aus der Materialsammlung von Findeisen und Melenk (1991) ausgewählt und für die Prä- und Posttestung als A- und B-Form verwendet. Den Kindern wurde in der Instruktion mitgeteilt, dass das Diktat nur aus solchen Wörtern bestehe, die man so schreibt, wie man sie ausspricht. Bei einer ersten Auswertung wurde in Anlehnung an Heim (2002) jedes falsch geschriebene Wort als Fehler gewertet, auch wenn dieser Fehler nichts mit einer mangelhaften lautgetreuen Verschriftlichung zu tun hatte. Zum Vergleich dazu wurde auch eine strikt lautgetreue Auswertung der Diktate vorgenommen. Bei dieser Auswertung galten folgende Falschschreibungen nicht als Fehler: Fehler bei der Groß- und Kleinschreibung, Fehler beim Getrennt- oder Zusammenschreiben von Wörtern, fälschliches „h“ nach einem langen Vokal (z.B. Nahme, manchmal, wahr, sogahr...), fälschliche Doppelung nach einem kurzen Vokal (z.B. hatt, mann...) „scht“ statt „st“, Auslautfehler d/t, g/k, ck, Verwechslung von „ä“ und „e“, „ai“ und „ei“, „f“ und „v“. Als Fehler gelten bei dieser Auswertung nur fälschliche Doppelung nach langem Vokal oder fälschliche Dehnung nach kurzem Vokal und ausgelassene oder vertauschte Buchstaben.

In die statistische Analyse ging bei beiden Auswertungen der Prozentwert der richtig geschriebenen Wörter ein.

5.3.8 Psychoakustisches Experiment zur Überprüfung der kategorialen Wahrnehmung

Zur Überprüfung der Sprachwahrnehmungsfähigkeit bzw. der kategorialen Grenzen bei der Phonemdiskrimination wurde eine kategoriale Wahrnehmungsaufgabe mit deutschen Konsonant-Vokal-Silben durchgeführt, die weitestgehend mit der von Heim (2002, Study F) übereinstimmt. Die Silben wurden mit Hilfe der Speechlab Software (Diesch, 1997) und einem Klattsynthesizer (Klatt, 1980) im Kaskadenmodus mit einer Aufzeichnungsrate von 10kHz hergestellt. Die Silben variierten kontinuierlich in 10 Stufen von /ba/ nach /da/ und von /da/ nach /ga/. Die gesamte Stimulusdauer betrug 250ms inklusive einer Formantentransitionsperiode von 40ms. Das Interstimulusintervall (ISI) von Stimulusbeginn zu Stimulusbeginn betrug 1,5s.

Die Stimuli in diesem 10-Stufen-Kontinuum wurden aus drei Formanten (F1-F3) zusammengesetzt und unterschieden sich in den Anfangsfrequenzen der zweiten und dritten Formantentransition. Stufe 1 war ein deutlich wahrnehmbares /ba/ bzw. /da/ und Stufe 10 ein deutlich wahrnehmbares /da/ bzw. /ga/. Die Startfrequenzen der zweiten und dritten Formantentransitionen betrugen für das Stufe-1-/ba/ 1095Hz und 2100Hz, für das Stufe-1- bzw. Stufe-10-/da/ 1702Hz und 2633Hz und für das Stufe-10-/ga/ 1602Hz und 2035Hz. Die Steady-state Formantenfrequenzen für den Vokal /a/ waren 770Hz (F1), 1340Hz (F2) und 2400Hz (F3). Die Grundfrequenz F0 für alle Silben begann nach einer 5ms-Verzögerung mit 128Hz und fiel zum Stimulusende linear auf 109Hz. Die Amplitude der Stimmhaftigkeit betrug während der ersten 250ms konstant 54dB und fiel während der letzten 25ms linear auf 11dB.

Die kategoriale Wahrnehmungsaufgabe wurde an einem IBM kompatiblen 486er PC durchgeführt. Jeder Stimulus aus dem 10-Stimuli-Kontinuum wurde in randomisierter Reihenfolge zwölf mal mit einer Stimulusintensität von ca. 75dB über einen Quart-Phone IMP50 Stereokopfhörer präsentiert. Insgesamt mussten 240 Stimuli (120 aus dem /ba/-/da/- Kontinuum und 120 aus dem /da/-/ga/-Kontinuum) per Knopfdruck auf der PC-Tastatur beurteilt werden: Wenn die Kinder meinten, ein /ba/ bzw. /da/ gehört zu haben, sollten sie mit einem beliebigen Finger ihrer bevorzugten Hand die besonders gekennzeichnete „Linker-Pfeil-Taste“ drücken, wenn sie meinten ein /da/ bzw. /ga/ gehört zu haben, sollten sie entsprechend die „rechter-Pfeil-Taste“ drücken (Instruktion, siehe Anhang). Es gab keine Rückmeldung darüber, ob die Reaktion

„richtig“ oder „falsch“ war. Im Probedurchgang wurde jeder Stimulus des /ba/-/da/ und /da/-/ga/-Kontinuums einmal randomisiert präsentiert.

Für jedes Kind wurde die Identifikationsfunktion des /ba/-/da/- und /da/-/ga/-Kontinuums durch die Berechnung der Annäherung der beiden jeweiligen Funktionskurven gemäß folgender Funktion quantifiziert:

$$f = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (a_i - b_i)^2}$$

Hierbei steht a_i für die Anzahl der Reaktionen für die Silbe /ba/ bzw. /da/ auf der Silbenstufe i und b_i für die Anzahl der Reaktionen für die Silbe /da/ bzw. /ga/ auf derselben Silbenstufe i .

Dieser Wert für die Größe der Fläche zwischen den beiden Kurven (/ba/-/da/ bzw. /da/-/ga/) ging für jeden Probanden als „Vergleichsindex“ in die statistische Analyse ein.

5.3.9 Händigkeitstest

Die Händigkeit wurde mit einem Fragebogen nach Oldfield (1971) erfasst, bei dem verschiedene alltägliche Handlungen gestisch dargestellt werden sollen (z.B. schreiben, malen, mit dem Besen fegen, eine Dose öffnen, Zähne putzen...). Der Versuchsleiter vermerkt, mit welcher Hand die Tätigkeiten ausgeführt wurden und berechnet einen Händigkeitsquotienten.

5.4 Die MEG-Messungen

Die MEG-Messungen fanden im psychophysiologischen Labor der Uni-Konstanz im Zentrum für Psychiatrie Reichenau statt. Es wurden drei Paradigmen überprüft: das Mismatch Field (MMF) auf abweichende Silben, die Dipollokalisierung nach Präsentation von Silben und die mit einer Wavelet-Analyse ausgewerteten Fastwords (schnelle visueller Präsentation von häufigen und seltenen Inhaltswörtern und von Pseudowörtern).

Die Aufzeichnung für alle drei Paradigmen erfolgte mit einem 148 Kanal Magnetometer (MAGNESTM 2500WH, 4D Neuroimaging, San Diego, USA). Zur Messung lagen die Versuchspersonen auf einer bequemen Pritsche in einem magnetisch abgeschirmten Raum (Vakuumschmelze Hanau). Die auditorischen Stimuli wurden über ein Schlauchsystem mit 60dB über der individuellen Hörschwelle

der Probanden präsentiert. Die visuellen Stimuli wurden durch einen Videobeamer (JVC™, DLA-G11E) über ein Spiegelsystem an die weiße Decke des Messraums projiziert. Während der auditorischen Stimulation wurde über den Beamer ein Film ohne Ton präsentiert. Zur Artefaktkontrolle wurde sowohl das EOG (mit insgesamt vier Elektroden: zwei horizontal rechts und links neben den Augen, zwei vertikal über und unter dem rechten Auge) als auch das EKG (je eine Elektrode an jedem Unterarm) mit einem SynAmps-Verstärker (NEUROSCAN) aufgezeichnet. Über eine Videokamera und eine Gegensprechanlage bestand ständiger Kontakt zu der Versuchsperson und es konnte ihre Befindlichkeit und ihr Verhalten während der Messung überprüft werden.

Auf Grund der großen Anzahl von nicht auswertbaren Daten für einzelne Bedingungen, die in einer ANOVA mit Messwiederholung den Ausschluss einer großen Anzahl von gesamten Datensätzen zur Folge hätte, erfolgte die statistische Auswertung der MEG-Daten mittels des „Mixed Models“-Moduls PROC MIXED aus dem SAS Programm. Dieser Ansatz hat u.a. den Vorteil, dass sowohl balancierte als auch unbalancierte oder fehlende Daten innerhalb eines Probanden berücksichtigt werden. Die Post-hoc-Testung erfolgte mittels geplanter Vergleiche. Für weitere Details siehe Paul (2005).

Außerdem werden mit dem STATISTICA 6 Programm von StatView™ für die MEG-Parameter Korrelationen mit den Verhaltensmaßen berechnert, für die es bei der Analyse mit den „Mixed Models“ signifikante Effekte gab.

Im Ergebnisteil dieser Arbeit werden nur signifikante Interaktionen, geplante Vergleiche und Korrelationen berichtet, die das Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ erreichen.

5.4.1 Mismatch Field (MMF)

Zur Messung des MMF wurden den Versuchspersonen die synthetische Silbe /ba/ als Standardstimulus (Auftrittswahrscheinlichkeit 85%) und die synthetische Silbe /da/ als abweichender Stimulus (Auftrittswahrscheinlichkeit 15%) präsentiert. Die insgesamt 500 Stimuli erschienen pseudorandomisiert mit einem konstanten ISI von 500ms. Die Silben waren 250ms lang und unterschieden sich nur durch die Formantentransitionsperiode (FT) während der ersten 40ms: Die Formantenfrequenzen für die FT der Silbe /ba/ betrug 1365Hz (F2) und 2337Hz (F3) und für die Silbe /da/ 1567Hz (F2) und 2515Hz (F3). Die Formantenfrequenzen für

den Vokal /a/ betrug in beiden Silben 770 (F1), 1340 (F2) und 2400Hz (F3). Die Grundfrequenz (F0) für beide Stimuli betrug 128Hz und sank linear zum Ende der Stimuli auf 109Hz.

Die Daten wurden kontinuierlich mit einer Aufzeichnungsrate von 508,63Hz erhoben und während der Aufzeichnung mit 0,1Hz Hochpass gefiltert.

Die Probanden wurden instruiert, nicht auf die Silben zu achten. Um die Aufmerksamkeit von den Silben abzulenken wurde ihnen über das Beamersystem ein Film ohne Ton präsentiert.

Zur Berechnung des MMF wurden die gemittelten RMS-Amplituden der Standardstimuli in Pico-Tesla (pT) von den gemittelten RMS-Amplituden der abweichenden Stimuli abgezogen.

Die statistische Analyse der Daten erfolgte jeweils mittels der „Mixed Models“ für drei Kanalgruppen (links temporal, links fronto-temporal, rechts temporal). Das MMF galt als abhängige Variable, die drei Zeitfenster (130-180ms, 180-230ms, 230-280ms), vier Trainingsgruppen (Kontrollgruppe, Marburger-, Buschmann-, Computertraining) und zwei Messzeitpunkte (vor und nach dem Training) als feste Effekte. Die Probanden wurden als Zufallsfaktor eingesetzt. Zur genauen Analyse der Daten und der statistischen Auswertung siehe Paul (2005).

Für die signifikanten Korrelationen zwischen den Ergebnissen der MMF-Daten und den Verhaltensdaten wurden zusätzlich mit demselben Statistik-Programm lineare Regressionen berichtet.

5.4.2 Dipollokalisierung

Zur Berechnung der Dipollokalisierung wurden die Daten, die im Rahmen des MMF-Paradigmas erhoben wurden, neu ausgewertet. Entsprechend war die Stimulation, die Instruktion und die Datenaufzeichnung identisch zum MMF-Paradigma.

Zur Auswertung der Daten wurden die Epochen, die nicht wegen Artefakten ausgeschlossen wurden bzw. die nicht den abweichenden Stimulus enthalten oder der Epoche mit einem abweichenden Stimulus folgen, über eine Epochenlänge von 1000ms [200ms vor Präsentation der Silben („baseline“) bis 800ms nach Beginn der Silbe] gemittelt. Nach 20Hz-Tiefpassfilter und Baseline-Korrektur wurden in der links- und rechtstemporalen BTi-Kanalgruppe für jeden Aufzeichnungspunkt in jeder Hemisphäre einzelne äquivalente Dipole (ECD: „equivalent current dipole“) lokalisiert. Um in der statistische Analyse berücksichtigt zu werden, mussten die

Dipol-Lösungen folgende Kriterien erfüllen: X-Achsen Position: $-1 \text{ cm} < X < 4 \text{ cm}$, Y-Achsen Position: $X > 2 \text{ cm}$, Goodness of Fit $> 0,9$.

Für jede Person wurde für die Daten vor und nach dem Training in zwei Zeitbereichen (50-160ms und 170-350ms) die statistische Analyse für drei Dipolparameter der MEG-Daten [dreidimensionale Dipollokalisation (x-Achse: posterior-anterior, y-Achse: medial-lateral, z-Achse: inferior-superior), Dipolstärke in nAm und Latenz des RMS in ms] mittels der „Mixed Models“ durchgeführt: Die Dipolparameter galten als abhängige Variable, GRUPPE (Dyslektiker, Kontrollprobanden) bzw. TRAINING (Kontrollen, Marburger, Buschmann, Computer) die Messzeitpunkte (ZEIT: vor und nach dem Training) und die HEMISPHEREN als feste Effekte und die PROBANDEN, verschachtelt in GRUPPE („nested“) als Zufallsfaktor. Die Posthoc-Testung erfolgte mittels Tukey-Kramer-Test.

Zur genauen Analyse und statistischen Auswertung der Daten siehe Paul (2005).

Für die Berechnung der Korrelationen der Dipollokalisationen mit den Verhaltensdaten wurde zunächst ein Asymmetrie-Index für die Probanden berechnet (x-Achsen-Position rechts minus x-Achsen-Position links), deren Dipollösungen in beiden Hemisphären den Einschlusskriterien entsprechen. Dieser Index wurde dann mit den Verhaltensdaten korreliert.

5.4.3 Frequenzbandanalyse der Fast Words

Im dritten Experiment wurden den Probanden drei Wortarten (häufige Inhaltswörter, seltene Inhaltswörter, Pseudowörter) in zwei Präsentationsfrequenzen (2,86Hz: 350ms Präsentationsdauer und 6,7Hz: 150ms Präsentationsdauer) visuell dargeboten.

Die Inhaltswörter (Nomen) wurden aus der deutschen Version der standardisierten Wort-Datenbank CELEX (Baayan et al., 1995) entnommen. Es wurden 100 hoch frequente Wörter ausgewählt, die möglichst häufig sein sollten (1091-104 pro Million Wörter), und 100 nieder frequente Wörter, die möglichst selten sein sollten (1-9 pro Million Wörter). Außerdem wurden 100 Pseudowörter aus deutschen Nomen generiert, indem Buchstaben so vertauscht wurden, dass die Wörter immer noch aussprechbar und orthographisch korrekt waren. Alle Worte waren fünf bis sieben Buchstaben lang und in schwarzen Großbuchstaben geschrieben. Sie wurden im Bitmap-Format generiert und mit der „Presentation“-Software (Neurobehavioral Systems, Inc. (NBS)) dargeboten. Die Wörter hatten nach der Projektion auf die

Kammerdecke eine maximale Größe von 7 x 3cm und waren 1,4m von den Augen der Versuchspersonen entfernt. Die 300 Wörter wurden für jeden Probanden in derselben pseudorandomisierten Reihenfolge mit gleicher Übergangswahrscheinlichkeit für alle Wortkategorien zunächst mit 2,86Hz und dann mit 6,7Hz dargeboten, ohne dass jeweils eine Pause zwischen den einzelnen Worten entstand. Jeder Block von 300 Wörtern wurde zunächst zwei mal hintereinander mit der langsamen Frequenz präsentiert, bevor die Wörter dann mit der höheren Darbietungsfrequenz präsentiert wurden.

Die Daten wurden kontinuierlich mit einem Hochpassfilter von 0,1Hz und einer Aufzeichnungsrate von 678,17Hz (Bandbreite 200Hz) erhoben. Mit einer Videokamera und einer Gegensprechanlage war auch hier der Kontakt zu den Probanden gewährleistet.

Den Versuchspersonen wurde gesagt, dass sie Inhaltswörter und Pseudowörter sehen würden, die sehr schnell hintereinander dargeboten würden, zum Teil so schnell, dass es sehr schwierig sei, sie zu lesen. Trotzdem sollten sie ihre Aufmerksamkeit voll auf die Projektionsfläche richten und versuchen, möglichst viele der Worte innerlich, ohne sie zu artikulieren, mitzulesen.

Zur Auswertung der Daten wurden die Epochen, die nicht wegen Artefakten ausgeschlossen wurden, für jede Wortbedingung gemittelt. Dann wurde für jeden Kanal eine Wavelet-Analyse gerechnet und diese in sechs Kanalgruppen zusammengefasst: links und rechts frontal, links und rechts temporal (jeweils 20 Kanäle) und links und rechts okzipital (je 15 Kanäle). Die statistische Analyse erfolgte mittels der „Mixed Models“ für jede Kanalgruppe. Dabei galt die evozierte maximale AMPLITUDEN-STÄRKE im Zeitbereich von 80-150ms und im Frequenzbereich von 20-35Hz als abhängige Variable, HEMISPHERE (rechts, links), WORTKLASSE (hoch frequent, nieder frequent, Pseudowörter) und GRUPPE (Kontrollen, Dyslektiker) als feste Effekte und die PROBANDEN (verschachtelt in GRUPPE) als Zufallsfaktor. Für post-hoc-Vergleiche wurde der Tukey-Kramer Test eingesetzt. Bei signifikanten Unterschieden wurde dieselbe Analyse mit denselben festen Effekten und Zufallsfaktoren auch für die abhängigen Variablen SPEKTRALFREQUENZ (in Hz) und LATENZ (in ms) im Bereich der maximalen Amplitudenstärke durchgeführt. Zur genaueren Analyse der Daten siehe Paul (2005).

Für die Berechnung der Korrelationen zwischen den Verhaltensdaten und den abhängigen Variablen der Fast-Word-Messung wurde bei signifikanten

Gruppeneffekten die gemittelte Aktivität aller okzipitaler Kanäle für alle Probanden mit den Leistungen in den Verhaltenstests korreliert.

5.5 Durchführung der Trainingsprogramme

Das Buschmanntraining und das Marburger Rechtschreibtraining wurden ausschließlich von den beiden DoktorandInnen des Projektes durchgeführt, um etwaige Versuchsleitereffekte möglichst gering zu halten. Außerdem wurde im Vorfeld detailliert festgelegt, welche Bereiche und Aufgaben in jeder Stunde behandelt werden. Beim Buschmanntraining war die Auswahl der einzelnen Worte dem Versuchsleiter überlassen, während beim Marburger Rechtschreibtraining durch das Protokoll die Inhalte jeder Stunde weitgehend vorgegeben waren.

Das Computertraining wurde im ersten Untersuchungsabschnitt von den Kindern selbständig zu Hause durchgeführt, was jedoch zu einer hohen Abbruchrate führte (50%). Deshalb wurde das Computertraining im zweiten und dritten Abschnitt wie die anderen Trainings in den Schulen durchgeführt und von einer studentischen Hilfskraft betreut. Da die Anforderungen direkt durch das Programm vorgegeben werden, ist ein Versuchsleitereffekt bei diesem Training ausgeschlossen.

5.5.1 Das Marburger Rechtschreibtraining an 18 Terminen

Aus dem Marburger Rechtschreibtraining wurden für diese Studie nur solche Regelbereiche ausgewählt, deren Umsetzung nicht auf eine spezifisch phonologische Verarbeitung abzielt. Damit sollte diese Trainingsgruppe als legasthenische Kontrollgruppe dienen, bei der nicht versucht wurde, phonologische Verarbeitungsprozesse als mögliche Ursache der LRS zu verbessern, sondern bei der eine kognitive Kompensation der Schwierigkeiten auf Verhaltensebene das Ziel war.

Der Aufbau des Trainings war zweigeteilt: Die ersten sieben Termine dienten der Wiederholung bzw. Vertiefung und Ergänzung von Grundlagen für den Erwerb und die Anwendung der Regeln. Zu diesem Grundlagentraining gehörte die Unterscheidung von Selbstlauten und Mitlauten, Wortstamm und Wortendungen, die Unterscheidung der drei Hauptwortarten (Verben, Adjektive, Substantive) und im Zusammenhang damit die Groß- und Kleinschreibung. Dazu erhielten die Kinder insgesamt sieben Merkkarten, die sie in einer Karteibox aufbewahren und bei der Bearbeitung der Aufgaben benutzen sollten. In der zweiten Hälfte (Termine 8-18)

ging es um die Vermittlung der Regeln zur ersten (Umlaute; Regel 1-3) und zweiten Ableitung (Auslaute; Regel 4-6) bei allen drei Wortarten.

Am ersten Termin in jeder Woche wurde der Stoff der letzten Woche wiederholt. Alle anderen Stunden waren gedrittelt: Im ersten Drittel jeder Stunde wurden die Merksätze bzw. Regeln der letzten Stunde mit Übungen wiederholt. Im zweiten Drittel wurden neue Regeln oder Merksätze eingeführt und besprochen und im letzten Drittel wurden diese Regeln oder Merksätze mit den entsprechenden Materialien geübt. Zum genauen Ablauf des Trainings siehe Anhang.

5.5.2 Das Buschmanntraining an 10 Terminen

Das Buschmanntraining (Buschmann, 1988; nach Hoffmann, 1998) wurde für diese Studie als phonologisches Training konzipiert, um bei einem differentiellen Effekt dieses Trainings Hinweise auf die Bedeutung der phonologischen Verarbeitung bzw. der phonologischen Theorie der Dyslexie zu erhalten. Deshalb wurde das Elementartraining „rein“ phonologisch ohne Merkwörter und mit möglichst wenig Regeln durchgeführt. Durch das rhythmische Silbieren sollte einerseits die phonemische Bewusstheit im weiteren Sinn (Skowronek & Marx, 1989) und andererseits die lautgetreue Verschriftlichung sowie das richtige Schreiben von Worten mit Dopplungen trainiert werden.

Jede Stunde begann mit dem seitwärtsschreitenden Einschwingen mit vielsilbigen Wörtern. In den ersten beiden Sitzungen bestand das Hauptziel in der Automatisierung des Schwingens. Dazu wurden mindestens viersilbige Begriffe zunächst von den Kindern einzeln und dann gemeinsam seitwärtsschreitend geschwungen. Am Ende der zweiten Sitzung wurde dann zum Schwingen in Bögen mit dem Bleistift auf dem Papier hingeführt. In der dritten und vierten Sitzung kam das silbierende Schreiben von Zweisilbern neu dazu. Dazu wurde das Wort erst geschwungen, und dann koartikulierend Silbe für Silbe geschrieben. Danach wurden die Bögen wieder darunter gemalt. Beim fünften und sechsten Termin wurden zusätzlich kurze Sätze geschwungen und das Schwingen von inhaltslosen Silbenketten (z.B. „latituli...“) eingeführt. Beim siebten und achten Termin wurde als einzige Regel die Verlängerung als sogenannter „Trick“ für schwierige Auslaute eingeführt (vor allem bei Einsilbern, z.B. Laut – Laute, Zug - Züge). Zusätzlich wurden Sätze gelesen und gleichzeitig die Bögen darunter gesetzt. Beim neunten

und zehnten Termin wurde die Verlängerung auch für zusammengesetzte Worte geübt. Zum genauen Ablauf des Trainings siehe Anhang.

5.5.3 Das Computertraining an 18 Terminen

Das Computertraining wurde in Anlehnung an Fast ForWord (Tallal et al., 1998) von Heim, Eulitz und Elbert als deutsche Laborversion entwickelt und besteht aus vier Spielen, von denen drei gespielt wurden. Differentielle Effekte dieses Trainings sollten Hinweise auf die Bedeutung der auditorischen Wahrnehmung und Verarbeitung von kurzen verbalen und nonverbalen Reizen geben bzw. die temporale Verarbeitungsdefizithypothese stützen.

An den ersten beiden Terminen wurde **Spiel 1** trainiert. Aufgabe bei diesem Spiel ist es, mit der Maus verschiedene geometrische Figuren auf die entsprechende Zielvorlage zu ziehen, so dass sie deckungsgleich übereinander zu liegen kommen. Ziel dieser Übung ist eine Gewöhnung an den Umgang mit der Maus, deren Gebrauch für die beiden temporalen Trainingsspiele notwendig ist. Spiel 2 und 3 wurden an den restlichen 16 Terminen im Wechsel gespielt.

Spiel 2 ist ein auditorisch-visuelles Spiel zur Verbesserung der auditorisch-temporalen Verarbeitung ohne sprachliche Reize, das sich automatisch an die Leistung des Kindes anpasst. Aufgabe ist es, mit dem Cursor der Maus einen Stall anzuklicken. Darauf erscheinen zwei Tiere, die von zwei nacheinander auftretenden, frequenzmodulierten, glissandoartigen Tönen begleitet werden. Diese „Glissantotöne“, die der Frequenzstruktur von Phonemen der deutschen Sprache nachempfunden sind, gleiten in der Tonleiter entweder nach oben oder nach unten. Unter dem linken Tier befindet sich ein gleichwinkliges Dreieck, dessen Spitze nach unten zeigt und das angeklickt werden soll, wenn der Ton nach unten gleitet. Entsprechend befindet sich unter dem rechten Tier ein gleichwinkliges Dreieck, dessen Spitze nach oben zeigt und das angeklickt werden soll, wenn der Ton nach oben gleitet. Die Reihenfolge der beiden Töne (erst nach oben, dann nach unten; erst nach unten, dann nach oben; zweimal nach oben oder zweimal nach unten) soll durch das Anklicken der jeweiligen Dreiecke simuliert werden.

Die Grundfrequenzen der Töne betragen 500, 1000, 2000 und 4000 Hz und gleiten mit 16 Oktaven pro Sekunde nach oben oder unten. In jeder Sitzung werden nacheinander in jeder Frequenz 20 Töne präsentiert. Das Startinterstimulusintervall (ISI) beträgt für jede Frequenz 500ms. Nach sechs falschen Reaktionen wechselt

das ISI auf 1000ms, nach drei richtigen Reaktionen wechselt das ISI auf die nächst kürzere Stufe. Das ISI wechselt von 1000ms bis 300ms in 100ms-Schritten, bis 200ms in 50ms-Schritten und dann bis 0ms in 5ms-Schritten. Je fehlerfrei absolviertem ISI (drei Durchgänge) gibt es einen Punkt, nach 5 Punkten gibt es einen Bonuspunkt. Eine richtige Reaktion bewirkt kein Feedback, jeder Punkt wird jedoch von einer kurzen Fanfare begleitet. Jede falsche Reaktion wird durch ein akustisches Signal rückgemeldet. Die Dauer der Töne beträgt zunächst 60ms und wechselt nach 3 Sitzungen auf 40ms und nach weiteren 6 Sitzungen auf 20ms, mit welcher Dauer die Töne weitere 6 Sitzungen präsentiert wurden, bis dann das Spiel beendet ist.

Mit **Spiel 3** soll die temporale Verarbeitung direkt mit modifizierten Sprachreizen trainiert werden. Auch dieses Spiel ist adaptiv in dem Sinne, dass es sich an die Leistung bzw. den Leistungszuwachs der Probanden anpasst. Bei diesem Spiel müssen die Probanden eine Wolke anklicken. Darauf erscheint zunächst ein Tier („Zieltier“), das von einer der Konsonant-Vokal-Silben /ba/, /da/, oder /ga/ begleitet wird. Im Anschluss erscheinen zwei Tiere. Eines wird von der Silbe begleitet, die mit dem „Zieltier“ präsentiert wurde und das andere von einer Silbe, die nicht mit der zuerst präsentierten übereinstimmt. Aufgabe der Probanden ist es, per Mausklick das Tier zu bestimmen, das von derselben Silbe begleitet wurde, wie das erste Tier („Zieltier“).

In jeder Sitzung werden nacheinander die Silben /ba/, /da/ und /ga/ je 20 mal als Zielsilben präsentiert. Die Gesamtdauer aller Silben beträgt 250ms. Die Formantentransitionsperiode aller Silben beträgt zunächst 90ms und wechselt für jede Silbe nach 3 Sitzungen auf 80ms und nach weiteren 6 Sitzungen auf 70ms. Diese Länge wird 6 Sitzungen beibehalten, bis das Spiel endet. Eigentlich sollte die Formantentransitionsperiode bis auf 35ms reduziert werden, was jedoch (aus technischen Gründen) nicht funktionierte. Das Startinterstimulusintervall beträgt wie bei Spiel 2 für jede Zielsilbe 500ms. Nach sechs falschen Reaktionen wechselt das Interstimulusintervall auf 1000ms, nach drei richtigen Reaktionen wechselt das ISI auf die nächst kürzere Stufe: von 1000ms bis 300ms in 100ms-Schritten, bis 200ms in 50ms-Schritten und dann bis 0ms in 5ms-Schritten. Je fehlerfrei absolviertem ISI (drei Durchgänge) gibt es einen Punkt, nach 5 Punkten gibt es einen Bonuspunkt. Eine richtige Reaktion bewirkt kein Feedback, jeder Punkt wird jedoch von Applaus begleitet. Jede falsche Reaktion wird durch ein akustisches Signal rückgemeldet.

Bei instruktionsgemäßer Durchführung der beiden Spiele konnte jedes Spiel maximal 15 Mal gespielt werden (Spiel 2: 3x60ms, 6x40ms, 6x20ms Präsentationsdauer; Spiel 3: 3x90ms, 6x80ms, 6x70ms Formantentransitionsperiode). Voraussetzung für die Auswertung der Verhaltens- und MEG-Daten der Teilnehmer der Computertrainingsgruppe waren insgesamt mindestens 20 absolvierte Durchgänge und das Erreichen der Präsentationsdauer von mindestens 40ms bzw. der Formantentransitionsdauer von 80ms.

Für Spiel 2 wird eine Verbesserung dann angenommen, wenn das ISI des letzten kompletten Durchgangs (gemittelt über die 20 Töne aus jeder der 5 Frequenzen) bei Spielende bei einer Präsentationsdauer von 20ms bzw. 40ms kürzer ist als das entsprechend gemittelte ISI des ersten Durchgangs bei einer Präsentationsdauer von 60ms. Genauso wird für Spiel 3 eine Verbesserung dann angenommen, wenn das ISI des letzten kompletten Durchgangs (gemittelt über die 20 Silben aus jeder der 3 Zielkategorien /ba/, /da/, und /ga/) bei Spielende bei einer Formantentransitionsdauer von 70ms bzw. 80ms kürzer ist als das entsprechend gemittelte ISI des ersten Durchgangs bei einer Formantentransitionsdauer von 90ms.

(Anleitung zum Spiel für die Kinder, die zu Hause trainiert haben: siehe Anhang)

Mit einem t-Test für gepaarte Stichproben aus dem Statistikprogramm STATISTICA 6 von StatView™ wurden jeweils für Spiel 2 und Spiel 3 die beschriebenen Mittelwerte zu Spielanfang und Spielende verglichen, um zu überprüfen, ob sich die Computertrainingsgruppe im jeweiligen Spiel signifikant verbessert hat. Als Signifikanzniveau gilt $\alpha = 5\%$.

5.6 Statistische Analyse der Verhaltensdaten

Die statistische Analyse der Verhaltensdaten erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms STATISTICA 6 von StatView™.

Zur Überprüfung, ob sich die verschiedenen Untersuchungsgruppen im Alter der Probanden unterscheiden, wurde eine einfaktorielle ANOVA mit der abhängigen Variablen „Alter“ und dem vierstufigen Prädiktor „Training“ (Buschmanntraining, Marburger Training, Computertraining, Kontrollgruppe) durchgeführt. Zum Vergleich der Gruppen in den nominalskalierten Daten für „Händigkeit“ und „Geschlecht“ wurde ein Chi²-Test durchgeführt. Das Signifikanzniveau lag bei jeweils $\alpha = 5\%$.

5.6.1 Statistische Analyse des Trainingseffektes für die Tests

Für alle Tests wurde zunächst überprüft, ob sich die Kontrollgruppe und die Gruppe aller Probanden mit Lese- und Rechtschreibschwäche zum Zeitpunkt vor und nach dem Training unterscheiden. Hierzu wurde für jeden Test eine ANOVA mit Messwiederholung mit zwei abhängigen Variablen (TESTLEISTUNG VOR dem Training, TESTLEISTUNG NACH dem Training), einem Prädiktor (GRUPPE) mit zwei Stufen (KONTROLLGRUPPE, GRUPPE mit LRS) und einer Innerhalbvariablen (ZEIT) mit zwei Stufen (PRÄ und POST Training) gerechnet. Bei einer signifikanten Interaktion wurde mit dem Post-hoc-Tukey-Test überprüft, in wieweit sich die beiden Gruppen vor und nach dem Training unterscheiden bzw. bei welcher Gruppe es signifikante Verbesserungen gab. Als Signifikanzniveau galt bei allen Analysen $\alpha = 5\%$.

Zur Überprüfung des Trainingseffektes der einzelnen Trainingsgruppen wurde dasselbe statistische Design verwendet. Es wurde lediglich der zweistufige Prädiktor GRUPPE durch den vierstufigen Prädiktor TRAINING (Computertraining, Buschmanntraining, Marburger Rechtschreibtraining, Kontrollprobanden) ersetzt. Signifikante Ergebnisse werden ausschließlich für die zweifach Interaktion TRAINING x ZEIT berichtet. Bei signifikanten Interaktionen wurde auch hier mit dem Tukey-Post-hoc-Test überprüft, welche Trainingsgruppen sich vor und nach dem Training unterscheiden bzw. bei welcher Gruppe es signifikante Verbesserungen gab. Als Signifikanzniveau galt bei allen Analysen $\alpha = 5\%$.

Um die Leistungsveränderungen der einzelnen Trainingsgruppen besser vergleichen zu können, wurden bei einer signifikanten TRAINING x ZEIT Interaktion eine einfaktorielle ANOVA mit der abhängigen Variablen DIFFERENZ (Leistung vor dem Training minus Leistung nach dem Training im jeweiligen Test) und dem vierstufigen Prädiktor TRAINING (Computertraining, Buschmanntraining, Marburger Rechtschreibtraining, Kontrollprobanden) gerechnet. Für den signifikanten Haupteffekt für TRAINING wurde dann mit dem Tukey-Post-hoc-Test überprüft, zwischen welchen Gruppen die Unterschiede in der Leistungsveränderung signifikant sind.

Erreichten die Interaktionen ZEIT x TRAINING oder ZEIT x GRUPPE keine Signifikanz, wurde getrennt für vor und nach dem Training eine einfaktorielle ANOVA mit dem vierstufigen Prädiktor TRAINING bzw. dem zweistufigen Prädiktor GRUPPE gerechnet. Wurde der Haupteffekt für TRAINING signifikant, wurde mit dem Tukey-

Post-hoc-Test überprüft, welche Trainingsgruppen sich zum jeweiligen Zeitpunkt in der jeweiligen Testleistung signifikant von einander unterscheiden.

Bei den Tests zur kategorialen Wahrnehmung am PC wurde für jede der vier Gruppen vor und nach dem Training die Fläche zwischen den Kurven für das /ba-/da/- und das /da-/ga/-Kontinuum berechnet (siehe 2.3.8). Dieser Wert ging dann als Vergleichsindex in die ANOVA mit Messwiederholung mit zwei abhängigen Variablen (TESTLEISTUNG VOR dem Training, TESTLEISTUNG NACH dem Training), einem Prädiktor (GRUPPE) mit zwei Stufen (KONTROLLGRUPPE, PROBANDEN mit LRS) bzw. einem Prädiktor (TRAINING) mit vier Stufen (die vier Gruppen) und einer Innerhalbvariablen (ZEIT) mit zwei Stufen (PRÄ und POST Training) ein.

Bei den ANOVAs mit Messwiederholung wurden nur die signifikanten Interaktionen berichtet, bei den einfaktoriellen ANOVAs nur die signifikanten Haupteffekte. Signifikante Haupteffekte und Interaktionen, die keinen echten Informationsgewinn liefern, werden der Übersichtlichkeit halber nicht berichtet. Eine Ausnahme bildet die Untersuchung der Unterschiede in den Untersuchungsgruppen hinsichtlich Geschlecht, Alter und Händigkeit: Hier werden auch nicht signifikante Effekte berichtet, die belegen, dass sich die Gruppen hinsichtlich dieser demographischen Parameter nicht unterscheiden.

5.6.2 Statistische Analyse des korrelativen Zusammenhangs zwischen den Testergebnissen für die einzelnen Gruppen

In einem nächsten Analyseschritt wurden mit Hilfe des Programms STATISTICA 6 von StatView™ Korrelationen zwischen den Testergebnissen für die einzelnen Gruppen berechnet. Dabei werden nur Korrelationen mit den Tests zur phonologischen Verarbeitung berichtet (Leseleistung und Lesezeit der Pseudowörter, Mottiertest und kategoriale Wahrnehmung). Da aus Gründen der Übersichtlichkeit der Darstellung eine Beschränkung auf die Tests stattfinden musste, von denen der größte Informationsgewinn erhofft wurde, wurde zusätzlich zu den Leistungen in den reinen Lese- und Rechtschreibtests auch auf die Darstellung der Korrelationen mit der Leistung im lauttreuen Diktat verzichtet. Verglichen wurden zum Zeitpunkt vor und nach dem Training die Korrelationen zwischen den Testergebnissen der Kontrollgruppe, der gesamten Gruppe aller Probanden mit LRS und den einzelnen Trainingsgruppen.

Zusätzlich werden für jede Trainingsgruppe und die Gruppe aller Probanden mit LRS für alle signifikanten Leistungsverbesserungen die signifikanten Korrelationen mit den Veränderungen (prä minus post) in anderen Tests berichtet, um mögliche systematische Zusammenhänge zwischen den signifikanten Verbesserungen und den Veränderungen in anderen (z.B. phonologischen) Tests aufdecken zu können. Wie bei allen Analysen werden auch hier nur Korrelationen berichtet, die ein Signifikanzniveau von mindestens $\alpha = 5\%$ erreichen.

5.6.3 Faktorenanalyse für die Testergebnisse der einzelnen Gruppen

Für jede Gruppe wurde über die z-transformierte Korrelationsmatrix aller Tests eine Faktorenanalyse (Hauptkomponentenanalyse) vor und nach dem Training gerechnet. Eine Faktorenanalyse für die Verbesserung in den Tests ergab keine sinnvolle Faktorenstruktur und wird nicht weiter berichtet.

Zur Bestimmung der Anzahl der Faktoren wurde der jeweilige Screeplot der Eigenwerte herangezogen. Demnach werden die Faktoren extrahiert, vor denen die Kurve einen deutlichen Anstieg zeigt, soweit dadurch das Kaiserkriterium (Eigenwerte >1) nicht verletzt wird. Um zwischen den Gruppen sinnvoll unterscheiden zu können, wurde für alle Gruppen die gleiche Anzahl von Faktoren angestrebt. Die sinnvollste Lösung ergab jeweils drei Faktoren. Als Rotationskriterium wurde „Varimax“ gewählt.

Nach der Bestimmung der Anzahl der Faktoren wurde mit der Gleichung zur Bestimmung der Stabilität der Faktorenstruktur nach Guadagnoli und Velicer (1988) überprüft, ob die Anzahl der Versuchspersonen bzw. die Stärke der Faktorladungen hoch genug ist, um die Faktorenstruktur interpretieren zu können. Dies ist zulässig, wenn der Kennwert für die Stabilität der Faktorenstruktur $FS > 0,8$ ist.

Die Gleichung lautet

$$FS = 1 - (1,1 * x_1 - 0,12 * x_2 + 0,066), \text{ wobei}$$

$$x_1 = 1/\sqrt{n} \text{ und}$$

$$x_2 = \text{minimaler Ladungswert, der bei der Interpretation der Faktoren berücksichtigt wird.}$$

6. Ergebnisse

6.1 Vergleich der Trainingsgruppen hinsichtlich Alter, Geschlecht und Händigkeit

Die ANOVA für Alter ergab keinen signifikanten Haupteffekt für Training: Die Gruppen (Marburger, Buschmann, Computer, Kontrollen) unterschieden sich nicht ($F(3,82)=0,66$; $p=0,56$). Der χ^2 -Test für Geschlecht und Händigkeit zeigt, dass es auch hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gibt ($\chi^2(3,82)=0,75$; $p=0,86$ bzw. $\chi^2(3,82)=4,4$; $p=0,22$).

6.2 Ergebnisse der Varianzanalysen der Verhaltensdaten

6.2.1 SPM: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS

In der ANOVA mit Messwiederholung ergab sich eine signifikante 2-fach Interaktion für ZEIT x GRUPPE ($F(1,84)=8,91$; $p<0,005$; s. Abb. 6.1).

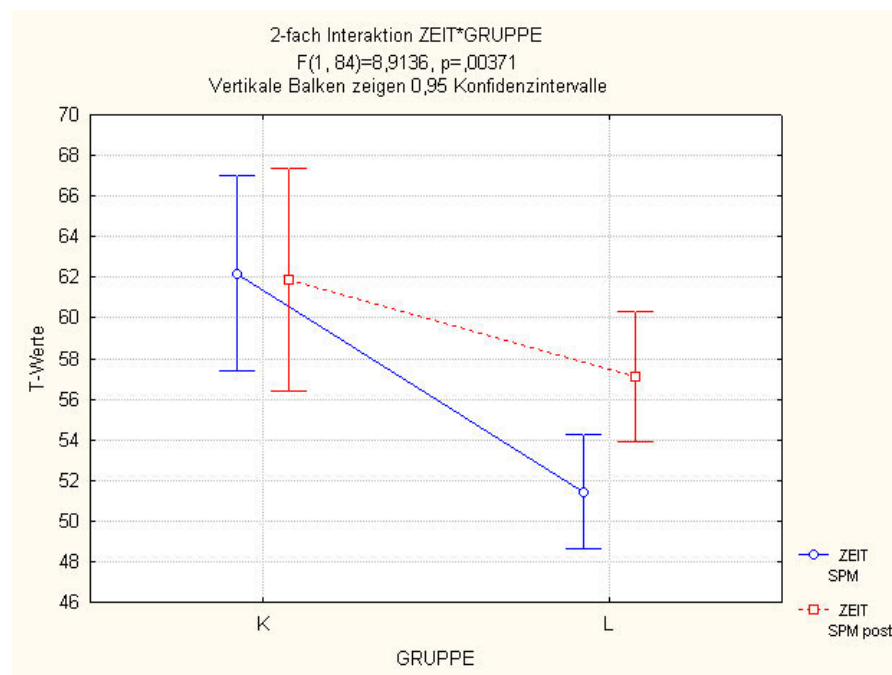


Abb. 6.1: 2-fach Interaktion ZEIT x GRUPPE für den SPM
(K= Kontrollprobanden, L= Probanden mit LRS)

Beide Gruppen lagen vor dem Training über dem Testmittelwert von 50 (L:51,4; K:62,2). Damit erfüllte auch die LRS-Gruppe die Voraussetzung von mindestens durchschnittlicher Intelligenz.

Der Post-hoc-Test zeigte, dass sich die beiden Gruppen vor dem Training in ihrer SPM-Leistung knapp signifikant unterschieden ($p<0,05$). Nach dem Training gab es keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen den Gruppen ($p=0,64$). Die LRS-

Gruppe zeigte eine hochsignifikante Verbesserung (von 51,4 auf 57,1 T-Wert-Punkten; $p < 0,001$), während sich die Leistung der Kontrollgruppe nicht verändert hat (prä: 62,2, post: 61,9; $p = 0,99$).

6.2.2 SPM: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen

Die Untersuchung der Trainingseffekte ergab eine signifikante 2-fach Interaktion ZEIT x TRAINING mit Messwiederholung mit dem vierstufigen Prädiktor TRAINING ($F(3,82)=5,63$; $p < 0,005$; s. Abb. 6.2).

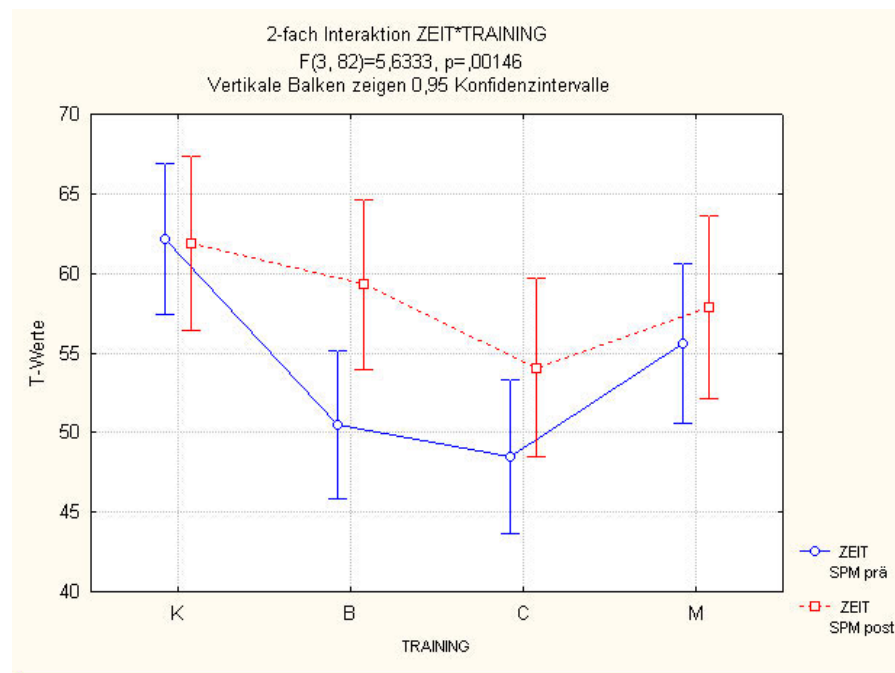


Abb. 6.2: 2-fach Interaktion ZEIT x TRAINING für den SPM
 (K= Kontrollprobanden, B= Buschmanntraining, C= Computertraining, M= Marburger Rechtschreibtraining)

Der Post-hoc-Test zeigte eine signifikante bzw. hochsignifikante Verbesserung für das Computertraining (von 48,5 auf 54,1 T-Wert-Punkte; $p < 0,05$) und für das Buschmanntraining (von 50,5 auf 59,3 T-Wert-Punkte; $p < 0,001$). Alle Gruppen haben sich weder zum Zeitpunkt vor noch nach dem Training signifikant in ihrer SPM-Leistung unterschieden. Nur wenn die ANOVA getrennt für vor und nach dem Training gerechnet wurde, ergab der Post-hoc-Test vor dem Training einen signifikanten Unterschied zwischen der Leistung der Kontrollgruppe und der Buschmann- bzw. Computergruppe ($p < 0,001$ bzw. $p < 0,005$). Die drei Trainingsgruppen unterschieden sich jedoch auch bei dieser Analyse untereinander nicht. Nach dem Training gab es in der einfaktoriellen ANOVA zwischen allen Gruppen keine signifikanten Unterschiede mehr ($p = 0,26$).

Der Post-hoc-Test für den signifikanten Haupteffekt TRAINING der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variable DIFFERENZ (T-Werte im SPM vor dem Training minus T-Werte im SPM nach dem Training) ergab nur einen signifikanten Unterschied im Leistungszuwachs zwischen der Buschmanngruppe (Verbesserung um 8,8 T-Wert-Punkte) und der Kontrollgruppe (keine Veränderung) ($p < 0,005$). Der Vergleich zwischen der Verbesserung der Gruppe Computertaining (5,6 T-Wert-Punkte) und der Kontrollgruppe verfehlte knapp das Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ ($p = 0,07$). Die Gruppe Marburger Training verbesserte sich (nicht signifikant) um 2,1 T-Wert-Punkte.

6.2.3 DRT: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS

Auch für den DRT ergab sich in der ANOVA mit Messwiederholung eine hochsignifikante 2-fach Interaktion für ZEIT x GRUPPE ($F(1,84)=14,89$; $p < 0,001$; s. Abb. 6.3).

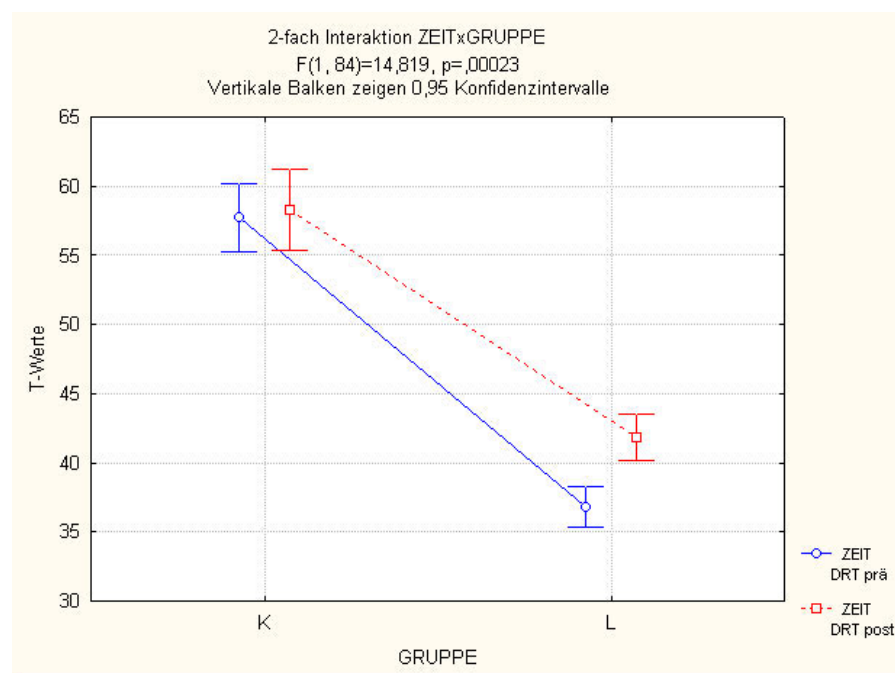


Abb. 6.3: 2-fach Interaktion ZEIT x GRUPPE für den DRT (K= Kontrollprobanden, L= Probanden mit LRS)

Die Probanden mit LRS lagen vor (36,8 T-Wert-Punkte) und nach dem Training (41,9 T-Wert-Punkte) deutlich unter dem Testmittelwert von 50. Allerdings zeigte der Post-hoc-Tukey-Test, dass sich die Probanden mit LRS durch das Training hochsignifikant verbessert haben ($p < 0,001$). Für die Kontrollprobanden ergab sich wie erwartet

keine Verbesserung (prä: 57,8; post: 58,3), der Unterschied zwischen den Kontrollen und den Probanden mit LRS war jedoch vor und nach dem Training hochsignifikant ($p < 0,001$).

6.2.4 DRT: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen

Auch die 2-fach Interaktion ZEIT x TRAINING mit Messwiederholung mit dem vierstufigen Prädiktor TRAINING ist signifikant ($F(3,82)=5,14$; $p < 0,005$; s. Abb. 6.4).

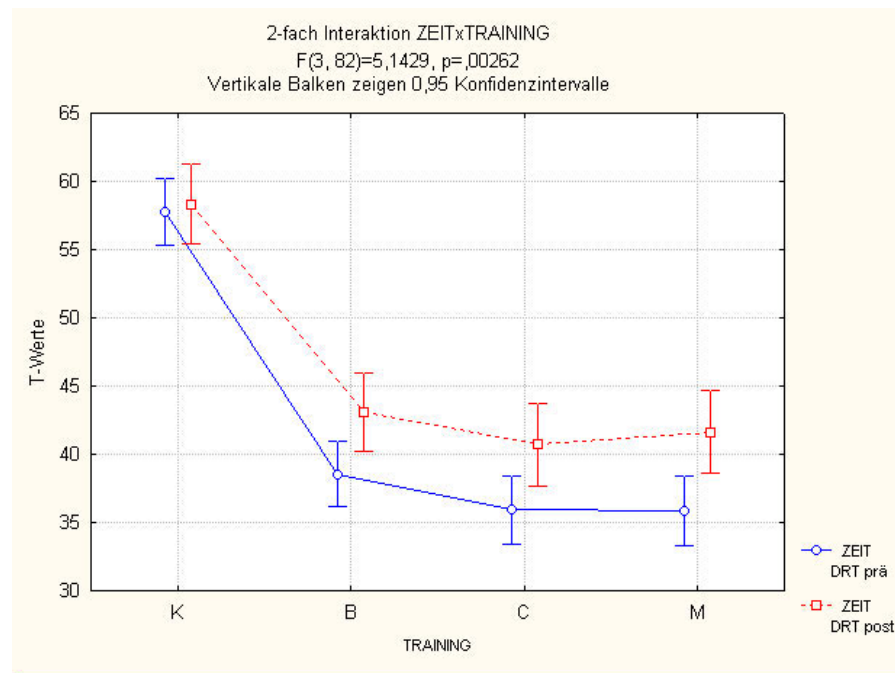


Abb. 6.4: 2-fach Interaktion ZEIT x TRAINING für den DRT

(K= Kontrollprobanden, B= Buschmanntraining, C= Computertraining, M= Marburger Rechtschreibtraining)

Der Post-hoc-Test zeigte, dass sich alle drei Trainingsgruppen hochsignifikant verbessert haben (jeweils $p < 0,001$). Die Gruppe Marburgertraining verbesserte sich von einem durchschnittlichen T-Wert von 35,9 auf 41,7, die Gruppe Computertraining von 36 auf 40,7 und die Gruppe Buschmanntraining von 38,5 auf 43,1. Die Kontrollgruppe hat sich nicht verbessert (prä: 57,8; post: 58,3), sie hat sich aber sowohl vor als auch nach dem Training hochsignifikant von jeder der Trainingsgruppen (jeweils $p < 0,001$) unterschieden. Die drei Trainingsgruppen unterschieden sich dagegen untereinander vor und nach dem Training nicht.

Der Post-hoc-Tukey-Test für den signifikanten Haupteffekt TRAINING der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variablen DIFFERENZ (T-Werte vor minus T-Werte nach dem Training) ergab für alle drei Trainingsgruppen einen

signifikanten Unterschied im Leistungszuwachs im Vergleich zur Kontrollgruppe (keine Veränderung). Den stärksten Leistungszuwachs erreichte mit 5,8 T-Wert-Punkte die Gruppe Marburger Rechtschreibtraining ($p < 0,005$), die Buschmann- und die Computertrainingsgruppe haben sich um 4,6 bzw. 4,7 T-Wert-Punkte ($p < 0,05$) verbessert.

6.2.5 ZLT richtig: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS und Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen

Für den Prozentwert der richtig gelesenen Wörter im ZLT ergaben sich in der ANOVA mit Messwiederholung weder mit dem 2-stufigen Prädiktor Gruppe noch mit dem vierstufigen Prädiktor TRAINING signifikante Interaktionen.

In der getrennt für prä und post berechneten einfaktoriellen ANOVA mit dem zweistufigen Prädiktor GRUPPE (Legastheniker, Kontrollprobanden) ergab sich jedoch vor ($F(1, 84) = 23,58$; $p < 0,0001$) und nach dem Training ($F(1, 84) = 19,94$; $p < 0,0001$) ein signifikanter Haupteffekt für GRUPPE. Die Kontrollgruppe war also sowohl vor (96% richtig) als auch nach der Trainingsperiode (97% richtig) hochsignifikant besser als die Gruppe der Legastheniker (prä: 87%, post: 89% richtig), aber es konnte kein Trainingseffekt erzielt werden.

Ebenso ergab sich auch für die getrennt für prä und post berechnete einfaktorielle ANOVA mit dem vierstufigen Prädiktor TRAINING vor ($F(3, 82) = 8,38$; $p < 0,0001$) und nach dem Training ($F(3, 82) = 6,87$; $p < 0,0005$) ein hoch signifikanter Haupteffekt für Training. Der Post-hoc-Tukey-Test zeigt, dass die Kontrollgruppe vor ($\sim p < 0,005$) und nach dem Training ($\sim p < 0,05$) signifikant besser war als die anderen Gruppen, welche sich jedoch untereinander in ihrer Leistung weder vor noch nach dem Training unterschieden ($p \sim 0,9$).

6.2.6 ZLT Zeit: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS

Im Gegensatz zum Prozentwert der richtig gelesenen Wörter im ZLT gab es für die Lesezeit im ZLT in der ANOVA mit Messwiederholung eine signifikante 2-fach Interaktion für ZEIT x GRUPPE ($F(1,84) = 8,23$; $p < 0,01$; s. Abb. 6.5).

Der Post-hoc-Test zeigt, dass sich die Probanden mit LRS durch das Training hochsignifikant verbessert haben (von 1,18 auf 1,41 Wörtern pro Sekunde; $p < 0,001$). Für die Kontrollprobanden ergab sich wie erwartet keine signifikante

Verbesserung (prä: 0,62, post: 0,68 Wörter pro Sekunde). Der Unterschied in der Geschwindigkeit des Lesens zwischen den Kontrollen und den Probanden mit LRS war vor dem Training sehr deutlich ($p < 0,005$), erreichte jedoch nach dem Training „nur“ noch ein Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$.

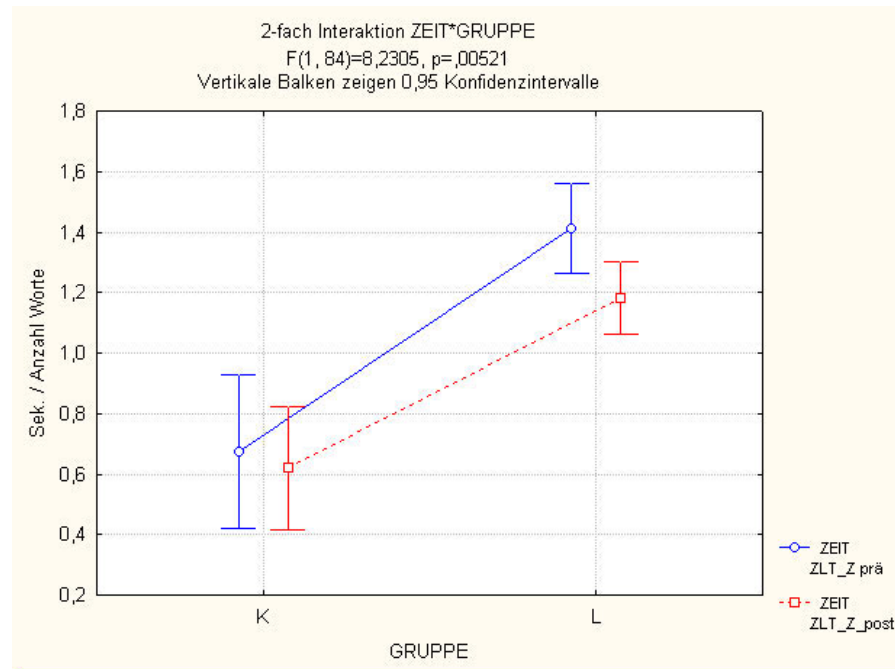


Abb. 6.5: 2-fach Interaktion ZEIT x GRUPPE für die Lesezeit im ZLT (K= Kontrollprobanden, L= Probanden mit LRS)

6.2.7 ZLT Zeit: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen

Auch die 2-fach Interaktion ZEIT x TRAINING mit Messwiederholung mit dem vierstufigen Prädiktor TRAINING wurde signifikant ($F(3,82)=3,06$; $p < 0,05$; s. Abb. 6.6).

Der Post-hoc Test zeigt, dass alle drei Trainingsgruppen bei der Posttestung signifikant schneller waren als bei der Prätestung (Marburger Training prä: 1,11, post 1,34 Wörter pro Sekunde, $p < 0,001$; Computertaining prä: 1,23, post: 1,44 Wörter pro Sek., $p < 0,01$; Buschmanntraining prä: 1,21, post: 1,41 Wörter pro Sek., $p < 0,005$). Für die Kontrollgruppe ergab sich keine signifikante Verbesserung. Vor dem Training unterschieden sich nur die Gruppen Buschmanntraining und Computertaining signifikant von der Kontrollgruppe (jeweils $p < 0,05$), der Unterschied von der Kontrollgruppe zur Gruppe Marburgertraining verpasste das 5%-Signifikanzniveau knapp. Nach dem Training gab es keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen den Gruppen.

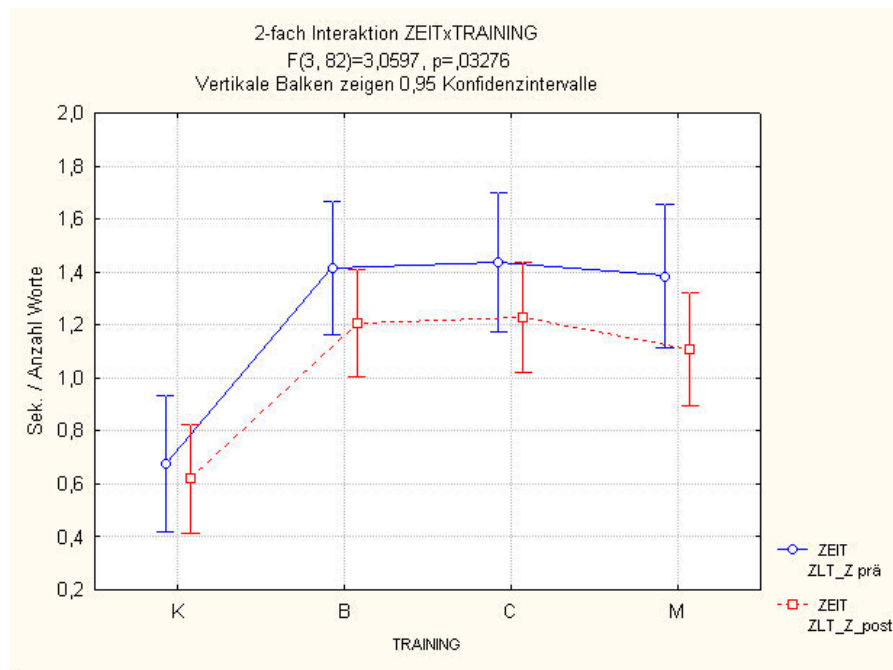


Abb. 6.6: 2-fach Interaktion ZEIT x TRAINING für die Lesezeit im ZLT
 (K= Kontrollprobanden, B= Buschmanntraining, C= Computertraining,
 M= Marburger Rechtschreibtraining)

Der Post-hoc-Test für den signifikanten Haupteffekt TRAINING der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variablen DIFFERENZ ergab nur für das Marburger Rechtschreibtraining im Vergleich zur Kontrollgruppe einen signifikanten Unterschied im Trainingseffekt für die Lesegeschwindigkeit ($p<0,05$).

6.2.8 Wortlesetest Fehler: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS und Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen

Für den Prozentwert der erreichten Punkte im Wortidentifikationstest ergaben sich in der ANOVA mit Messwiederholung weder mit dem Prädiktor Gruppe noch dem Prädiktor TRAINING signifikante Interaktionen.

In der getrennt für prä und post berechneten einfaktoriellen ANOVA mit dem zweistufigen Prädiktor GRUPPE (Legastheniker, Kontrollprobanden) ergab sich vor ($F(1, 84)= 33,6; p<0,0001$) und nach dem Training ($F(1, 84)= 42,171; p<0,0001$) ein hochsignifikanter Haupteffekt für Gruppe. Die Kontrollgruppe war also sowohl vor (90% der maximalen Punktzahl) als auch nach der Trainingsperiode (94% der maximalen Punktzahl) hochsignifikant besser als die Gruppe der Legastheniker (prä: 75%, post: 78% der max. Punktzahl), aber es konnte kein Trainingseffekt gezeigt werden.

Auch in der getrennt für prä und post berechneten einfaktoriellen ANOVA mit dem vierstufigen Prädiktor TRAINING ergab sich vor ($F(3, 82) = 12,3$; $p < 0,0000$) und nach dem Training ($F(3, 82) = 15,9$; $p < 0,0000$) ein hochsignifikanter Haupteffekt für TRAINING. Der Post-hoc-Test zeigt, dass die Kontrollgruppe sowohl vor (mindestens $p < 0,005$) als auch nach dem Training ($p < 0,0005$) signifikant besser war als die anderen Gruppen, welche sich untereinander weder vor noch nach dem Training unterschieden.

6.2.9 Wortlesetest Zeit: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS

Wie beim ZLT konnte auch beim Wortidentifikationstest nur für die Lesegeschwindigkeit und nicht für die Anzahl der richtig gelesenen Wörter in der ANOVA mit Messwiederholung eine signifikante 2-fach Interaktion für ZEIT x GRUPPE ($F(1,84) = 5,18$; $p < 0,05$; s. Abb. 6.7) erreicht werden.

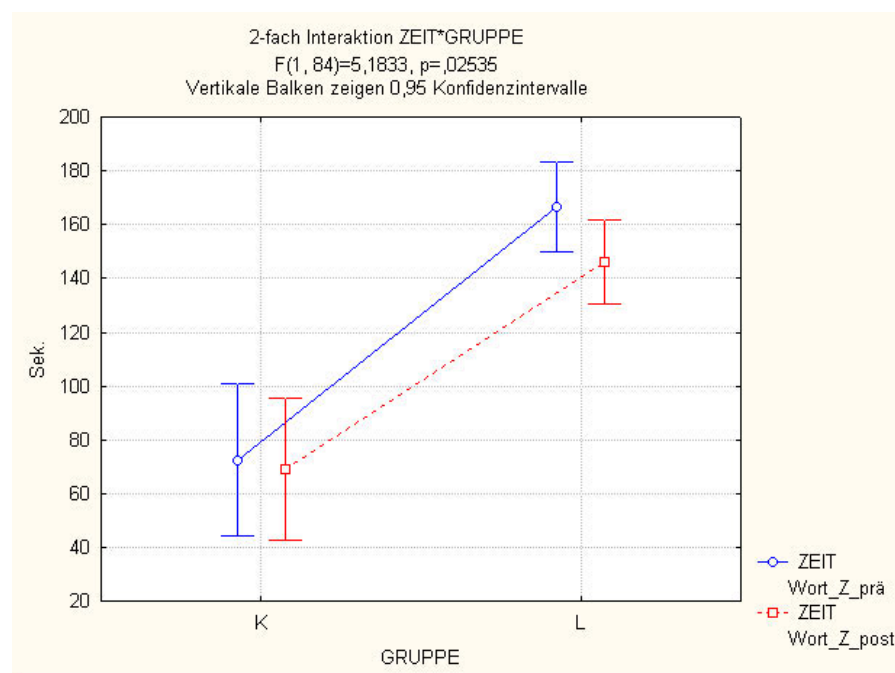


Abb. 6.7: 2-fach Interaktion ZEIT x GRUPPE für die Lesezeit im Wortidentifikationstest (K= Kontrollprobanden, L= Probanden mit LRS)

Der Post-hoc-Test zeigt auch hier, dass sich die Probanden mit LRS durch das Training von 167s auf 146s hochsignifikant verbessert haben ($p < 0,001$). Für die Kontrollprobanden ergab sich wieder keine signifikante Verbesserung (prä: 72s, post: 69s). Der Unterschied zwischen den Kontrollen und den Probanden mit LRS war in

der Geschwindigkeit des Lesens vor dem Training hoch signifikant ($p < 0,001$), verringerte sich nach dem Training aber nur wenig ($p < 0,01$).

6.2.10 Wortlesetest Zeit: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen

Wurden die einzelnen Trainingsgruppen in der ANOVA berücksichtigt, erreichte die 2-fach Interaktion ZEIT x GRUPPE und dem vierstufigen Prädiktor GRUPPE keine Signifikanz mehr. Es gab also keine spezifischen Effekte für die einzelnen Trainingsgruppen.

Wurde die ANOVA für die beiden Zeitpunkte getrennt gerechnet, ergab die einfaktorielle ANOVA mit dem vierstufigen Prädiktor TRAINING vor ($F(3, 82) = 10,6$; $p < 0,0001$) und nach dem Training ($F(3, 82) = 8,4$; $p < 0,0001$) einen hochsignifikanten Haupteffekt für TRAINING. Der Post-hoc-Tukey-Test zeigt, dass die Kontrollgruppe sowohl vor (mindestens $p < 0,0001$) als auch nach dem Training (mindestens $p < 0,001$) signifikant besser war als die anderen Gruppen, welche sich untereinander jedoch weder vor noch nach dem Training unterschieden.

6.2.11 Pseudowörterlesetest Fehler: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS und Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen

Wie beim Wortidentifikationstest gab es auch für den Prozentwert der maximal erreichbaren Punktzahl beim Pseudowörterlesen in der ANOVA mit Messwiederholung weder mit dem Prädiktor GRUPPE noch mit dem Prädiktor TRAINING signifikante Interaktionen.

In der getrennt für prä und post berechneten einfaktoriellen ANOVA mit dem zweistufigen Prädiktor GRUPPE (Legastheniker, Kontrollprobanden) ergab sich vor ($F(1, 84) = 38,8$; $p < 0,0001$) und nach dem Training ($F(1, 84) = 33,1$; $p < 0,0001$) ein hochsignifikanter Haupteffekt für GRUPPE. Die Kontrollgruppe war also sowohl vor (75% der max. Punktzahl) als auch nach der Trainingsperiode (76% der max. Punktzahl) hochsignifikant besser als die Gruppe der Legastheniker (prä: 52%, post: 54% der max. Punktzahl) und keine der Gruppen konnte sich signifikant verbessern. Auch in der getrennt für prä und post berechneten einfaktoriellen ANOVA mit dem vierstufigen Prädiktor TRAINING ergab sich vor ($F(3, 82) = 13,3$; $p < 0,0000$) und nach dem Training ($F(3, 82) = 12,0$; $p < 0,0000$) ein hochsignifikanter Haupteffekt für TRAINING. Der Post-hoc-Tukey-Test zeigt, dass die Kontrollgruppe sowohl vor

($p < 0,0005$) als auch nach dem Training (mindestens $p < 0,005$) signifikant besser war als die anderen Gruppen, welche sich untereinander jedoch weder vor noch nach dem Training unterschieden.

6.2.12 Pseudowörterlesetest Zeit: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS

Auch beim Pseudowörterlesetest konnte nur für die Lesegeschwindigkeit und nicht für die erreichte Punktzahl in der ANOVA mit Messwiederholung eine signifikante 2-fach Interaktion für ZEIT x GRUPPE ($F(1,84)=5,65$; $p < 0,05$; s. Abb. 6.8) erreicht werden.

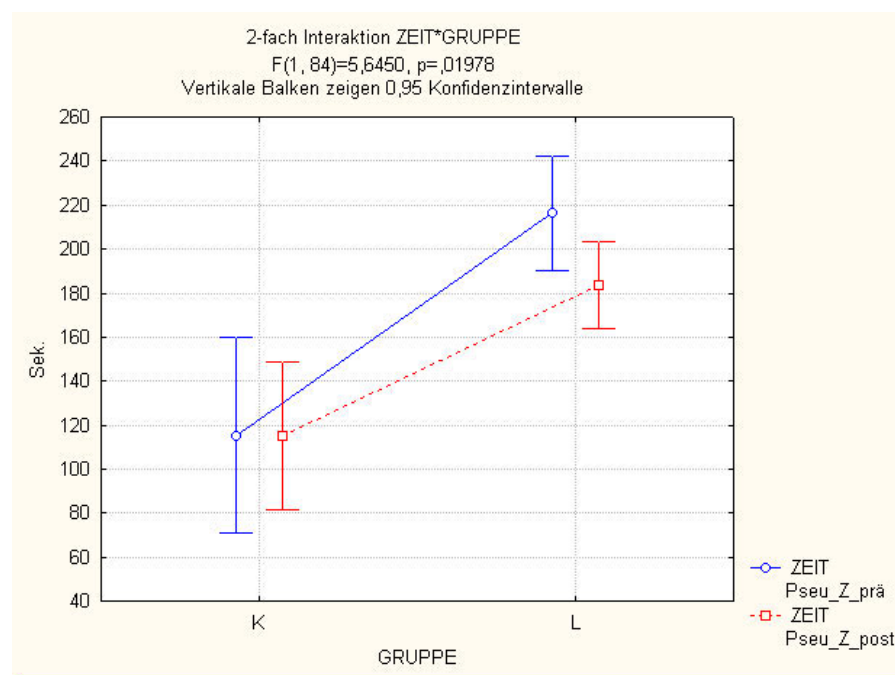


Abb. 6.8: 2-fach Interaktion ZEIT x GRUPPE für die Lesezeit beim Pseudowörterlesen (K= Kontrollprobanden, L= Probanden mit LRS)

Der Post-hoc-Test zeigt, dass sich die Probanden mit LRS in der Lesegeschwindigkeit der Pseudowörter (wie in der Lesegeschwindigkeit im Wortlesetest) durch das Training hochsignifikant verbessern konnten (von 216s auf 183s; $p < 0,001$). Für die Kontrollprobanden ergab sich wie erwartet keine signifikante Verbesserung (prä und post: 115s). Der Unterschied zwischen den Kontrollen und den Probanden mit LRS war in der Lesegeschwindigkeit der Pseudowörter vor dem Training deutlich signifikant ($p < 0,01$), nach dem Training konnte jedoch kein signifikanter Unterschied mehr festgestellt werden.

6.2.13 Pseudowörterlesetest Zeit: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen

Im Gegensatz zur Lesegeschwindigkeit beim Wortidentifikationstest erreichte bei der Lesegeschwindigkeit im Pseudowörterlesetest auch die 2-fach Interaktion ZEIT x TRAINING mit dem vierstufigen Prädiktor TRAINING das Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ ($F(3,82)=2,97$; $p<0,05$; s. Abb. 6.9).

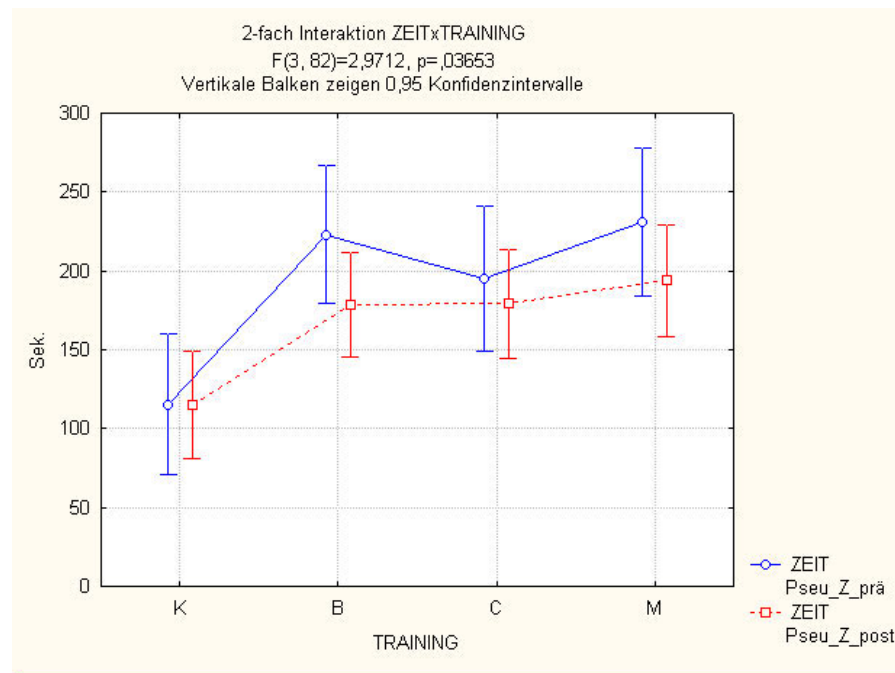


Abb. 6.9: 2-fach Interaktion ZEIT x TRAINING für die Lesezeit beim Pseudowörterlesen (K= Kontrollprobanden, B= Buschmanntraining, C= Computertraining, M= Marburger Rechtschreibtraining)

Der Post-hoc-Test zeigt, dass die signifikante Verbesserung der gesamten Gruppe mit LRS hauptsächlich auf die Verbesserung der Buschmanngruppe zurückzuführen ist, die sich als einzige hochsignifikant verbessert hat (von 223s auf 179s; $p<0,005$). Die Gruppe Marburgertraining verpasste das Signifikanzniveau knapp (von 231s auf 194s, $p=0,06$) und die Gruppe Computertraining deutlich (von 195s auf 179s, $p=0,89$). Sowohl vor als auch nach dem Training las die Kontrollgruppe die Pseudowörter nicht signifikant schneller als die verschiedenen Trainingsgruppen, die sich auch untereinander zu beiden Zeitpunkten in ihrer Lesegeschwindigkeit nicht signifikant unterschieden haben. Der Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe Marburger Rechtschreibtraining vor dem Training erreichte jedoch fast das Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ ($p=0,07$).

Der Post-hoc-Test für den signifikanten Haupteffekt TRAINING der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variablen DIFFERENZ ergab nur für das Buschmanntraining im Vergleich zur Kontrollgruppe einen signifikanten Unterschied im Trainingseffekt für die Lesegeschwindigkeit der Pseudowörter ($p < 0,05$).

6.2.14 Mottiertest: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS und Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen

Für den Prozentwert der richtig nachgesprochenen Wörter im Mottiertest ergaben sich weder mit dem Prädiktor GRUPPE noch mit dem Prädiktor TRAINING signifikante Interaktionen in der ANOVA mit Messwiederholung.

In der getrennt für prä und post berechneten einfaktoriellen ANOVA mit dem zweistufigen Prädiktor GRUPPE (Legastheniker, Kontrollprobanden) ergab sich vor ($F(1, 84) = 22,6$; $p < 0,0001$) und nach dem Training ($F(1, 84) = 51,7$; $p < 0,0001$) ein hochsignifikanter Haupteffekt für GRUPPE. Die Kontrollgruppe war also sowohl vor (83% richtig) als auch nach der Trainingsperiode (86% richtig) hochsignifikant besser als die Gruppe der Legastheniker (prä: 66%, post: 71% richtig) und es konnte kein signifikanter Trainingseffekt gezeigt werden.

Auch in der getrennt für prä und post berechneten einfaktoriellen ANOVA mit dem vierstufigen Prädiktor TRAINING ergab sich vor ($F(3, 82) = 8,14$; $p < 0,0001$) und nach dem Training ($F(3, 82) = 8,9$; $p < 0,0001$) ein hochsignifikanter Haupteffekt für TRAINING. Der Post-hoc-Tukey-Test zeigt, dass sich die Kontrollgruppe vor dem Training nur auf 5%-Signifikanzniveau von der Buschmanngruppe unterschieden hat (K: 83% vs. B: 69%), während der Unterschied zu den beiden anderen LRS-Gruppen das 0,1%-Signifikanzniveau erreicht hat (C: 65%, M: 63%). Nach dem Training war der Unterschied in der Leistung im Mottiertest zwischen der Computertrainingsgruppe (74%) und der Kontrollgruppe (87%) nicht mehr so stark ($p < 0,05$), während der Unterschied von der Kontrollgruppe zur Buschmanngruppe (72%) gewachsen ist ($p < 0,005$) und der Unterschied zur Marburgergruppe (66%) gleich groß blieb ($p < 0,001$).

6.2.15 Lauttreues Diktat: Vergleich der Leistung der Kontrollprobanden und der Probanden mit LRS und Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen

Beim lauttreuen Diktat konnte für den Prozentwert der richtig geschriebenen Wörter in der ANOVA mit Messwiederholung keine signifikante zweifach Interaktion für ZEIT x GRUPPE erreicht werden.

Dagegen erreichte hier die Zweifachinteraktion ZEIT x TRAINING mit dem vierstufigen Prädiktor TRAINING das Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ ($F(3,82)=3,84$; $p<0,05$; s. Abb. 6.10).

Der Post-hoc-Test zeigt, dass die signifikante Interaktion ZEIT x TRAINING lediglich auf die hochsignifikante Verbesserung beim Marburger Rechtschreibtraining von 72% auf 78% richtig geschriebener Worte zurückzuführen ist ($p<0,001$). Alle anderen Verbesserungen waren weit von der Signifikanzgrenze entfernt.

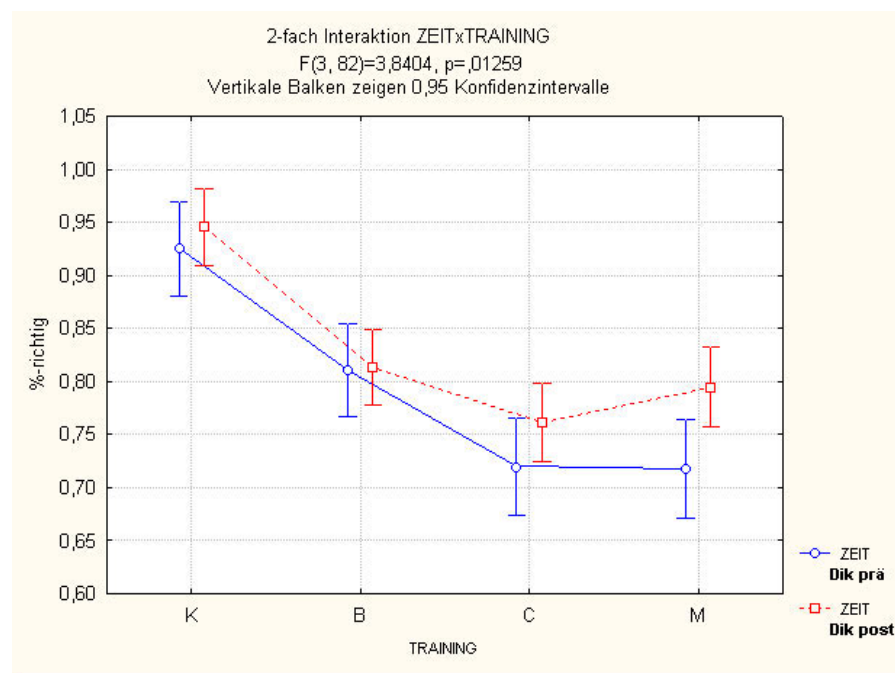


Abb. 6.10: Zweifachinteraktion ZEIT x TRAINING für das lauttreue Diktat (K= Kontrollprobanden, B= Buschmanntraining, C= Computertraining, M= Marburger Rechtschreibtraining)

Vor dem Training unterschieden sich die Marburger Gruppe und die Computergruppe (beide 72% richtig), nicht aber die Buschmanngruppe (81% richtig) signifikant von der Kontrollgruppe (93% richtig; $p<0,001$).

Entgegen der Erwartung konnte sich die Gruppe Buschmanntraining durch das Training nicht verbessern (post auch 81% richtig), so dass sich nach dem Training alle Trainingsgruppen signifikant von der etwas verbesserten Kontrollgruppe (95%

richtig) unterschieden (Marburger Training: 78%: $p < 0,005$, Computertraining: 76%: $p < 0,001$, Buschmanntraining: 81%: $p < 0,05$).

Der Post-hoc-Tukey-Test für den signifikanten Haupteffekt TRAINING der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variablen DIFFERENZ ergab bei keiner Trainingsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe einen signifikanten Unterschied in der Verbesserung im Diktat, jedoch unterschied sich die Verbesserung zwischen der Marburger Gruppe (Verbesserung um 6%) und der Buschmanngruppe (keine Verbesserung) signifikant ($p < 0,05$).

Bei einer strikt lautgetreuen Auswertung der Diktate erreichte die Interaktion ZEIT x TRAINING keine Signifikanz mehr, die Verhältnisse zwischen den einzelnen Gruppen sind aber ganz ähnlich wie bei der nicht strikt lautgetreuen Auswertung der Diktate.

6.2.16 Kategoriale Wahrnehmung

6.2.16.1 Kategoriale Wahrnehmung für das /ba/-/da/-Kontinuum

Abbildung 6.11 zeigt die Darstellung der Identifikationsfunktion für die drei Trainings- und die Kontrollgruppe für das /ba/-/da/-Kontinuum vor dem Training.

Die Kontrollgruppe (Kon) reagierte auf die Silben 1-5 zu 89% (Silbe 5) bis 96% (Silbe 3) mit der /ba/-Taste und für die Silben 7-10 zu 77% (Silbe 7) bis 90% (Silben 9, 10) mit der /da/-Taste. Bei der Silbe 6 reagierten die Kontrollprobanden zu 54% mit der /ba/-Taste und zu 43% mit der /da/-Taste ¹.

Bei Silbenstufe 6 scheint also der Wechsel in der Wahrnehmung von der Kategorie /ba/ zur Kategorie /da/ stattzufinden. Auch für die Buschmanngruppe (Bu) erfolgt der Kategorienwechsel bei Silbe 6 (48% /ba/, 46% /da/), für die Gruppen Computertraining und Marburgertraining etwas später (zwischen Silbe 6 und Silbe 7: Com: Silbe 6: 56% /ba/, 38% /da/; Silbe 7: 32% /ba/, 62% /da/; Mar: Silbe 6: 58% /ba/, 32% /da/; Silbe 7: 25% /ba/, 67% /da/). Der Wechsel in der Wahrnehmung von der Kategorie /ba/ zur Kategorie /da/ findet also für alle Gruppen im Bereich der selben Silbenstufe statt.

Größere Unterschiede gab es dagegen in der Zuverlässigkeit der Kategorisierung der Silben. Die Silben 1-5 wurden von der Kontrollgruppe im Durchschnitt zu 95,5% als /ba/ wahrgenommen, während dies nur zu 77,4 % bei der Buschmanngruppe, zu

¹ die Differenz von 3% erklärt sich (wie bei allen anderen Prozentvergleichen bei der kategorialen Wahrnehmung) durch Silben, auf die keine Reaktion erfolgte

74,7% bei der Computertrainingsgruppe und zu 81,6% bei der Marburger Gruppe der Fall war. Entsprechend wurden die Silben 8-10 von der Kontrollgruppe im Durchschnitt zu 89,6% als /da/ wahrgenommen, während die Buschmanngruppe diese Silben nur zu 76,7%, die Computergruppe nur zu 72,7% und die Marburger Gruppe zu 82% als /da/ beurteilt hatten.

Nach dem Training (Abbildung 6.12) erfolgte der Wechsel der Wahrnehmungskategorie für alle Gruppen schon bei der Silbe 6 (Kon: 43% /ba/, 56% /da/, Mar: 51% /ba/, 43% /da/, Com: 48% /ba/, 43% /da/), für die Buschmanngruppe sogar zwischen Silbe 5 (74% /ba/, 20 % /da/) und Silbe 6 (36% /ba/, 60% /da/). Die Silbe 7 wurde nach dem Training von allen Gruppen zuverlässig als /da/ wahrgenommen (Bu: 77%, Com: 71%, Kon: 79%, Mar: 66%).

Der Vergleich der Zuverlässigkeit der Kategorisierung zwischen den Gruppen erfolgte aber wieder für die Silben 1-5 und 8-10, um besser mit den entsprechenden Werten vor dem Training vergleichen zu können. Wie erwartet veränderte sich die Wahrnehmung der Silben /ba/ und /da/ bei der Kontrollgruppe kaum (/ba/: von 92,5% auf 93,2%, /da/: von 89,6% auf 92,8%). Ebenso änderte sich bei der Marburger Gruppe die Zuverlässigkeit der Wahrnehmung des /ba/ nicht (prä und post 81,6%), die Zuverlässigkeit der Kategorisierung des /da/ verschlechterte sich dagegen (von 82% auf 74,2%). Für die Buschmanngruppe (/ba/: von 77,4% auf 80,4%, /da/: von 76,7% auf 81,4%) und vor allem für die Computertrainingsgruppe (/ba/: von 74,7% auf 85,7%, /da/: von 72,7% auf 79,2%) gab es deutliche Verbesserungen.

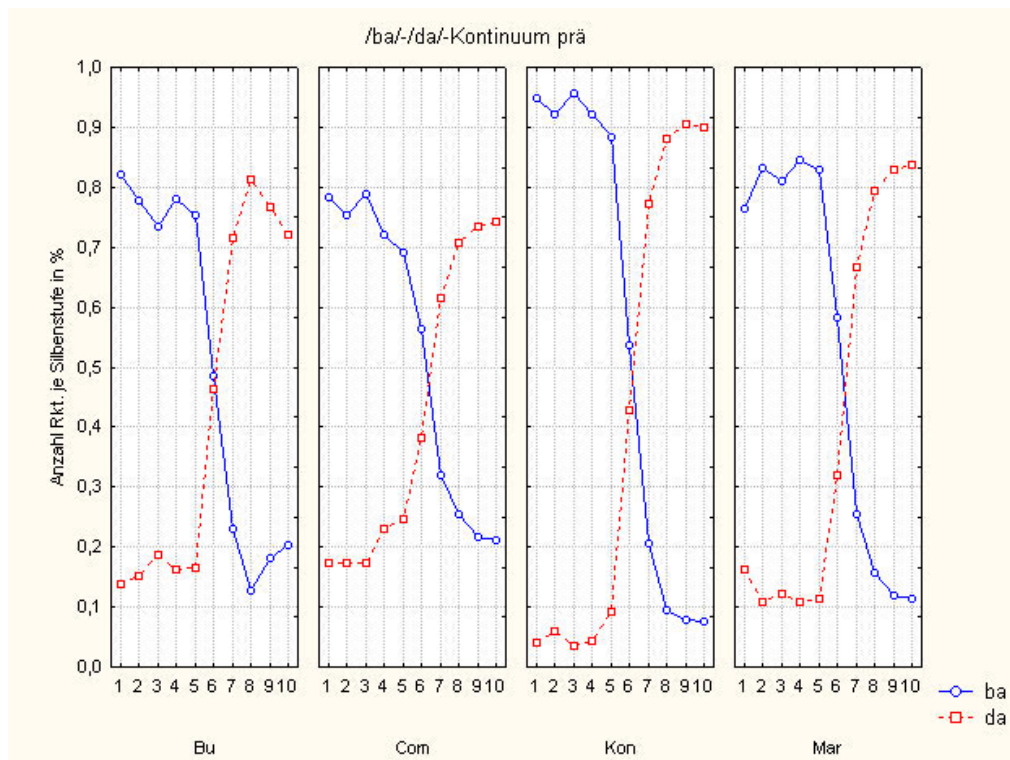


Abb. 6.11: Darstellung der Identifikationsfunktion des /ba-/da/-Kontinuums für die drei Trainingsgruppen (Bu, Com, Mar) und die Kontrollgruppe (Kon) **vor** dem Training

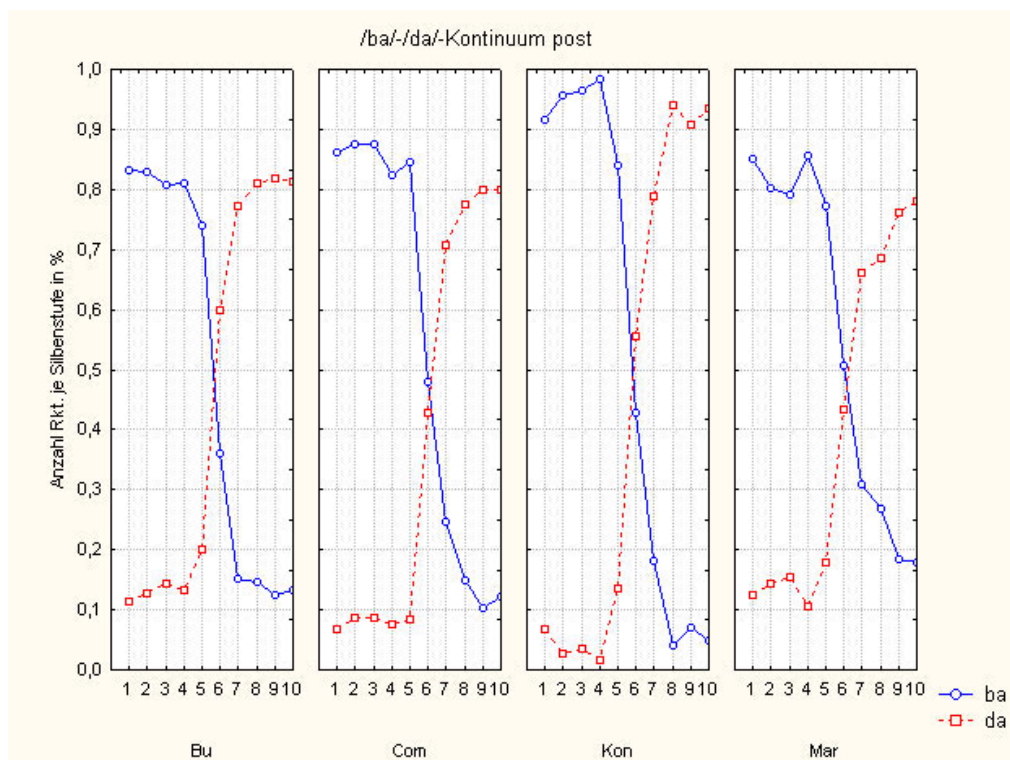


Abb. 6.12: Darstellung der Identifikationsfunktion des /ba-/da/-Kontinuums für die drei Trainingsgruppen (Bu, Com, Mar) und die Kontrollgruppe (Kon) **nach** dem Training

6.2.16.2 /ba/-/da/-Kontinuum: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen

Je nachdem, welche Silbenstufe man für den Wechsel der Wahrnehmungskategorien zu Grunde legt (die vor oder die nach dem Training) kommt es beim Vergleich von vor dem Training zu nach dem Training zu unterschiedlichen Durchschnittsprozentwerten für die Zuverlässigkeit der Kategorisierung. Deshalb wurde für die ANOVA mit Messwiederholung jeweils die Fläche zwischen der /ba/- und der /da/-Kurve berechnet, um zu überprüfen, durch welches Training die kategoriale Wahrnehmung am stärksten verbessert werden kann. Je größer die Fläche, desto zuverlässiger die kategoriale Wahrnehmung der Silben (zur Berechnung der Fläche vgl. 5.3.8).

In der ANOVA mit Messwiederholung für den Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und allen Probanden mit LRS konnte für die zweifach Interaktion ZEIT x GRUPPE keine Signifikanz erreicht werden. Lediglich in der getrennt für prä und post berechneten einfaktoriellen ANOVA mit dem zweistufigen Prädiktor GRUPPE (Legastheniker, Kontrollprobanden) ergab sich vor ($F(1, 79) = 19,45$; $p < 0,0001$) und nach dem Training ($F(1, 78) = 11,7$; $p < 0,001$) ein hochsignifikanter Haupteffekt für GRUPPE. Die Kontrollgruppe war bei der Kategorisierung der Silben also sowohl vor als auch nach der Trainingsperiode signifikant besser als die Gruppe der Legastheniker.

Wurde stattdessen der Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und den verschiedenen Trainingsgruppen untersucht, erreichte die Zweifachinteraktion ZEIT x TRAINING mit dem vierstufigen Faktor TRAINING das Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ ($F(3,74) = 3,15$; $p < 0,05$; s. Abb. 6.13).

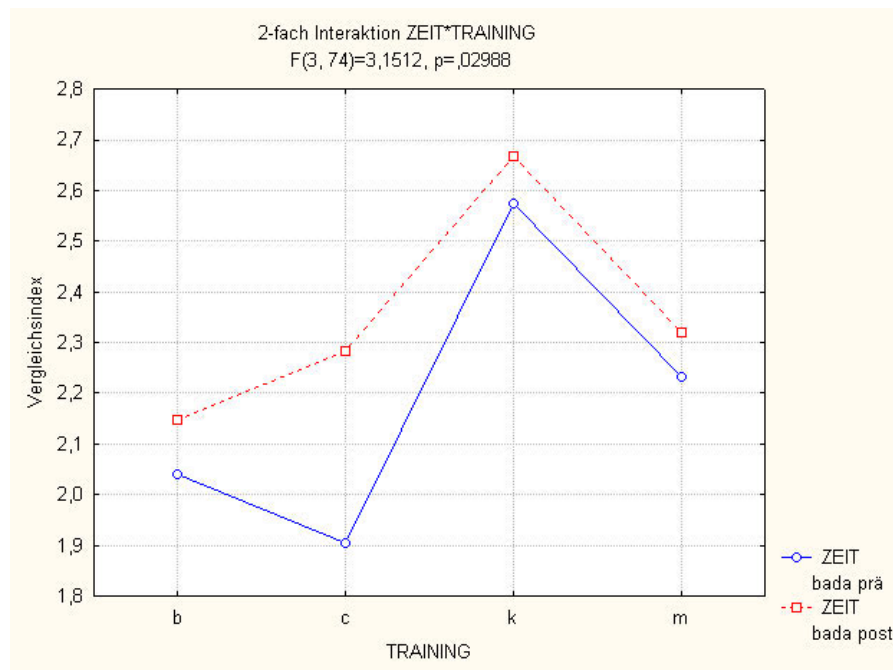


Abb. 6.13: Zweifachinteraktion ZEIT x TRAINING für das /ba-/da/-Kontinuum (K= Kontrollprobanden, B= Buschmanntraining, C= Computertraining, M= Marburger Rechtschreibtraining)

Der Post-hoc-Tukey-Test zeigt, dass sich lediglich die Gruppe Computertraining signifikant durch das Training verbessert hat ($p < 0,001$). Außerdem unterschieden sich vor dem Training nur die Gruppe Computertraining und die Kontrollgruppe signifikant ($p < 0,05$). Nach dem Training gab es gar keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen mehr.

6.2.16.3 Kategoriale Wahrnehmung für das /da-/ga/-Kontinuum

Für das /da-/ga/-Kontinuum erfolgte der Wechsel in der Wahrnehmung der Kategorie /da/ zur Kategorie /ga/ später als für den entsprechenden Wechsel beim /ba-/da/-Kontinuum. Für die Buschmanngruppe und die Computergruppe erfolgte der Wechsel kurz nach Silbe 8 (/da/: 51%, /ga/: 46% bzw. /da/: 52% und /ga/: 41%) und für die Kontrollgruppe und die Marburger Gruppe kurz vor Silbe 8 (/da/: 38%, /ga/: 60% bzw. /da/: 42% und /ga/: 54%). Der Kategorienwechsel fand also auch hier für alle Gruppen im Bereich der gleichen Silbenstufe statt (siehe Abb. 6.14).

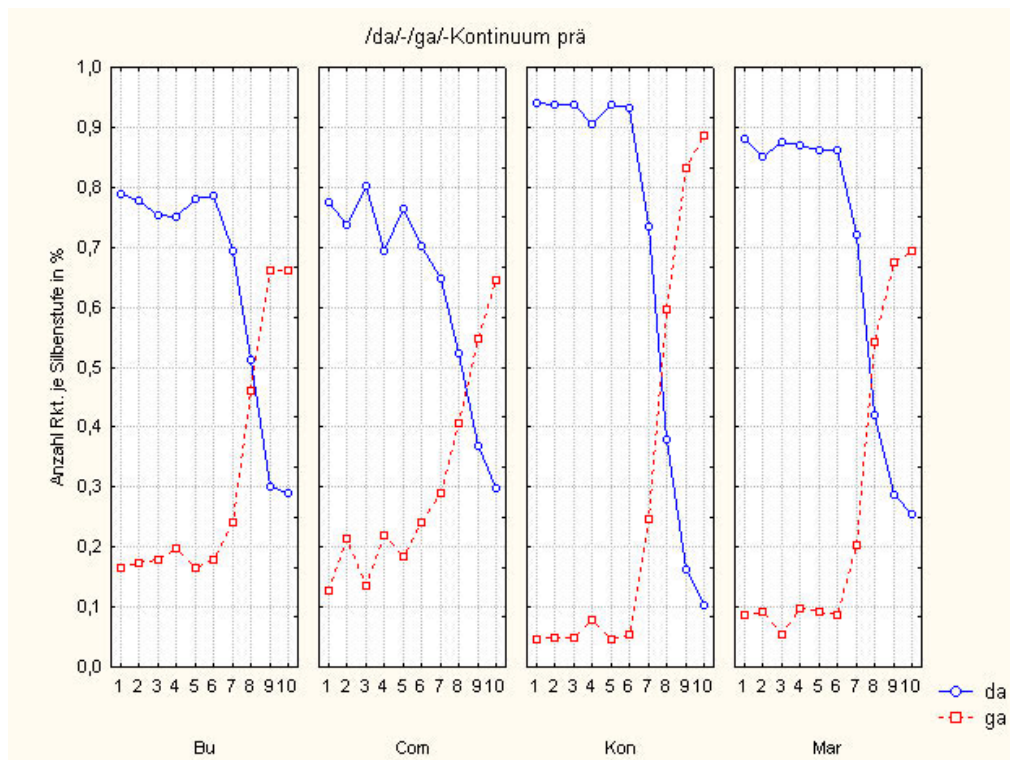


Abb. 6.14: Darstellung der Identifikationsfunktion des /da/-/ga/-Kontinuums für die drei Trainingsgruppen (Bu, Com, Mar) und die Kontrollgruppe (Kon) **vor** dem Training

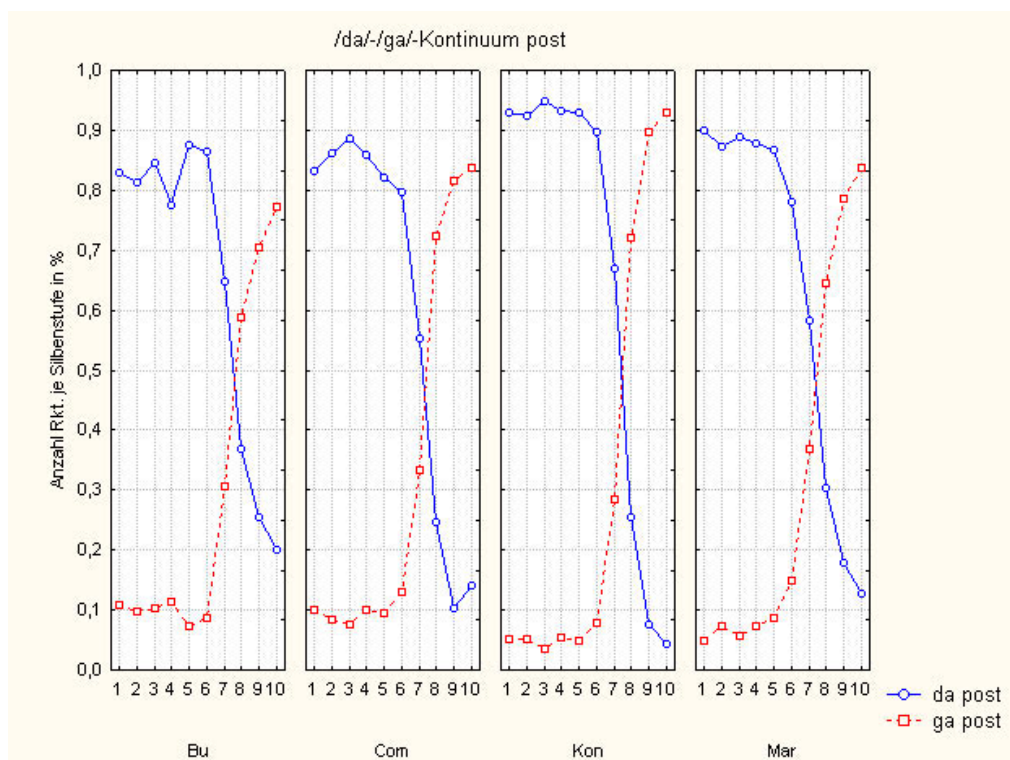


Abb. 6.15: Darstellung der Identifikationsfunktion des /da/-/ga/-Kontinuums für die drei Trainingsgruppen (Bu, Com, Mar) und die Kontrollgruppe (Kon) **nach** dem Training

Aber auch beim /da-/ga/-Kontinuum gab es zwischen den Gruppen große Unterschiede in der Zuverlässigkeit der Kategorisierung. Fasst man auf Grundlage der Abbildung 3.14 die Silben 1-6 zusammen, die von allen Gruppen eindeutig als /da/ kategorisiert wurden, so reagierte die Kontrollgruppe im Schnitt über die sechs Silben zu 93,2% mit /da/, wogegen die Buschmanngruppe auf diese Silben nur zu 77,3% mit /da/ reagierte, die Computergruppe zu 74,6% und die Marburger Gruppe zu 86,6%. Entsprechend wurden die Silben 9 und 10 von der Kontrollgruppe im Durchschnitt zu 86% als /ga/ wahrgenommen, während es bei der Buschmanngruppe nur 66,3%, bei der Computergruppe 59,7% und bei der Marburgergruppe 68,5% waren.

Nach dem Training (Abb. 6.15) hat sich der Wechsel der Wahrnehmungskategorie für die Buschmanngruppe und die Computergruppe leicht nach vorne verschoben (Bu: Silbe 7: 65% /da/, 31% /ga/, Silbe 8: 37% /da/, 59% /ga/; Com: Silbe 7: 55% /da/, 33% /ga/; Silbe 8: 25% /da/, 73% /ga/), so dass der Wechsel in der Wahrnehmung von /da/ zu /ga/ bei allen Gruppen zwischen Silbenstufe 7 und 8 stattfand (Kon: Silbe 7: 67% /da/, 29% /ga/; Silbe 8: 25% /da/, 72% /ga/; Mar: Silbe 7: 58% /da/, 37% /ga/, Silbe 8: 30% /da/, 65% /ga/).

Der Vergleich der Zuverlässigkeit der kategorialen Wahrnehmung vor und nach dem Training für /da/ (Silbenstufe 1-6) und /ga/ (Silbenstufe 8-9) zeigt, dass sich die Buschmann- und die Computergruppe trotz des früheren Shifts für die Silbe /da/ verbessert haben (Bu: von 77,3% auf 83,4%, Co: von 74,6% auf 84,3%), während die Marburger und die Kontrollgruppe ihr höheres Niveau halten konnten (Mar: von 86,6% auf 86,5%; Kon: von 93,2% auf 92,7%). Für die Silbe /ga/ haben sich alle Trainingsgruppen deutlich verbessert, am meisten jedoch die Computergruppe von 59,7% auf 82,8% (Buschmanngruppe von 66,3% auf 73,9%, Marburgergruppe von 68,5% auf 81,3%). Die Verbesserung der Kontrollgruppe von 86% auf 91,3% fiel im Vergleich zu den Trainingsgruppen gering aus.

Beim /da-/ga/-Kontinuum fällt vor dem Training besonders im Vergleich zum /ba-/da/-Kontinuum die geringe Zuverlässigkeit in der Wahrnehmung der zweiten Silbe durch die Probanden mit LRS auf: Während beim /ba-/da/-Kontinuum das /da/ über die LRS-Gruppen und die Silbenstufen 8-10 noch zu 77,1% als /da/ kategorisiert wurde, erreichte das /ga/ beim /da-/ga/-Kontinuum für die LRS-Gruppen über die Stufen 9 und 10 nur 64,8%, ohne dass dieser Unterschied bei der Kontrollgruppe deutlich geworden wäre (/da/ aus dem /ba-/da/-Kontinuum: 89,6%, /ga/: 86%). Nach

dem Training bestand dieser Unterschied auf Grund der extremen Verbesserung der LRS-Gruppen für die Kategorie /ga/ nicht mehr: die durchschnittliche Zuverlässigkeit für das /ga/ betrug jetzt für die LRS-Gruppen 79,3%, während sie für das /da/ aus dem /ba/-/da/-Kontinuum 78,3% betrug.

6.2.16.4 /da/-/ga/-Kontinuum: Vergleich der Leistung aller Untersuchungsgruppen

Auch für die statistische Analyse des /da/-/ga/-Kontinuums wurde die Fläche zwischen den Kurven berechnet.

In der ANOVA mit Messwiederholung für den Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und allen Probanden mit LRS konnte für die zweifach Interaktion ZEIT x GRUPPE keine Signifikanz erreicht werden. Lediglich in der getrennt für prä und post berechneten einfaktoriellen ANOVA mit dem zweistufigen Prädiktor GRUPPE (Legastheniker, Kontrollprobanden) ergab sich vor dem Training ein hochsignifikanter Haupteffekt für GRUPPE. ($F(1, 78) = 12,35$; $p < 0,001$). Nach dem Training war der Unterschied immer noch signifikant, erreichte jedoch nur noch das 5%-Signifikanzniveau ($F(1, 78) = 5,83$; $p < 0,05$). Die Kontrollgruppe war bei der Kategorisierung der Silben also sowohl vor als auch nach der Trainingsperiode signifikant besser als die Gruppe der Legastheniker.

Auch die Zweifachinteraktion ZEIT x TRAINING mit dem vierstufigen Faktor TRAINING für den Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und den verschiedenen Trainingsgruppen erreichte für das /da/-/ga/-Kontinuum keine Signifikanz.

Wurden die vier Gruppen jedoch vor dem Training verglichen, ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für TRAINING ($F(3,76) = 4,62$; $p < 0,01$). Der Post-hoc-Tukey-Test zeigt, dass die Buschmann- und die Computergruppe vor dem Training bei der kategorialen Wahrnehmung des /da/ und /ga/ signifikant schlechter waren als die Kontrollgruppe ($p < 0,05$ bzw. $p < 0,01$).

Nach dem Training erreichte der Haupteffekt für TRAINING knapp keine Signifikanz mehr, es gab also keine statistisch belegbaren Unterschiede mehr zwischen allen Gruppen.

6.2.17 Zusammenfassung der Hauptergebnisse aus der Varianzanalyse

Eine Hauptfragestellung dieser Studie war, durch welches Training in welchen Tests signifikante Leistungsverbesserungen erzielt werden können. Tabelle 6.1 zeigt die Tests, in denen es für mindestens eine Trainingsgruppe eine signifikante Leistungsverbesserung von nach zu vor dem Training gegeben hat.

	LRS	Buschmann	Computer	Marburger
SPM	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,05	ns
DRT	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,001	p< 0,001
ZLT_Zeit	p< 0,001	p< 0,005	p< 0,01	p< 0,001
Wort_Zeit	p< 0,001	ns	ns	ns
Pseu_Zeit	p< 0,001	p< 0,005	ns	ns
Diktat	ns	ns	ns	p< 0,001
/ba/-/da/	ns	ns	p< 0,001	ns

Tab. 6.1: Tabellarische Zusammenfassung der signifikanten Leistungsverbesserungen aus den Post-hoc-Tests (ns = nicht signifikante oder keine Verbesserung)

Eine zweite wichtige Frage ist, ob sich die verschiedenen Gruppen vor dem Training in allen Tests, und damit auch in den Tests zur phonologischen Verarbeitung, die keinerlei Lese- oder Rechtschreibfähigkeit erfordern, von der Kontrollgruppe unterscheiden und ob der Leistungszuwachs durch das Training dazu führt, dass die Trainingsgruppen das Leistungsniveau der Kontrollgruppe erreichen.

Wird die gesamte Gruppe der Kinder mit LRS mit der Kontrollgruppe verglichen, ist die Kontrollgruppe vor und nach dem Training mit Ausnahme der SPM-Leistung nach dem Training und der Lesegeschwindigkeit der Pseudowörter nach dem Training in allen Tests signifikant besser als die LRS-Gruppe. Vergleicht man aber die einzelnen Trainingsgruppen mit der Kontrollgruppe, gibt es einige Tests, bei denen diese Unterschiede für alle oder für einzelne Gruppen nicht mehr vorhanden sind (s. Tabelle 6.2).

	Prä	Post
SPM	B=C=M=K	B=C=M=K
ZLT_Zeit	M=K	B=M=C=K
Pseu_Zeit	B=C=M=K	B=M=C=K
Diktat	B=K	
/ba/-/da/	B=M=K	B=M=C=K
/da/-/ga/	M=K	M=B=C=K

Tab. 6.2: fasst zusammen, bei welchen Tests sich welche Trainingsgruppen in ihrer Leistung nicht von der Kontrollgruppe (K) unterscheiden.

6.3 Korrelative Zusammenhänge zwischen den Testergebnissen für die einzelnen Trainingsgruppen

Wie unter 5.6.2 schon aufgeführt, werden hier nur Korrelationen mit den Leistungen in den Tests zur phonologischen Verarbeitung (kategoriale Wahrnehmung, Mottiertest, Leseleistung und Lesezeit der Pseudowörter) bzw. in 6.3.3 zusätzlich Korrelationen mit signifikanten Verbesserungen in allen Tests berichtet.

6.3.1 Vergleich der Kontrollgruppe und der Gruppe der Kinder mit LRS vor und nach dem Training

Zum Zeitpunkt vor dem Training ergaben sich für die Kontrollgruppe nur für das Pseudowörterlesen (Fehler und Zeit) signifikante Korrelationen mit einem anderen Testergebnissen. So korrelierte im Pseudowörterlesen der Prozentwert der max. erreichbaren Punktzahl mit dem der Prozentwert der max. erreichbaren Punktzahl im Wortlesetest ($r = .57$) und die Lesezeit beim Pseudowörterlesen mit den Lesezeiten beim ZLT ($r = .76$) und dem Wortlesetest ($r = .68$).

Nach der Trainingsperiode gab es mehr signifikante Korrelationen: Der Prozentwert der max. erreichbaren Punktzahl beim Pseudowörterlesen korrelierte jetzt außer mit dem Prozentwert der max. erreichbaren Punktzahl im Wortlesetest ($r = .47$, etwas schwächer als prä) zusätzlich mit dem Prozentwert der richtig gelesenen Wörter im ZLT ($r = .56$) und im lauttreuen Diktat mit strikt lauttreuer Auswertung ($r = .70$). Die Lesezeit beim Pseudowörterlesen korrelierte allerdings nur noch signifikant mit der Lesezeit im Wortlesetest ($r = .65$). Dafür korrelierten jetzt auch die Leistungen im /ba/-/da/- und /da/-/ga/-Kontinuum signifikant miteinander ($r = .92$; vgl. Tab. 6.3).

Kontrollgruppe					
	/ba/-/da/	/da/-/ga/	Mottiertest	Pseu_F	Pseu_Z
Prä	x	x	x	Wort_F .57	ZLT_Z .76 Wort_Z .68
Post	/da/-/ga/ .92	/ba/-/da/ .92	x	ZLT_F .56 Wort_F .47 Dik_II .70	Wort_Z .65

Tab. 6.3: Signifikante Korrelationen für die phonologischen Tests für die Kontrollgruppe vor und nach der Trainingsperiode
(Dik_II = strikt lauttreu ausgewertetes Diktat)

LRS-Gruppe					
	/ba/-/da/	/da/-/ga/	Mottiertest	Pseu_F	Pseu_Z
Prä	SPM .45 Pseu .30 Mot .34 /da/-/ga/ .31	Mot .27 /ba/-/da/ .31	SPM .35 Wort .35 Pseu .43 Dik_II .28 /ba/-/da/ .34 /da/-/ga/ .27	DRT .37 ZLT_F .66 ZLT_Z -.47 Wort_F .73 Wort_Z -.46 Mot .43 Dik .47 Dik_II .44 /ba/-/da/ .30	ZLT_Z .68 Wort_F -.32 Wort_Z .77
Post	x	x	SPM .38 ZLT_r .38	DRT .49 ZLT_F .60 ZLT_Z -.34 Wort_F .70 Dik .53 Dik_II .43	SPM .29 ZLT_Z .70 Wort_F -.30 Wort_Z .82

Tab. 6.4: Signifikante Korrelationen für die phonologischen Tests
LRS-Gruppe vor und nach der Trainingsperiode
(Dik_II = strikt lauttreu ausgewertetes Diktat)

Im Vergleich zur Kontrollgruppe gab es bei der Gruppe aller Legastheniker vor dem Training deutlich mehr signifikante Korrelationen. Die Leistung im /ba/-/da/-Kontinuum korrelierte signifikant mit den Leistungen im /da/-/ga/-Kontinuum ($r = .31$), im SPM ($r = .45$), mit dem Prozentwert der max. erreichbaren Punktzahl beim Pseudowörterlesen ($r = .30$) und mit der Leistung im Mottiertest ($r = .34$). Die Leistung im /da/-/ga/-Kontinuum korrelierte außer mit dem /ba/-/da/-Kontinuum ebenfalls signifikant mit der Leistung im Mottiertest ($r = .27$). Die Leistung im Mottiertest korrelierte außer mit den Leistungen bei der kategorialen Wahrnehmung mit der Leistung im SPM ($r = .35$), dem Prozentwert der max. erreichbaren Punktzahl im Wortidentifikationstest ($r = .35$) und im Pseudowörterlesetest ($r = .43$) und mit der Leistung im lauttreuen Diktat mit strikt lauttreuer Auswertung ($r = .28$). Der Prozentwert der max. erreichbaren Punktzahl beim Pseudowörterlesen korrelierte außer mit der Leistung im /ba/-/da/-Kontinuum und im Mottiertest mit den Leistungen im DRT ($r = .30$), mit den Lesezeiten im ZLT ($r = -.47$) und Wortlesetest ($r = -.46$), der Leseleistung im ZLT ($r = .66$) und im Wortlesetest ($r = .73$) und der Leistung im normal ($r = .47$) und strikt lauttreu ausgewerteten Diktat ($r = .44$). Die Lesezeit beim Pseudowörterlesen korrelierte mit den Lesezeiten der anderen Lesetests (ZLT: $r = .68$, Wortlesetest: $r = .77$) und schwach mit der Leseleistung im Wortlesetest ($r = -.32$).

Nach dem Training gab es für die Gruppe mit LRS keine signifikanten Korrelationen mehr für die Tests zur kategorialen Wahrnehmung. Für die Leistung im Mottiertest blieb nur die Korrelation mit der Leistung im SPM signifikant ($r = .38$). Zusätzlich wurde aber die Korrelation zum Prozentwert der richtig gelesenen Wörtern im ZLT signifikant ($r = .38$; vgl. Tab. 6.1). Bei der Leistung im Pseudowörterlesen verlor auch die Korrelationen mit der Lesezeit im Wortlesetest ihre Signifikanz. Die Korrelationen mit der Leistung im DRT ($r = .49$) und normal ausgewerteten Diktat ($r = .53$) wurden stärker, die mit dem strikt lauttreu ausgewerteten Diktat blieben gleich ($r = .43$) und die mit den Leseleistungen (Wortlesetest: $r = .70$, ZLT: $r = .60$) und Lesezeiten (ZLT: $r = -.34$) wurden geringer. Die Korrelationen zwischen der Lesezeit beim Pseudowörterlesen und der Lesezeit im ZLT ($r = .70$) bzw. der Lesefähigkeit im Wortlesetest ($r = -.30$) wurden etwas schwächer, während die Korrelation mit der Lesezeit im Wortlesetest stärker wurde ($r = .82$). Zusätzlich korrelierte nach dem Training auch die Leistung im SPM schwach, aber signifikant mit der Pseudowörterlesezeit ($r = .29$; vgl. Tab. 6.4).

6.3.2 Vergleich der einzelnen Trainingsgruppen vor und nach dem Training

6.3.2.1 Computertraining

	/ba/-/da/	/da/-/ga/	Mottiertest	Pseudo_F	Pseudo_Z
prä	/da/-/ga/ .50	/ba/-/da/ .50	x	ZLT_F .76 ZLT_Z -.60 Wort_F .77 Wort_Z -.58 Dik .71 Dik_II .71	ZLT_Z .86 Wort_F -.56 Wort_Z .82
post	/da/-/ga/ .57	/ba/-/da/ .57 ZLT_r .49	SPM .50 ZLT_r .50	DRT .58 ZLT_F .65 ZLT_Z -.61 Wort_F .87 Wort_Z -.71 Pseu_Z -.52 Dik .65 Dik_II .70	ZLT_Z .80 Wort_F -.55 Pseu_F -.52 Wort_Z .91

Tab. 6.5: Signifikante Korrelationen für die phonologischen Tests vor und nach dem Training für die Gruppe **Computertraining**

Vor und nach dem Training korrelierte die Leistung in der kategorialen Wahrnehmung im /ba/-/da/-Kontinuum signifikant mit der Leistung im /da/-/ga/-Kontinuum ($r = .50$ bzw. $r = .57$). Nach dem Training korrelierte die Leistung im /da/-

/ga/-Kontinuum zusätzlich signifikant mit dem Prozentwert der richtig gelesenen Worte im ZLT ($r = .49$).

Für die Leistung im Mottiertest gab es vor dem Training keine signifikanten Korrelationen. Nach dem Training erreichten die Korrelationen mit dem SPM und der Leseleistung im ZLT Signifikanz (je $r = .50$).

Die meisten signifikanten Korrelationen mit überwiegend recht hohen Effektstärken gab es in dieser Gruppe für das Pseudowörterlesen. Vor dem Training korrelierte der Prozentwert der max. erreichbaren Punktzahl mit der Leseleistung im ZLT ($r = .76$) und im Wortlesetest ($r = .77$), mit der Leistung im normal ($r = .65$) und strikt lauttreu ($r = .70$) ausgewerteten Diktat und etwas schwächer mit den Leszeiten im ZLT ($r = -.60$) und Wortlesetest ($r = -.58$). Die Lesezeit der Pseudowörter korrelierte vor dem Training stark mit den Leszeiten der anderen Lesetests (ZLT: $r = .86$, Wortlesetest: $r = .82$) und schwächer mit der Leseleistung im Wortlesetest ($r = -.56$). Nach dem Training korrelierte die Leistung im Pseudowörterlesen zusätzlich mittelstark mit der Leistung im DRT ($r = .58$) und der Lesezeit der Pseudowörter ($r = -.52$). Die Korrelation mit der Lesezeit im Wortlesetest wurde stärker ($r = -.71$) und blieb mit der Lesezeit im ZLT etwa gleich ($r = -.61$). Ebenso wurde die Korrelation mit der Lesefähigkeit im Wortlesetest stärker ($r = .78$), mit dem ZLT dagegen schwächer ($r = .65$). Die Korrelationen mit dem lauttreuen Diktat schließlich wurden etwas schwächer (normale Auswertung: $r = .65$) bzw. blieben gleich (strikt lauttreue Auswertung: $r = .70$; vgl. Tab. 6.5).

6.3.2.2 Buschmanntraining

	/ba/-/da/	/da/-/ga/	Motiertest	Pseudo_F	Pseudo_Z
prä	Pseu .67 Mot .45	x	/ba/-/da/ .45	Wort_F .48 bada .67	ZLT_Z .57 Wort_Z .87
post	x	x	x	Wort_F .51	SPM .49 Wort_Z .73

Tab. 6.6: Signifikante Korrelationen für die phonologischen Tests vor und nach dem Training für die Gruppe **Buschmanntraining**

Für die Gruppe Buschmanntraining gab es deutlich schwächere und deutlich weniger signifikante Korrelationen mit den Leistungen in den phonologischen Tests als bei den anderen Gruppen.

Für die kategoriale Wahrnehmung gab es vor dem Training nur für das /ba/-/da/-Kontinuum signifikante Korrelationen mit dem Prozentwert der max. erreichbaren

Punktzahl im Pseudowörterlesetest ($r = .67$) und der richtig nachgesprochenen Wörter im Mottiertest ($r = .45$). Nach dem Training gab es keine signifikanten Korrelationen mit den Tests zur kategorialen Wahrnehmung mehr.

Für den Mottiertest gab es darüber hinaus weder vor noch nach dem Training weitere signifikante Korrelationen.

Die Leistung im Pseudowörterlesen korrelierte vor und nach dem Training mit der Leistung im Wortlesetest ($r = .48$ bzw. $r = .51$) und vor dem Training zusätzlich mit der Leistung im /ba-/da/-Kontinuum ($r = .67$). Die Lesezeit im Pseudowörterlesen korrelierte vor dem Training mit den Lesezeiten der anderen Lesetests (ZLT: $r = .57$, Wortlesetest: $r = .87$), nach dem Training jedoch nur noch mit der Lesezeit des Wortlesetests ($r = .73$). Dafür korrelierte sich jetzt auch mit der Leistung im SPM ($r = .49$; vgl. Tab 6.6).

6.3.2.3 Marburgertraining

	/ba-/da/	/da-/ga/	Mottiertest	Pseudo_F	Pseudo_Z
Prä	SPM .64 Mot .53	x	SPM .61 Wort .60 Wort_Z -.50 Pseu .64 /ba-/da/ .53	ZLT_F .75 ZLT_Z -.48 Wort_F .81 Wort_Z -.51 Mot .64	ZLT_Z .70 Wort_Z .76
Post	DRT .56 ZLT_r .57 Wort .54 Pseu .57 Mot .50 /da-/ga/ .48	/ba-/da/ .48	/ba-/da/ .50	ZLT_F .68 ZLT_Z -.55 Wort_F .67 Dik .48 /ba-/da/ .57	ZLT_Z .53 Wort_Z .71

Tab. 6.7: Signifikante Korrelationen für die phonologischen Tests vor und nach dem Training für die Gruppe **Marburger Training**

Beim Marburgertraining gab es vor und nach dem Training wenig Übereinstimmung für die signifikanten Korrelationen zwischen den Leistungen in den Tests zur phonologischen Verarbeitung und den Lese- Rechtschreibtests.

Die Leistung im /ba-/da/-Kontinuum korrelierte vor und nach dem Training nur mit der Leistung im Mottiertest signifikant ($r = .53$ bzw. $r = .50$). Vor dem Training korrelierte sie zusätzlich signifikant mit der Leistung im SPM ($r = .64$), nach dem Training (außer mit dem /da-/ga/-Kontinuum) mit den Leistungen im DRT ($r = .56$) und den Leseleistungen (ZLT: $r = .57$, Wortlesetest: $r = .54$, Pseudowörterlesetest $r = .57$). Die Leistung im /da-/ga/-Kontinuum korrelierte vor dem Training mit der

Leistung aus keinem Test. Nach dem Training korrelierte sie zumindest mit der Leistung im /ba/-/da/-Kontinuum signifikant ($r = .48$).

Für den Mottiertest bestanden außer der Korrelation mit der Leistung im /ba/-/da/-Kontinuum (prä: $r = .53$, post: $r = .50$) nur vor dem Training signifikante Korrelationen zu den Leistungen in den anderen Tests: SPM ($r = .61$), Prozentwert der max. erreichbaren Punktzahl ($r = .60$) und Lesezeit im Wortidentifikationstest ($r = -.50$) und Prozentwert der max. erreichbaren Punktzahl im Pseudowörterlesetest ($r = .64$). Die Leistung beim Pseudowörterlesen korrelierte vor dem Training außerdem schwach mit den Lesezeiten (ZLT: $r = -.48$; Wortlesen: $r = -.51$) und hoch mit den Lesefähigkeiten (ZLT: $r = .75$; Wortlesen: $r = .81$) der anderen Lesetests. Nach dem Training korrelierte die Leistung im Pseudowörterlesen nur noch mit der Lesezeit im ZLT ($r = -.55$) und den Leseleistungen im ZLT ($r = .68$) und im Wortlesen ($r = .67$). Neu dazu kamen die Korrelationen mit dem normal ausgewerteten Diktat ($r = .48$) und dem /ba/-/da/-Kontinuum ($r = .57$). Die Lesezeiten beim Pseudowörterlesen korrelierten vor und nach dem Training mit den Leszeiten der anderen Lesetests signifikant (ZLT prä: $r = .70$, ZLT post: $r = .53$, Wortlesen prä: $r = .76$, Wortlesen post: $r = .71$; vgl. Tab. 6.7).

6.3.3 Korrelationen der signifikanten Leistungsverbesserungen für jede Gruppe

6.3.3.1 Korrelationen für die verbesserten Testleistungen bei der Kontrollgruppe

Da es (wie erwartet) in den ANOVAs keine signifikanten Verbesserungen nach dem Fünfwochenzeitraum der Trainingsperiode gab, können auch keine Korrelationen mit signifikanten Verbesserungen berichtet werden.

6.3.3.2 Korrelationen für verbesserten Testleistungen bei der Gruppe der Probanden mit LRS

Die Gruppe aller Probanden mit LRS zeigte nach dem Training signifikante Verbesserungen im SPM, DRT und bei den Lesezeiten im ZLT, Wortlesetest und Pseudowörterlesen (vgl. 6.2.17). Von diesen korrelierten die Verbesserungen in der Lesezeit des ZLT schwach, aber signifikant mit der Verbesserung im DRT ($r = 0,33$) und der Lesezeit im Wortlesetest ($r = 0,26$) und mittelstark mit der verbesserten Lesezeit beim Pseudowörterlesen ($r = 0,52$). Außerdem korreliert die Verbesserung

bei der Lesezeit im ZLT signifikant negativ mit der veränderten Leistung im Mottiertest ($r=-0,27$) und der Leseleistung im ZLT ($r=-0,29$; vgl. Tab. 6.8).

	DRT*	Wort_Zeit*	Pseudo_Zeit*	ZLT_F	Mottier
ZLT-Zeit*	0,33	0,26	0,52	-0,29	-0,27

Tab. 6.8: Signifikante Korrelationen für die verbesserten Testleistungen der **LRS-Gruppe** (N=64)

* = Tests mit signifikanter Leistungsverbesserung

6.3.3.3 Korrelationen für die verbesserten Testleistungen bei der Gruppe Computertraining

Die Teilnehmer des auditiven Wahrnehmungstrainings am Computer verbesserten sich signifikant im SPM, DRT, in der Lesezeit des ZLT und bei der Zuverlässigkeit der Wahrnehmung des /ba/-/da/-Kontinuums (vgl. Kap. 6.2.17). Zwischen diesen Verbesserungen bestand jedoch nur ein mäßig starker, negativer Zusammenhang für die verbesserte Leistung im SPM und der Lesezeit im ZLT ($r=-0,46$). Da für Zeiten positive Werte und für alle anderen Maßeinheiten negative Werte eine Verbesserung bedeuten (prä minus post), bedeutet dieser negative Zusammenhang, dass eine signifikante Verbesserung der Lesezeit mit einer signifikanten Verbesserung der Intelligenzleistung im SPM einhergeht. Außerdem korrelierte die Verbesserung bei der Lesezeit im ZLT recht stark mit der Veränderung im lauttreuen Diktat ($r=-0,62$) und die Verbesserung im SPM mit der Veränderung im normal ($r=-0,60$) und im strikt lauttreu ausgewerteten Diktat (Diktat_II: $r=0,63$). Die signifikante Verbesserung im DRT korrelierte mittelstark mit der Veränderung in der Lesezeit des Wortlesetests ($r=0,51$) und mit der Veränderung im Mottiertest ($r=-0,54$; vgl. Tab. 6.9).

	SPM*	Diktat	Diktat_II	ZLT_F	Wort_Zeit	Mottier
ZLT_Zeit*	-0,46	-0,62				
DRT*					0,51	-0,54
SPM*		0,60	0,63	0,61		

Tab. 6.9: Signifikante Korrelationen für die verbesserten Testleistungen der **Gruppe Computertraining** (N= 21)

* = Tests mit signifikanter Leistungsverbesserung

6.3.3.4 Korrelationen für die verbesserten Testleistungen bei der Gruppe Buschmanntraining

Die Buschmanntrainingsgruppe profitierte von dem Training signifikant in ihrer Leistung im SPM und DRT und in den Lesezeiten im ZLT und bei den Pseudowörtern (vgl. Kap. 6.2.17). Zwischen diesen Verbesserungen bestand für die verbesserte Leistung in der Lesezeit im ZLT ein mittelstarker Zusammenhang mit der verbesserten Leistung im DRT ($r = 0,46$) und ein starker Zusammenhang mit der verbesserten Lesezeit bei den Pseudowörtern ($r = 0,72$). Außerdem korrelierte die signifikante Verbesserung im DRT mit der veränderten Leseleistung im ZLT ($r = 0,50$; vgl. Tab. 6.10).

	DRT*	Pseudo_Zeit*	ZLT_F
ZLT_Zeit* DRT*	0,46	0,72	0,50

Tab. 6.10: Signifikante Korrelationen für die verbesserten Testleistungen für die **Gruppe Buschmanntraining** (N= 23)
* = Tests mit signifikanter Leistungsverbesserung

6.3.3.5 Korrelationen für die Verbesserungen in den Tests bei der Gruppe Marburgertraining

Die Marburgergruppe verbesserte sich nach dem Training signifikant im DRT, in der Lesezeit beim ZLT und als einzige Trainingsgruppe im Diktat (vgl. Kap. 6.2.17). Es korrelierte zwar keine dieser Verbesserungen signifikant miteinander, die Verbesserung in der Lesezeit im ZLT korrelierte jedoch signifikant und mittelstark mit der veränderten Leistung im ZLT ($r = -0,62$) und der Lesezeit im Wortlesetest ($r = 0,47$) und außerdem stark mit der veränderten Lesezeit bei den Pseudowörtern ($r = 0,78$). Außerdem korreliert die signifikante Verbesserung im normal ausgewerteten Diktat stark mit der Veränderung im strikt lauttreu ausgewerteten Diktat (Diktat_II: $r = 0,85$) und mittelstark mit der veränderten Lesezeit im Wortlesetest ($r = 0,51$; vgl. Tab. 6.11).

	ZLT_Fehler	Wort_Z	Pseudo_Zeit	Diktat_II
ZLT_Zeit* Diktat*	-0,62	0,47 0,51	0,79	0,85

Tab. 6.11: Signifikante Korrelationen für die verbesserten Testleistungen für die **Gruppe Marburgertraining** (N= 20)
* = Tests mit signifikanter Leistungsverbesserung

6.4 Ergebnisse der Faktorenanalyse der Testergebnisse für die einzelnen Gruppen

Mit der Faktorenanalyse soll überprüft werden, auf welche Dimensionen sich die Leistungen in den Tests reduzieren lassen bzw. welche Dimensionen die Leistungen in den Tests am besten charakterisieren und ob es Unterschiede in Faktorenstruktur zwischen der LRS-Gruppe und der Kontrollgruppe gibt. Da nach der Gleichung zur Bestimmung der Faktorenstärke von Guadagnoli und Velicer (1988; vgl. Kap. 5.6.3) nur die Faktorenstruktur der Gruppe aller Kinder mit LRS interpretiert werden darf ($FS=0,84$ bei einem kritischen Wert von $FS=0,80$), da die einzelnen Trainingsgruppen und auch die Kontrollgruppe Werte von deutlich kleiner als $FS=0,80$ erreichen, werden hier die Faktorenstrukturen der einzelnen Trainingsgruppen nicht dargestellt. Der Faktorenstruktur der gesamten LRS-Gruppe wird zu illustrativen Zwecken lediglich die Faktorenstruktur der Kontrollgruppe gegenübergestellt, wohlwissend, dass diese nur unter größten Vorbehalten zum Vergleich herangezogen werden darf.

6.4.1 Ergebnisse der Faktorenanalyse der Testergebnisse für die Kontrollgruppe

Für die Kontrollgruppe ergaben sich bei einer dreifaktoriellen Lösung vor der Trainingsperiode als erster Faktor der Faktor LESEZEIT, auf dem die Lesezeiten aller drei Lesetests negativ hoch laden (ZLT: $-0,92$, Wortidentifikationstest: $-0,92$, Pseudowörterlesen: $-0,80$). Außerdem ist diesem Faktor die Leistung im SPM zuzuordnen, die allerdings schwächer und positiv auf dem Faktor lädt ($0,51$). Dieser Faktor klärt einen Anteil von 25% an der Gesamtvarianz auf.

Auf dem zweiten Faktor, der 18,6% der Gesamtvarianz aufklärt, laden vor der Trainingsperiode vor allem die Leistungen aus den Lesetests hoch (Wortidentifikationstest: $0,81$, Pseudowörterlesen: $0,73$ und weniger hoch die Leistung im ZLT: $0,47$). Da zusätzlich die Leistung im DRT ($0,69$) auf diesem Faktor lädt, wurde er LESEFÄHIGKEIT / ORTHOGRAPHIE genannt

Auf dem dritten Faktor (REST) lädt vor der Trainingsperiode nur die Leistung im Mottiertest höher als $0,7$, jedoch negativ ($-0,76$). Außerdem laden die Leistungen im Diktat bei normaler und bei strikt lauttreuer Auswertung mäßig stark positiv ($0,56$ bzw. $0,65$) und die Leistung für das /ba/-/da/ und /da/-/ga/-Kontinuum der kategorialen Wahrnehmung auf diesem Faktor ($0,51$ bzw. $0,67$). Er klärt noch 17,7% der Gesamtvarianz auf (vgl. Tab. 3.6).

Nach dem Training bleibt der Faktor LESEZEIT der Faktor, der die meiste Varianz aufklärt (23,3%; Ladungen: Lesezeiten im Wortidentifikationstest: -0,91, Pseudowörterlesen: -0,80 und ZLT: -0,80). Die Leistung im SPM lädt jetzt nicht mehr auf diesem Faktor, dafür aber die Leistung im DRT (0,72).

Die Ladungen der Lesetests auf dem Faktor LESEFÄHIGKEIT / ORTHOGRAPHIE wurden nach der Trainingsperiode etwas schwächer (Pseudowörterlesen: 0,88 Wortidentifikationstest: 0,44, und ZLT: 0,57). Statt dem DRT laden jetzt die Leistungen im Diktat (mit normaler Auswertung: 0,49, mit strikt lauttreuer Auswertung: 0,86) und dem /da/-/ga/-Kontinuum (0,45) zusätzlich auf diesem Faktor, der noch 20,1% der Gesamtvarianz erklärt.

Auf dem heterogenen Faktor REST laden nach dem Training die Leistungen im SPM (0,79), im Mottiertest (0,52) und im /ba/-/da/-kontinuum (0,65). Er erklärt 15,5% der Gesamtvarianz (vgl. Tab. 6.12).

Prä				Post			
	Faktor I Lesezeit	Faktor II Lesefhgkt./ Orthogr.	Faktor III Rest		Faktor I Lesezeit	Faktor II Lesefhgkt./ Orthogr.	Faktor III Rest
SPM	0,51	-0,19	0,30	SPM	0,12	0,08	0,79
DRT	0,55	0,69	0,15	DRT	0,72	0,29	0,31
ZLT_F	0,44	0,47	-0,19	ZLT_F	0,48	0,57	0,43
ZLT_Z	-0,92	-0,09	0,01	ZLT_Z	-0,80	-0,10	-0,33
Wort	0,04	0,81	0,33	Wort	0,13	0,44	0,09
Pseu	-0,37	0,73	-0,10	Pseu	-0,06	0,87	-0,02
Wort_Z	-0,92	-0,20	-0,03	Wort_Z	-0,91	-0,02	0,11
Pseu_Z	-0,80	0,14	0,02	Pseu_Z	-0,80	0,21	0,42
Mot	-0,10	0,20	-0,76	Mot	0,04	0,23	0,52
Dik	0,09	0,42	0,56	Dik	0,34	0,49	-0,30
Dik_II	-0,07	0,46	0,65	Dik_II	0,11	0,87	0,12
/ba/-/da/	-0,03	0,01	0,51	/ba/-/da/	-0,04	-0,03	0,66
/da/-/ga/	0,06	0,11	0,67	/da/-/ga/	-0,09	0,45	0,13
Erkl. Var.	3,25	2,42	2,30	Erkl. Var.	3,02	2,67	2,02
Ant. Ges.	0,25	0,19	0,18	Ant. Ges.	0,23	0,21	0,16

Tab. 6.12: Faktorladungen für die Faktoren der **Kontrollgruppe** vor (links) und nach (rechts) dem Training (markiert sind die Ladungen der Tests, die zum jeweiligen Faktor gezählt werden)

6.4.2 Ergebnisse der Faktorenanalyse der Testergebnisse für die Gruppe aller Kinder mit LRS

Prä				Post			
	Faktor I Orthogr./ Lese fhgkt.	Faktor II Lesezeit	Faktor III Rest		Faktor I Orthogr./ Lese fhgkt.	Faktor II Lesezeit	Faktor III Rest
SPM	-0,08	0,07	0,83	SPM	0,25	0,28	0,54
DRT	0,83	-0,16	-0,07	DRT	0,75	-0,09	-0,09
ZLT_F	0,65	0,41	0,33	ZLT_F	0,74	-0,18	0,31
ZLT_Z	-0,40	-0,85	-0,03	ZLT_Z	-0,26	0,86	0,05
Wort	0,68	0,47	0,27	Wort	0,80	-0,38	0,08
Pseu	0,61	0,33	0,45	Pseu	0,78	-0,18	0,09
Wort_Z	-0,29	-0,87	-0,14	Wort_Z	-0,19	0,89	-0,02
Pseu_Z	-0,00	-0,84	-0,10	Pseu_Z	0,07	0,90	0,01
Mot	0,14	0,11	0,65	Mot	0,31	0,07	0,33
Dik	0,90	0,07	0,06	Dik	0,89	0,05	0,07
DikII	0,85	0,17	0,02	Dik_II	0,80	0,05	0,09
/bal-/dal/	-0,04	0,41	-0,35	/bal-/dal/	-0,00	0,03	-0,79
/dal-/gal/	-0,22	0,36	-0,39	/dal-/gal/	0,03	0,14	-0,79
Erkl. Var.	3,79	3,05	1,82	Erkl.Var	4,05	2,67	1,80
Ant. Ges.	0,29	0,23	0,14	Ant. Ges.	0,31	0,21	0,14

Tab. 6.13: Faktorladungen für die Faktoren der **LRS-Gruppe** vor (li) und nach (re) dem Training (markiert sind die Ladungen der Tests, die zum jeweiligen Faktor gezählt werden)

Für die Gruppe aller Kinder mit LRS ergab sich vor und nach dem Training eine identische Faktorenstruktur: Der erste Faktor wurde mit ORTHOGRAPHIE/ LESEFÄHIGKEIT betitelt. Die Leistungen in den Rechtschreibtests laden auf ihm vor und nach dem Training am höchsten (normal ausgewertetes Diktat prä und post 0,89, strikt lauttreu ausgewertetes Diktat 0,85 bzw. 0,80 und DRT: 0,83 bzw. 0,75). Von den Lesetests lädt vor und nach dem Training die Leistung im Wortidentifikationstest am höchsten auf dem Faktor (0,68 bzw. 0,80), gefolgt von der Leistung im ZLT (0,65 bzw. 0,74) und dem Pseudowörterlesen (0,61 bzw. 0,78). Der Faktor erklärt vor dem Training 29,1% und nach dem Training 31,2% der Gesamtvarianz.

Zweitstärkster Faktor war vor und nach dem Training der Faktor LESEZEIT, auf dem die Lesezeiten aus den Lesetests hoch negativ laden (prä: Wortidentifikationstest: -0,87, Pseudowörterlesen: -0,84 und ZLT: -0,85; post: Pseudowörterlesen: 0,90 Wortidentifikationstest: 0,89, ZLT: 0,86). Außerdem laden auf ihm vor dem Training

schwach die Ladungen der Leistungen im /ba/-/da/- und /da/-/ga/-Kontinuum (0,41 bzw. 0,36). Er erklärt vor dem Training 23,4% der Gesamtvarianz und nach dem Training 20,5%.

Der dritte Faktor wurde wieder REST benannt. Auf ihm laden die Leistungen im SPM (prä: 0,83; post: 0,54) und im Mottiertest (prä: 0,65; post: 0,33). Außerdem laden auf ihm nach dem Training stark negativ die Leistungen im /ba/-/da/- und /da/-/ga/-Kontinuum (je -0,79). Durch diesen Faktor werden vor dem Training 16,4% und nach dem Training 13,2% der Varianz erklärt (vgl. Tab. 6.13).

6.5 Ergebnisse der MEG-Messungen

6.5.1 Mismatch Field (MMF)

6.5.1.1 Stichprobe

Aufgrund von Artefakten in den Aufzeichnungsdaten konnten nicht alle Datensätze der teilnehmenden Kinder ausgewertet werden. Zur Anzahl der übriggebliebenen Probanden je Gruppe vor und nach dem Training siehe Tab. 6.12.

Gruppe	N (Tests)	N (MMF-Daten) (prä/post/post-prä)
Marburger	20	20/18/17
Buschmann	23	21/20/18
Computer	21	17/16/15
Kontrollen	22	21/18/17
LRS	64	58/54/50
gesamt	86	79/72/67

Tab. 6.12: Auswertbare Datensätze für die Tests und die MMF-Daten

Für die Korrelationen der MMF-Daten mit den Verhaltensdaten können deshalb auch nur die Verhaltensdaten der Probanden herangezogen werden, deren MMF-Daten auswertbar waren. Durch die reduzierte Zahl an ausgewerteten Tests kommt es bei den Interaktionen und Haupteffekten der Verhaltensdaten zu anderen F-Werten und zum Teil auch zu etwas anderen Ergebnissen (für die Ergebnisse dieser Stichprobe s. Paul, 2005), was jedoch für die Korrelationen mit den (ausschließlich signifikanten Effekten bei den) MMF-Daten unerheblich ist.

Die Trainingsgruppen unterscheiden sich weder vor noch nach dem Training hinsichtlich Geschlecht ($p = 0,88$ bzw. $p = 0,69$; Bu: 76,2% bzw. 80% männlich, Co: 64,7% bzw. 62,5% männlich, Ma: 70% bzw. 72,2% männlich, Kon: 66,7% bzw. 66,7% männlich), Händigkeit ($p = 0,26$ bzw. $p = 0,25$; Bu: 90,5% bzw. 90% rechts, Co: 88,2%

bzw. 87,5% rechts, Ma: 75% bzw 72,2% rechts, Kon: 95,2% bzw. 94,4% rechts) und Alter ($p=0,63$ bzw. $p=0,78$; Bu: 9,6 bzw 9,8 Jahre, Co: 9,7 bzw. 9,8 Jahre, Ma: je 9,6 Jahre, Kon: je 9,9 Jahre) signifikant voneinander. Auch die Personen, für die die Differenz von nach zu vor dem Training analysiert werden konnte (d.h. für die von den MEG-Messungen vor und nach dem Training auswertbare Daten vorlagen), unterscheiden sich im Gruppenvergleich in den genannten Parametern nicht signifikant (Geschlecht: $p=0,54$; Bu: 83,3% männlich, Co: 60% männlich, Ma: 70,6% männlich, Kon: 70,6% männlich; Händigkeit: $p=0,26$; Bu: 88,9% rechts, Co: 86,7% rechts, Ma: 70,6% rechts, Kon: 94,1% rechts und Alter: $p=0,68$; Bu: 9,7 Jahre, Co: 9,8 Jahre, Ma: 9,5 Jahre, Kon: 9,9 Jahre) .

6.5.1.2 Ergebnisse der statistischen Analyse der MMF-Größe für die Kanalgruppen

Für alle drei Kanalgruppen wurde ausschließlich die Interaktion ZEITxTRAINING signifikant. Für keine Kanalgruppe gab es vor dem Training signifikante Unterschiede zwischen der LRS-Gruppe und der Kontrollgruppe in der Größe der MMF-Amplitude.

Für die links-temporale Kanalgruppe erreichte die Interaktion ZEITxTRAINING nur einen mäßigen F-Wert ($F(3,62)=2,82$, $p<0,05$). Nur die Gruppe Computertaining zeigte nach Berechnung der geplanten Vergleiche nach dem Training ein signifikant größeres MMF als vor dem Training ($t(1,62)=6,10$, $p<0,05$).

Für die links fronto-temporale Kanalgruppe erreichte die Interaktion ZEITxTRAINING sogar das 0,5%-Signifikanzniveau ($F(3,62)=5,55$, $p<0,005$). Der Post-hoc Test zeigt, dass zwar die Buschmanngruppe in dieser Kanalgruppe nach dem Training ein signifikant größeres MMF aufweist als vor dem Training ($t(1,62)=3,99$, $p=0,05$), dass aber bei der Marburgergruppe das MMF nach der Trainingsperiode signifikant reduziert ist ($t(1,62)=9,73$, $p<0,005$).

Der F-Wert der ZEITxTRAINING Interaktion für die rechts-temporale Kanalgruppe entspricht der der links-temporalen Kanalgruppe ($F(3,62)=2,79$, $p<0,05$). Auch hier zeigt der Post-hoc Test eine signifikante Erhöhung des MMF nur für die Buschmanngruppe ($F(3,62)=4,85$, $p<0,05$).

6.5.1.3 Korrelationen der Trainingseffekte bei den MMF-Daten mit den Trainingseffekten bei den Verhaltensdaten

Von allen Trainingseffekten bei den MMF-Daten gibt es lediglich bei der Buschmanngruppe für die Vergrößerung des MMF in der links-frontotemporale Kanalgruppe signifikante Korrelationen.

Der Zuwachs im MMF korreliert signifikant mit der Verbesserung im normal ($r=0,51$, $p<0,05$) und strikt lauttreu ausgewerteten Diktat ($r=0,67$, $p<0,05$). Die Berechnung der linearen Regressionen macht jeweils den positiven Zusammenhang anschaulich: je größer die Verbesserung im normal ($t=2,37$, $p<0,05$) bzw. strikt lauttreu ausgewerteten Diktat ($t=3,63$, $p<0,005$), desto größer der Zuwachs im MMF (vgl. Abb. 6.16).

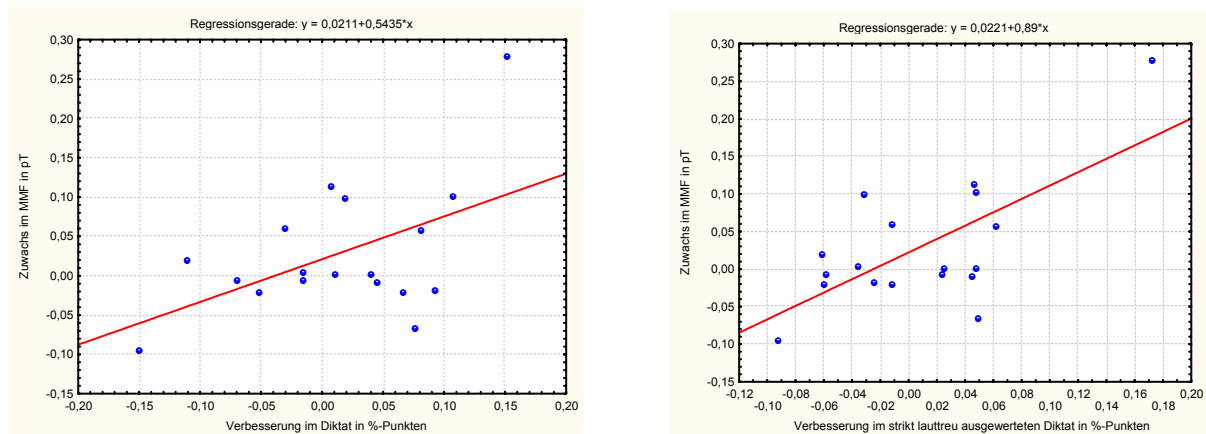


Abb. 6.16: Linearer Zusammenhang zwischen dem normal ausgewerteten Diktat (links) bzw. dem strikt lauttreu ausgewerteten Diktat (rechts) und dem Zuwachs im MMF links fronto-temporal für die Buschmanngruppe

6.5.2 Dipollokalisierungen

6.5.2.1 Stichprobe

Die Dipollösungen für die rechte und linke Hemisphäre von 21 Kontrollprobanden im späten Zeitfenster (170-350ms) erreichten die Kriterien für die statistische Analyse. Da im frühen Zeitfenster (50-160ms) die Datensätze von nur vier Kontrollkindern die formulierten Kriterien erreichten, wurde auf eine statistische Auswertung dieses Zeitbereichs verzichtet.

Für die Probanden mit Dyslexie kamen aus dem späten Zeitfenster 54 Datensätze für die linke und 55 Datensätze für die rechte Hemisphäre in die Analyse. Die Probanden aus der Kontroll- und der LRS-Gruppe, deren Datensätze ausgewertet

werden konnten, unterschieden sich weder hinsichtlich Alter ($F(1,74)= 0,03$, $p=0,87$), Geschlecht ($X^2(1,74)= 0,27$, $p=0,6$) oder Händigkeit ($X^2(1,74)= 1,02$, $p=0,31$).

6.5.2.2 Position der Dipollösungen auf der posterior-anterior Achse

Hier wurde über beide Messzeitpunkte hinweg für das späte Zeitfenster (170-350ms) eine signifikante Interaktion für GRUPPE x HEMISPHERE ($F(1,70)=4,12$; $p<0,05$) gefunden. Der Post-hoc-Test zeigt, dass die Dipollösungen für die Kinder der Kontrollgruppe in der rechten Hemisphäre signifikant weiter vorne lokalisiert sind als in der linken Hemisphäre ($p<0,005$). Diese hemisphärische Asymmetrie wurde für die Kinder mit LRS nicht gefunden (vgl. Abb. 6.17). Zudem gibt es einen Trend in die Richtung, dass die Dipole in der rechten Hemisphäre bei der Kontrollgruppe weiter vorne lokalisiert sind als bei der Gruppe mit LRS ($p=0,07$).

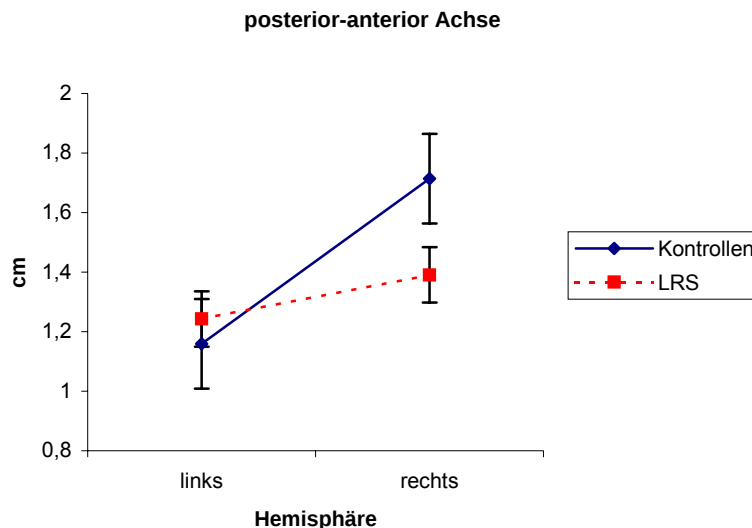


Abb. 6.17: 2-fach Interaktion GRUPPE x HEMISPHERE für die Position auf der posterior-anterior Achse

Über beide Gruppen hinweg korreliert der Asymmetrie-Index der Dipollösungen schwach, aber signifikant mit der Leistung im DRT ($r= 0,30$; $p<0,05$): Je stärker die Asymmetrie, desto besser ist die Leistung im DRT.

Außerdem gibt es für die posterior-anterior Achse im späten Zeitbereich eine signifikante Interaktion für ZEIT x TRAINING ($F(3,53)= 3,16$; $p<0,05$;). Der Post-hoc-Test ergibt jedoch keine signifikanten Unterschiede, weshalb diese Interaktion für die weitere Analyse nicht berücksichtigt wird.

6.5.2.3 Latenz des RMS-Maximums der Dipollösungen

Für die Latenz des RMS-Peak gibt es einen signifikanten Haupteffekt für HEMISPHERE ($F(1,70) = 7,17$; $p < 0,005$). Über beide Gruppen und Messzeitpunkte hinweg war das RMS-Maximum in der rechten Hemisphäre (261ms) später als in der linken Hemisphäre (252ms). Außerdem gab es einen Trend in Richtung eines Haupteffekts für GRUPPE ($F(1,70) = 3,3$; $p = 0,07$). Das RMS-Maximum scheint über beide Hemisphären für die Kontrollgruppe (252ms) früher aufzutreten als für die LRS-Gruppe (260ms).

6.5.2.4 Dipolstärke

Für die Dipolstärke (in nAm) gab es keine signifikanten Haupteffekte oder Interaktionen.

6.5.2.5 Position der Dipollösungen auf der inferior-superior Achse

Für die inferior-superior Achse ergibt sich im späten Zeitfenster eine signifikante dreifach Interaktion TRAINING x ZEIT x HEMISPHERE ($F(3,53) = 3,43$; $p < 0,05$). Da sich bei der Post-hoc-Testung jedoch kein signifikanter Unterschied ergibt, wird diese Interaktion für die weitere Analyse und Interpretation nicht berücksichtigt.

6.5.3 Frequenzbandanalyse der Fast Words

6.5.3.1 Stichprobe

Wegen der hohen intra- und interindividuellen Variabilität der Latenz und des Frequenzspektrums, innerhalb dessen sich bei den verschiedenen Probanden das Amplitudenmaximum befindet, wurde für die Fast Words auf einen Vergleich von vor zu nach dem Training verzichtet und nur die vor dem Training erhobenen Daten analysiert. Damit bleibt lediglich der Vergleich zwischen den auswertbaren Datensätzen der Kontrollgruppe ($N=20$) und der Gruppe der Kinder mit LRS ($N=55$), die sich weder im Alter (Kontrollgruppe: 9,5 Jahre, LRS: 9,3 Jahre; $p = 0,21$), der Händigkeit (Kontrollgruppe: 95% Rechtshänder, LRS: 86% Rechtshänder; $p = 0,27$) oder im Geschlecht (Kontrollgruppe: 70% männlich, LRS: 70,1% männlich; $p = 0,94$) signifikant unterscheiden.

6.5.3.2 Ergebnisse der statistischen Analyse für die evozierte maximale Amplitudenstärke und die Spektralfrequenz

Signifikante Effekte ergaben sich nur für die okzipitalen Kanalgruppen bei einer Präsentationsdauer von 350ms (2,86Hz). Für die LATENZ der maximalen Amplitudenstärke wurde kein signifikanter Gruppeneffekt gefunden; sie betrug für die hoch frequenten Wörter 100,2ms, für die nieder frequenten Wörter 102,3ms und für die Pseudowörter 87,57ms. Auch diese Latenzen unterscheiden sich nicht signifikant.

Für die evozierte maximale Amplitudenstärke ergab sich eine signifikante Interaktion für GRUPPE x WORTKLASSE ($F(2,146)=4,62$, $p<0,05$). Der Post-hoc-Test zeigt, dass für die Kontrollgruppe die maximale Amplitudenstärke bei den nieder frequenten Worten signifikant höher ist als bei den hoch frequenten ($p<0,05$) und den Pseudowörtern ($p<0,005$). Bei den Kindern mit LRS gibt es in der maximalen Amplitudenstärke keinen Unterschied zwischen den Wortklassen, entsprechend unterscheidet sich die maximale Amplitudenstärke für die nieder frequenten Wörter zwischen der Kontrollgruppe und der LRS-Gruppe signifikant ($p<0,005$; s. Abb. 6.18).

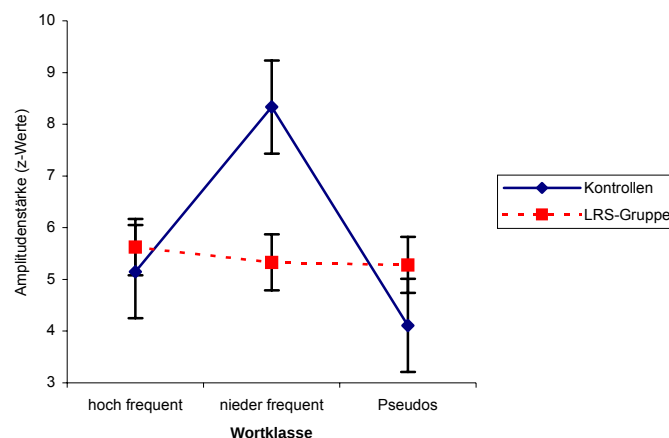


Abb. 6.18: 2-fach Interaktion GRUPPE x WORTKLASSE für die max. Amplitudenstärke (vert. Balken: Standardabw.)

Auch für die Spektralfrequenz der maximalen Amplitudenstärken wurde die Interaktion GRUPPE x WORTKLASSE ($F(2,146)=3,07$, $p<0,05$) gefunden. Der Post-hoc-Test zeigt, dass für die Kontrollgruppe die Spektralfrequenz bei den nieder frequenten Worten signifikant geringer ist als bei den hoch frequenten ($p<0,05$) und den Pseudowörtern ($p<0,01$). Bei den Kindern mit LRS gibt es in der Spektralfrequenz keinen Unterschied zwischen den Wortklassen, entsprechend

unterscheidet sich die maximale Amplitudenstärke für die nieder frequenten Wörter zwischen der Kontrollgruppe und der LRS-Gruppe signifikant ($p < 0,05$; vg. Abb. 6.19).

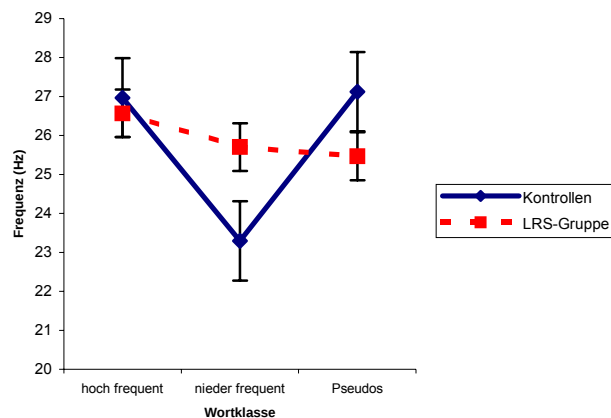


Abb. 6.19: 2-fach Interaktion GRUPPE x WORTKLASSE für die Spektralfrequenz (vert. Balken: Standardabw.)

Die Interaktion GRUPPE x HEMISPHERE ($F(1,73)=4,48$, $p < 0,05$) zeigt, dass für die Kinder mit LRS die Spektralfrequenz für die maximale Amplitude in der rechten Hemisphäre höher ist als in der linken, während es sich für die Kinder der Kontrollgruppe genau umgekehrt verhält. Im Post-hoc-Test wird jedoch nur der Unterschied in der Spektralfrequenz zwischen der rechten und der linken Hemisphäre für die Kinder mit LRS signifikant ($p < 0,05$; s. Abb. 6.20).

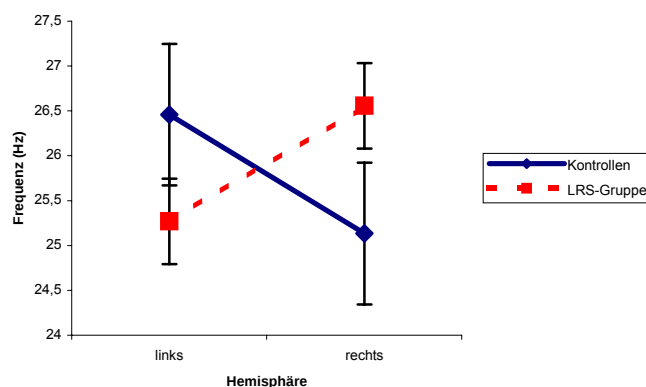


Abb. 6.20: 2-fach Interaktion GRUPPE x HEMISPHERE für die Spektralfrequenz (vert. Balken: Standardabw.)

6.5.3.3 Korrelation der maximalen Amplitudenstärke mit den Verhaltensdaten

Für die signifikanten Interaktionen mit dem festen Effekt GRUPPE wurden Korrelationen für die Daten aller Probanden mit den Verhaltensdaten berechnet. Die

erreichten Korrelationen für alle Probanden waren nicht sehr stark, erreichten aber das Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$

Die maximale Amplitudenstärke für die nieder frequenten Wörter korreliert positiv mit der Leistung im DRT ($r = 0,25$) und im Diktat ($r = 0,24$): Je besser die Leistung im DRT und im Diktat ist, desto größer ist die maximale Amplitudenstärke bei den seltenen Wörtern. Für die Pseudowörter und die hoch frequenten Wörter gab es keine signifikanten Korrelationen.

6.5.3.4 Korrelation der Spektralfrequenzen mit den Verhaltensdaten

Auch hier wurden bei signifikanten Interaktionen mit dem festen Effekt GRUPPE die Korrelationen für die Daten aller Probanden mit den Verhaltensdaten berechnet.

Die Spektralfrequenzen auf die hoch frequenten Wörter korrelierten schwach positiv, aber signifikant, mit der Leistung im Wortlesetest ($r = 0,24$) und schwach negativ mit der Lesezeit im Wortlesetest ($r = -0,27$). Je weniger Fehler also beim Lesen gemacht werden und je schneller die Wörter gelesen werden, desto höher sind die Spektralfrequenzen.

Die Spektralfrequenzen auf die nieder frequenten Wörter korrelierten negativ mit der Leistung bei der kategorialen Wahrnehmung ($r = -0,30$), dem Mottiertest ($r = -0,37$) und dem SPM ($r = -0,35$). Je besser also die Leistung bei schriftsprachfreien Aufgaben zur phonologischen Verarbeitung und einem nonverbalen Intelligenztest sind, desto geringer ist die Spektralfrequenz.

6.5.4 Zusammenfassung der Korrelationen zwischen den MEG- und den Verhaltensdaten

Für die Dipollokalisierungen und die Fast Words wurden die Daten aller Kinder über beide Messzeitpunkte mit den Verhaltensdaten korreliert.

Die Korrelationen zwischen dem MMF und dem Diktat werden nicht berücksichtigt, da die zugrunde liegende Interaktion als unzulässig betrachtet wurde (vgl. Kap. 7.3.2).

Folgende korrelative Zusammenhänge zwischen den Verhaltens- und den MEG-Daten erreichten das Signifikanzniveau:

- Je besser die Kinder im DRT sind, desto weiter anterior wird die N260 in der rechten Hemisphäre lokalisiert ($r = 0,28$).

- Je besser die Kinder im DRT und Diktat sind, desto größer ist die maximale Amplitudenstärke bei Präsentation der nieder frequenten Fast Words ($r = 0,25$ bzw. $r = 0,24$).
- Je schneller und je besser die Wörter im Wortlesetest gelesen werden, desto höher ist die Spektralfrequenz bei Präsentation der hoch frequenten Fast Words ($r = -0,27$ bzw. $r = 0,24$).
- Je besser die Leistung in den schriftsprachfreien Tests zur phonologischen Verarbeitung (Mottiertest, kategoriale Wahrnehmung) und beim SPM, desto geringer ist die Spektralfrequenz bei Präsentation der nieder frequenten Fast Words ($r = -0,37$ bzw. $r = -0,30$ bzw. $r = -0,35$).

6.6. Verbesserung der Computertrainingsgruppe in Spiel 2 und 3

Nach den in Kap. 2.5.3 formulierten Kriterien haben sich in beiden Spielen 16 der 20 Teilnehmer des Computertrainings verbessert. Im Spiel 2 (auditorisch-visuelles Spiel ohne Sprachlaute) erreichten 17 Teilnehmer die Präsentationsdauer von 20ms und 3 Teilnehmer nur 40ms, in Spiel 3 (mit den zeitlich modifizierten Sprachlauten /ba/, /da/, /ga/) erreichten 18 Teilnehmer die Formantentransitionsdauer von 70ms und 2 Teilnehmer nur 80ms.

Der t-Test ergab für das ISI in Spiel 2 eine signifikante Verbesserung vom ersten (ISI: 744ms) zum letzten Durchgang (ISI: 549ms; $t(19) = 3,52$; $p < 0,005$). Die Verbesserung in Spiel 3 von einem ISI von 345ms auf 288ms verpasste dagegen das Signifikanzniveau.

7. Diskussion

7.1 Differentielle Wirkung der Trainingsverfahren

Ein Ziel dieser Studie war die Überprüfung der Wirksamkeit von drei verschiedenen Trainingsverfahren auf die Leistung in den Lese- und Rechtschreibtests und den Tests zur phonologischen Verarbeitung. Die Trainings unterschieden sich in ihrer theoretischen Fundierung und damit in den Trainingsschwerpunkten: Das Buschmanntraining war als phonologisches Lese- und Rechtschreibtraining konzipiert, das Computertraining als Wahrnehmungstraining zur Verbesserung der temporalen Verarbeitung und das Marburger Rechtschreibtraining, durchgeführt als kognitives Regeltraining, sollte als Kontrollbedingung dienen, da es nicht explizit auf einer der aktuell diskutierten Theorien zur Ätiologie der Dyslexie beruht.

Alle drei Trainingsgruppen verbesserten sich signifikant im standardisierten Rechtschreibtest (DRT) und in der Lesegeschwindigkeit im ZLT (vgl. Tab. 6.1). Allerdings war die Gruppe der unbeeinträchtigten Kontrollprobanden sowohl vor als auch nach dem Training in allen phonologischen und Lese- Rechtschreibtests signifikant besser als die Gruppe der legasthenischen Kinder (Ausnahme: bei der Lesezeit der Pseudowörter gab es nach dem Training keinen Unterschied mehr zur Kontrollgruppe). Auf Grund des kurzen Zeitraums, in dem die Interventionen stattfanden, und des großen Leistungsunterschiedes zwischen der legasthenischen und der Kontrollgruppe vor dem Training wurde das auch nicht anders erwartet und entspricht dem Ergebnis anderer Kurzzeitinterventionsstudien (z.B. Heim et al. 2000a, Berwanger & von Suchodoletz). Werden jedoch die Leistungen der einzelnen Trainingsgruppen mit den Leistungen der Kontrollgruppe verglichen, sind die Unterschiede auf Grund der geringeren Anzahl an Probanden pro Gruppe bei den Lesezeiten im Pseudowörterlesetest und ZLT und bei den Aufgaben zur kategorialen Wahrnehmung nicht mehr so eindeutig (vgl. Tab.6.2).

Im Folgenden werden die einzelnen Ergebnisse in den Verhaltenstests für die Trainingsgruppen diskutiert.

7.1.1 Verbesserung der Leistung im SPM nach der Trainingsperiode

Auch im SPM war die Kontrollgruppe vor dem Training besser als die LRS-Gruppe, obwohl angenommen wurde, dass sich die beiden Gruppen vor dem Training in ihrer SPM-Leistung nicht unterscheiden. Damit kann das geringere Intelligenzniveau der

LRS-Gruppe als mögliche Erklärung für alle anderen Unterschiede in den Testleistungen zwischen der LRS- und der Kontrollgruppe nicht ausgeschlossen werden. Allerdings lag die Leistung der LRS-Gruppe (51,4 T-Wertpunkte) vor dem Training trotz des Unterschiedes zur Kontrollgruppe noch knapp über dem Test-Mittelwert von 50. Damit ist es unwahrscheinlich, dass die Minderleistung der LRS-Gruppe im Lesen und Rechtschreiben durch eine beeinträchtigte Intelligenz bzw. eine generelle Lernbehinderung ($IQ < 70$, entspricht $T < 30$) verursacht wurde (eine Umrechnung der T-Werte in IQ-Punkte wird beim SPM auf Grund der nicht normalverteilten Rohwerte und dem nur eingeschränkten Bereich der erfassten Intelligenz nicht empfohlen).

Im ICD10 wird für die Auswahl von dyslektischen Forschungsstichproben das Einhalten des Intelligenzdiskrepanzkriteriums von einer Differenz von 2 Standardabweichungen zwischen der Intelligenz- und der Lese-Rechtschreibleistung gefordert (vgl. Esser, 2002). Wie unter 1.1 schon diskutiert gibt es aber keine Anhaltspunkte dafür, dass Kinder mit LRS ohne psychiatrische Zusatzdiagnose, die dieses Kriterium nicht erfüllen, sich in anderen kognitiven Parametern wie z.B. der phonologischen Verarbeitung, von den LRS-Kindern unterscheiden, die das Kriterium erfüllen. Deshalb soll in dieser Studie als Kriterium für die LRS-Diagnostik ein durchschnittliches Intelligenzniveau bei deutlich unterdurchschnittlicher Rechtschreibleistung genügen. Immerhin erfüllt die LRS-Gruppe mit einer Differenz von 14,6 T-Wertpunkten zwischen der Leistung im SPM und DRT das ICD10-Kriterium von 1,5 Standardabweichungen für klinische Stichproben.

Nach der Trainingsperiode gab es in den SPM-Werten zwischen der Kontrollgruppe und der LRS-Gruppe keine signifikanten Unterschiede mehr. Dies ist auf die unerwartete signifikante Verbesserung der Buschmanngruppe und der Computertrainingsgruppe, sowie der gleichbleibenden Leistung der Kontrollgruppe zurückzuführen. In den bisherigen Studien zum Buschmanntraining (Tacke et al., 1992, 1993, 1994; Heim et al. 2000a) bzw. zum Training der temporalen Verarbeitung (Tallal et al., 1996, 1998; Merzenich et al., 1996; Temple et al. 2003; Habib et al., 1999, 2002; Bischof et al., 2002; Berwanger & von Suchodoletz, 2004) wurde keine Verbesserung des Intelligenzniveaus berichtet. Über die Gründe für die Verbesserung in dieser Studie kann nur spekuliert werden.

Die Konzeption des Buschmanntrainings bringt es mit sich, dass die Kinder in den Trainingsstunden wenig Misserfolge erfahren. Haben sie einmal die Technik des

rhythmischen Sprechschwingens erlernt, gelingt es ihnen meist leicht, z.B. die Dopplungen zu hören. Da außerdem für das Training nur Wörter ausgewählt wurden, die ihrem Lernfortschritt entsprachen, machten die Kinder während der Trainingssitzungen nur sehr wenige Fehler. Dies könnte zu der Erkenntnis beigetragen haben, dass sie in einem Bereich zu guten Leistungen in der Lage sind, der bislang zu ihren größten Schwächen gezählt hat. In Anlehnung an Banduras Selbstwirksamkeitskonzept (Bandura, 1997) könnte dies zu einer veränderten Einstellung gegenüber der Intelligenzdiagnostik geführt haben. Vor dem Training wurde die Bearbeitung des SPM möglicherweise durch eine mit dem negativ konnotierten Schulsetting assoziierte Misserfolgserwartung bzw. eine geringe Selbstwirksamkeitserwartung beeinflusst. Nach dem Training dagegen könnten bei der Testbearbeitung eher die positiven Eindrücke aus dem Training vorherrschend gewesen sein, die eine Erfolgserwartung bzw. eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung bedingt haben könnten. Es gibt einige Studien, die den Zusammenhang zwischen Selbstwirksamkeitserwartung und Schul- bzw. Intelligenzleistung stützen: So berichtet Vrugt (1994), dass eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung bei Schülern zu positiveren Gefühlen im Unterricht und zu besseren Noten führt als eine niedrige Selbstwirksamkeitserwartung. Außerdem konnten D'Amico & Cardaci (2003) mit einer faktorenanalytischen Untersuchung zeigen, dass für verschiedene Schulleistungen (sprachlich, logisch-mathematisch, technisch-praktisch) ein starker Zusammenhang zwischen der Selbstwirksamkeitserwartung und der erbrachten Leistung besteht. Umgekehrt fanden Heller et al. (1998, 1997) bei Schülern einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem schlechtem Abschneiden bei den SPM und der Neigung, Misserfolge internal auf (mangelnde) Begabung zu attribuieren.

Die Auswirkung des Computertrainings auf die Leistung im SPM muss eine andere Ursache haben, da dieses Training nicht geeignet ist, um bei den Teilnehmern eine positive Erfolgserwartung auszulösen. Dieses Training zwingt die Kinder, sich 4 mal pro Woche für jeweils 45 Minuten auf Aufgaben zu konzentrieren, die bei wiederholter Durchführung einen nur noch sehr geringen Aufforderungscharakter haben. Die Anforderungen an die zu erbringende Aufmerksamkeit sind wegen den nur geringen temporal-auditiven Unterschieden der zu diskriminierenden Stimuli sehr hoch. Zudem muss die Aufmerksamkeit für eine lange Dauer aufrecht erhalten werden. Da sich die Kinder zumindest im Spiel 2 signifikant verbessert haben, kann

davon ausgegangen werden, dass sie die erforderliche Aufmerksamkeitsleistung erbracht haben. Die erbrachte Aufmerksamkeit ist notwendige, wenn auch nicht hinreichende Voraussetzung, um sich bei der Diskriminationsleistung verbessern zu können. Möglicherweise wird diese auditive Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistung durch das Spiel trainiert und kann auf andere Modalitäten generalisiert werden. Davon könnten die Probanden bei der Bearbeitung der visuellen Aufgaben des SPM profitiert haben. Auch diese Aufgaben erfordern ein hohes Maß an Aufmerksamkeit und Ausdauer, da zunächst die visuellen Details der Aufgaben genau erfasst werden müssen, um dann aus den bis zu acht Bildern, die sich nur in kleinen Details unterscheiden, das richtige auswählen zu können. Somit können bei diesem Test Aufmerksamkeitsleistungen genauso leistungsentscheidend sein wie beim Computertraining. Der Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeits- und Intelligenzleistung konnte in einer Studie von Wiese & Kroj (1972) gezeigt werden, in der eine signifikante Korrelation zwischen der Leistung im Aufmerksamkeitstest d2, der die Aufmerksamkeitsspanne und Konzentrationsfähigkeit misst, und dem Handlungs-IQ des HAWIE berichtet wird. Aus dieser Korrelation schlossen die Autoren, dass Aufmerksamkeit und Konzentration mehr mit praktisch-anschaulicher Intelligenz als mit sprachgebundener Intelligenz verbunden seien. Da auch der SPM ein primär sprachfreier Test ist und die Aufgaben sowohl im Handlungsteil des HAWIE als auch im SPM eine genaue räumliche Orientierung, visuelle Differenzierung und schnelle Situationserfassung erfordern, kann auch für die Leistung im SPM eine hohe Korrelation mit Konzentrations- und Aufmerksamkeitsleistungen angenommen werden. Ob jedoch das Training der auditiven Diskriminationsfähigkeit tatsächlich eine verbesserte (auditive) Konzentrationsleistung bewirkt und ob diese Verbesserung zu generalisierenden Effekten führt, die in der Lage sind, über die Modalitäten hinweg eine verbesserte visuelle Konzentrationsfähigkeit zu erklären, könnte Gegenstand einer nachfolgenden Studie sein, in der zusätzlich die visuelle und auditive Aufmerksamkeitsleistung vor und nach dem Training erfasst werden müsste.

Zusätzlich wäre es von Interesse, in einer nachfolgenden Studie vor und nach dem Buschmanntraining die Selbstwirksamkeitserwartung zu erfassen. Damit könnte geklärt werden, ob die Selbstwirksamkeitserwartung tatsächlich mit der Leistung im SPM zusammenhängt und ob die Schlussfolgerung aus unseren Daten richtig ist, dass ihr Einfluss auf die Leistung im SPM größer ist als die durch das

Computertraining verbesserte Konzentrationsleistung. Schulte-Körne et al. (2001c) erhoben in einer LRS-Trainingsstudie mit Kindern zwar nicht die Selbstwirksamkeitserwartung, jedoch den Leidensdruck und das Selbstwertgefühl. In beiden Parametern zeigten die Kinder mit LRS vor dem Training sehr geringe Werte. Die Kinder, die an einem phonologischen Training nach der Buschmannmethode teilgenommen hatten, zeigten nach dem Training signifikant geringeren Leidensdruck und höheres Selbstwertgefühl als vor dem Training, obwohl sie sich in der Lese- und Rechtschreibleistung nicht signifikant verbessert haben. Die Gruppe mit dem Marburger Training hat sich dagegen signifikant in den Lese- und Rechtschreibtests verbessert, der Leidensdruck und das Selbstwertgefühl blieben aber unverändert. Entsprechend könnte auch für unsere Studie angenommen werden, dass die LRS-Gruppe insgesamt vor dem Training eine geringere Selbstwirksamkeitserwartung hatte als die Kontrollgruppe, während es nach dem Training wegen der möglicherweise erhöhten Selbstwirksamkeitserwartung der Buschmanngruppe in diesem Parameter keine Unterschiede mehr zwischen der gesamten LRS- und der Kontrollgruppe geben dürfte. Damit wäre die SPM-Leistung nach dem Training bei dann gleicher Selbstwirksamkeitserwartung der beiden Gruppen eher die, die dem Leistungsvermögen der Kinder entspräche. Da es nach der Trainingsperiode in der SPM-Leistung keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen den Gruppen gibt, kann davon ausgegangen werden, dass sich die beiden Gruppen in ihrem Intelligenzniveau tatsächlich nicht unterscheiden.

Da sich die gleichaltrige Kontrollgruppe im SPM nicht verbessert hat, ist es unwahrscheinlich, dass die Verbesserung der Trainingsgruppen auf generelle Hirnreifungsprozesse zurückzuführen ist. Es könnte jedoch argumentiert werden, dass sich die Leistung der Kontrollgruppe nur auf Grund eines Deckeneffektes nicht mehr verbessert hat, da deren Leistung schon zum ersten Messzeitpunkt überdurchschnittlich ist. Dies ist aber wenig plausibel, da die Kontrollgruppe mit einem T-Wert von 62 zwar etwas über eine Standardabweichung besser als der Testsmittelwert, aber durchaus noch steigerungsfähig ist. Das belegen die Ergebnisse einiger Schüler der Kontrollgruppe nach der Trainingsperiode, die den höchsten SPM-T-Wert von vor dem Training noch übertrafen (prä: 2 Schüler mit 78 T-Wertpunkten, post: 1 Schüler mit 79 und 3 Schüler mit 80 T-Wertpunkten).

7.1.2 Verbesserung der Leistung in den Rechtschreibtests nach der Trainingsperiode

Vor dem Training war die Leistung der LRS-Gruppe im DRT mehr als 2 Standardabweichungen schlechter als die Leistung der Kontrollgruppe (21 T-Wertpunkte). Damit gilt neben dem Intelligenzdiskrepanzkriterium für klinische Stichproben (Leistung im Rechtschreibtest 1,5 SD schlechter als im Intelligenztest) auch das Kriterium der Diskrepanz zur Kontrollgruppe als erfüllt, auch wenn der Unterschied zur Normpopulation mit 13,2 T-Wertpunkten knapp die 1,5 SD verfehlt.

Wie beim SPM gab es auch beim DRT in der Kontrollgruppe keine Verbesserung der Leistung, wobei auch hier bei einem durchschnittlichen T-Wert von 58 ein Deckeneffekt ausgeschlossen werden kann. Im Zeitraum von 5 Wochen scheint sich also die Rechtschreibleistung bei normaler Beschulung nicht zu verbessern.

Da die Leistung im lauttreuen Diktat für die LRS-Gruppe nie mit den schriftsprachfreien phonologischen Tests, sondern immer sehr hoch (zw. .80 und .90) mit der Leistung im DRT auf einem Faktor ¹ lädt, scheint mit diesem Test ein größerer Anteil an phonologieunabhängiger Rechtschreibanforderung als an phonologischer Enkodierfähigkeit erfasst zu werden. Deshalb wird das lauttreue Diktat hier primär als Test zur Überprüfung der Rechtschreibleistung behandelt. Auch in diesem Test war die Kontrollgruppe vor und nach dem Training signifikant besser als die Trainingsgruppen, ohne dass sie sich verbessert hat.

Gegen die Erfassung primär phonologischer Fähigkeiten spricht auch, dass es für die Faktorenladungen unerheblich ist, ob bei der Auswertung ausschließlich Fehler berücksichtigt werden, die gegen die lauttreue Verschriftlichung verstoßen („Diktat_II“: fälschliche Dopplung nach langem Vokal, fälschliche Dehnung nach kurzem Vokal, ausgelassene oder vertauschte Buchstaben) oder ob alle Fehler berücksichtigt werden („Diktat“). Auch die Tatsache, dass es weder für die gesamte LRS-Gruppe [Ausnahme: prä: schwache signifikante Korrelation zwischen Mottiertest und Diktat_II ($r=0,28$)] noch für die einzelnen Trainingsgruppen signifikante Korrelationen zwischen der Leistung im Diktat und den schriftsprachfreien phonologischen Tests gibt, bestätigt die Bewertung des Diktats als Test zur primären Überprüfung der Rechtschreibung. Allerdings laden die Ergebnisse im DRT und im Diktat zwar auf dem gleichen Faktor, die Verbesserungen korrelieren aber nicht miteinander.

¹ Für eine generelle Diskussion der Faktorenanalyse s. Kap. 7.2

Von differentiellen Effekten der Trainingsverfahren auf die Leistung im DRT haben wir uns Hinweise auf die Ätiologie der LRS erhofft, da das Buschmanntraining spezifisch die phonologische Verarbeitung und das Computertraining spezifisch die Wahrnehmung bzw. temporale Verarbeitung trainieren sollte. Das Marburger Training sollte dazu als Kontrollgruppe dienen (vgl. Kap. 5.5). Entgegen der Erwartung verbesserten sich jedoch alle Trainingsgruppen signifikant um ca. 5-6 T-Wertpunkte. Dieses Ergebnis macht Rückschlüsse auf mögliche Ursachen der LRS unmöglich. Es scheint, als wäre es für eine Verbesserung der Rechtschreibung unerheblich, ob versucht wird, mögliche der LRS zu Grunde liegende Defizite zu reduzieren oder ob ein Regeltraining durchgeführt wird. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass das Buschmanntraining nur halb so oft stattgefunden hat, wie die anderen Trainings. Da sich der Leistungszuwachs in dieser Gruppe aber nicht von dem der anderen Gruppen unterscheidet, kann dem Buschmanntraining eine höhere Effizienz bzw. eine gleiche Wirkung bei halb soviel zeitlichem Aufwand zugeschrieben werden.

Das Ausmaß der Verbesserung der Marburger Gruppe ist mit der Verbesserung in der Studie von Schulte-Körne et al. (2001c) vergleichbar. Im Gegensatz zu Schulte-Körnes Studie bewirkt aber in unserer Studie auch das phonologische Training eine signifikante Verbesserung im DRT. Das wiederum entspricht den Ergebnissen der im Umfang des Trainings vergleichbaren Studie zum Buschmanntraining von Heim et al. (2000a; Heim, 2002). Während in der Studie von Heim auch eine signifikant verbesserte Leistung in den Tests zur phonologischen Verarbeitung erzielt werden konnte, geben die Verhaltensdaten in unserer Studie keine Hinweise darauf, dass die Verbesserung im DRT auf die Verbesserung der phonologischen Verarbeitung zurückgeht: Zum einen hat sich die Buschmanngruppe von allen Tests zur phonologischen Verarbeitung nur in der Lesegeschwindigkeit der Pseudowörter verbessert, was höchstwahrscheinlich keinen Hinweis auf verbesserte phonologische Verarbeitung darstellt (vgl. Kap. 7.1.3.2), zum anderen korreliert nach dem Buschmanntraining weder die Leistung im DRT noch das Ausmaß der Verbesserung im DRT mit der Leistung in einem phonologischen Test.

Auch eine verbesserte lautgetreue Verschriftlichung kann die Verbesserung im DRT nicht erklären, da sich die Buschmanngruppe wider Erwarten im lauttreuen Diktat nicht verbessert hat, obwohl das Silbieren explizit eingesetzt wurde, um die Laute wahrnehmbar zu machen. Das widerspricht den Ergebnissen von Tacke et al.

(1993). Lediglich die Marburger Trainingsgruppe konnte sich im normal ausgewerteten Diktat verbessern. Da in diesem kognitiven Regeltraining keine mit phonologischer Verarbeitung zusammenhängende Prozesse trainiert wurden und da sich die Marburger Gruppe in keinem (anderen) Test zur phonologischen Verarbeitung verbessert hat, liefert das einen weiteren Hinweis auf die phonologieunabhängige Erfassung der Rechtschreibleistung durch das Diktat.

Da die Kinder wussten, dass im lauttreuen Diktat nur Wörter vorkommen, „die so geschrieben werden, wie sie auch gesprochen werden“ (s. Instruktion: Kap. 5.3.7), waren die Anforderungen an diesen Test objektiv geringer als an den DRT. Trotzdem verbesserten sich die Kinder der Buschmann- und Computertrainingsgruppe nur im DRT signifikant. Möglicherweise könnte die ausbleibende Verbesserung der Computer- und Buschmanngruppe im Diktat mit einem Deckeneffekt erklärt werden. Dagegen spricht jedoch, dass die Kontrollgruppe auch nach dem Training mit 95% richtig geschriebener Worte signifikant besser war als alle Trainingsgruppen (zwischen 76% und 81%), so dass durchaus noch eine Verbesserung durch das Training möglich gewesen wäre.

Auch wenn die einzelnen Wörter im Diktat leichter sind als im DRT, könnte die Tatsache, dass ein ganzer Text und nicht nur je einzelne Worte geschrieben werden, die Anforderungen verändert und damit die Komplexität und Schwierigkeit insgesamt erhöht haben. Die zahlreichen Wörter müssen richtig wahrgenommen, gespeichert und in der richtigen Reihenfolge wieder zu Papier gebracht werden, man muss wissen, an welcher Stelle im Text man sich gerade befindet usw., so dass nicht mehr ausreichend Ressourcen bleiben, um die korrekte Rechtschreibung zu bewältigen. Möglicherweise ist deshalb im lauttreuen Diktat nicht die eigentliche Rechtschreibfähigkeit leistungsbestimmend, sondern sekundäre Faktoren wie Automatisierungsfähigkeiten (Nicolson, Fawcett, 1990), Konzentration, Aufmerksamkeit oder Gedächtnis (Geva, Siegel 2000). Kommt die verbesserte Leistung der Computertrainingsgruppe im SPM aber tatsächlich durch verbesserte Aufmerksamkeitsprozesse zustande (Kap. 7.1.1), sollten sich diese Kinder auch im Diktat verbessern, was sie aber nicht getan haben.

Im Gegensatz zur einzigen anderen Trainingsstudie zur temporalen Diskriminationsfähigkeit, in der die Auswirkung des Trainings auch auf die Rechtschreibleistung überprüft wurde (Berwanger & von Suchodoletz, 2004),

bewirkte unser Diskriminationstraining mit dem PC eine signifikante Verbesserung der Rechtschreibleistung im DRT.

Zusätzlich gibt es einige schwache Hinweise dafür, welche Prozesse in dieser Gruppe mit der Verbesserung im DRT zusammenhängen könnten, die jedoch keine zwingenden Schlüsse zulassen. So könnte man vermuten, dass die nach dem Training erhöhte MMF-Amplitude über links temporalen Arealen und die verbesserte kategoriale Wahrnehmung im /ba/-/da/-Kontinuum für eine verbesserte Sprachwahrnehmung auf Phonemebene sprechen, die eine verbesserte DRT-Leistung erklären könnte. Aber zum einen korrelieren die Erhöhung der MMF-Amplitude und die verbesserte kategoriale Wahrnehmung weder miteinander noch mit der Verbesserung im DRT, so dass sich wohl nicht alle Kinder der Buschmanngruppe in all diesen Parametern verbessert haben, sondern in jedem Parameter andere Kinder. Zum anderen darf die Verbesserung bei der kategorialen Wahrnehmung nicht zu stark bewertet werden, da sie wahrscheinlich nichts mit generell verbesserten phonologischen Prozessen hat (vgl. Kap. 7.1.4)

Die Tatsache, dass die Computertrainingsgruppe die einzige Gruppe ist, bei der nach dem Training die Leistung im DRT mit der Leistung im Pseudowörterlesen korreliert, könnte einen weiteren Hinweis für einen Zusammenhang zwischen der computertrainingsbedingten Verbesserung der DRT-Leistung und der phonologischen Verarbeitung darstellen. Da aber das Pseudowörterlesen auf Grund der Ergebnisse der Faktorenanalyse mehr als Lesetest denn als Test zur Überprüfung der phonologischen Verarbeitung anzusehen ist (vgl. Kap. 7.2) und da keiner der anderen Tests zur phonologischen Verarbeitung nach dem Training mit dem DRT korreliert, scheint ein Zusammenhang zwischen phonologischer Verarbeitung und verbesserter DRT-Leistung unwahrscheinlich.

Möglicherweise kommt bei dieser Trainingsgruppe die Verbesserung im DRT wie die Verbesserung im SPM durch unspezifische Effekte zustande, die möglicherweise auf eine durch das Training bewirkte verbesserte Konzentrationsleistung zurückzuführen ist. Um die Verbesserung im DRT einigermaßen sinnvoll interpretieren zu können, müsste in nachfolgenden Studien mit dem Computertraining dieser Effekt zunächst repliziert werden und zusätzlich die Konzentrationsleistung vor und nach dem Training erfasst werden.

Da der Trainingseffekt bei allen drei Gruppen in etwa gleich stark ist, könnte er theoretisch auf eine Regression zur Mitte zurückgeführt werden, zumal dieser Effekt

immer dann zu Verfälschungen führt, wenn Extremgruppen untersucht werden (Nachtigall, Suhl, 2002). Es gibt in der vorliegenden Studie zwar eine nicht dyslektische Kontrollgruppe, die ist jedoch zur Kontrolle des Regressionseffektes nicht geeignet, da die DRT-Werte dieser Gruppe weniger stark über dem Durchschnitt liegen, als die Werte der LRS-Gruppe unter dem Durchschnitt liegen. Um den Regressionseffekt ausschließen zu können, bräuchte man entweder eine dyslektische Kontrollgruppe oder ein Design mit drei Messzeitpunkten, wobei zwischen dem ersten und dem zweiten Messzeitpunkt keine Intervention stattfinden darf. Genau dieses Design verwendeten Schulte-Körne et al. (2001c) und stellten zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt eine Verbesserung von 1,5 T-Wertpunkten fest. Dieser Regressionseffekt von etwa 1,5 T-Wertpunkten kann auch für die LRS-Gruppe unserer Studie angenommen werden, da sich die Stichproben unserer Studie und der von Schulte-Körne bezüglich Alter (9;5 vs. 10;1 Jahre) und Geschlechtsverteilung (70% vs 80% männlich) kaum unterscheiden. Außerdem erzielten die legasthenischen Teilnehmer an Schulte-Körnes Studie vor dem Training niedrigere T-Werte im Rechtschreibtest als die Teilnehmer unserer Studie (32,8 vs. 36,8 T-Wertpunkte), was eher einen größeren Regressionseffekt bewirken sollte und die Zeitspanne zwischen den Messzeitpunkten war bei Schulte-Körnes Studie größer als bei unserer Studie (3 Monate vs. 2 Monate), so dass bei Schulte-Körnes Studie zusätzlich zum Regressionseffekt auch ein Leistungszuwachs durch den normalen Unterricht gewirkt haben könnte. Selbst wenn man also den konservativ geschätzten Regressionseffekt von 1,5 T-Wertpunkten von der Leistungsverbesserung abzieht, zeigt jede Trainingsgruppe immer noch einen substantiellen Trainingseffekt.

Auch wenn keine differentiellen Trainingseffekte erzielt werden konnten und es keinen Zusammenhang zwischen phonologischer Verarbeitung und Rechtschreibleistung zu geben scheint, so könnte die Rechtschreibleistung doch zumindest mit der kortikalen Organisation sprachverarbeitender Areale zusammenzuhängen, da ein positiver Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Asymmetrie der Dipollokalisationen und der Rechtschreibleistung besteht: Je besser die Kinder im DRT sind, desto weiter anterior wird die N260 in der rechten Hemisphäre lokalisiert (vgl. Kap. 7.4). Außerdem korreliert die Rechtschreibleistung im DRT und im Diktat schwach signifikant mit der evozierten maximalen Amplitudenstärke bei den nieder frequenten Fast Words: Je besser die

Rechtschreibleistung ist, desto höher die Amplitude. Das Lesen der niederfrequenten Wörter erfordert in besonderem Maße phonologische Verarbeitungsprozesse, v.a. die Anwendung der Graphem-Phonem-Korrespondenz-Regeln. Diese positive Korrelation verdeutlicht, dass die Rechtschreibung immer phonologische Prozesse impliziert (das Gehörte muss in Phoneme zerlegt und in Grapheme übertragen werden), die bei guten Lesern und Rechtschreibern schnell und automatisch aktiviert zu werden scheinen, während dies bei den schlechten Lesern und Schreibern nicht der Fall zu sein scheint (vgl. Kap. 7.5).

7.1.3 Leseleistung nach der Trainingsperiode

Da die Faktorenanalyse sowohl für die Kontrollgruppe als auch für die LRS-Gruppe nur die drei Faktoren „Lesefähigkeit/Orthographie“, „Lesezeit“ und „Rest“ und keinen Faktor „phonologische Fähigkeiten“ ergab, wird auch das Pseudowörterlesen zunächst mit den Lesetests diskutiert.

Die LRS-Gruppe machte sowohl vor als auch nach dem Training in allen Lesetest signifikant mehr Lesefehler als die Kontrollgruppe, die sich, wie erwartet, zwischen den beiden Messzeitpunkten nicht verbessert hat.

Allerdings verbesserte sich auch keine der Trainingsgruppen nach dem Training signifikant in der Anzahl der Lesefehler im ZLT, Wortlesetest oder Pseudowörterlesetest. Dies widerspricht sowohl den Ergebnissen der vergleichbaren Trainingsstudie mit dem Marburger Training von Schulte-Körne (2001c) für das Lesen von Worten als auch den Ergebnissen der Trainingsstudie mit dem Buschmanntraining von Heim (2000a) für Wörter und Pseudowörter, entspricht aber für das Computertraining den Ergebnissen der Trainingsstudie mit deutschsprachigen Schülern von Berwanger & von Suchodoletz (2004). Temple et al. (2003) erzielten dagegen im englischen Sprachraum mit einem temporalen Training nach Tallal (1996) eine signifikante Verbesserung der Leseleistung. Primäre Folge des Trainings sei die Verbesserung in der phonologischen Bewusstheit gewesen, welche mit einer im fMRI gemessenen und links temporo-parietal erhöhten kortikalen Aktivität korreliert war. Diese auch kortikal repräsentierte Verbesserung der phonologischen Verarbeitung habe dann die verbesserte Lesefähigkeit ermöglicht. Damit könnte in unserer Studie die ausbleibende Verbesserung der Lesefähigkeit dadurch erklärt werden, dass auch keine signifikante Verbesserung der phonologischen Verarbeitung erreicht werden konnte (vgl. Kap. 7.2).

Die Lesezeiten werden nur in wenigen Studien erfasst. Von den Studien, die vom Training und der Stichprobe her mit unserer Studie vergleichbar sind, wurde nur in der Studie von Berwanger & von Suchodoletz (2004) die Lesezeit bei einem „Pseudotext“ und dem ZLT gemessen. Nach dem Wahrnehmungstraining erfolgte in dieser Studie wie für die Lesefehler auch für die Lesezeit keine Verbesserung. In unserer Studie haben sich dagegen die Lesezeiten für die LRS-Gruppe in allen Lesetests signifikant verbessert. Allerdings wurden nur die Aufgaben des ZLT von den Probanden aller Trainingsgruppen signifikant schneller gelesen, beim Pseudowörterlesen verbesserte sich nur die Buschmanngruppe und beim Wortlesetest ergab sich nur eine signifikante Verbesserung, wenn alle Trainingsgruppen gemeinsam berücksichtigt werden. Die Kontrollgruppe erzielte in allen Tests weder bei den Lesefehlern noch in der Lesezeit eine signifikante Verbesserung. Damit unterschied sich in der Lesezeit nach dem Training keine Trainingsgruppe mehr von der Kontrollgruppe bei irgendeinem Lesetest, während auf Grund der größeren Stichprobe bei Vergleich LRS-Gruppe vs. Kontrollgruppe nur bei der Lesezeit der Pseudowörter keine signifikanten Unterschiede mehr feststellbar waren.

7.1.3.1 Erhöhte Lesegeschwindigkeit im ZLT und Wortlesetest

Da die Lesefähigkeit mit keinem Training explizit trainiert wurde, höchstens für das Buschmanntraining durch die neu erlernte und auch auf das Lesen angewandte Technik des Silbierens eine Leseverbesserung erwartet werden konnte, und keine der Trainingsgruppen nach dem Training weniger Lesefehler machte als vor dem Training, ist es unwahrscheinlich, dass die für alle Probanden mit LRS nach dem Training erhöhte Lesegeschwindigkeit beim ZLT und dem Wortidentifikationstest einen differentiellen Trainingseffekt darstellt.

Beim ZLT könnte diese Verbesserung möglicherweise auf die fehlende Parallelförmigkeit des Tests zurückgeführt werden. Gerade bei den Texten kann nach nur sechs Wochen ein Wiedererkennungseffekt eingetreten sein. Dieser Effekt kann dazu geführt haben, dass die Texte nach dem Training zwar schneller, aber nicht aufmerksamer gelesen wurden, so dass das Wiedererkennen keine Auswirkung auf die Anzahl der Lesefehler hatte. Da v.a. die Wortlisten aber auch die Texte von den Kindern der Kontrollgruppe schon zum ersten Testzeitpunkt sehr leicht und schnell (0,7s pro Wort) gelesen werden konnten, kann von einem Deckeneffekt

ausgegangen werden, der erklärt, warum diese Gruppe von dem Wiedererkennungseffekt nicht mehr profitieren konnte.

Allerdings kann der Wiedererkennungseffekt beim Wortlesetest nicht die signifikante Verbesserung der Lesezeit der LRS-Gruppe erklären, da bei diesem Test nach dem Training eine Parallellform verwendet wurde. Da der Effekt der erhöhten Lesegeschwindigkeit jedoch nur signifikant wurde, wenn alle Trainingsgruppen gemeinsam als LRS-Gruppe mit der Kontrollgruppe verglichen wurden und es keine signifikante Reduktion der Fehlerzahl gab, könnte auch hier angenommen werden, dass die Kinder die Wortlisten beim zweiten Mal deshalb schneller lasen, weil sie jetzt mit der Art der Aufgabe besser vertraut waren, und nicht weil sich ihre Lesefähigkeit durch das Training verbessert hat. Auch bei diesem Test könnte die nicht verbesserte Lesegeschwindigkeit bei der Kontrollgruppe zum zweiten Testzeitpunkt durch einen Deckeneffekt erklärt werden.

Während das Ausmaß eines Regressionseffekts bei der Verbesserung der LRS-Gruppe beim DRT durch den Vergleich mit der Studie von Schulte-Körne et al. (2001c) abgeschätzt werden konnte, fehlt ein solcher Vergleich für die Verbesserung der Lesezeit im ZLT und Wortlesetest. Es muss aber davon ausgegangen werden, dass ein gewisser Anteil der Verbesserung auch durch diesen Effekt zu Stande gekommen sein könnte (vgl. Nachtigall, Suhl, 2002).

Damit kann der Schluss gezogen werden, dass es bei den reinen Lesetests weder für die Lesefehler noch für die Lesezeit eine trainingsinduzierte Verbesserung gegeben hat.

Unspezifische Effekte scheinen für die Erklärung der Verbesserung der Lesezeit beim Pseudowörterlesen der Buschmanngruppe kaum geeignet zu sein, da sich unspezifische Effekte auf alle Trainingsgruppen gleichermaßen auswirken müssten. Im folgenden Kapitel wird diskutiert, ob diese differentielle Verbesserung möglicherweise mit verbesserten phonologischen Prozessen zusammenhängen könnte.

7.1.3.2 Kürzere Lesezeit beim Pseudowörterlesen nach dem Training in der Buschmanngruppe als Maß für verbesserte phonologische Verarbeitung?

Die Präsentation von Pseudowörtern ist das Verfahren, das am häufigsten angewendet wird, um phonologische Prozesse beim Lesen zu untersuchen. Diese Wörter können beim Lesen nicht aus einem lexikalischen Speicher abgerufen

werden, sondern können nur gelesen werden, indem sie mit Hilfe der Graphem-Phonem-Konversions-Regeln dekodiert werden (Rack, 1992). Die Theorie des phonologischen Verarbeitungsdefizits der Dyslexie beruht auf der Tatsache, dass in der überwiegenden Mehrzahl der Studien zum Pseudowörterlesen die dyslektischen Probanden signifikant schlechter abschneiden als die Kontrollprobanden und somit Defizite in der phonologischen Verarbeitung zu haben scheinen (vgl. Kap. 2.1). Dieses Pseudowörterlesedefizit für die Probanden mit LRS wurde auch in unserer Studie sowohl für die Lesefehler als auch für die Lesezeit gefunden. Außerdem gibt es zahlreiche Studien, die zeigen konnten, dass ein Training der phonologischen Verarbeitung zu Verbesserungen im Lesen und Schreiben führt (für einen Überblick: Bus & van Ijzendoorn, 1999). In der vorliegenden Studie sollte das Buschmanntraining als phonologisches Lese- und Rechtschreibtraining eingesetzt werden, da das Silbieren als zentrales Element dieses Trainings eine Intervention auf phonologischer Ebene bzw. ein Training der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinne darstellt (Skowronek & Marx, 1989) (vgl. Kap. 5.5.2). Würde sich nur diese Trainingsgruppe in den Lese- und Rechtschreibtests und darüber hinaus in den Tests zur phonologischen Verarbeitung verbessern und gäbe es signifikante Korrelationen zwischen der Verbesserung in den phonologischen und den Lese-Rechtschreibtests, wäre das ein starker Beleg für den Zusammenhang zwischen phonologischen Verarbeitungsdefiziten und mangelhafter Leistung im Lesen und Schreiben und damit für die Gültigkeit der phonologischen Defizithypothese.

So prototypisch fielen die Verbesserungen jedoch nicht aus. Von den zur Überprüfung der phonologischen Verarbeitung eingesetzten Tests verbesserte sich nur die Computertrainingsgruppe in der kategorialen Wahrnehmung des /ba/-/da/-Kontinuums, und nur die Buschmanngruppe in der Lesezeit der Pseudowörter. Möglicherweise könnte aber bei der Buschmanngruppe die Verbesserung der Lesezeit bei den Pseudowörtern einerseits, und die Verbesserung im DRT und bei der Lesezeit im ZLT andererseits als Hinweis für den Zusammenhang zwischen verbesserter phonologischer Verarbeitung und verbesserter Lese- und Rechtschreibleistung dienen. Allerdings wurde im vorhergehenden Absatz (Kap. 7.1.3.1) bereits erörtert, dass die Verbesserung der Lesezeit im ZLT höchstwahrscheinlich nicht durch das Training bedingt ist. Außerdem korrelierte die Verbesserung in der Lesezeit beim Pseudowörterlesen als möglicher Hinweis auf eine Verbesserung der phonologischen Verarbeitung nur mit der (bedeutungslosen)

Verbesserung der Lesezeit im ZLT und nicht mit der reduzierten Fehlerzahl im DRT, so dass es keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen einer möglichen Verbesserung bei der phonologischen Verarbeitung und der Lese-Rechtschreibfähigkeit gibt.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob allein die erhöhte Lesegeschwindigkeit der Pseudowörter als Indiz für eine verbesserte phonologische Verarbeitung ausreicht. Dagegen spricht die Tatsache, dass sich die Buschmanngruppe in dieser Studie im Gegensatz zur Studie von Heim et al. (2000a) in keinem weiteren Test zur Erfassung der phonologischen Verarbeitung signifikant verbessern konnte (Mottiertest, kategoriale Wahrnehmung, lauttreues Diktat und Fehlerzahl beim Pseudowörterlesen). In der Studie von Heim et al. (2000a) konnten sich die Kinder nach dem Buschmanntraining zwar zusätzlich in den anderen Tests zur phonologischen Verarbeitung verbessern, allerdings erlauben auch diese Ergebnisse keine Bestätigung der phonologischen Defizithypothese, da in dieser Studie eine legasthenische Kontrollgruppe mit einem anderen Training fehlt, so dass unspezifische Trainingseffekte nicht ausgeschlossen werden können.

Wimmer (1993) weist allerdings explizit auf die Bedeutung der Lesegeschwindigkeit von Pseudowörtern bei deutschsprachigen Kindern mit Dyslexie hin: Während in englischsprachigen dyslektischen Stichproben die Fehlerrate beim Pseudowörterlesen zwischen 40% und 60% liegt (Rack et al., 1992), fand Wimmer bei einer deutschsprachigen dyslektischen Stichprobe nach der 2. Klasse eine Fehlerrate von 17%, die nach der 4. Klasse auf 8% zurückging und sich nicht mehr von einer Kontrollgruppe aus der 2. Klasse mit gleichem Leselevel unterschied. In der Lesegeschwindigkeit gab es aber auch in der 4. Klasse noch signifikante Unterschiede zur Kontrollgruppe mit gleichem Leselevel aus der 2. Klasse. In einer zweiten Studie konnte er dieses Ergebnis replizieren (Wimmer, 1996). Aus diesen Ergebnissen schloss er, dass zwar auch für deutschsprachige Kinder mit LRS ein Pseudowörterleseproblem vorliegt, welches aber qualitativ von dem englischsprachiger Stichproben verschieden ist. Da die Kinder ab der 4. Klasse bei den Pseudowörtern nicht mehr Fehler machen als eine Kontrollgruppe mit gleichem Lesealter, schienen die Phonem-Graphem-Korrespondenzen zuverlässig erworben zu sein. Die langsame Lesegeschwindigkeit der Pseudowörter liefere aber wie Schwierigkeiten bei Aufgaben zum schnellen Benennen einen Hinweis auf phonologische Verarbeitungsprobleme in der Art, dass auf phonologische

Gedächtnisrepräsentationen langsamer zugegriffen werden kann (Defizite beim phonologischen Rekodieren beim lexikalischen Zugang; vgl. Kap 2.1.2). So konnte er in einer Studie zeigen, dass die Geschwindigkeit des Zifferbenennens bei einer „Rapid Naming Task“ der beste Prädiktor für die Lesegeschwindigkeit von Pseudowörtern war (Wimmer, 1993).

Da in unserer Studie für das Pseudowörterlesen Wiedererkennungseffekte auf Grund der Parallelformen ausgeschlossen werden können, könnte die kürzere Lesezeit, die nur die Buschmanngruppe nach dem Training erreicht hat, in Anlehnung an Wimmers Interpretation (1993, 1996) einen spezifischen Trainingseffekt des Buschmanntrainings in der phonologischen Verarbeitung bzw. im Zugang zu phonologischen Gedächtnisrepräsentationen darstellen. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass bei unserer legasthenischen Stichprobe die Phonem-Graphem-Korrespondenzen mangelhaft repräsentiert sind, weil sich die Fehlerzahl der Buschmanngruppe beim Pseudowörterlesen durch das Training nicht verringert hat und immer noch signifikant höher ist als die der Kontrollgruppe. Es ist äußerst unwahrscheinlich, dass die Geschwindigkeit des Zugriffs auf phonologische Repräsentationen von Graphemen (Lesezeit von Pseudowörtern) unabhängig von der Güte der Repräsentationen der Phonem-Graphem-Korrespondenzen ist (Lesefehler bei den Pseudowörtern). Deshalb kann für unsere Studie, in der die Buschmanngruppe signifikant mehr Fehler beim Pseudowörterlesen gemacht hat als die Kontrollgruppe, die Interpretation Wimmers für das langsame Lesen von Pseudowörtern nicht herangezogen werden. Folglich kann auch aus einer erhöhten Geschwindigkeit des Pseudowörterlesens nicht auf einen verbesserten Zugriff auf phonologische Repräsentationen geschlossen werden. Außerdem ist es wenig plausibel, dass sich ein Training mit Aufgaben zur phonologischen Bewusstheit (Silbieren) nur auf die Geschwindigkeit des Zugangs zu phonologischen Repräsentationen (Lesegeschwindigkeit der Pseudowörter) und nicht auf das trainierte Gebiet der lautgetreuen Verschriftlichung (Fehler im lauttreuen Diktat) bzw. der Phonem-Graphem-Korrespondenz (Fehler beim Pseudowörterlesen) auswirkt. Damit kann die Verbesserung in der Lesezeit der Pseudowörter nicht als Verbesserung in phonologischen Prozessen interpretiert werden.

Die plausibelste Erklärung für die erhöhte Lesegeschwindigkeit der Pseudowörter nach dem Buschmanntraining liegt wohl wie beim Wortidentifikationstest darin, dass die Kinder beim zweiten Mal mit der Art der Aufgabe besser vertraut waren. Da die

Pseudowörter aber für alle Kinder als Lesestimuli sehr unvertraut sind, konnte von dem Wiederholungseffekt nur die Buschmanngruppe profitieren, die im Verlauf des Trainings Silbierungs- und Leseübungen mit sinnfreien Silbenketten gearbeitet hat und so ihre Berührungsängste mit den Pseudowörtern abbauen konnte. Da beim Lesen der Pseudowörter nach dem Training nicht weniger Fehler gemacht wurden, scheint keine substantielle Verbesserung eingetreten zu sein, sondern nur ein schnelleres Lesen wegen der Vertrautheit mit der Aufgabe.

Vorraussetzung für die Interpretation Wimmers ist eine vergleichbare Leistung in der Anzahl der Fehler beim Pseudowortlesen zwischen der Kontroll- und LRS-Gruppe, die nur dann erwartet werden kann, wenn sich die Gruppen auch bei der leichteren Aufgabe des Lesens von echten Wörtern nicht unterscheiden, wenn sie also nicht nach dem Alter sondern nach ihrer Leseleistung parallelisiert werden. Da sich die beiden Gruppen in unserer Studie nicht nur in ihrer Fähigkeit des Pseudowörterlesens sondern auch beim Lesen der Wortlisten unterscheiden, kann nicht entschieden werden, ob phonologische Defizite (schlechte Leistung beim Pseudowörterlesen) das Lesen von echten Wörtern beeinflussen, oder ob sich andere defizitäre kognitive Prozesse gleichermaßen negativ auf das Lesen von Pseudo- und echten Wörtern auswirken. Mögliche Unterschiede in den Leseleistungen könnten auch durch phonologieunabhängige Gedächtnisdefizite (Geva, Siegel, 2000; Heim, 2002; Wimmer, 1996), durch visuelle Defizite (Lovegrove et al., 1990), durch generelle Automatisierungsschwierigkeiten (Nicolson, Fawcett, 1990; Tonnessen, 1999), durch Schwierigkeiten im Erlernen und der Anwendung von (Lese-)Strategien (Torgesen, 1977), durch weniger Übung im Lesen (Stanovich, 1993b; Manis et al., 1996) bzw. dem Matthew-Effekt (Stanovich, 1988b) oder Artikulationsschwierigkeiten (Baddeley, 1986; Snowling, 1981) bei den dyslektischen Kindern zustande gekommen sein. Damit könnte es sein, dass phonologische Defizite in unserer Stichprobe gar keinen Einfluss auf die Leseleistung haben oder womöglich gar nicht vorhanden sind.

Allerdings spricht die Tatsache, dass die legasthenische Gruppe vor dem Training in allen Tests zur phonologischen Verarbeitung signifikant schlechter abgeschnitten hat als die Kontrollgruppe, gegen die These, dass bei dieser Gruppe gar keine phonologischen Verarbeitungsdefizite vorliegen. Es bleibt aber zu klären, mit welchen Tests in dieser Studie tatsächlich phonologische Defizite erfasst werden.

Unabhängig von diesem Problem kann auf Grund der dargestellten Zusammenhänge aber zumindest der Schluss gezogen werden, dass in unserer Studie mit dem Buschmanntraining weder eine Verbesserung des Pseudowörterlesens noch einer anderen Testleistung zur Erfassung phonologischer Prozesse erzielt werden konnte, die der Verbesserung in der Lesezeit und der Rechtschreibleistung (DRT) zu Grunde liegen könnten.

7.1.4 Kategoriale Wahrnehmung

In der vorliegenden Studie wurde versucht, die Ergebnisse von Heim (2002) mit identischen Stimuli und identischer Auswertung zu replizieren. Zusätzlich wurde die Leistung im /da-/ga/-Kontinuum untersucht.

Vor dem Training war die Kontrollgruppe wie erwartet sowohl im /ba-/da/- als auch im /da-/ga/-Kontinuum signifikant besser als die Gruppe aller Kinder mit LRS. Damit konnte für die LRS-Gruppe ein Defizit bei der zuverlässigen Wahrnehmung von Phonemen gezeigt werden, was den Ergebnissen von Godfrey et al. (1981), Reed (1989) und Heim (2002) entspricht und als Hinweis auf phonologische Defizite bei der Gruppe mit LRS betrachtet werden kann. Setzt man den Fokus allerdings auf die einzelnen Gruppen, unterschied sich vor dem Training beim /ba-/da/-Kontinuum nur die Computertrainingsgruppe und beim /da-/ga/-Kontinuum die Buschmann- und Computertrainingsgruppe signifikant von der Kontrollgruppe. Dies entspricht den Ergebnissen von Manis et al. (1997) und Joannis et al. (2000), die nur bei einer Subgruppe der Probanden mit LRS ein kategoriales Wahrnehmungsdefizit fanden. Im Gegensatz zur Studie von Adlard und Hazan (1998) scheint jedoch in unserer Studie das /da-/ga/-Kontinuum besser zwischen den Gruppen zu differenzieren als das /ba-/da/-Kontinuum. Während in den Studien von Manis et al. (1997) nur die Kinder mit schwach ausgeprägter phonologischer Bewusstheit und bei Joannis et al. (2000) nur die Kinder mit phonologischen und Sprachdefiziten (SLI) eine signifikant reduzierte kategoriale Wahrnehmung zeigten, gibt es in unserer Studie keinen Hinweis darauf, dass die Computer- oder die Buschmanngruppe in den anderen Aufgaben zur phonologischen Verarbeitung schlechter abgeschnitten hätten als die Marburgergruppe, zumal es in unserer Studie zwischen den verschiedenen Trainingsgruppen überhaupt keine signifikanten Unterschiede in den Tests zur phonologischen Verarbeitung gegeben hat.

Für die Kategoriengrenze beim /ba-/da/-Kontinuum konnte das Ergebnis von Heim (2002) ebenfalls repliziert werden: In beiden Studien lag die Kategoriengrenze für alle Gruppen bei der Stufe 6 von 10. Beim /da-/ga/-Kontinuum unserer Studie war die Grenze dagegen erst bei Stufe 8.

In der vorliegenden Studie wurde die Fläche zwischen den Identifikationskurven für das jeweilige Kontinuum (z.B. /ba-/da/) berechnet. Dieser Flächenkennwert bzw. Vergleichsindex enthält sowohl Information über die Steigung des Gradienten (je steiler, desto größer die Fläche) als auch über die Zuverlässigkeit der Phonemwahrnehmung bei jeder Stufe des Kontinuums (je konstanter die Wahrnehmung, desto größer die Fläche). Er erlaubt jedoch keine differentielle Unterscheidung der Gruppen getrennt nach Steigung des Gradienten oder Unterschieden an bestimmten Stellen des Kontinuums. Da in allen anderen Studien, außer in der Studie von Heim (2002), die Steigung des Gradienten der Identifikationsfunktion berechnet wurde, müssen die angestellten Vergleiche mit diesen Studien vorsichtig beurteilt werden. Es ist anzunehmen, dass bei der Berechnung der Fläche mehr Probanden ein signifikantes Defizit zeigen als wenn nur die Steigung des Gradienten berücksichtigt wird.

Auch nach dem Training bleibt der Leistungsunterschied zwischen der LRS-Gruppe und der Kontrollgruppe bei beiden Aufgaben signifikant. Werden jedoch die einzelnen Trainingsgruppen nach dem Training mit der Kontrollgruppe verglichen, gibt es bei beiden Aufgaben auf Grund der kleineren Stichproben keine Unterschiede zwischen den Gruppen mehr. Während sich in der Studie von Heim (2002) die Gruppe mit dem Buschmanntraining beim /ba-/da/-Kontinuum signifikant verbesserte (es gab keine Kontrollgruppe mit anderem Training), verbesserte sich in unserer Studie die Computertrainingsgruppe beim /ba-/da/-Kontinuum signifikant.

Dies zeigt, dass mit einem adaptiven Wahrnehmungstraining mit veränderten zeitlichen Eigenschaften der Stimuli die kategoriale Wahrnehmung von Phonemen verbessert werden kann. Das wurde allerdings auch so erwartet, da sowohl beim Computertraining im Spiel 3 als auch bei den Aufgaben zur kategorialen Wahrnehmung die Formantentransitionsperioden des 2. und 3. Formanten der Silben /ba/, /da/ und /ga/ variiert wurden, so dass mit dem Spiel 3 spezifisch der Bereich trainiert wurde, der mit den Aufgaben zur kategorialen Wahrnehmung überprüft wurde. Allerdings verpasste die Verbesserung für das Spiel 3 im Verlauf des

Trainings vom ersten bis zum letzten Termin das Signifikanzniveau, eine signifikante Verbesserung wurde nur für das auditorisch-visuelle sprachfreie Spiel 2 erreicht.

Auf Grund fehlender Korrelationen scheint die verbesserte Wahrnehmung der Phoneme nicht mit der Verbesserung in anderen Bereichen (z.B. mit der Verbesserung im DRT oder mit phonologischen Prozessen) zusammenzuhängen, sondern wegen des sehr ähnlichen Stimulusmaterials zu einem großen Teil den Fortschritt im Computertraining zu dokumentieren, wenngleich ein gewisser Transfer von der stärkeren Verbesserung mit den nichtsprachlichen Reizen im Spiel 2 auf die sprachlichen Reize bei der kategorialen Wahrnehmung nicht ausgeschlossen werden kann. Allerdings scheint dieser Transfer so gering zu sein, dass er sich nicht auf das /da-/ga/-Kontinuum ausgewirkt hat, was gegen eine generelle Verbesserung der phonologischer Prozesse durch das Computertraining spricht.

Da die Computertrainingsgruppe im /ba-/da/-Kontinuum außerdem die einzige Gruppe ist, die vor dem Training signifikant schlechter war als die Kontrollgruppe, könnte die signifikante Verbesserung auch durch die vor dem Training deutlich schlechtere Leistung erklärt werden, zumal sich die Computertrainingsgruppe durch das Training nicht auf das Niveau der Kontrollgruppe verbessert hat, sondern gleichauf mit den anderen Trainingsgruppen immer noch deutlich (nicht signifikant) schlechter war als die Kontrollgruppe.

Durch das Computertraining konnte also die Identifikation der Stimuli des /ba-/da/-Kontinuums verbessert werden, es ist jedoch sehr unwahrscheinlich, dass das verbesserte phonologische Prozesse widerspiegelt.

7.2 Phonologisches Verarbeitungsdefizit

In allen Aufgaben zur phonologischen Verarbeitung schnitten in unserer Studie die Kinder mit Legasthenie signifikant schlechter ab, als die unbeeinträchtigten Kontrollkinder. Das entspricht den Ergebnissen einer Großzahl von Studien zur phonologischen Verarbeitung bei Dyslexie (z.B. Snowling et al., 1981; Semrud-Clikema, 2000; Swan, Goswami, 1997b; vgl. Kap. 2.1) und stützt die Theorie des phonologischen Verarbeitungsdefizits. Die verwendeten Verfahren sollten verschiedene Aspekte der phonologischen Verarbeitung erfassen (vgl. Kap. 5.3), so dass im einzelnen zunächst Defizite im verbalen Kurzzeitgedächtnis auf sublexikalisch-phonologischem Level (Mottiertest; vgl. Ramus, 2001), beim phonologischen Dekodieren unter Verwendung der Graphem-Phonem-

Korrespondenz-Regeln (Pseudowörterlesen; vgl. z.B. Rack et al., 1992) und beim phonologischen Enkodieren (lauttreues Diktat; vgl. Heim, 2002) vermutet werden.

Außerdem war die Gruppe der Kinder mit LRS bei der kategorialen Wahrnehmung des /ba/-/da/- und des /da/-/ga/-Kontinuums als Hinweis auf Defizite bei der Diskriminations- und Identifikationsfähigkeit von Phonemen signifikant schlechter als die Kontrollgruppe, womit die Ergebnisse einiger Studien, die ebenfalls dieses Defizit zeigen, repliziert werden konnten (z.B. Heim, 2002; Reed, 1989; Godfrey et al., 1981; vgl. Kap. 2.2).

Wie in den vorangegangenen Kapiteln zum Teil schon erörtert wurde, gibt es trotz dreier signifikanter Verbesserungen keinen eindeutigen Hinweis darauf, dass durch ein Training eine substantielle Verbesserung der phonologischen Verarbeitung erreicht werden konnte, wenn es auch Hinweise für geringfügige Verbesserungen gibt (vgl. S. 162). So scheint die Verbesserung der Lesezeit der Pseudowörter durch die Buschmanngruppe eher unspezifisch damit erklärt werden zu können, dass die Buschmanngruppe als einzige während dem Training mit sinnfreien Silbenketten konfrontiert wurde, und deshalb beim zweiten Lesen der Pseudowörter mit dieser Wortart vertrauter war als die anderen Gruppen. Eine Verbesserung phonologischer Prozesse kann daraus nicht abgeleitet werden, da sich dafür auch die Fehlerzahl hätte reduzieren müssen (vgl. Kap. 7.1.3.2). Die verbesserte Identifikation der Silben bei der kategorialen Wahrnehmung des /ba/-/da/-Kontinuums durch die Computertrainingsgruppe als zweite Verbesserung in einem phonologischen Test scheint eher die Verbesserung beim Computerspiel zu dokumentieren als eine bedeutsame Verbesserung von phonologischen Prozessen zu belegen (vgl. Kap. 7.1.4). Die verbesserte Leistung beim lauttreuen Diktat durch die Marburger Trainingsgruppe schließlich kann kaum als Zeichen verbesserter phonologischer Verarbeitung interpretiert werden, da mit diesem Training ausschließlich die Aneignung und Anwendung von Rechtschreibregeln trainiert wurde, die nichts mit phonologischer Verarbeitung zu tun haben. Da diese Verbesserung nur bei normaler und nicht bei strikt lauttreuer Auswertung des Diktats signifikant wird, zeugt dies vornehmlich von verbesserter Rechtschreibleistung, für die kein Zusammenhang mit verbesserter phonologischer Verarbeitung hergestellt werden kann.

Da die phonologische Verarbeitung durch kein Training verbessert werden konnte, können phonologische Prozesse auch nicht die verbesserte Rechtschreibleistung erklären. Damit kann kein kausaler Zusammenhang zwischen den phonologischen

Defiziten und der LRS hergestellt werden. Es scheint eher eine Ko-Existenz der beiden Störungen vorzuliegen. Genauso, wie nicht ausgeschlossen werden kann, dass nur ein Teil der Kinder phonologische Defizite hat, ist es auch möglich, dass sich ein Teil der Kinder in den phonologischen Tests verbessert hat, ohne dass dies zu einem signifikanten Gruppeneffekt geführt hat. Möglicherweise hätte ein länger dauerndes Training nicht nur die „Symptome“ sondern auch die mögliche „Ursache“ so verbessert, dass ein signifikanter Gruppeneffekt eingetreten wäre.

Zur Klärung der Frage, welche der Tests tatsächlich Aspekte phonologischer Verarbeitung erfassen, können die Ergebnisse der Faktorenanalyse Aufschluss geben. Die Anzahl der Probanden pro Trainingsgruppe ist zwar zu klein, um für jede Trainingsgruppe eine zuverlässige Faktorenstruktur zu erhalten; die Anzahl der Probanden und die Höhe der Faktorenladungen der Gruppe aller Kinder mit LRS ist nach der Gleichung zur Bestimmung der Faktorenstärke von Guadagnoli und Velicer (1988) jedoch ausreichend, um die Faktorenstruktur der Gruppe aller Kinder mit LRS sinnvoll interpretieren zu können (vgl. Kap. 5.6.3).

Entgegen der Erwartung scheint es keinen eigenständigen Faktor „phonologische Verarbeitung“ zu geben. Die Leistung im Pseudowörterlesen, die in vielen, v.a. englischsprachigen, Studien als zuverlässiges Maß für die phonologische Verarbeitung bzw. phonologisches Dekodieren gilt (Snowling et al., 1981; Semrud-Clikema, 2000, für einen Überblick: Rack et al., 1992), lädt in unserer Studie zu beiden Messzeitpunkten für die LRS-Gruppe gemeinsam mit der Leistung im Wortlesetest und der Leistung im ZLT mit ausschließlich hohen Ladungen auf dem Faktor „Lesefähigkeit“ bzw. „Lesezeit“ (für die gesamte LRS-Gruppe zwischen 0,61 und 0,9).

Die signifikant schlechtere Leseleistung beim Lesen von Pseudo- *und* echten Wörtern der LRS-Gruppe (vgl. Kap. 7.1.3.2), die stabile Faktorenstruktur und die hohen Ladungen lassen zwei Schlüsse zu: Entweder sind bei beiden Wortarten in gleichem Maße phonologische Defizite für die Leseschwierigkeiten verantwortlich oder es liegen den Schwierigkeiten der LRS-Gruppe beim Lesen von Pseudo- und echten Wörtern hauptsächlich dieselben nicht erfassten Variablen wie Gedächtnisprobleme oder weniger Übung zu Grunde (Mathew-Effekt; vgl. Kap. 7.1.3.2), die nichts mit phonologischer Verarbeitung zu tun haben.

Gegen phonologische Defizite beim (Pseudo-)Wörterlesen sprechen die Ergebnisse einiger Studien, in denen gezeigt werden konnte, dass sowohl unbeeinträchtigte

(Frith et al., 1998; Wimmer, Goswami, 1994; Wimmer et al., 1991) als auch dyslektische deutschsprachige Kinder (Landerl et al., 1997) aufgrund der flachen Orthographie und der relativ geringen Anforderungen der deutschen Schriftsprache an die phonologische Dekodierfähigkeit (Mayringer, Wimmer, 2000) signifikant weniger Schwierigkeiten mit dem Lesen von Pseudowörtern haben, als entsprechende englischsprachige Kinder.

Damit stimmen auch die Ergebnisse der Faktorenanalyse in unserer Studie überein: Die Leistungen der schriftsprachfreien phonologischen Tests (Mottiertest und kategoriale Wahrnehmung) laden vor und nach dem Training sowohl für die LRS-Gruppe als auch für die (nur unter Vorbehalt zu interpretierende)² Kontrollgruppe überwiegend auf dem Faktor „Rest“³ und scheinen damit unabhängig von den Leistungen im Pseudowörterlesen zu sein, welche für beide Gruppen hoch konsistent auf dem Faktor „Lesefähigkeit“ bzw. „Lesezeit“ laden.

Obwohl alle drei Verfahren verwendet werden, um phonologische Prozesse zu untersuchen, unterscheiden sie sich doch in den kognitiven Anforderungen, die zu ihrer Bearbeitung erforderlich sind. Das Pseudowörterlesen und der Mottiertest sind beides Verfahren zur Überprüfung der phonologischen Dekodierfähigkeit auf sublexikalischem Level (Ramus, 2001). Während phonologisches Dekodieren beim Pseudowörterlesen aber bedeutet, dass mit Hilfe der Graphem-Phonem-Korrespondenz-Regeln aus dem Langzeitgedächtnis ohne semantische Zusatzinformation („sublexikalisch“) jedem Graphem das entsprechende Phonem zugeordnet wird und diese Phoneme verbunden werden, besteht das phonologische Dekodieren beim Pseudowörternachsprechen (Mottiertest) darin, sublexikalisch die Reihenfolge und Art der Phoneme in einem phonemischen Kurzzeitspeicher abzuspeichern (phonetisches Rekodieren, vgl. Kap. 2.1.3) und in ein artikulatorisches Motorprogramm zu übersetzen (Snowling, 1981), wobei hier kein Wissen um die Phonem-Graphem-Korrespondenz-Regeln erforderlich ist.

² Die Faktorenstruktur und die Faktorladungen der Lesezeiten und Lesefähigkeiten sind für die Kontrollgruppe nach der Trainingsperiode äußerst stabil geblieben und scheinen deshalb nicht beliebig zu sein. Daraus wurde die Berechtigung abgeleitet, die Faktorenstruktur der Kontrollgruppe trotz zu kleiner Stichprobe vorsichtig zur Interpretation heranzuziehen.

³ Die Bezeichnung des Faktors „Rest“ als Faktor „Phonologie“ erschien nicht zulässig, weil für die LRS-Gruppe die Leistungen der kategorialen Wahrnehmung und des Mottiertests nur nach dem Training und nur mit entgegengesetztem Vorzeichen auf diesem Faktor laden und weil auch bei der Kontrollgruppe die Leistung der kategorialen Wahrnehmung meist mit umgekehrtem Vorzeichen wie beim Mottiertest auf diesem Faktor lädt. Außerdem lädt meist auch noch die Leistung im SPM auf diesem Faktor.

Farah et al. (1996) gehen davon aus, dass das Pseudowörternachsprechen einfacher ist als das Pseudowörterlesen, da bei ersterem zusätzliche bottom-up Unterstützung vom auditorischen System verfügbar sei. Andererseits entsprechen sich zwar Pseudowörterlesen und -nachsprechen in ihren phonologischen Anforderungen an das Segmentieren und das Kurzzeitgedächtnis und in der motorischen Artikulationsleistung (Briscoe et al., 2001), darüber hinaus können sich auf die Leistung beim Pseudowörterlesen außer Schwierigkeiten bei der Graphem-Phonem-Übertragung zusätzliche Einflussfaktoren auswirken, die auch ohne phonologische Defizite auf das Lesen von echten Wörtern leistungsbegrenzend wirken. Dazu gehören z.B. visuelle Defizite, generelle Automatisierungsschwierigkeiten, Schwierigkeiten im Erlernen und der Anwendung von (Lese-) Strategien, mangelnde Übung im Lesen (vgl. Kap 7.1.3.2), aber auch Angst, Unsicherheit oder Misserfolgeserwartung, die oft mit dem Lesen von unbekannten Wörtern verbunden ist. Damit ist es generell auch möglich, dass trotz Defiziten beim Nachsprechen von Pseudowörtern das Lesen von Pseudowörtern unbeeinträchtigt sein kann (vgl. Farah et al., 1996) oder dass, wie in unserer Studie, Beeinträchtigungen beim Mottiertest auf phonologische Defizite hinweisen, während schlechte Leistungen beim Pseudowörterlesen anderen defizitären Prozessen, die mit dem Lesen assoziiert sind, zusammenhängen können.

Die Tests der kategorialen Wahrnehmung überprüfen nach Mody et al. (1997) auch phonologisch-sprachliche Defizite und haben wie der Mottiertest den großen Vorteil, dass andere, nichtphonologische Faktoren, die die Lesefähigkeit der Pseudowörter beeinträchtigen können, die Leistung bei diesen Tests nicht beeinflussen.

Die Tatsache, dass die Leseleistung bei den Pseudowörtern sowohl für die Kontrollgruppe wie auch die LRS-Gruppe mit den Leseleistungen in den anderen Lesetests auf einem Faktor laden, und dass diese Ladungen bei der LRS-Gruppe nach dem Training um 0,1 bis 0,15 Punkte höher sind, spricht ebenfalls dagegen, dass diese Faktorenstruktur phonologische Defizite für beide Wortarten abbildet. Sie spricht vielmehr dafür, dass in der deutschen Sprache, bei der das phonologische Dekodieren ein relativ geringes Problem darstellt, schon bei einer „basalen“ Lesefähigkeit Defizite bei der phonologischen Dekodierung eine geringe Bedeutung haben, und dass das Pseudowörterlesen deshalb zunehmend weniger phonologische als vielmehr andere kognitive Leistungen abbildet, die dem Lesen zu Grunde liegen. Dem entspricht auch die Schlussfolgerung Snowlings (1981), dass

bei (englischsprachigen) Kindern in späteren Stadien des Leseerwerbs phonologische Defizite ein immer geringeres Problem darstellen. Daraus könnte man ableiten, dass bei der deutschen Sprache mit weniger komplexer Phonologie phonologische Defizite schon zu einem früheren Zeitpunkt des Leseerwerbs weniger leistungsbegrenzend sind.

Die Annahme, dass das Pseudowörterlesen in dieser Studie in nur geringem Ausmaß phonologische Defizite erfasst, kann auch durch die für die phonologischen Tests berechneten Korrelationen untermauert werden: Die Leistung im Mottiertest und der kategorialen Wahrnehmung korreliert für die Kontrollgruppe gar nicht und für die Kinder mit LRS wenn überhaupt, dann überwiegend mit der Leistung im Pseudowörterlesen vor dem Training [Mottiertest: korreliert prä schwach signifikant für die gesamte LRS-Gruppe mit dem Pseudowörterlesen ($r = 0,30$); /ba/-/da/-Kontinuum: korreliert prä nur für die gesamte LRS-Gruppe ($r = 0,43$) und die Buschmanngruppe ($r = 0,67$) und post: nur für die Marburgergruppe ($r = 0,57$) signifikant mit der Leistung im Pseudowörterlesen]. Da diese Korrelationen zwischen den schriftsprachfreien phonologischen Tests und dem Pseudowörterlesen für die Kontrollgruppe gar nicht und für die LRS-Kinder überwiegend vor dem Training auftreten, und das Pseudowörterlesen immer mit den entsprechenden Leistungen der Lestests korreliert, deutet auch das darauf hin, dass vor dem Training bei insgesamt etwas (nicht signifikant) geringerem Leseniveau mit dem Pseudowörterlesen noch in geringem Umfang Defizite der phonologischen Dekodierungsfähigkeit erfasst werden, während diese Defizite nach dem Training bei Erreichung eines „basalen“ Leseniveaus nicht mehr ins Gewicht fallen.

Für das Auftreten einer geringen (wenn auch nicht signifikanten) Verbesserung der phonologischen Fähigkeiten spricht auch, dass nach dem Training in den Aufgaben zur kategorialen Wahrnehmung keine Unterschiede mehr zwischen den Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe gefunden werden. Lediglich in der Leistung des Mottiertests gibt es auch nach dem Training noch signifikante Leistungsunterschiede zwischen der Kontrollgruppe und allen Trainingsgruppen, was dafür spricht, dass die sublexikalisch-phonologischen, mit dem Kurzzeitgedächtnis verbundenen Anforderungen, die mit dem Mottiertest erfasst werden, für unsere deutschsprachige LRS-Gruppe am schwierigsten zu erfüllen sind, womit die Leistung im Mottiertest das einzige ausreichend sensible phonologische Maß zu sein scheint,

mit dem vor und nach dem Training zuverlässig zwischen der Kontrollgruppe und der LRS-Gruppe differenziert werden kann.

Diese Ergebnisse stützen deutlich die in Kap. 7.1.4 formulierte Annahme, dass das Pseudowörterlesen in unserer Studie tatsächlich weniger ein Maß für die phonologische Verarbeitung als vielmehr ein weiteres Maß für die Lesefähigkeit bzw. Lesegeschwindigkeit darstellt. Damit muss auch die Schlussfolgerung von Heim (2002) in Frage gestellt werden, die bei ihrer LRS-Trainingsstudie mit einer für das Alter parallelisierten Kontrollgruppe Verbesserungen beim Pseudowörterlesen als verbesserte phonologische Verarbeitung interpretierte, obwohl die LRS-Gruppe sowohl beim Lesen der Pseudo- als auch der echten Wörter signifikant schlechter war als die Kontrollgruppe.

Die Faktorenanalyse ergibt für vor und nach dem Training als stärksten Faktor den Faktor „Orthographie / Lesefähigkeit“, auf dem die Leistungen in allen Lesetests, dem DRT und den beiden Diktatvarianten laden. Das ist insofern unerwartet, als dass es zunächst kontraintuitiv erscheint, dass sich die Anforderungen an das genaue Lesen und der Rechtschreibung ähnlicher sind, als an das genaue Lesen und die Lesegeschwindigkeit, welche für alle Lesetests auf dem zweiten Faktor lädt. Andererseits ist es offensichtlich, dass Geschwindigkeit eine eigene Dimension ist, die unabhängig von Lese- und Rechtschreibanforderungen ist. Dennoch hätte man erwarten können, dass die Anforderungen an das Lesen und Schreiben unterschiedlich genug sind, um in zwei unabhängigen Faktoren zu resultieren. Dem war aber offensichtlich nicht so. Allerdings geht der Zusammenhang zwischen Rechtschreib- und Lesefähigkeit nur für die Buschmanngruppe so weit, dass die signifikante Verbesserung im DRT auch mit einer (nicht signifikant) reduzierten Fehlerzahl im ZLT einhergeht ($r = 0,50$).

Auch wenn man davon ausgeht, dass bei unserer Stichprobe mit dem Pseudowörterlesen und dem lauttreuen Diktat nicht spezifisch Defizite der phonologischen Verarbeitung erfasst werden, weisen die signifikanten Unterschiede zwischen der LRS- und der Kontrollgruppe in den schriftsprachfreien Verfahren zur Erfassung der phonologischen Verarbeitung (Mottiertest und Tests zur kategorialen Wahrnehmung) ebenso wie die kortikalen Reaktionen auf die Präsentation der nieder frequenten Fastwords eindeutig auf phonologische Defizite hin (vgl. Kap. 7.5).

Der Beleg für die Gültigkeit der phonologischen Theorie der Dyslexie wäre allerdings größer, wenn es zumindest vor dem Training für die LRS-Gruppe außer der Korrelation zwischen Mottiertest und Wortlesen weitere Korrelationen zwischen den schriftsprachfreien phonologischen Tests und dem DRT bzw. den Lesetests signifikant würden. Außerdem verhindern auch die fehlenden substantiellen Verbesserungen in den Tests zur phonologischen Verarbeitung bzw. der fehlende Nachweis von erhöhter Betaband-Aktivität und einer höheren evozierten Amplitude auf die nieder frequenten Fast Words (vgl. Kap. 7.5) nach dem (Buschmann-) Training die Bestätigung eines kausalen Zusammenhangs zwischen phonologischem Verarbeitungsdefizit und LRS, der für die phonologische Theorie der Dyslexie zentral ist (Ramus et al., 2003).

7.3 Temporales Verarbeitungsdefizit

7.3.1 Unterschiede im MMF zwischen der LRS- und der Kontrollgruppe vor dem Training

Zur Überprüfung eines möglichen temporalen Verarbeitungsdefizits wurde das MMF mit dem MEG gemessen. Da sich die präsentierten Silben /ba/ und /da/ nur in den Formantenfrequenzen des ersten und zweiten Formanten während der ersten 40ms ihrer Präsentation unterschieden und da während der Messung keine Identifikation der Silben erforderlich ist, kann die MMF-Amplitude bei dieser Stimulation als Maß dafür gelten, inwieweit das auditorische System der Probanden in der Lage ist, in kürzester Zeit diese Frequenzunterschiede zu verarbeiten (vgl. Mody et al., 1997). Damit ist es ein Maß für temporale Verarbeitung bei sprachlichen Stimuli.

Entgegen der Erwartung gab es in der MMF-Amplitude vor dem Training keine signifikanten Unterschiede zwischen der LRS-Gruppe und der Kontrollgruppe. Damit widerspricht dieses Ergebnis den Ergebnissen zur MMN mit Silben (Schulte-Körne et al., 1998b; Schulte-Körne, 2001e) und komplexen Tönen (Baldeweg et al., 1999; Schulte-Körne et al., 1999b; Kujala et al., 2000). Allerdings stützt dieses Ergebnis die Funde der Mehrzahl der Verhaltensstudien, die meist nur für eine kleine Subgruppe (etwa 1/3) der Probanden ein temporales Verarbeitungsdefizit zeigen konnten (Ramus, 2003; s. Kap. 2.3). Desweiteren stützen die Ergebnisse den Einwand von Mody et al. (1997), dass aus Aufgaben, die eine Identifikation erfordern (z.B. kategoriale Wahrnehmung), nicht auf temporale Verarbeitungsdefizite geschlossen werden kann, da außer den Fähigkeiten zur Verarbeitung bzw. Diskrimination der

temporalen Eigenschaften (gleich oder verschieden: temporale Verarbeitung) zusätzliche Identifikationsleistungen (/ba/ oder /da/: phonologische Zuordnung von Lauten) und motorische oder artikulatorische Zuordnungsleistungen (rechte oder linke Pfeiltaste) erbracht werden müssen, die ebenfalls defizitär sein könnten. Dieser Unterschied wird in unserer Studie beim Vergleich der Ergebnisse der kategorialen Wahrnehmung und dem MMF mit den identischen Stimuli deutlich: Während es bei der Zuverlässigkeit der Unterscheidung der Endstimuli /ba/ und /da/ bei der kategorialen Wahrnehmung große Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und der LRS-Gruppe gab, werden diese Unterschiede bei der präattentiven und automatischen Diskrimination der identischen Stimuli nicht gefunden (keine reduzierte MMF-Amplitude). Die Probanden mit LRS scheinen also in der Lage zu sein, schon zu einem sehr frühen Verarbeitungszeitpunkt Unterschiede zwischen den Silben wahrzunehmen (MMF), können aber als Folge der wahrgenommenen Unterschiede nicht immer die richtige phonologische Zuordnung der Laute oder das Drücken der richtigen Taste leisten. Da motorische Defizite bei LRS selten berichtet werden, scheint das Hauptproblem bei der phonologischen Zuordnung bzw. Verarbeitung zu liegen.

Von den Studien, die eine reduzierte MMN bei Probanden mit Dyslexie finden, ist die Studie von Schulte-Körne et al. (1998b) unserer Studie in der Stimulation und den demographischen Daten der Stichprobe am ähnlichsten. Da die Stichprobe an dyslektischen Kindern in unserer Studie aber deutlich größer war (58 statt 19 dyslektische Probanden), scheinen im direkten Vergleich dieser Studien die Ergebnisse unserer Studie zuverlässiger. Da allerdings auch die überwiegende Mehrheit der Studien zur MMN bei dyslektischen Probanden mit nichtsprachlichen Reizen eine reduzierte MMF-Amplitude bzw. ein generelles temporales Verarbeitungsdefizit gefunden haben, können diese Ergebnisse nicht einfach mit dem Argument unserer größeren Stichprobe in Frage gestellt werden.

Ein großer Unterschied zwischen diesen Studien (z.B. Baldeweg et al., 1999; Schulte-Körne et al., 1999b; Kujala et al., 2000) und unserer Studie liegt darin, dass dort Tonfolgen aus vier Stimuli präsentiert werden, wobei in der abweichenden Bedingung die Dauer eines Tons oder eines ISI an irgendeiner Stelle in der Tonfolge variiert wurde, während die präsentierten Silben unserer Studie nur aus zwei Stimuli (Phonemen) bestanden, bei denen sich in der abweichenden Bedingung immer nur an der ersten Stelle (während der ersten 40ms) etwas veränderte. Kujala et al.

(2000) verglichen die MMN bei Tonpaaren (abweichende Bedingung: reduziertes ISI) und Tonfolgen (abweichende Bedingung: veränderte Reihenfolge der ISI) zwischen dyslektischen und Kontrollprobanden. Da sich die beiden Gruppen nur in der Tonfolgebedingung unterschieden und bei der Tonpaarbedingung eine gleich starke MMN-Amplitude zeigten, folgerten sie, dass die MMN bei Probanden mit Dyslexie zwar bei akustisch einfachem Kontext evoziert werden könne, dass aber Schwierigkeiten bei der Verarbeitung temporaler Information bestünden, wenn diese in einen auditiven Informationsfluss eingebettet sei, so wie das z.B. bei Phonemen in Wörtern der Fall sei. Das entspricht auch den Ergebnissen der Studien mit Reihen von Klicktönen von Hari und Kiesilä (1996) und Helenius (1999), in denen die Probanden mit Dyslexie akustische Täuschungseffekte noch bei deutlich längerem ISI wahrnahmen als die Kontrollprobanden. Dies interpretierten die Autoren als ein verlängertes Zeitfenster für die perzeptuelle Integration bei Probanden mit Dyslexie, in dem, übertragen auf die Sprachwahrnehmung, frühe Laute oder Lautanteile mit späteren interferieren, was dann phonologische Verarbeitungsschwierigkeiten bedingen könnte (vgl. Kap. 2.3). Diese Interpretation passt auch für die Daten vom Kujala et al. (2000) und könnte auch in unserer Studie zur Erklärung der fehlenden MMF-Unterschiede zwischen den dyslektischen und den Kontrollprobanden herangezogen werden: Angenommen, es gäbe für die Probanden mit Dyslexie ein verlängertes Zeitfenster der sensorischen Integration, käme es wegen der akustisch einfachen und isolierten Präsentation der Silben /ba/ und /da/ mit langem ISI (500ms) zu keinen Interferenzen, während das bei den Studien mit den komplexen Tonfolgen durchaus der Fall sein kann.

Da es keine MMF-Unterschiede zwischen den Kontrollprobanden und den dyslektischen Probanden gibt, kann ein klassisches temporales Verarbeitungsdefizit für unsere Stichprobe ausgeschlossen werden. Es wäre aber durchaus denkbar, dass ein solches Defizit vorliegt, das aber nur in komplexeren Sprachsituationen auftritt. Um das zu untersuchen müssten in dem Design von Kujala et al. (2000) die Töne durch Phoneme ersetzt werden, die sich nur in sehr wenigen temporalen Eigenschaften unterscheiden. Könnten damit die Ergebnisse von Kujala et al. (2000) repliziert werden, wäre das ein deutlicher Beleg für temporale Defizite, die sich möglicherweise durch ein vergrößertes Zeitfenster der perzeptuellen Integration (im Sinne von Helenius) nur in komplexen Phonemgefügen (z.B. Wörter) äußern.

7.3.2 Veränderungen im MMF nach dem Training

Die Computertrainingsgruppe zeigte in der links-temporalen Kanalgruppe nach dem Training eine signifikant erhöhte MMF-Amplitude und die Buschmanngruppe in der links fronto-temporalen und rechts-temporalen Kanalgruppe. Diese Lokalisationen entsprechen den Arealen, in denen das MMF normalerweise evoziert wird (vgl. Alho, 1995).

Allerdings wird die Interaktion Zeit x Training für die links frontotemporale Kanalgruppe nur signifikant, weil die Marburger Trainingsgruppe nach dem Training eine deutlich geringere MMF-Amplitude zeigt als vor dem Training. Diese Reduktion wird im Post-hoc-Test signifikant. Damit muss die signifikante Verbesserung der Buschmanngruppe in diesem Areal in Frage gestellt werden, da es für die starke Reduktion des MMF bei der Marburgergruppe keine plausible Erklärung gibt. Es war zwar erwartet worden, dass das Regeltraining keinen Einfluss auf das MMF hat und eine leichte Reduktion hätte durch die Messwiederholung und einen Messfehler erklärt werden können. Da es aber weder in einem anderen Test eine Leistungsreduktion nach dem Training gibt und die signifikante Reduktion der MMF-Amplitude auch nicht mit der Konzeption des Trainings erklärt werden kann (es gibt keinen Grund dafür, warum ein Regeltraining die präattentive Diskriminationsleistung von Phonemen so drastisch reduzieren sollte), wird diese Interaktion und damit die erhöhte MMF-Amplitude der Buschmanngruppe in der links frontotemporalen Kanalgruppe für die weitere Interpretation nicht mehr herangezogen. Auch die im Ergebnisteil berichtete signifikanten Korrelationen entbehren damit ihrer Grundlage und werden als nichtig betrachtet.

Die signifikante Erhöhung der MMF-Amplitude nach dem Computertraining zeigt, dass es mit einem temporal-auditiven Training möglich ist, die präattentive Diskrimination verbaler Stimuli zu verbessern. Dieses Ergebnis ist wenig überraschend, da die Silben /ba/ und /da/ sowohl ein Bestandteil des Trainings als auch der MMF-Stimulation waren und sich diese Gruppe auch bei der kategorialen Wahrnehmung des /ba/-/da/-Kontinuums mit den identischen Stimuli signifikant verbessert hat. Jedoch besteht zwischen diesen Verbesserungen kein korrelativer Zusammenhang. Das kann nur dadurch erklärt werden, dass bei unserer Stichprobe Diskriminations- und Identifikationsleistungen unabhängig von einander sind: Ein Teil der Kinder, die am Computertraining teilgenommen haben, zeigt eine erhöhte MMF-Amplitude aber keine verbesserte kategoriale Wahrnehmung und ein anderer Teil

zeigt nach dem Training eine verbesserte Identifikation der Silben des /ba/-/da-Kontinuums, aber keine verbesserte Diskrimination der Phoneme auf kortikaler Ebene. Damit wird deutlich, dass eine verbesserte Phonemidentifikation auch dann erzielt werden kann, wenn sich die Diskrimination nicht verbessert.

Ziel des Computertrainings war die Verbesserung der temporalen Verarbeitung. Diese zeigt sich bei den Kindern, die sich in ihrer Diskriminationsleistung (erhöhtes MMF) verbessert haben. Für die Kinder, die sich bei der kategorialen Wahrnehmung verbessert haben, kann wegen der fehlenden Korrelation zur Erhöhung der MMF-Amplitude eine verbesserte temporale Verarbeitung ausgeschlossen werden. Möglicherweise bewirkte das Training mit den Silben bei diesen Kindern eine direkte Verbesserung der phonologischen Verarbeitung, die über eine verbesserte Dekodierfähigkeit zu einer genaueren Wahrnehmung der Phoneme führt. Allerdings sprechen die in Kap. 7.1.4 diskutierten Gründe dafür, dass die Verbesserung bei der kategorialen Wahrnehmung eher den reinen Lernfortschritt im Computertraining unabhängig von phonologischer Verarbeitung dokumentiert, da für die Bearbeitung der kategorialen Wahrnehmung dieselben Stimuli verwendet wurden, wie im Training.

Die Erhöhung des MMF für die Computertrainingsgruppe nach dem Training entspricht den Ergebnissen einer Trainingsstudie von Kujala et al. (2001) mit einem temporalen, nonverbalen Training, das jedoch nicht dem Training von Tallal et al. (1996) nachempfunden war. Sie konnten nach dem Training im Vergleich zu einer nicht trainierten dyslektischen Kontrollgruppe eine erhöhte MMN auf ein abweichendes Tonpaar (umgekehrte Frequenz) zeigen.

Weniger erwartet war die nach dem Training signifikant erhöhte MMF-Amplitude für die Buschmanngruppe in der rechts-temporalen Kanalgruppe. Zwar konnte auch Heim (2002) eine veränderte MMF-Amplitude nach dem Buschmanntraining zeigen; diese war jedoch nach dem Training über der rechten Hemisphäre signifikant reduziert, so dass die räumliche Verteilung der MMF-Stärke nach dem Training der Kontrollgruppe entsprach, die eine links-dominante MMF-Amplitude zeigte. In unserer Studie unterschieden sich die MMF-Stärken der einzelnen Trainingsgruppen in allen drei Kanalgruppen weder vor noch nach dem Training signifikant von den MMF-Stärken der Kontrollgruppe.

Die beiden Studien zeigen, dass auch mit einem phonologischen Training die MMF-Amplitude beeinflusst werden kann. An der Studie von Heim (2002) nahmen jedoch

nur 7 Kinder mit LRS teil, so dass ihre Ergebnisse vorsichtig betrachtet werden müssen.

Da nach Alho (1995) immer rechts- und linkstemporale Generatoren zum MMF beitragen, kann auch das erhöhte MMF für die rechts-temporale Kanalgruppe nach dem Buschmanntraining als Indikator für eine verbesserte präattentive Diskriminationsfähigkeit gelten. Damit kann auch für diese Gruppe die Unabhängigkeit von temporalen und phonologischen Prozessen gezeigt werden. Während jedoch erwartet wurde, dass sich durch das Training die phonologischen Prozesse verbessern sollten, was sich in den Tests zur phonologischen Verarbeitung oder auch zur kategorialen Wahrnehmung hätte zeigen sollen (sich aber nicht gezeigt hat), hat es mindestens bei einem Teil der Kinder zu einer höheren präattentiven Sensitivität für temporale Lautunterschiede als Zeichen einer verbesserten temporalen Verarbeitung geführt. Möglicherweise könnte das Training die phonologische Bewusstheit im engeren Sinne auf Phonemebene verbessert haben (Schneider et al., 2000), die sich als Folge des Lese- und Schreiblernprozesses entwickelt (Wagner et al., 1994; Wimmer et al., 1991). Es wurde jedoch versäumt, Tests durchzuführen, die die phonologische Bewusstheit messen (Aufgaben zum Lautestreichen, Segmentieren oder Lauteverbinden). Das aktive und durch das Silbieren unterstützte Training der Silbenunterscheidung könnte als Folge der verbesserten phonologischen Verarbeitung nicht nur die phonologische Bewusstheit, sondern auch die Bewusstheit für temporale Eigenschaften von Phonemen erhöht haben, wodurch diese auch präattentiv besser unterschieden werden können, was dann in einer erhöhten MMF-Amplitude resultiert.

Genauso wie dieser Zusammenhang ohne Überprüfung der phonologischen Bewusstheit im engeren Sinne völlig hypothetisch ist, bleibt auch unklar, warum das temporale Computertraining eine linkshemisphärische und das phonologische Buschmanntraining eine rechtshemisphärische Erhöhung der MMF-Amplitude bewirkt, zumal Näätänen et al. (1997) nur den linken auditorischen Kortex als spezialisiert für Phonemdiskrimination betrachten, während der rechte an der Diskrimination generell akustischer Reize beteiligt sei. Allerdings herrscht insgesamt noch sehr großer Forschungsbedarf darüber, was Unterschiede in der Lokalisation der MMF bedeuten (Näätänen, 2000).

Da es vor dem Training keinen Unterschied in der Größe der MMF-Amplitude zwischen der LRS- und der Kontrollgruppe gab, kann ein klassisches temporales

Verarbeitungsdefizit bei der Gruppe der Kinder mit LRS ausgeschlossen werden. Außerdem besteht in unserer Studie kein Zusammenhang mit den Leistungen in den Tests zur phonologischen Verarbeitung, so dass für unsere Stichprobe ein temporales Verarbeitungsdefizit nicht Ursache für phonologische Verarbeitungsdefizite sein kann. Damit widersprechen diese Ergebnisse den Ergebnissen der Studien von Tallal (1980, 1984) oder Reed (1989). Zudem konnte die temporale Verarbeitung sowohl durch ein Diskriminationstraining mit temporal veränderten auditorischen Stimuli als auch mit einem phonologischen Lese-Rechtschreibtraining verbessert werden.

7.4 Unterschiede in der Dipollokalisierung

Ziel der Dipollokalisierungen auf die Silbe /ba/ war es, Unterschiede in der räumlichen Organisation der auditorischen Sprachverarbeitungsareale zwischen den Kindern mit und ohne LRS zu untersuchen und zu überprüfen, ob diese Sprachorganisation durch ein Training verändert werden kann.

Wie in der Trainingsstudie von Heim (2002) mit dem Buschmanntraining konnten in dieser Studie auch mit den anderen Trainingsverfahren trotz großer Stichprobe (N= 54 Kinder mit LRS vs. 7 bei Heim) und geringem Altersunterschied der Probanden (8-10 Jahre vs. 8-15 Jahre bei Heim) keine Veränderung der Dipollokalisierungen bewirkt werden. Dagegen entspricht die fehlende Asymmetrie der Dipollokalisierung für die dyslektischen Kinder (rechts weiter vorne - links weiter hinten) sowohl den Ergebnissen von Heim für Kinder (2002; Heim et al., 2003b) als auch für Erwachsene (Heim et al., 2003b). Während die Studien von Heim et al. meines Wissens die einzigen sind, in denen Dipollokalisierungen bei Probanden mit Dyslexie untersucht wurden, gibt es zahlreiche Studien, die bei unbeeinträchtigten erwachsenen Versuchspersonen zeigen konnten, dass die Dipole in der rechten Hemisphäre weiter vorne lokalisiert sind als in der linken Hemisphäre (Nakasato et al., 1993; Reite et al. 1995, Teale et al., 1998, Ohtomo et al. 1998, Eulitz et al., 1995).

Diese asymmetrische Lokalisation der ERP und ERF wird auf eine asymmetrische Organisation des Planum Temporale zurückgeführt, das bei unbeeinträchtigten Probanden in der linken Hemisphäre größer ist als in der rechten (Steinmetz et al., 1990). In morphologischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass diese Asymmetrie sowohl bei Kindern (Sowell et al., 2002) als auch bei Probanden mit

Dyslexie (Hynd et al., 1990, Kushch et al., 1993, Larsen et al., 1990) weniger stark ausgeprägt oder nicht vorhanden ist.

Für die Kontrollkinder unserer Studie konnte mit der Lokalisation der Dipole diese asymmetrische Organisation repliziert werden, was dafür sprechen könnte, dass ihre auditorisch-sprachverarbeitenden Regionen im Temporallappen möglicherweise einen Entwicklungsstand erreicht haben, der sie von jüngeren Kindern unterscheidet (vgl. Sowell et al., 2002). Entsprechend würde dann die fehlende Asymmetrie bei den Kindern mit LRS für einen möglichen Entwicklungsrückstand in der Organisation der perisylvischen Region sprechen. Eine fehlende funktionale Asymmetrie des Planum Temporale könnte in Anlehnung an die Ergebnisse von Eckert et al. (2001) die mangelhaften phonologischen und auch Lese- Rechtschreibleistungen erklären. Der Zusammenhang zwischen der Asymmetrie der Dipollokalisierungen und der Rechtschreibleistung konnte in unserer Studie durch eine schwache, aber signifikante Korrelation gezeigt werden: je größer die Asymmetrie, desto besser die Leistung im DRT.

Während Heim et al. (2003b) in ihrer Studie mit Kindern schon bei der P1 signifikante Asymmetrieunterschiede zwischen den Kindern mit und ohne LRS fanden, konnte in unserer Studie zwar auch eine P1 evoziert werden, für die jedoch die Dipollokalisierungen zu vieler Probanden die definierten Kriterien nicht erfüllten, so dass sie nicht weiter analysiert werden konnte. Möglicherweise hätte in unserer Studie auf Grund des Zusammenhangs von ISI und Alter für die Evozierung früher Komponenten mit einem längeren ISI (500ms vs 750ms bei Heim et al.) und älteren Probanden (9,6 vs ca. 12,6 Jahre) auch eine stabile frühe Komponente evoziert werden können (vgl. Vaughan, Kurtzberg, 1992; Takeshita et al., 2002, Ceponiene et al., 2002, Paetau et al. 1995).

Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen wurde bei uns beim ersten negativen Peak nach 260ms (N2) gefunden. Damit konnten wir den häufig bei Kindern gefundenen P1-N2-Komplex replizieren. Dieses Ergebnis zeigt, dass trotz der schon im Kindesalter vorhandenen Asymmetrie der Dipollösungen der Kontrollgruppe noch deutlich funktionale Unterschiede in der kortikalen Sprachverarbeitung zu Erwachsenen bestehen, bei denen klassischerweise ein P1-N1-P2-Komplex gefunden wird (Ceponiene et al., 2002). Während mit einem langen ISI auch bei Kindern eine der Erwachsenen ähnliche N1 evoziert werden kann (Karhu et al., 1997: ISI von 1s; Ceponiene et al., 2002: ISI von 4s; Takeshita et al.,

2002: ISI von 5s), ist die N250 bei unserer Kinderstichprobe, in der mit einem sehr kurzen ISI (500ms) stimuliert wurde, möglicherweise das Pendant zur klassischen N100 bei Erwachsenen (vgl. Kurtzberg et al., 1995; Korpilahti, Lang, 1994).

Die Latenz der N2 war für alle Kinder in der linken Hemisphäre signifikant geringer als in der rechten Hemisphäre. Dies könnte einerseits die höhere Spezialisierung der linken Hemisphäre für Sprachverarbeitung v.a. in frühen Verarbeitungsstadien (z.B. Rinne et al., 1999) bestätigen. Andererseits könnte die langsamere Verarbeitung in der rechten Hemisphäre auch damit zusammenhängen, dass die fehlende Asymmetrie bei den Probanden mit LRS, die den Großteil der Stichprobe ausmachen (55 vs. 21), durch eine in der rechten Hemisphäre im Vergleich zur Kontrollgruppe deutlich weiter posterior lokalisierte N2 zustande kommt. Die längere Latenz in der rechten Hemisphäre könnte damit wie die fehlende Asymmetrie der LRS-Gruppe für defizitäre Verarbeitungsprozesse in der rechten Hemisphäre stehen. Auch wenn in der Mehrzahl der Studien mit dyslektischen Probanden Defizite in der linken Hemisphäre berichtet werden (vgl., Kap. 2.5.1), gibt es in letzter Zeit zunehmend Studien, die Hinweise für eine defizitäre Verarbeitung in der rechten Hemisphäre liefern. So fanden z.B. McCrory et al. (2000) in ihrer PET-Studie signifikant reduzierte Aktivität im rechten superior-temporalen Kortex während des Nachsprechens von Wörtern und Pseudowörtern und auch die Ergebnisse der Dipollokalisationsstudien von Heim (2003a,b) wurden im Sinne einer atypischen Organisation der rechten Hemisphäre bei Kindern und Erwachsenen mit Dyslexie interpretiert.

Der einzige Gruppeneffekt für die Latenzen verpasste knapp das Signifikanzniveau: Der RMS-Peak der N2 scheint aber bei der Kontrollgruppe früher aufzutreten als bei der LRS-Gruppe. Dies entspricht auch den Ergebnissen von Pinkerton et al. (1989) und Neville et al. (1998). Da die Latenzen mit zunehmendem Alter kürzer werden, die beiden Gruppen aber gleich alt sind, könnte dies wie die fehlende Asymmetrie ein Zeichen für eine Entwicklungsverzögerung sein. Tonnquist-Uhlen et al. (1996) berichten sogar, dass diese Verzögerung bis ins Erwachsenenalter bestehen bleibe und man deshalb eher von einem Entwicklungsrückstand als von einer Entwicklungsverzögerung sprechen müsse.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen erneut signifikante Unterschiede in der räumlichen Organisation der Sprachverarbeitung im auditorischen Kortex zwischen Probanden mit und ohne LRS. Die fehlende Asymmetrie bei den Kindern mit LRS geht vor allem auf Unterschiede in rechten Hemisphäre zurück und korreliert mit der

Leistung im DRT. In fünf Wochen konnte weder mit einem temporalen noch mit einem phonologischen oder regelbasierten Rechtschreibtraining diese abweichende kortikale Organisation verändert werden.

7.5 Fast Words

Mit der direkt aufeinanderfolgenden und kurzen Präsentation von Wörtern sollte untersucht werden, ob mit Hilfe der Frequenzbandanalyse Hinweise auf Unterschiede zwischen Kindern mit und ohne LRS in automatischen Verarbeitungsprozessen gefunden werden können, die aktiviert werden, wenn hoch frequente (häufige), nieder frequente (seltene) oder Pseudowörter visuell präsentiert werden. Ein Vergleich von vor zu nach dem Training in Abhängigkeit von den verschiedenen Trainings war wegen der ungenügenden Datenqualität nicht möglich (vgl. Kap 6.5.3.1).

Wie erwartet gab es für die Kinder mit LRS keinen Wortfrequenzeffekt in der maximalen evozierten Amplitudenstärke. Für die Kontrollgruppe gab es dagegen schon zu einem sehr frühen Zeitbereich (87-102ms) signifikante Unterschiede zwischen der evozierten maximalen Amplitudenstärke der hoch und nieder frequenten Wörter. Damit gelten die Ergebnisse von Johannes et al. (1995) und Rüsseler et al. (2003) als widerlegt, die mit sehr kleinen studentischen Stichproben und langem ISI keinen Unterschied zwischen der dyslektischen und der Kontrollgruppe finden konnten.

Die Ergebnisse unserer Kontrollgruppe entsprechen den Ergebnissen der ERP- bzw. ERF-Studien mit erwachsenen Kontrollprobanden, die in einem etwas späteren Zeitbereich (120-190ms) eine höhere Aktivierung für die nieder frequenten Wörter finden (Serenio et al., 1998; Assadolahi, Pulvermüller, 2001, 2003; Hauk, Pulvermüller, 2004). Diese etwas längeren Latenzen könnten durch die langsamere Stimulation begründet sein (vgl. Rubin, Turano, 1992), während die insgesamt sehr frühen Latenzen auch in unserer Studie als Beleg dafür gelten können, dass diese Prozesse tatsächlich aktiviert werden, bevor ein bewusster Abgleich mit semantischen Inhalten die Verarbeitung beeinflussen kann, da mindestens 600ms zwischen der Wortpräsentation und einer Verhaltensreaktion vergehen (Scarborough et al., 1970).

Mit der geringeren Amplitudenstärke bei den hoch frequenten Wörtern gibt es auch bei der Fast-Word-Präsentation bei Kindern wie in den ERF-Studien Hinweise

darauf, dass für die Verarbeitung hoch frequenter Wörter weniger kortikale Ressourcen notwendig sind, was damit zu tun haben könnte, dass diese Wörter als Ganzes wahrgenommen (Jobard et al., 2003) bzw. nach einem visuellen Abgleich direkt aus einem semantischen Lexikon abgerufen werden können (vgl. Assadolahi, Pulvermüller, 2001, 2003). Die Verarbeitung der nieder frequenten Wörter dagegen bedingt höhere kortikale Aktivität, was damit zu tun haben könnte, dass die erforderlichen Graphem-Phonem-Konversionen zusätzliche kortikale Ressourcen beanspruchen. Dies könnte sich wie in ERP- oder ERF-Studien in einer erhöhten Amplitude äußern (Hauk, Pulvermüller, 2004).

Da dieser Unterschied in der Amplitudenstärke für die Kinder mit LRS ausbleibt, kann davon ausgegangen werden, dass die automatische Aktivierung der phonologischen Prozesse, die für das Lesen der nieder frequenten Wörter notwendig sind, bei diesen Kindern nicht stattfindet. Bei den hoch frequenten Wörtern gibt es dagegen keinen Unterschied in der Aktivierung zur Kontrollgruppe, was dafür sprechen könnte, dass bei den Kindern mit LRS die direkte lexikalische Verarbeitung unbeeinträchtigt ist. Diese Schlussfolgerung wurde auch aus den Ergebnissen entsprechender Verhaltensstudien gezogen (Boder, 1973; Castles, Coltheart, 1993) und passt in sofern zu den Ergebnissen unserer Verhaltenstests, dass die LRS-Gruppe in allen Tests zur phonologischen Verarbeitung ein Defizit zeigte (vgl. Kap. 7.2). Umgekehrt verweist die Korrelation zwischen der Leistung im DRT und der Amplitudenstärke bei Präsentation der nieder frequenten Fast Words auf die Bedeutung phonologischer Prozesse bei der Rechtschreibung. Auch wenn das lauttreue Diktat entgegen der Erwartung nicht primär phonologische Prozesse erfasst (vgl. Kap. 7.1.2), so erfordert das richtige Schreiben dennoch die Segmentierung des Gehörten in Phoneme, die dann in Grapheme übertragen und zu Papier gebracht werden müssen. Da die evozierte maximale Amplitudenstärke für die nieder frequenten Wörter bei der Kontrollgruppe signifikant höher war als bei der LRS-Gruppe, könnte die Höhe der Amplitude möglicherweise mit dem Ausmaß zusammenhängen, in dem phonologische Prozesse automatisch aktiviert werden können. Damit würde die Korrelation bedeuten, dass die Rechtschreibleistung umso besser ist, je umfassender phonologische Prozesse automatisch aktiviert werden.

Für das Aktivierungsniveau der Pseudowörter gab es zwischen den beiden Gruppen keinen Unterschied. Damit scheint es unwahrscheinlich, dass bei der schnellen Präsentation zum Entschlüsseln dieser Wörter phonologische Prozesse aktiviert

werden. Zusätzlich kann ausgeschlossen werden, dass für diese Wörter semantische Repräsentationen existieren. In Analogie zum visuellen Abgleich bei den hoch frequenten Wörtern, der zu einem direkten Abruf aus dem semantischen Lexikon führen könnte, ohne dass dazu viel kortikale Aktivität notwendig ist (vgl. Assadolahi, Pulvermüller, 2001, 2003), könnte das Ergebnis dieses visuellen Abgleichs bei den Pseudowörtern dazu führen, dass sie als „Nicht-Wort“ erkannt und von der weiteren Analyse ausgeschlossen werden, was ebenfalls nicht viel kortikale Aktivität erfordern würde. Damit könnte das gleiche Aktivierungsausmaß für hoch frequente und Pseudowörter durch zwei ähnliche Prozesse des visuell-orthographischen Abgleichs erklärt werden, die sich nur in ihrem Ergebnis unterscheiden (Zugang zur semantischen Repräsentation vs. keine Repräsentation vorhanden). Dies kann allerdings nicht erklären, warum bei den nieder frequenten Wörtern, für die es ebenfalls keine semantische Repräsentationen gibt, die phonologischen Prozesse aktiviert werden und bei den Pseudowörtern nicht.

Auch die Lokalisierung der Effekte im Bereich der okzipitalen Kanalgruppen in unserer Studie stimmt mit den Ergebnissen der ERP-Studien überein, in denen der Frequenzeffekt überwiegend in okzipitalen Regionen berichtet wurde (Sereno et al., 1998; Assadolahi, Pulvermüller, 2001, 2003; Hauk, Pulvermüller, 2004). Die Relevanz dieser Region für visuell präsentierte sprachliches Material konnte wiederholt gezeigt werden (z.B. Polk et al., 2002; Bokde et al., 2001). Rapcsak und Beeson (2004) konnten die Bedeutung des linken temporo-okzipitalen Kortex in einer Läsionsstudie zeigen: Patienten mit Läsionen in diesem Bereich hatten Schwierigkeiten mit dem Lesen und Schreiben, v.a. mit der Rechtschreibung irregulärer und seltener Worte.

Möglicherweise spiegelt die Aktivität in okzipitalen Regionen in unserer Studie Aktivität in der „Visual Word Form Area“ (VWFA; Cohen et al. 2000) wieder. Jobard et al. (2003) kamen nach einer Meta-Analyse über 35 Studien mit bildgebenden Verfahren zu dem Schluss, dass in dieser Region um den okzipito-temporalen Sulcus prälexikalische Verarbeitung von Wörtern und Pseudowörtern stattfindet, so z.B. die phonetische Segmentierung und Weitergabe der Information an andere kortikale Regionen zur Weiterverarbeitung. Außerdem konnte gezeigt werden, dass die VWFA als Reaktion auf Wörter und Pseudowörter bei Erwachsenen mit Dyslexie weniger stark aktiviert wird als bei Kontrollprobanden (Salmelin et al., 1996; Shaywitz et al., 1998; Paulesu et al., 2001). Allerdings erlaubt in unserer Studie die große

Anzahl von Kanälen in den okzipitalen Kanalgruppen keine Aussagen über Effekte in der eng umschriebenen VWFA. Außerdem waren die Effekte in unserer Studie nicht lateralisiert. Dennoch kann man davon ausgehen, dass Aktivität aus der VWFA zu unseren Effekten beigetragen hat. Wegen der Bedeutung dieser Region für prälexikalische und phonologische Prozesse wäre es möglich, dass die fehlende Aktivierung phonologischer Prozesse bei den Kindern mit Dyslexie aus unserer Studie auf Defizite in der VWFA zurückgehen.

Wie für die maximale evozierte Amplitudenstärke findet sich auch für die Spektralfrequenzen der Wortfrequenzeffekt nur für die Kontrollgruppe. Auch hier gibt es mit je ca. 26-27Hz (niedriges Gamma) zwischen und innerhalb der Gruppen keinen Unterschied in der Spektralfrequenz für die hoch frequenten und die Pseudowörter. Die Spektralfrequenz auf die nieder frequenten Wörter in der Kontrollgruppe liegt mit ca. 23Hz dagegen im Bereich des hohen Betabandes. Möglicherweise resultiert die Aktivität im Betaband bei den nieder frequenten Wörtern aus erhöhten Anforderungen an die Aufmerksamkeit im Zusammenhang mit der Aktivierung sublexikalisch-phonologischer Prozesse (vgl. Wrobel, 2000), während die Gamma-Aktivität als Mechanismus für „feature binding“ (Roskies, 1999) die „Gestalterkennung“ des Wortes im semantischen Speicher repräsentieren könnte.

Die Korrelationen zwischen der Leseleistung und –geschwindigkeit im Wortlesetest und der Spektralfrequenz bei den *hoch* frequenten Wörtern könnte die Bedeutung der Gammaband-Aktivität für das „feature binding“ der Grapheme zur schnellen „Gestalterkennung“ der Wörter stützen: Die Spektralfrequenz ist bei den hoch frequenten (möglicherweise in einem semantischen Lexikon repräsentierten) Wörtern umso höher, je schneller und besser die Wörter im Wortlesetest gelesen werden bzw. je effizienter das „feature binding“ der Grapheme beim Wortlesetest erfolgt. Die Korrelation zwischen der Leistung in den schriftsprachfreien Tests zur phonologischen Verarbeitung (Mottiertest, kategoriale Wahrnehmung) und der Spektralfrequenz bei den *nieder* frequenten Wörtern stützt dagegen den Zusammenhang zwischen phonologischer Verarbeitung und Betaband-Aktivität: Je geringer die Spektralfrequenz im Betaband bei Präsentation der (phonologische Prozesse aktivierenden) nieder frequenten Wörter ist, desto besser ist die Leistung bei den Aufgaben zur phonologische Verarbeitung.

Die Gammaband Aktivität bei Präsentation der Pseudowörter, die bei beiden Gruppen in etwa der Spektralfrequenz bei Präsentation der hoch frequenten Wörter entspricht, kann nicht die Gestalterkennung der Wörter repräsentieren, da die Pseudowörter nicht in einem semantischen Lexikon gespeichert sind. Möglicherweise spiegelt diese Aktivität jedoch das Erkennen als „Nicht-Wort“ wieder. Dieser Prozess ist weder mit Lese- noch phonologischen Fähigkeiten assoziiert, was sich in fehlenden Korrelationen mit den Leistungen in den entsprechenden Tests zeigt.

Es gibt nur sehr wenige Studien die Spektralfrequenzen beim Lesen untersucht haben. Der Zusammenhang von Gammaband Aktivität und Lesen wurde auch in den Studien von Xiang et al. (2001) und Fitzgibbon et al. (2004) berichtet.

Betaband-Aktivität wurde dagegen nur mit visueller Aufmerksamkeit in Verbindung gebracht. So fand Wrobel (2000, 1997) erhöhte Betaband-Aktivität während visueller Aufmerksamkeit in primären und höheren visuellen Arealen und Gross et al. (2004) zogen aus ihren Ergebnissen den Schluss, dass Betaband-Aktivität mit den Anforderungen an die aufgabenabhängige Aufmerksamkeit zusammenhängt. Möglicherweise erfordert die Aktivierung sublexikalisch-phonologischer Prozesse beim Lesen von nieder frequenten Wörtern ein erhöhtes Maß an Aufmerksamkeit, was sich dann in der Betaband-Aktivität niederschlägt.

Für die Kinder mit LRS war die Spektralfrequenz in der rechten Hemisphäre signifikant höher als in der linken Hemisphäre, während es sich für die Kontrollgruppe genau umgekehrt verhält. Da der Unterschied aber nur 1,5Hz beträgt, scheint er nicht groß genug zu sein, um sinnvoll interpretiert zu werden.

Zusammenfassend zeigt die Frequenzbandanalyse der Fast Words einen Wortklasseneffekt nur für die Kontrollgruppe. Während die automatische Aktivierung lexikalischer Prozesse bei den Kindern mit LRS unbeeinträchtigt zu sein scheint, könnte der fehlende Wortklasseneffekt im Sinne einer fehlenden Aktivierung phonologischer Prozesse bei nieder frequenten Wörtern interpretiert werden. Damit gäbe es schon in einem ganz frühen Zeitbereich Hinweise auf phonologische Defizite bei Dyslexie.

7.6 Heterogenität der Stichprobe

Auch wenn überwiegend Einigkeit darüber herrscht, dass defizitäre phonologische Prozesse an der Ätiologie der Dyslexie beteiligt sind (vgl. Kap. 1.2), wurden in den

meisten Studien nur Gruppenvergleiche angestellt und nicht überprüft, ob dieses Defizit alle dyslektischen Probanden der Stichprobe betrifft. Eine Ausnahme ist die Studie von Ramus et al. (2003), in der für alle erwachsenen Probanden phonologische Defizite gezeigt werden konnten. Außerdem ist unklar, wodurch diese phonologischen Defizite verursacht werden. Möglicherweise ist bei einem geringen Anteil der Probanden das phonologische Defizit durch ein temporales Verarbeitungsdefizit bedingt. Es gibt aber nur wenig Befunde für diesen Zusammenhang (vgl. Mody et al., 1997; Marshall et al. 2001), und überzeugende alternative Erklärungen für ein phonologisches Verarbeitungsdefizit existieren nicht. Möglicherweise können hier in Zukunft weitere neurophysiologische Modelle Alternativen schaffen.

Auch wenn nur eine kleine Anzahl an Autoren explizit darauf hinweist, dass es nicht nur eine Ursache für Dyslexie gibt und geben kann (Grigorenko, 2001; Frith, 2001), kommt das mittlerweile in vielen Studien implizit zum Ausdruck (z.B. Rosen, Manganari, 2001; Farmer, Klein, 1995; Helenius, 1999).

Außerdem ist unklar, ob häufige komorbide Störungen, wie z.B. ADS, wirklich nur komorbid sind, ob sie möglicherweise auch zur Entstehung einer LRS beitragen oder ob beiden Störungen dieselben Mechanismen zu Grunde liegen (z.B. Frith, 2001).

Obwohl in unserer Studie nur Gruppenvergleiche berechnet wurden und nicht berücksichtigt wurde, wie viel Prozent einer Gruppe zum jeweiligen Effekt beigetragen haben, geben die Korrelationsanalysen auch in unserer Studie Hinweise auf die Heterogenität unserer Stichprobe.

Vergleicht man z.B. vor dem Training allein die Anzahl der Korrelationen der Leistungen im Mottiertest zwischen den zufällig zusammengestellten Trainingsgruppen, dann fällt auf, dass es für die Computertrainingsgruppe keine signifikante Korrelation zu der Leistung in einem anderen Test gibt, für die Buschmanngruppe eine und für die Marburger Gruppe fünf. Die Leistung im Pseudowörterlesen korreliert dagegen für die Computertrainingsgruppe mit der Leistung in sechs anderen Tests, für die Buschmanngruppe mit zwei und die Marburger Gruppe mit fünf anderen Tests. Obwohl sich die Leistungen der Gruppen in diesen beiden exemplarisch ausgewählten Tests (Mottiertest, Pseudowörterlesen) vor dem Training nur sehr gering unterscheiden, sind die Zusammenhänge zu Leistungen in anderen Tests stark verschieden, was als deutlicher Hinweis für die leistungsbezogene Heterogenität dieser Gruppen gelten kann.

Ein etwas systematischeres Bild erhält man, wenn man sich die korrelativen Zusammenhänge der verbesserten Testergebnisse ansieht. Da zur Bestimmung der Verbesserung die Werte nach dem Training von den Werten vor dem Training abgezogen wurden (prä – post), erhält man bei allen Tests, bei denen die Leistung in %-richtig oder in T-Werten kodiert wurde, negative Werte, bei den Zeiten jedoch positive Werte als Zeichen einer Verbesserung. Korreliert man also die verbesserten Testleistungen mit den verbesserten Zeiten, sollte man *negative* Korrelationen erhalten, während alle anderen Korrelationen zwischen den Verbesserungen positiv sein sollten (Leistung mit Leistung und Zeit mit Zeit). Allerdings ergibt unter anderem die signifikante Korrelation zwischen der signifikanten Verbesserung der Buschmanngruppe im DRT und der signifikanten Verbesserung dieser Gruppe in der Lesezeit im ZLT einen *positiven* Wert. Das kann nur so erklärt werden, dass sich die Kinder, die sich signifikant im DRT verbessert haben, nicht in der Lesezeit verbessert haben und die, die sich in der Lesezeit verbessert haben, nicht im DRT. Obwohl also diese Gruppe dasselbe Training erhalten hat und sich als Gruppe sowohl in der Rechtschreibleistung als auch in der Lesegeschwindigkeit signifikant verbessert hat, hat sich nur ein Teil im DRT und ein anderer Teil in der Lesezeit verbessert. Der gleiche Effekt zeigt sich auch für die Marburger- und die Computertrainingsgruppe zwischen der (knapp nicht signifikant) verbesserten Lesezeit im Wortlesetest und der signifikant verbesserten Diktat- bzw. DRT-Leistung. Es wäre äußerst interessant, in einer nachfolgenden Studie zu überprüfen, ob dieser Effekt repliziert werden kann und ob die Kinder, die nach dem Training nur schneller lesen, sich in der Rechtschreib- und Leseleistung aber nicht verbessern, möglicherweise eine nicht erfasste Aufmerksamkeitsstörung haben, die verhindert, dass die Kinder nachhaltig vom Training profitieren.

Außerdem wurde auch bei Auswertung der MEG-Daten eine extreme Heterogenität der dyslektischen Stichprobe deutlich, die den Gruppenvergleich stark erschwerte (für Details: Paul, 2005).

7.7 Implikationen für die praktische Arbeit

Wie nicht anders zu erwarten war, kann aus den Ergebnissen dieser Studie kein allgemeingültiger Königsweg für die therapeutische Arbeit mit lese-rechtschreibschwachen Kindern abgeleitet werden, dessen strikte Befolgung dazu

führen würde, dass die Rechtschreibprobleme aller Kinder binnen kürzester Zeit nur noch Teil ihrer Geschichte wären.

Belege für temporale Verarbeitungsdefizite bei den zufällig zusammengestellten Gruppen wurden nicht gefunden, dafür aber phonologische Defizite, für die aber kein Zusammenhang mit den Lese- und Rechtschreibproblemen nachgewiesen werden konnte, da sich nach keinem Training die phonologische Verarbeitung verbesserte, obwohl die Rechtschreibleistung nach jedem Training signifikant besser wurde.

Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass zumindest bei einem kleinen Teil der Kinder temporale Defizite vorliegen oder die phonologische Verarbeitung verbessert werden konnte. Sicher ist nur, dass es jeweils nicht genügend Kinder waren, um einen signifikanten Gruppeneffekt zu erzielen. Während es auf Grund der zahlreichen Befunde nicht überraschend ist, dass höchstens ein kleiner Teil der Kinder ein temporales Verarbeitungsdefizit aufweist (vgl. Kap. 2.3), war es doch unerwartet, dass die Gruppe mit dem Buschmanntraining keine Verbesserung in den phonologischen Parametern erreichen konnte, zumal in zahlreichen Studien durch ein phonologisches Training die phonologische Verarbeitung (für einen Überblick: Bus, van Ijzendoorn, 1999) oder zusätzlich auch die Lese- und Rechtschreibleistung (Heim, 2000a; Torgesen et al., 1992) verbessert werden konnte. Möglicherweise hätten in dem Training außer dem Silbieren weitere und spezifischere phonologische Fähigkeiten trainiert werden müssen, um in dem Bereich eine Verbesserung zu erzielen oder die Trainingsdauer war zu kurz.

Da in Amerika mit dem temporalen Training Fast ForWord große Erfolge erzielt werden (Tallal et al., 1998) und auch wir mit dem Computertraining sowohl eine Verbesserung der DRT-Leistung als auch (unter Vorbehalt) der temporalen Verarbeitung erzielen konnten (auch wenn kein Zusammenhang zwischen den Verbesserungen aufgezeigt werden konnte), sollte dieses Training nicht ganz aufgegeben werden.

Die zahlreichen Hinweise aus der Literatur und unserer eigenen Studie auf die Heterogenität der Störung, legen eine ausführliche Diagnostik als Grundlage für eine individualisierte therapeutische Interventionen nahe. So sollten zunächst mögliche Ursachen der LRS abgeklärt werden.

Allerdings ist die Überprüfung der temporalen Verarbeitung in der Praxis schwierig, da die TOJ-Aufgaben nach Tallal (1980) nicht frei erhältlich sind und für den deutschsprachigen Markt erst entwickelt werden müssten. Auch der Aufwand einer

Messung des MMF ist sehr groß und scheint nicht gerechtfertigt. Somit kann aber auch ein temporales Training nicht fundiert durchgeführt werden, da die Voraussetzung einer defizitären temporalen Verarbeitung nicht überprüft werden kann. Wünschenswert wäre ein Programm, mit dem sowohl das Ausmaß eines möglichen temporalen Verarbeitungsdefizits erfasst und die temporale Verarbeitung trainiert werden kann. Da aber höchstens ein Drittel der Personen mit Dyslexie über ein temporales Verarbeitungsdefizit verfügen (Ramus, 2003) und da es nur sehr wenig Befunde gibt, die den Zusammenhang zwischen einem solchen Defizit und einer LRS stützen, wäre dies eher ein Nischenprodukt, für das es keinen großen Markt gäbe.

Die phonologische Verarbeitung dagegen kann auch mit Verhaltenstest gut und einfach überprüft werden. Außer den in unserer Studie verwendeten Verfahren wären zusätzlich Tests zur Überprüfung der phonologischen Bewusstheit im engeren und weiteren Sinne und Aufgaben zur Phonemsynthese und –segmentierung sinnvoll, um die spezifischen Defizite bei der phonologischen Verarbeitung erfassen und trainieren zu können. Werden in diesem Bereich gravierende Defizite entdeckt, eignet sich das Buschmanntraining gut als Basismodul. Dieses sollte aber in einem frühen Stadium durch spezifische Aufgaben zur phonologischen Bewusstheit und in einem späteren Stadium durch ein Regeltraining ergänzt werden.

Zusätzlich zur Überprüfung möglicher zu Grunde liegender Störungen sollte eine qualitative Auswertung möglichst standardisierter Rechtschreibtests erfolgen, um spezifische Defizite feststellen zu können. Liegen die Hauptprobleme z.B. im Regelbereich, wäre das Marburger Training gut geeignet, sind aber große Probleme bei der lauttreuen Verschriftlichung oder bei Dopplungen auffällig, sollte eher das Buschmanntraining eingesetzt werden. Außerdem ermöglicht eine qualitative Auswertung die Erstellung einer Problemhierarchie: bestimmte Rechtschreibprobleme können als schwerwiegender oder grundlegender beurteilt und vordergründig behandelt werden, während andere Problembereiche zunächst aufgeschoben und erst zu einem späteren Zeitpunkt angegangen werden können.

Außerdem erscheint eine Abklärung von Aufmerksamkeitsstörungen zentral. Ein bestimmter Anteil an Kindern, die Schwierigkeiten beim Lesen und Schreiben zeigen, haben keine genuine LRS sondern primär eine Aufmerksamkeitsstörung, die bedingt, dass die Kinder dem schulischen Lese- und Schreibunterricht nicht ausreichend folgen können und daraufhin eine „LRS“ entwickeln. So berichten August und

Garfinkel (1990) in ihrer Studie mit 115 kanadischen Jungen mit der Diagnose ADHD, dass 39% dieser Jungen auch die Kriterien für eine Lesestörung erfüllen. Umgekehrt konnten Willcutt et al. (1999) in einer Zwillingsstudie mit 313 Zwillingspaaren zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit für eine ADHD-Diagnose signifikant erhöht ist, wenn zuvor eine Dyslexie diagnostiziert wurde. Dieser Zusammenhang war bei den Kindern ohne Hyperaktivität noch größer als bei den Kindern mit Hyperaktivität. In einer weiteren Studie konnten sie dieses Ergebnis stützen: Jungen mit einer Dyslexie erfüllen im Gegensatz zu Jungen ohne Dyslexie fünf mal häufiger die Kriterien für eine ADHD, bei Mädchen ist das Verhältnis 4:1 (Willcutt; Pennington, 2000a). Der Zusammenhang zwischen Dyslexie und ADHD scheint sehr stabil und konnte in zahlreichen Studien belegt werden (Gilger et al., 1992; Shaywitz et al., 1995; Willcutt, Pennington, 2000b).

Wird eine Aufmerksamkeitsstörung diagnostiziert, sollte zunächst deren Behandlung im Vordergrund stehen, um die Voraussetzung dafür zu schaffen, dass das Kind von einem LRS-Training optimal profitieren kann.

Das Marburger Rechtschreibtraining ist gut geeignet, um z.B. in Kombination mit dem Buschmanntraining eingesetzt zu werden, da es die Regelbereiche gut aufarbeitet, die mit dem Buschmanntraining nicht erfasst werden. Außerdem eignet es sich wegen der starken Strukturierung auch gut, um Teile daraus als Hausaufgaben bearbeiten zu lassen. Ein LRS-Training, das nur aus dem Marburger Rechtschreibtraining besteht, vernachlässigt dagegen mögliche Ressourcen, da es überwiegend ein Training zur kognitiven Kompensation der Defizite ist, und phonologische Prozesse nur streift und ihnen nicht den erforderlichen Platz einräumt. Ganz wichtig ist bei einem LRS-Training, dass die Motivation des Kindes gefördert wird. Dabei sind der Phantasie der Trainer keine Grenzen gesetzt.

Außerdem darf der kurze Zeitbereich, nach dem in unserer Studie ein signifikanter Trainingseffekt erreicht werden konnte, nicht darüber hinwegtäuschen, dass eine langfristige Veränderung nach einem so kurzen Training nicht erwartet werden kann. Dazu muss je nach Schwere der Störung mindestens ein bis zwei Jahre Training eingerechnet werden.

Die Studien von Schneider und Kollegen (z.B. Schneider et al., 2000) legen nahe, dass bei einem großen Teil von Kindern der Ausbruch der Legasthenie im Schulalter verhindert werden kann, wenn bei diesen Risikokindern (geringe phonologische

Bewusstheit) im Kindergarten ein präventiv phonologisches Training durchgeführt wird (vgl. Kap. 2.1.1).

Taub et al. (2002) konnten zeigen, dass veränderte kortikale Organisationen, die mit einer Störung assoziiert sind, durch „massiertes“ und „constrained-induced“ Training schon in kurzer Zeit reorganisiert werden können. Die Effektivität dieser Methode konnte bei Patienten mit Hirnverletzungen, Phantomschmerzen, fokaler Muskeldystonie und Aphasie gezeigt werden. Da offensichtlich Unterschiede in der kortikalen Organisation zwischen Kindern mit und ohne LRS bestehen, wäre auch die LRS eine Störung, bei der diese Trainingsprinzipien wirken könnten. Zumindest lassen die Ergebnisse aus Taubs Studien vermuten, dass eine kortikale Reorganisation und eine damit verbundene Verbesserung im Lesen und Schreiben um so effektiver sein müsste, je intensiver und häufiger trainiert wird. Damit wären zwei mal Training pro Woche ein mal Training vorzuziehen und vier mal Training wahrscheinlich effektiver als zwei mal. Allerdings konnte in unserer Studie gezeigt werden, dass anders als bei z.B. motorischen Störungen die Inhalte des Trainings mindestens genauso wichtig sind wie die Intensität des Trainings, da das Buschmanntraining mit zwei Sitzungen genauso effektiv war wie die anderen Trainings mit vier Sitzungen. Auch beim MMF als einzigem kortikalen Parameter, für den nach dem Training Veränderungen erzielt bzw. berechnet werden konnten, verbesserte sich sowohl die Buschmann- als auch die Computertrainingsgruppe, so dass auch hierfür ein weniger massiertes Training gleich effektiv war.

7.8 Erreichte und unerreichte Ziele

In Kapitel 4 wurde die Fragestellung dieser Studie in Form einzelner Fragen formuliert, die mit Hilfe der durchgeführten Studie beantwortet werden sollten und jetzt zum Abschluss dieser Arbeit dezidiert und knapp beantwortet werden. Für die ausführlichen Fragen verweise ich auf Kap. 4.

1. Welches Training ist am effektivsten?

- a) Alle drei Trainingsgruppen konnten ihre **Rechtschreibleistung** im DRT im gleichen Ausmaß signifikant verbessern. Da jedoch das Training nach der Buschmannmethode nur halb so oft durchgeführt wurde wie die anderen Trainings, war es in dieser Studie für die Verbesserung der Rechtschreibleistung am effektivsten. Entgegen der Erwartung verbesserte

sich nur die Gruppe mit dem Marburger Rechtschreibtraining und nicht die Gruppe mit dem Buschmanntraining im lauttreuen Diktat, das zur Überprüfung der lauttreuen Verschriftlichung eingesetzt wurde.

Die **Lesefehler** konnten mit keinem Training in keinem Test reduziert werden. Die Verbesserungen der **Lesezeiten** im ZLT und Wortidentifikationstest für die Gruppe aller Kinder und beim Pseudowörterlesetest für die Buschmanngruppe wurde auf unspezifische Effekte (Vertrautheit mit der Testsituation bzw. dem Wortmaterial) zurückgeführt.

- b) In den Tests zur **phonologischen Verarbeitung** verbesserte sich lediglich die Computertrainingsgruppe bei der Identifikation der Stimuli der **kategorialen Wahrnehmung** im /ba/-/da/-Kontinuum. Diese Verbesserung wurde jedoch nicht mit verbesserten phonologischen Prozessen, sondern durch die schlechte Leistung vor dem Training und als Dokumentation des Trainingsfortschritts erklärt, da beim Test und beim Training die gleichen Stimuli verwendet wurden.
 - c) Nach dem Training zeigten sowohl die Kinder der Computertrainings- als auch der Buschmanngruppe eine signifikant erhöhte MMF-Amplitude, was als Maß für eine verbesserte **temporale Verarbeitung** interpretiert wurde.
2. Unterschiede vor dem Training zwischen Kindern mit und ohne LRS in auditorisch-sprachrelevanten kortikalen Parametern:
- a) In der **MMF-Amplitude** gab es keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen, so dass es keinen Hinweis auf eine defizitäre temporale Verarbeitung bei der LRS-Gruppe gab.
 - b) Die **Quellenlokalisationen** der N260 auf die Silbe /ba/ ergaben für die LRS-Gruppe eine symmetrische Organisation, während die Kontrollgruppe die typische asymmetrische Organisation zeigte, bei der die Quelle in der rechten Hemisphäre signifikant weiter anterior lokalisiert ist als in der linken Hemisphäre.
 - c) Sowohl in der evozierten maximalen Amplitudenstärke wie auch bei den Spektralfrequenzen ergaben sich bei Präsentation der nieder frequenten **Fast Words** signifikante Unterschiede zwischen der LRS- und der Kontrollgruppe, was als Hinweis auf eine fehlende Aktivierung phonologischer Prozesse bzw. ein phonologisches Verarbeitungsdefizit interpretiert wurde.

3. Veränderungen der kortikalen Parameter in Abhängigkeit vom Training:
- a) Die **MMF-Amplitude** war für die Computertrainingsgruppe nach dem Training in der linken Hemisphäre und für die Buschmanngruppe in der rechten Hemisphäre signifikant erhöht.
 - b) Kein Training bewirkte eine Veränderung der **Quellenlokalisationen**
 - c) Für die **Fast Words** konnte auf Grund ungenügender Datenqualität kein Vergleich von vor zu nach dem Training vorgenommen werden.
4. Korrelationen zwischen Lese- Rechtschreibtests und Tests zur phonologischen Verarbeitung vor und nach dem Training (als phonologische Tests gelten hier nur der Mottiertest und die kategoriale Wahrnehmung; s. Kap. 7.2):
- Diese Zusammenhänge gibt es für die gesamte LRS-Gruppe, die Marburger Gruppe und die Computertrainingsgruppe. Sie sind jedoch nicht einheitlich und geben isoliert betrachtet keinen Erkenntnisgewinn. Sie werden jedoch in den Kapiteln 7.1 und 7.2 diskutiert.
5. Zusammenhänge zwischen den Verbesserungen in den Verhaltensmaßen:
- Für alle Trainingsgruppen und die gesamte Gruppe mit LRS gibt es diese Zusammenhänge. Da aber auch sie nicht einheitlich sind, ergeben sie isoliert betrachtet keinen Erkenntnisgewinn. Für ihre Diskussion siehe Kapitel 7.1 und 7.2.
6. Zusammenhang zwischen Verbesserungen in Verhaltensmaßen und kortikalen Parametern:
- a) Je besser die Kinder im **DRT** sind, desto weiter anterior wird die N260 in der rechten Hemisphäre **lokalisiert**.
 - b) Je besser die Kinder im **DRT** und **Diktat** sind, desto größer ist die maximale **Amplitudenstärke** bei Präsentation der **nieder frequenten** Fast Words.
 - d) Je schneller und je besser die Wörter im **Wortlesetest** gelesen werden, desto höher ist die **Spektralfrequenz** bei Präsentation der **hoch frequenten** Fast Words.
 - e) Je besser die Leistung in den schriftsprachfreien Tests zur phonologischen Verarbeitung (**Mottiertest, kategoriale Wahrnehmung**) und beim **SPM**, desto

geringer ist die **Spektralfrequenz** bei Präsentation der **nieder frequenten** Fast Words.

7. Hinweise zur Stützung einer Theorie oder ätiologische Hinweise:

- a) Es gibt keine Ergebnisse, die die **temporale Verarbeitungsdefizits-hypothese** stützen.
- b) Die **phonologische Theorie** der Dyslexie wird dadurch gestützt, dass die LRS-Gruppe sowohl in allen Tests zur phonologischen Verarbeitung signifikant schlechter war als die Kontrollgruppe, als auch bei den nieder frequenten Fast Words keine zusätzliche Aktivierung zeigten, was als Hinweis auf ein phonologisches Verarbeitungsdefizit interpretiert wurde. Allerdings konnte kein zwingender kausaler Zusammenhang zwischen phonologischen Verarbeitungsdefiziten und LRS hergestellt werden.

8. Messen die Tests die Leistungen, für deren Erfassung sie eingesetzt wurden?

Die **Faktorenanalyse** für die LRS-Gruppe ergibt nur die Faktoren „Orthographie / Lesefähigkeit“, „Lesezeit“ und „Rest“ und keinen Faktor „Phonologie“. Dieses Ergebnis und weitere Ergebnisse der Korrelationsanalysen führten zu dem Schluss, dass das Pseudowörterlesen und das Lauttreue Diktat eher Lese- und Rechtschreibtest als Tests zur Überprüfung der phonologischen Verarbeitung sind.

8. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war die Überprüfung dreier verschiedener Trainingsverfahren zur Verbesserung der Lese- und Rechtschreibleistung bei Kindern aus 3. und 4. Klassen mit LRS (Lese- Rechtschreibschwäche). Die Trainingsverfahren basieren auf verschiedenen Theorien zur LRS und sollten durch ein Training der phonologischen Verarbeitung (rhythmisch-silbierendes Training nach der Buschmann-Methode), der temporalen Verarbeitung (Wahrnehmungstraining mit dem PC) oder von kognitiven Strategien und Regeln (Marburger Rechtschreibtraining) die Lese- und Rechtschreibleistung verbessern. Zusätzlich zu standardisierten und nichtstandardisierten Lese- und Rechtschreibtests wurden vor und nach dem Training Tests zur phonologischen Verarbeitung und zur kategorialen Wahrnehmung und ein nonverbaler Intelligenztest durchgeführt. Zur Untersuchung der Sprachverarbeitung auf kortikaler Ebene wurde mit dem MEG das MMF (Mismatch Field) und die Lokalisation von Dipolen bei auditorischer Stimulation mit Silben, sowie eine Frequenzbandanalyse bei kurzer (350ms) und direkt aufeinander folgender (ISI=0ms) visueller Präsentation von hoch und nieder frequenten Wörtern und Pseudowörtern (Fast Words) berechnet. An der vorliegenden Studie nahmen 22 unbeeinträchtigte Kontrollprobanden und 64 Kinder mit LRS teil, die zufällig auf die drei Trainings verteilt wurden, die über einen Zeitraum von fünf Wochen stattfanden.

Vor dem Training war die Kontrollgruppe in allen Verhaltenstests signifikant besser als die LRS-Gruppe, die damit ein phonologisches Verarbeitungsdefizit zeigte. In der MMF-Amplitude gab es keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen, so dass es keinen Hinweis auf eine defizitäre temporale Verarbeitung bei der LRS-Gruppe gab. Die Quellenlokalisationen der N260 auf die Silbe /ba/ ergaben für die LRS-Gruppe eine symmetrische Organisation, während die Kontrollgruppe die typische asymmetrische Organisation zeigte, bei der die Quelle in der rechten Hemisphäre signifikant weiter anterior lokalisiert ist als in der linken Hemisphäre. Sowohl in der evozierten maximalen Amplitudenstärke als auch bei den Spektralfrequenzen ergaben sich bei Präsentation der nieder frequenten Fast Words signifikante Unterschiede zwischen der LRS- und der Kontrollgruppe, was als Hinweis auf eine fehlende Aktivierung phonologischer Prozesse bzw. ein phonologisches Verarbeitungsdefizit interpretiert wurde.

Nach dem Training zeigten alle Trainingsgruppen eine signifikant verbesserte Leistung im DRT, während in den Lesetests und den Tests zur phonologischen Verarbeitung nicht weniger Fehler gemacht wurden. Da keine differentiellen Trainingseffekte erzielt wurden und es keine Verbesserung der phonologischen Verarbeitung gab, sind auf Grund dieser Ergebnisse keine Aussagen über die Ätiologie möglich. Das Buschmanntraining scheint jedoch am effektivsten zu sein, da es nur 2 mal pro Woche statt 4 mal wie die anderen Trainings durchgeführt wurde. Von den MEG-Parametern war nur die MMF-Amplitude für die Computertrainingsgruppe nach dem Training in der linken Hemisphäre und für die Buschmanngruppe in der rechten Hemisphäre signifikant erhöht. Diese Verbesserung als mögliches Maß für eine verbesserte temporale Verarbeitung korrelierte aber nicht mit der verbesserten Rechtschreibung.

Mit dieser Studie konnten auf Verhaltens- und kortikaler Ebene phonologische Verarbeitungsdefizite gezeigt werden. Da aber keine differentiellen Trainingseffekte erzielt wurden, gibt es keinen Beleg für einen kausalen Zusammenhang zwischen phonologischem Defizit und LRS.

Bibliographie

- Abramowicz HK, Richardson SA (1975): Epidemiology of severe mental retardation in Children: community studies. *American Journal of Mental Deficits*; 80: 18-39.
- Adlard A, Hazan V (1998): Speech perception in children with specific reading difficulties (dyslexia). *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*; 51A (1): 153-177.
- Alho K (1995): Cerebral generators of mismatch negativity (MMN) and its magnetic counterpart (MMNm) elicited by sound changes. *Ear and Hearing*; 16(1): 38-51.
- Amitay S, Ben-Yehudah G, Banai K, Ahissar M (2002): Disabled readers suffer from visual and auditory impairments but not from a specific magnocellular deficit. *Brain*; 125: 2272- 2285.
- Assadollahi R, Pulvermüller F (2003): Early influences of word length and frequency: a group study using MEG. *Neuroreport*; 14(8): 1183-7.
- Assadollahi R, Pulvermüller F (2001): Neuromagnetic evidence for early access to cognitive representations. *Neuroreport* ;12(2): 207-13.
- Assink EM, Soetemann WP, Knuijt PP (1999): Word decoding and picture naming in children with a reading disability. *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*;125(3):251-68.
- August GJ, Garfinkel BD (1990): Comorbidity of ADHD and reading disability among clinic-referred children. *Journal of Abnormal Child Psychology*; 18(1): 29-45.
- Baayen RH, Piepenbrock R, Gulikers L (1995): The CELEX Lexical Database (CD-ROM). *Linguistic Data Consortium*, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA
- Baldeweg T, Richards A, Watkins S, Foale C, Gruzelier J (1999): Impaired auditory frequency discrimination in dyslexia detected with mismatch evoked potentials. *Annals of Neurology*; 45: 495-503.
- Balhorn H (1989): Rechtschreiblernen: Nicht Regeln, sondern Operationen.
In: Günther KB (Ed): *Ontogenese, Entwicklungsprozess und Störungen beim Schriftspracherwerb*. Heidelberg: Schindele, 381-288.
- Baddeley AD, Ellis NC, Miles TR, Lewis VJ (1982): Developmental and acquired dyslexia: A comparison. *Cognition*; 11: 185-195.

- Baddeley AD (1982b): Reading and working memory. *Bulletin of the British Psychological Society*; 35: 414-417.
- Baddeley AD, Hitch GJ (1986): *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley AD (1990): *Human memory: Theory and practice*. Hove: Erlbaum.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. New York: Freeman.
- Bakwin H (1973): Reading disability in twins. *Developmental Medicine and Child Neurology*; 15: 184-187.
- Baron J, Strawson C (1976): Use of orthographic and wordspecific knowledge in reading Words aloud. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*; 2: 386-392.
- Baving L, Schmidt MH (2000): Testpsychologie zwischen Anspruch und Wirklichkeit am Beispiel der Intelligenzdiagnostik. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*; 28(3): 163-176.
- Beaton A (2002): Dyslexia and the Cerebellar Deficit Hypothesis. *Cortex*; 38: 479-490.
- Berwanger D, von Suchodoletz W (2004): Erprobung eines Zeitverarbeitungstrainings bei Kindern mit Lese- Rechtschreibschwierigkeiten. *Zeitschrift für Kinder und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*; 32(2): 77-84.
- Besner DE, Twilley L, McCann RS, Seergobin K (1990): On the connection between connectionism and data: Are a few words necessary? *Psychological Review*; 97: 432-446.
- Betz D, Breuninger HH (1987): *Teufelskreis Lernstörungen*. München: Urban und Schwarzenberg.
- Bischof J, Gratzka V, Strehlow U, Haffner J, Parzer P, Resch F (2002): Reliabilität, Trainierbarkeit und Stabilität auditiv kriminativer Leistungen bei zwei computergestützten Mess- und Trainingsverfahren. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*; 30(4): 261-270.
- Bishop DVM (2002): Cerebellar abnormalities in developmental dyslexia: cause correlate or consequence? *Cortex*; 38: 491-498.
- Blomert L, Mitterer H (2004): The fragile nature of speech-perception deficit in dyslexia: natural vs. synthetic speech. *Brain and Language*; 89(1): 21-26.
- Boder E (1973): Developmental dyslexia: a diagnostic approach based on three atypical reading-spelling patterns. *Developmental Medicine and Child Neurology*; 15: 663-687.

- Bokde AL, Tagamets MA, Friedman RB, Horwitz B (2001): Functional interactions of the inferior frontal cortex during the processing of words and word-like stimuli. *Neuron*; 30(2): 609-617.
- Borstrom I, Elbro C (1997): Prevention of dyslexia in kindergarten: Effects of phoneme awareness training with children of dyslexic parents. In: Hulme C, Snowling M (Eds): *Dyslexia: Biology, cognition and intervention*. London: Whurr.
- Bradley L, Bryant PE (1978): Difficulties in auditory organisation as a possible cause of reading backwardness. *Nature*; 271: 746-747.
- Bridgeman B & Macknick SL (1995): Saccadic suppression relies on luminance information. *Psychological Research*; 21: 163-168.
- Briscoe J, Bishop DVM, Norbury CF (2001): Phonological processing, language, and literacy: A comparison of children with mild-to-moderate sensorineural hearing loss and those with specific language impairment. *Journal of Children Psychology and Psychiatry*; 42(3): 329-340.
- Bruck M (1992): Persistence of dyslexics' phonological awareness deficits. *Developmental Psychology*; 28: 121-137.
- Brunswick N, Rippon G (1994): Auditory event-related potentials, dichotic listening performance and handedness as indices of lateralisation in dyslexic and normal readers. *International Journal of Psychophysiology*; 18: 265-275.
- Burr DC, Morrone MC (1996): Temporal impulse response functions for luminance and colour during saccades. *Vision Research*; 36: 2069-2078.
- Bus AG, van Ijzendoorn MH (1999): Phonological awareness and early reading: A meta-analysis of experimental training studies. *Journal of Educational Psychology*; 91: 403-414.
- Buschmann H (1986): *Kompensatorische LRS-Förderung: Basistraining Rechtschreiben*. Vortrag gehalten auf dem Fachkongress „Legasthenie“, 1986.
- Buschmann H, Renk G (1988): *Dynamisch-integrative Förderung von Sprechen, Schreiben, Lesen*. Video-Lehrgang für Lehrer. Waldshut-Tingen.
- Buschmann H (1988): *Dynamisch-integrative Förderung von Sprechen, Schreiben, Lesen*. Unveröffentlichtes Manuskript. Waldshut-Tingen.
- Byrne B, Ledez J (1983): Phonological awareness in reading disabled adults. *Australian Journal of Psychology*; 35: 185-197.

- Cabeza R, Nyberg L (2000): Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*;12(1):1-47.
- Cao Y, Vikingstad EM, George KP, Johnson AF, Welch KM (1999): Cortical language activation in stroke patients recovering from aphasia with fMRI. *Stroke*; 30: 2331-2340.
- Cardon LR, Smith SD, Fulker DW, Kimberling WJ, Pennington BF, DeFries JC (1994): Quantitative trait locus for reading disability on chromosome 6. *Science*; 266: 276-279.
- Carroll JB (1993): *Human cognitive abilities: A survey of factoranalytic studies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Carpenter PA, Just MA, Shell P (1990): What one intelligence test measures: A theoretical account on the processing in the Raven Progressive Matrices Test. *Psychological Review*; 97: 404-431.
- Castles A, Coltheart M (1993): Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*; 47: 149-180.
- Ceponiene R, Rinne T, Näätänen R (2002): Maturation of cortical sound processing as indexed by event-related potentials. *Clinical Neurophysiology*; 113: 870-882.
- Cohen L, Lehericy S, Chochon F, Lemer C, Rivaud S, Dehaene S (2000): Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain*; 125(5): 1054-1069.
- Coltheart M, Rastle K (1994): Serial processing in reading aloud: evidence for Dual-Route Models of Reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*; 20(6): 1197-1211.
- Coltheart M, Masterson J, Byng S, Prior M, Riddoch J (1983): Surface dyslexia. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*; 37A: 469-495.
- Cowan N, Day L, Saults JS, Keller TA, Johnson T, Flores L (1992): The role of verbal output time in effects of word length on immediate memory. *Journal of Memory and Language*; 31: 1-17.
- Csépe V, Szűcs D, Honbolygó F (2003): Number-word reading as challenging task in dyslexia? An ERP study. *International Journal of Psychophysiology*; 51: 69-83.
- D'Amico A, Cardaci M (2003): Relations among perceived self-efficacy, self-esteem, and school achievement. *Psychological Reports*;92(3 Pt 1):745-54.

- Demb, JB, Poldrack RA, Gabrieli JDE, Klein RM, McMullen PA (eds) (1999): *Converging Methods for understanding reading an Dyslexia*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Denckla MB, Rudel RG (1976): Naming of objekt-drawings by dyslectic and other learning disabled children. *Brain and Language*; 3: 1-15.
- Diehl RL, Lotto AJ, Holt LL (2004): Speech perception. *Annual Review of Psychology*; 55: 149-179.
- Diesch E (1997): SpeechLab: PC software for digital speech signal processing. *Behavior Research, Methods, Instruments and Computers*; 29: 302.
- Dibenedetto B, Richardson E, Kochnow J (1983): Vowel generation in normal and learning disabled readers. *Journal of Educational Psychology*; 75: 576-582.
- Dilling H, Mombour W, Schmidt MH (eds.) (1991): *Internationale Klassifikation psychischer Störungen*. Bern: Verlag Hans Huber.
- Doctor EA, Coltheart M (1980): Children's use of phonological encoding when reading for meaning. *Memory & Cognition*; 8: 195-209.
- Eckert MA, Lombardino LJ, Leonard CM (2001): Planar asymmetrie tips the phonological playground and environmet raises the bar. *Child Development*; 72: 988-1002.
- Elbert T (1998): Neuromagnetism. In: Andrä W, Nowak H (Hrsg.): *Magnetism in Medicine*, New York: Wiley: 190-262.
- Esser G, Wyschkon A, Schmidt MH (2002): Was wird aus Achtjährigen mit einer Lese- und Rechtschreibstörung – Ergebnisse im Alter von 25 Jahren. *Zeitschrift für Klinische Psychologie, Psychiatrie und Psychotherapie*; 31.
- Esser G, Schmidt M (1993): Die langfristige Entwicklung von Kindern mit Lese-Rechtschreibschwäche. *Zeitschrift für Klinische Psychologie*; 22: 100-116.
- Esser G (1991): *Was wird aus Kindern mit Teilleistungsschwächen?* Stuttgart; Enke.
- Esser G (2002): Umschriebene Entwicklungsstörungen. In: Esser G (Hrsg): *Lehrbuch der klinischen Psychologie und Psychotherapie des Kinder- und Jugendalters*, Stuttgart: Thieme: 134-151.
- Farah MJ, Stowe RM, Levinson KL (1996): Phonological dyslexia: Loss of a reading-specific component of the cognitive architecture. *Cognitive Neuropsychology*; 13(6): 849-868.

- Eulitz C, Diesch E, Pantev C, Hampson S, Elbert T (1995): Magnetic and electric brain activity evoked by the processing of tone and vowel stimuli. *Journal of Neuroscience*; 15(4): 2748-2755.
- Farmer ME, Klein RM (1995): The evidence for a temporal processing deficit linked to dyslexia: A review. *Psychonomic Bulletin and Review*; 2: 460-493.
- Felton RH, Wood FB (1992): A reading level match study of nonword reading skills in poor readers with varying IQ. *Journal of Learning Disabilities*; 25: 318-326.
- Fiez JA, Peterson SE (1998): Neuroimaging studies of word reading. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*; 95(3):914-21.
- Findeisen U, Melenk G (1991): *Lauttreue Diktate für die 1. bis 5. Klasse*. Bochum: Winkler
- Fitch RH, Miller S, Tallal P (1997): Neurobiology of speech perception. *Annual Review of Neuroscience*; 20: 331-353.
- Fitzgibbon SP, Pope KJ, Mackenzie L, Clark CR, Willoughby JO (2004): Cognitive tasks augment gamma EEG power. *Clinical Neurophysiology*; 115(8): 1802-1809.
- Flannery KA, Liedermann J, Daly L (2000): Male prevalence for reading disability is found in a large sample of black and white children free from ascertainment bias. *Journal of the International Neuropsychological Society*; 6: 433-442.
- Fox B, Routh DK (1974): Analyzing spoken language into words, syllables, and phonemes: A developmental study. *Journal of Psycholinguistic Research*; 4: 331-342.
- Fox B, Routh DK (1976): Phonemic analysis and synthesis as word attack skills. *Journal of Educational Psychology*; 68: 70-74.
- Frankenberger W, Fronzaglio K (1991): A review of states' criteria and procedures for identifying children with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*; 24: 495-500.
- Fredmann G, Stevenson J (1988): Reading processes in specific reading retarded and reading backward 13-year olds. *British Journal of Developmental Psychology*; 6: 97-108.
- Frith U (1985): Beneath the surface of developmental dyslexia. In: Patterson KE, Marshall JC, Coltheart M (Ed): *Surface Dyslexia: Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading*. London: Erlbaum

- Frith U, Wimmer H, Landerl K (1998): Differences in phonological recoding in German- and English-speaking children. *Scientific Studies of Reading*; 2: 31-54.
- Frith U (2001): What framework should we use for understanding developmental disorders? *Developmental Neuropsychology*; 20(2): 555-563.
- Galaburda AM, Geschwind N (1981): Anatomical asymmetries in the adult and developing brain and their implications for functioning. *Advances in Pediatrics*; 28: 271-292.
- Galaburda AM, Shermann GF, Rosen GD, Aboitiz F, Geschwind N (1985): Developmental Dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology*; 18: 222-233.
- Gauger LM, Lombardino LJ, Leonard CM (1997): Brain morphology in children with specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*; 40: 1272-1284.
- Geschwind N, Galaburda AM (1985): Cerebral lateralization: Biological mechanisms, associations and pathology: I. A hypothesis and a program for research. *Archives of Neurology*; 42: 428-452.
- Geva E, Siegel LS (2000): Orthographic and cognitive factors in the concurrent development of basic reading skills in two languages. *Reading and Writing*; 12(1-2): 1-30.
- Giard MH, Perrin F, Pernier J, Bouchet P (1990): Brain generators implicated in processing of auditory stimulus deviance: a topographic event-related potential study. *Psychophysiology*; 27: 627-640.
- Gilger JW, Pennington BF, DeFries JC (1992): A twin study of the etiology of comorbidity: Attention deficit-hyperactivity disorder and dyslexia. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*; 31: 343-348.
- Godfrey JJ, Syrdal –Lasky AK, Millay KK, Knox CM (1981): Performance of dyslexic children on speech perception tests. *Journal of Experimental Child Psychology*; 32: 401-424.
- Grigorenko EL (2001): Developmental dyslexia: an update on genes, brains and environments. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*; 44: 91-125.
- Grigorenko EL, Wood FB, Meyer MS, Hart LA, Speed WC, Shuster A, Pauls DL (1997): Susceptibility loci for distinct components of developmental dyslexia on chromosomes 6 and 15. *American Journal of Human Genetics*; 60: 27-39.

- Grissemann, H (2000): *Zürcher Lesetest (ZLT)*. Bern: Hans Huber.
- Gross J, Schmitz F, Schnitzler I, Kessler K, Shapiro K, Hommel B, Schnitzler A (2004): Modulation of long-range neural synchrony reflects temporal limitations of visual attention in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*; 101(35):13050-13055.
- Grund M, Haug G, Naumann CL (1994): Diagnostischer Rechtschreibtest für 4. Klassen (DRT 4). In: Ingenkamp K (Hrsg.): *Deutsche Schultests*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Guadagnoli E, Velicer WE (1988): Relation of sample size to the stability of component patterns. *Psychological Bulletin*; 103: 265-275.
- Gualtieri T, Hocks RE (1987): An immunoreactive theory of selective male affliction. In: Chess S, Thomas, A (eds): *Annual progress in child psychiatry and child development*, New York: Brunner/Mazel, Inc: 221-258.
- Habib M, Espesser R, Rey V, Giraud K, Bruas P, Gres C (1999): Training dyslexics with acoustically modified speech: Evidence of improved phonological performance. *Brain and Cognition*; 40 (1): 143-146.
- Habib M (2000): The neurological basis of developmental dyslexia. *Brain*; 123: 2373-2399.
- Habib M, Rey V, Daffaure V, Camps R, Espesser R, Joly-Pottuz B, Démonet J-F (2002): Phonological training in children with dyslexia using temporally modified speech: a three-step pilot investigation. *International Journal of Language and Communication Disorders*; 37(3):289-308.
- Hallgren B (1950): Specific dyslexia (congenital word-blindness): A clinical and genetic study. *Acta Psychiatrica et Neurologica (Suppl.)*; 65: 1-287.
- Hari R, Aittoniemi K, Järvinen ML, Katila T, Varpula T (1980): Auditory evoked transient and sustained magnetic fields of the human brain. Localization of neural generators. *Experimental Brain Research*; 40: 237-240.
- Hari R (1995): Illusory directional hearing in humans. *Neuroscience Letters*; 189: 29-30.
- Hari R, Kiesilä P (1996): Deficit of temporal auditory processing in dyslexic adults. *Neuroscience Letters*; 205: 138-140.
- Harm MW, Seidenberg MS (1999): Phonology, reading acquisition, and dyslexia: insights from connectionists models. *Psychological Review*; 106: 491-528.

- Harm MW, Seidenberg MS (1996): Computational bases of two types of developmental dyslexia. *Proceedings of the 18th Annual Conference of the Cognitive Science Society*; 364-369. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Hauk O, Pulvermüller F (2004): Effects of word length and frequency on the human event-related potential. *Clinical Neurophysiology*; 115(5): 1090-103.
- Heim S, Eulitz C, Wienbruch C, Elbert T (2000a): Effects of syllabic training on literacy skills, phonological processing and cortical organisation on children with language impairment. *Psychophysiology*, 37 (1), 8.
- Heim S, Freeman RB, Eulitz C, Elbert T (2000b): Auditory temporal processing deficit in dyslexia is associated with enhanced sensitivity in the visual modality. *NeuroReport*; 12: 507-510.
- Heim S (2002): Auditory processing in dyslexia: evidence from psychophysical studies and event-related magnetic fields.
www.ub.uni-konstanz.de/kops/volltexte/2002/806/index.html
- Heim S, Eulitz C, Elbert T (2003a): Altered hemispheric asymmetry of auditory N100m in adults with developmental dyslexia. *NeuroReport*; 14(3): 501-504.
- Heim S, Eulitz C, Elbert T (2003b): Altered hemispheric asymmetry of auditory P100m in dyslexia. *European Journal of Neuroscience*; 17(8): 1715-1722.
- Helenius P, Uutela K, Hari R (1999): Auditory stream segregation in dyslexic adults. *Brain*; 122: 907-913.
- Heller KA, Lengfelder A, Kratzmeier H (1997): Replik zur SPM-Rezension von Klaus Willmes. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie. Themenheft „Testrezensionen“*; 18 (1/2): 120.
- Heller KA, Kratzmeier H, Lengfelder A (1998): *Raven-Matrizen-Test. Standard Progressive Matrices (SPM)*. Göttingen: Beltz, Deutsche Version.
- Ho CSH, Chan, DWO, Tsang SM, Lee SH (2002): The cognitive profile and multiple-deficit hypothesis in Chinese developmental dyslexia. *Developmental Psychology*; 38: 543–553.
- Hill R, Lovegrove WJ (1993): One word at a time: a solution for the visual deficit in SRDs? In: Wright SF, Groner R: *Facets of dyslexia and its remediation*; Amsterdam: Elsevier: 65-76.
- Hofmann B (1998): *Lese-Rechtschreibschwäche – Legasthenie: Erscheinungen, Theorieansätze, Prävention; eine systematische Einführung in die Gesamtproblematik*. München: Oldenbourg.

- Hulm C (1984): Developmental Differences in the effects of acoustic similarity on memory span. *Developmental Psychology*; 20: 650-652.
- Hulm C, Tordoff V (1989): Working memory development: The effects of speech rate, word length and acoustic similarity on serial recall. *Journal of Experimental Child Psychology*; 41, 61-75.
- Hynd GW, Semrud-Clikeman M, Lorys AR, Novey ES, Eliopoulos D (1990): Brain morphology in developmental dyslexia and attention deficit disorder/hyperactivity. *Archives de Neurologie*; 47: 919-926.
- Ilg UJ, Hoffman KP (1993): Motion perception during saccades. *Vision Research*; 33: 211-220.
- Jansen H, Mannhaupt G, Marx H, Skowronek H (1999): *Das Bielefelder Screening zur Früherkennung von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten (BISC)*. Göttingen: Hogrefe.
- Jensen, JR (1986): *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. Prentice Hall (New Jersey).
- Jernigan TL, Hesselink JR, Sowell E, Tallal PA (1991): Cerebral structure on magnetic resonance imaging in language- and learning-impaired children. *Archives of Neurology*; 48: 539-545.
- Joanisse MF, Manis FR, Keating P, Seidenberg MS (2000): Language deficits in dyslexic children: speech perception, phonology, and morphology. *Journal of Experimental Child Psychology*; 70: 30-60.
- Jobard G, Crivello F, Tzourio-Mazoyer N (2003): Evaluation of the dual route theory of reading: a metaanalysis of 35 neuroimaging studies. *Neuroimage*; 20(2): 693-712.
- Johannes S, Mangun GR, Kussmaul CL, Münte TF (1995): Brain potentials in developmental dyslexia: Differential effects of word frequency in human subjects. *Neuroscience Letters*; 195: 183-186.
- Junghöfer M, Bradley MM, Elbert TR, Lang PJ (2001): Fleeting images: A new look at early emotion discrimination. *Psychophysiology*; 38: 175-178.
- Karhu J, Herrgard E, Pääkkönen A, Luoma L, Airaksinen E, Partanen J (1997): Dual cerebral processing of elementary auditory input in children. *NeuroReport*; 8: 1327-1330.

- Katz RB, Shankweiler D, Libermann I (1981): Memory for item order and phonetic recoding in the beginning reader. *Journal of Experimental Child Psychology*; 32: 474-484.
- Katz RB (1986): Phonological deficiencies in children with reading disability: Evidence from a object-naming task. *Cognition*; 22: 225-257.
- Klatt DH (1980): Software for a cascade/parallel software synthesizer. *Journal of the Acoustical Society of America*; 67: 971-995.
- Klicpera C, Schabmann A, Gasteiger-Klicpera B (1993): Lesen- und Schreibenlernen während der Pflichtschulzeit: Eine Längsschnittstudie über die Häufigkeit und Stabilität von Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten in einem Wiener Schulbezirk. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*; 21: 214-255.
- Klauer KJ (1993a): Training des induktiven Denkens. In: Klauer KJ (Hrsg.): *Kognitives Training*: 141-163. Göttingen: Hogrefe.
- Klauer KJ (1993b): Über die Auswirkungen eines Trainings zum induktiven Denken auf zentrale Komponenten der Fremdsprachenlernfähigkeit. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*; 7(1): 1-9.
- Koehnower J, Richardson E, Dibenedetto B (1983): A comparison of the phonic decoding ability of normal and learning disabled children. *Journal of Learning Disabilities*; 16: 348-351.
- Korpilahti P, Lang HA (1994): Auditory ERP components and mismatch negativity in dysphasic children. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*; 91: 256-264.
- Kraus N, McGee TJ, Carell TD, Zecker SG, Nicol TG, Koch DB (1996): Auditory neurophysiologic responses and discrimination deficits in children with learning problems. *Science*; 273: 971-973.
- Kuhl PK (1992): Psychoacoustics and speech perception: internal standards, perceptual anchors, and prototypes. In: Werner LA, Rubel EW (eds.): *Developmental Psychoacoustics*. Washington, DC; American Psychological Association: 293-332.
- Kujala T, Myllyviita K, Tervaniemi M, Alho K, Kallio J, Näätänen R (2000): Basic auditory dysfunction in dyslexia as demonstrated by brain activity measurements. *Psychophysiology*; 37: 262-266.

- Kujala T, Näätänen R (2000): The mismatch negativity in evaluating central auditory dysfunction in dyslexia. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*; 25: 535-543.
- Kurtzberg D, Vaughan HG, Kreuzer JA, Fliegler KZ (1995): Developmental studies and clinical application of mismatch negativity. *Ear Hearing*; 16: 105-117.
- Kushch A, Gross-Glenn K, Jallad B, Lubs H, Rabin M, Feldmann E, Duara R: Temporal lobe surface area measurements on MRI in normal and dyslexic readers. *Neuropsychologia*; 31: 811-821.
- Laasonen M, Service E, Virsu V (2001): Temporal order and processing acuity of visual, auditory, and tactile perception in developmentally dyslexic young adults. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*; 1(4): 394-410.
- Laasonen M, Service E, Virsu V (2002): Crossmodal temporal order and processing acuity in developmentally dyslexic young adults. *Brain and Language*; 80: 340-354.
- Landerl K, Wimmer H, Frith U (1997): The impact of orthographic consistency on dyslexia: A German-English comparison. *Cognition*; 63: 315-334.
- Larsen JP, Høien T, Lundberg I, Odegaard H (1990): MRI evaluation of the size and symmetry of the planum temporale in adolescents with developmental dyslexia. *Brain and Language*; 39: 289-301.
- Lewitter FI, DeFries JC, Elston RC (1980): Genetic model of reading disability. *Behavior Genetics*; 10: 9-30.
- Lewkowicz NK (1980): Phonemic awareness training: What to teach and how to teach it. *Journal of Educational Psychology*; 72: 686-700.
- Liberman A, Harris K, Hoffman H, Griffith B (1957): The discrimination of speech sounds within and across phoneme boundaries. *Journal of Experimental Psychology*; 54(5): 358-368.
- Liberman IY (1973): Segmentation of the spoken word. *Bulletin of the Orton Society*; 23: 65-77.
- Liberman IY, Shankweiler D, Fischer FW, Carter B (1974): Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child. *Journal of Experimental Child Psychology*; 18: 201-212.
- Liberman IY, Rubin H, Duques SL, Carlisle J (1987): Linguistic skills and spelling proficiency in kindergarteners and adult poor spellers. In: Kavanaugh J, Gray D, Pearl D (Eds): *Dyslexia: Biology and behavior*. Parkton, MD: York Press.

- Lienert GA (1989): *Testaufbau und Testanalyse*, 4. Auflage. München: Psychologie Verlags Union.
- Livingstone MS, Rosen GD, Drislane FW, Galaburda AM (1991): Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*; 88: 7943-7947.
- Livingstone M, Hubel D (1988): Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*; 240: 740-749.
- Lindgren SD, De Renzi E, Richman LC (1985): Cross-national comparisons of developmental dyslexia in Italy and the United States. *Child Development*; 56(6): 1404-1417.
- Lovegrove WJ, Heddle M, Slaghuys W (1980a): Reading disability: Spatial frequency specific deficits in visual information store. *Neuropsychologia*; 18: 111-115.
- Lovegrove W, Martin F, Bowling A, Blackwood M, Badcock D, Paxton S (1982): Contrast sensitivity functions and specific reading disability. *Neuropsychologia*; 20(3):309-315.
- Lovegrove W, Slaghuys W, Bowling A, Nelson P, Geeves E. (1986): Spatial frequency processing and the prediction of reading ability: a preliminary investigation. *Perception & Psychophysics*; 40(6): 440-444.
- Lovegrove W, Martin F, Slaghuys W (1986b): A theoretical and experimental case for a visual deficit in specific reading disability. *Cognitiv Neuropsychology*; 3: 225-267.
- Lovegrove W, Garcia RP, Nicholson SB (1990): Experimental evidence for a transient system deficit in specific reading disability. *Journal of the American Optometric Association*; 61: 137-146.
- Lovegrove WJ (1994): Visual deficit in dyslexia: Evidence and implications. In: Fawcett A & Nicolson R (eds): *Dyslexia in children*. Hemel Hempstead Herts: Harvester Wheatsheaf.
- Lovett MW, Borden SL, DeLuca T, Lacerenza L, Benson NJ, Brackstone D (1994): Treating the core deficits of developmental dyslexia: Evidence of transfer of learning after phonologically- and strategy-based reading training programs. *Developmental Psychology*; 30(6): 805-822.
- Lütkenhöner B, Steinsträter O (1998): High-precision study of the functional organization of the human auditory cortex. *Audiology Neuroontology*; 3: 191-213.

- Manis FR, Seidenberg MS, Doi LM, McBrideChang C, Peterson A (1996): On the basis of two subtypes of developmental dyslexia. *Cognition*; 58: 157-195.
- Manis FR, McBrideChang C, Seidenberg MS, Keating P, Doi LM, Munson B, Peterson A (1997): Are speech perception deficits associated with developmental dyslexia? *Journal of Experimental Child Psychology*; 66: 211-235.
- Marcel A (1980): Phonological awareness and phonological representation: Investigation of a specific spelling problem. In Frith U (Ed): *Cognitive processes in spelling*. London: Academic Press.
- Marshall CM, Snowling MJ, Bailey PJ (2001): Rapid auditory processing and phonological ability in normal readers and readers with dyslexia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*; 44(4): 925-940.
- Martin F, Lovegrove W (1984): The effects of field size and luminance on contrast sensitivity differences between specifically reading disabled and normal children. *Neuropsychologia*; 22(1):73-77.
- Martin F, Lovegrove W (1987): Flicker contrast sensitivity in normal and specifically disabled readers. *Perception*; 16(2):215-221.
- Marx H, Jansen H, Mannhaupt G, Skowronek H (1993): Predictions of difficulties in reading and spelling on the basis of the Bielefeld screening. In: Grimm H, Skowronek H (Eds): *Language acquisition problems and reading disorders: Aspects of diagnosis and intervention*. Berlin: DeGruyter.
- Mayringer H, Wimmer H (2000): Pseudoname learning by German-speaking children with dyslexia: Evidence for a phonological learning deficit. *Journal of Experimental Child Psychology*; 75: 116-133.
- McAnally KI, Hansen PC, Cornelissen PL, Stein JF (1997): The effect of time frequency manipulation on syllable perception in developmental dyslexics. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*; 40(4): 912-924.
- McCrory E, Frith U, Brunswick N, Price C (2000): Abnormal functional activation during a simple word repetition task: A PET study of adult dyslexics. *Journal of Cognitive Neuroscience*; 12: 753-762.
- McEvoy L, Makela JP, Hamalainen M, Hari R (1994): Effect of interaural time differences on middle-latency and late auditory evoked magnetic fields. *Journal of Hearing Research*; 78(2):249-57.

- Merigan WH, Eskin TA (1986): Spatio-temporal vision of macaques with severe loss of Pb retinal ganglion cells. *Vision Research*; 26: 1751-1761.
- Merigan WH, Byrne CE, Maunsell JHR (1991): Does primate motion perception depend on the magnocellular pathway? *Journal of Neuroscience*; 11: 3422-3429.
- Merzenich MM, Jenkins WM, Johnston P, Schreiner C, Miller S, Tallal P (1996): Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. *Science*; 271: 77-81.
- Mody M, Studdert-Kennedy M, Brady S (1997): Speech perception deficits in poor readers: Auditory processing or phonological Coding? *Journal of Experimental Child Psychology*; 64: 199-231.
- Müller, R (1997): Diagnostischer Rechtschreibtest für 3. Klassen (DRT3). In: Ingenkamp K (Hrsg.): Deutsche Schultests. Weinheim, Basel: Beltz.
- Murphy LA, Pollatsek A, Well AD (1988): Developmental dyslexia and word retrieval deficits. *Brain and Language*; 35: 1-23.
- Muter V, Snowling N (1997): Grammar and phonology predict spelling in middle childhood. *Reading and Writing*; 9: 407-425.
- Näätänen R (2001a): The perception of speech sounds by the human brain as reflected by the mismatch negativity (MMN) and its magnetic equivalent (MMNm). *Psychophysiology*, 38 (2001): 1-21.
- Näätänen R (2000): Mismatch negativity (MMN): perspectives for application. *International Journal of Psychophysiology*; 37: 3-10.
- Näätänen R, Lehtokoski A, Lennes M, Cheour M, Huotilainen M, Livonen A, Vainio M, Alku P, Ilmoniemi RJ, Luuk A, Allik J, Sinkkonen J, Alho K (1997): Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses. *Letters to Nature*; 385(30): 432-434.
- Nagarajan S, Mahncke H, Salz T, Tallal P, Roberts T, Merzenich MM (1999): Cortical auditory signal processing in poor readers. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*; 96: 6483-6488.
- Nachtigall C, Suhl U (2002): Der Regressionseffekt – Mythos und Wirklichkeit. *Methevalreport*; 4(2): 1-9.

- Nakasato N, Fujita S, Tamura I, Fujiwara S, Yoshimoto T (1993): The whole head magnetoencephalography revealed functional hemispheric asymmetry of the human auditory evoked cortical response. In: Deeke L, Baumgartner G, Stroink G, Williamson S (Edts): *Proceedings of the 9th International Conference of Biomagnetism*, Vienna.
- Neville HJ, Coffey SA, Holcomb PJ, Tallal P (1998): The neurobiology of sensory and language processing in language-impaired children. *Journal of Cognitive Neuroscience*; 5(2): 235-253.
- Nicolson RI, Fawcett AJ (1990): Automaticity: a new framework for dyslexia research? *Cognition*; 35: 159-182.
- Nicolson RI, Fawcett AJ (1994): Reaction times in dyslexia. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*; 47A: 29-48.
- Nicolson RI, Fawcett AJ, Dean P (2001): Dyslexia, development and the cerebellum. *Trends In Neuroscience*; 24: 515-516.
- Nicolson RI, Daum I, Schugens MM, Fawcett AJ, Schulz A (2002): Eyblink conditioning indicates cerebellar abnormality in dyslexia. *Experimental Brain Research*; 143: 42-50.
- Ohtomo S, Nakasato N, Kanno A, Hatanaka K, Shirane R, Mizoi K, Yoshimoto T (1998): Hemispheric asymmetry of the auditory evoked N100m response in relation to the crossing point between the central sulcus and Sylvian fissure. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*; 108: 219-225.
- Oldfield RC (1971): The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologica*; 9, 97-113.
- Olson R, Wise B, Conners F, Rack J, Fulker D (1989): Specific deficits in component reading and language skills: Genetic and environmental influences. *Journal of Learning Disabilities*; 22: 339-348.
- Olson RK, Forsberg H, Wise B (1994): Genes, environment, and development of orthographic skills. In: Berninger VW (ed.): *The varieties of orthographic knowledge: theoretical and developmental issues*. Dordrecht: Kluwer: 27-71.
- Paetau R, Ahonen A, Salonen O, Sams M (1995): Auditory evoked magnetic fields to tones and pseudowords in healthy children and adults. *Journal of Clinical Neurophysiology*; 12: 177-185.

- Paul I (2005): Cortical and behavioural characteristics of children with developmental disorders: Does treatment change the picture? Dissertation, Universität Konstanz.
- Paulesu E, Frith U, Snowling M, Gallagher A, Morton J, Frackowiak RSJ (1996): Is Developmental dyslexia a disconnection syndrome? Evidence from PET scanning. *Brain*; 119: 143-157.
- Paulesu E, Démonet JF, Fazio F, McCrory E, Chanoine V, Brunswick N (2001): Dyslexia: cultural diversity and biological unity. *Science*; 291: 2165-2167.
- Pekkonen E, Huotilainen M, Virtanen J, Sinkkonen J, Rinne T, Ilmoniemi R, Näätänen R (1995): Age-related functional differences between auditory cortices: a whole-head MEG-study. *NeuroReport*; 6: 1603-1806.
- Pennington BF, Van Orden GC, Smith SD, Green PA, Haith MM (1990): Phonological processing skills and deficits in adult dyslexics. *Child Development*; 61: 1753-1778.
- Pennington BF, Gilger J, Pauls D, Smith SSA, Smith SD, DeFries JC (1991): Evidence for a major gene transmission of developmental dyslexia. *Journal of the American Medical Association*; 18: 1527-1534.
- Perfetti CA, Beck I, Bell L, Hughes C (1987): Phonemic knowledge and learning to read are reciprocal: A longitudinal study of first grade children. *Merill-Palmer Quarterly*; 33: 283-319.
- Pinkerton F, Watson DR, McClelland RJ (1989): A neurophysiological study of children with reading, writing, and spelling difficulties. *Deviant Medicine and Childhood Neurology*; 31: 569-581.
- Plaut DC, McClelland JL, Seidenberg M, Patterson KE (1996): Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review*; 103: 56-115.
- Poldrack RA, Wagner AD, Prull MW, Desmond JE, Glover GH, Gabrieli JD (1999): Functional specialization for semantic and phonological processing in the left inferior prefrontal cortex. *Neuroimage*; 10(1): 15-35.
- Polk TA, Stallcup M, Aguirre GK, Alsop DC, D'Esposito M, Detre JA, Farah MJ (2002): Neural specialization for letter recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*; 14(2): 145-159.

- Pugh, KR, Shaywitz BA, Shaywitz SE, Constable RT, Skudlarski P, Fulbright RK, Bronen RA, Shankweiler DP, Katz L, Fletscher JM, Gore JC (1996): Cerebral organization of component processes in reading. *Brain*; 119 (4): 1221-1238.
- Rack JP, Snowling MJ, Olson RK (1992): The nonword reading deficit in developmental dyslexia: A review. *Reading Research Quarterly*; 27(1): 29-53.
- Ramers KH (1992): Ambisilbische Konsonanten im Deutschen. In: Eisenberg P, Ramers KH, Vater H (Eds.): *Silbenphonologie des Deutschen. Studien zur Deutschen Grammatik*, Bd. 42. Tübingen: Narr.
- Ramus F, Rosen S, Dakin SC, Day BL, Castellote JM, White S, Frith U (2003a): Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*; 126: 841-856.
- Ramus F (2003b): Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction. *Current Opinion in Neurobiology*; 13: 212-218.
- Ramus F (2001): Outstanding questions about phonological processing in dyslexia. *Dyslexia*; 7: 197-216.
- Rapcsak SZ, Beeson PM (2004): The role of left posterior inferior temporal cortex in spelling. *Neurology*; 62(12): 2221-2229.
- Rayner K (1978): Eye movements in reading and information processing. *Psychological Bulletin*; 85: 618-660.
- Reuter-Liehr C (1991): Ein zweijähriges Förderprojekt in der Orientierungsstufe. In: Dummer-Smoch (Ed.): *Legasthenie. Bericht über den Fachkongress 1990*. Hannover: Bundesverband für Legasthenie e.V.: 189-196.
- Reed MA (1989): Speech perception and the discrimination of brief auditory cues in reading disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology*; 48: 270-292.
- Reite M, Zimmermann JT, Zimmermann JE (1981): Magnetic auditory evoked fields: interhemispheric asymmetry. *Journal of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*; 51(4): 388-92.
- Reite M, Sheeder J, Teale P, Richardson D, Adams M, Simon J (1995): MEG based brain laterality: sex differences in normal adults. *Neuropsychologia*; 33(12): 1607-1616.
- Rinne T, Alho K, Alku P, Holli M, Sinkkonen J, Virtanen J, Bertrand O, Naatanen R (1999): Analysis of speech sounds is left-hemisphere predominant at 100-150ms after sound onset. *NeuroReport*; 10(5): 1113-1117.

- Rojas DC, Walker JR, Sheeder JL, Teale PD, Reite ML (1998): Developmental changes in refractoriness of the neuromagnetic M100 in children. *NeuroReport*; 9: 1543-1547.
- Rosen S, Manganari E (2001): Is there a relationship between speech and nonspeech auditory processing in children with dyslexia? *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*; 44: 720-736.
- Roskies AL (ed.) (1999): Reviews on the binding problem. *Neuron*; 24: 7-110.
- Rubin GS, Turano K (1992): Reading without saccadic eye movements. *Vision Research*; 32(5): 895-902.
- Rudell AP (1999): The recognition potential and the word frequency effect at a high rate of word presentation. *Brain Research and Cognitive Brain Research*; 16;8(2):173-175.
- Rüsseler J, Probst S, Johannes S, Münte TF (2003): Recognition memory for high- and low-frequency words in adult normal and dyslexic readers: An event-related brain potential study. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*; 25(6): 815-829.
- Ruff S, Cardebat D, Marie N, Demonet JF (2002): Enhanced response of the left frontal cortex to slowed down speech in dyslexia: an fMRI study. *NeuroReport*; 13: 1285-1289.
- Rutter M, Silberg J, O'Connor T, Simonoff E (1999): Genetics and child psychiatry: Advances in quantitative and molecular genetics. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*; 40: 3-18.
- Salmelin R, Service E, Kiesilä P, Kutela K, Salonen O (1996): Impaired visual word processing in dyslexia revealed by Magnetoencephalography. *Annals of Neurology*; 40(2): 157-162.
- St. Sauver JL, Katusic SK, Barbaresi WJ, Colligan RC, Jacobson SJ (2001): Boy/Girl differences in risk for reading disability: Potential clues? *American Journal of Epidemiology*; 154(9): 787-794.
- Sawatari A, Callaway EM (1996): Convergence of magno- and parvocellular pathways in layer 4B of macaque primary visual cortex. *Nature*; 380: 442-446.
- Scarborough DL, Cortese C, Scarborough HJ (1977): Frequency and repetition effects in lexical memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*; 3: 1-17.

- Scheerer-Neumann G (1979): *Intervention bei Lese- Rechtschreibstörung. Überblick über Theorien, Methoden und Ergebnisse*. Bochum: Kamp.
- Scheerer-Neumann G (1988): *Rechtschreibstörung mit rechtschreibschwachen Hauptschülern auf kognitionspsychologischer Grundlage: Eine empirische Untersuchung*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Scheuerpflug P, Plume E, Vetter V, Schulte-Körne G, Bartling J, Deimel W, Remschmidt H, Warnke A (2004): Visual information processing in dyslexic children. *Clinical Neurophysiology*; 115: 90-96.
- Schneider W, Näslund J (1993): The impact of early metalinguistic competences and memory capacities on reading and spelling in elementary school: Results of the Munc Longitudinal Study on the Genesis of Individual Competencies (LOGIC). *European Journal of Psychology of Education*; 8: 273-288.
- Schneider W, Roth E, Ennemoser M (2000): Training phonological skills and letter knowledge in children at risk for dyslexia: a comparison of three kindergarten intervention programs. *Journal of Educational Psychology*; 92(2): 284-295.
- Schulte-Körne G, Bartling J, Deimel W, Remschmidt H (2004): Motion-onset VEPs in dyslexia. Evidence for visual perceptual deficit. *NeuroReport*; 15(6): 1075-1078.
- Schulte-Körne G, Remschmidt H (2003): Legasthenie – Symptomatik, Diagnostik, Ursachen, Verlauf und Behandlung. *Deutsches Ärzteblatt*; 100(7): 396-406.
- Schulte-Körne G, Deimel W, Remschmidt H (2003): Rechtschreibtraining in schulischen Fördergruppen: Ergebnisse einer Evaluationsstudie in der Primarstufe. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*; 31(2): 85-89.
- Schulte-Körne G (ed) (2002): *Legasthenie: Zum aktuellen Stand der Ursachenforschung, der diagnostischen Methoden und der Förderkonzepte*. Bochum: Verlag Dr. Winkler.
- Schulte-Körne G (2001a): *Lese-Rechtschreibstörung und Sprachwahrnehmung: Psychometrische und neuropsychologische Untersuchungen zur Legasthenie*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Schulte-Körne G, Mathwig F (2001b): *Das Marburger Rechtschreibtraining*. Bochum: Winkler.

- Schulte-Körne G, Deimel W, Hülsmann T, Remschmidt H (2001c): Das Marburger Rechtschreibtraining: Ergebnisse einer Kurzzeitintervention. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*; 29(1): 7-15.
- Schulte-Körne G (2001d): Annotation: Genetics of reading and spelling disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*; 42(8): 985-997.
- Schulte-Körne G, Deimel W, Bartling J, Remschmidt H (2001e): Speech perception deficit in dyslexic adults as measured by mismatch negativity (MMN). *International Journal of Psychophysiology*; 40: 77-87.
- Schulte-Körne G, Bartling J, Deimel W, Remschmidt H (1999a): Attenuated hemispheric lateralization in dyslexia: evidence of a visual processing deficit. *NeuroReport*; 10: 3697-3701.
- Schulte-Körne G, Deimel W, Bartling J, Remschmidt H (1999b): Pre-attentive processing of auditory patterns in dyslexic human subjects. *Neuroscience Letters*; 276: 41-44.
- Schulte-Körne G, Deimel W, Remschmidt H (1998a): Das Marburger Eltern-Kind-Rechtschreibtraining – Verlaufsuntersuchung nach 2 Jahren. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*; 26: 167-173.
- Schulte-Körne G, Deimel W, Bartling J, Remschmidt H (1998b): Auditory processing and dyslexia: evidence for a specific speech processing deficit. *NeuroReport*; 9: 337-340.
- Schulte-Körne G, Schäfer J, Deimel W, Remschmidt H (1997): Das Marburger Eltern-Kind-Rechtschreibtraining. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*; 25: 151-159.
- Schulte-Körne G, , Deimel W, Müller K, Gutenbrunner C, Remschmidt H (1996): Familial aggregation of spelling disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*; 37: 817-822.
- Schupp HT, Junghöfer M, Weike AI, Hamm AO (2004): The selective processing of briefly presented affective pictures: an ERP analysis. *Psychophysiology*; 41(3): 441-449.
- Seidenberg MS, McClelland JL (1989): A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*; 96: 523-568.

- Semrud-Clikeman M, Guy K, Griffin JD, Hynd GW (2000): Rapid naming deficits in children and adolescents with reading disabilities and attention deficit hyperactivity disorder. *Brain and Language*; 74: 70-83.
- Sereno SC, Rayner K, Posner MI (1998): Establishing a time-line of word recognition: evidence from eye movements and event-related potentials. *NeuroReport*; 9(10): 2195-200.
- Serniclaes W, Sprenger-Charolles L, Carré R, Demonet J-F (2001): Perceptual discrimination of speech sounds in developmental dyslexia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*; 44: 384-399.
- Shankweiler D, Libermann I, Mark LS, Fowler CA, Fisher FW (1979): The speech code and learning to read. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*; 5: 531-545.
- Shankweiler D, Libermann I (Eds) (1989): *Phonology and reading disability: Solving the reading puzzle*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- Share DL (1995): Phonological recoding and self teaching: Sine qua non of reading acquisition. *Cognition*; 55: 151-218.
- Share DL, Jorm AF, Maclean R, Matthews R (2002): Temporal processing and reading disability. *Reading and Writing*; 15: 151-178.
- Shaywitz BA, Shaywitz SE, Pugh KR, Mencl WE, Fulbright RK, Skudlarski P (2002): Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*; 40: 111-127.
- Shaywitz SE, Shaywitz BA, Pugh KR, Fulbright RK, Constable RT, Mencl WE, Shankweiler DP, Libermann AM, Skudlarski P, Fletcher JM, Katz L, Marchione KE, Lacadie C, Gatenby C, Gore JC (1998): Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*; 95: 2636-2641.
- Shaywitz SE, Shaywitz BA, Pugh KR, Fulbright RK, Constable RT, Mencl WE (1998): Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*; 95: 2636-41.
- Shaywitz BA, Fletcher JM, Shaywitz SE (1995): Defining and classifying learning disabilities and attention deficit / hyperactivity disorder. *Journal of Child Neurology*; 10: 50-57.

- Shaywitz SE, Shaywitz BA, Fletcher JM, Escobar MD (1990): Prevalence of reading disability in boys and girls. *JAMA: Journal of the American Medical Association*; 264: 998–1002.
- Skottun BC (2000): The magnocellular deficit theory of dyslexia: the evidence from contrast sensitivity. *Vision Research*; 40: 111-127.
- Skowronek H, Marx H (1989): The Bielefeld longitudinal study on early identification of risks in learning to write and read: Theoretical Background and first results. In: Brambring M, Lösel F, Skowronek H (Eds): *Children at risk: Assessment, longitudinal research and intervention*. New York: DeGruyter.
- Skoyles J, Skottun BC (2004): On the prevalence of magnocellular deficits in the visual system of non-dyslexic readers. *Brain and Language*; 88: 79-82.
- Smith SD, Kimberling WJ, Pennington BF, Lubs HA (1983): Specific reading disability: identification of an inherited form through linkage analysis. *Science*; 219: 1345-1347.
- Smith SD, Kimberling WJ, Pennington BF (1991): Screening for multiple genes influencing dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*; 3: 285-289.
- Snowling MJ (1980): The development of grapheme-phoneme correspondence in normal and dyslexic readers. *Journal of Experimental Child Psychology*; 29: 294-305.
- Snowling MJ (1981): Phonemic deficits in developmental dyslexia. *Psychological Research*; 43: 219-34.
- Sowell ER, Thompson PM, Rex D, Kornsand D, Tessner KD, Jernigan TL, Toga AW (2002): Mapping sulcal pattern asymmetry and local cortical surface gray matter distribution in vivo: maturation in perisylvian cortices. *Cerebral Cortex*; 12: 17-26.
- Stanovich KE (1988): Explaining the differences between the dyslexic and the garden-variety poor reader: the phonological-core variable-difference model. *Journal of Learning Disabilities*; 21: 590-604.
- Stanovich KE (1988b): The right and wrong places to look for the cognitive locus of reading disability. *Annals of Dyslexia*; 38: 154-177.
- Stanovich KE (1993): The language code: Issues in word recognition. In: Yussen SR, Smith SR (Eds): *Reading across the life span*. New York: Springer-Verlag.

- Stanovich KE (1993b): Does reading make you smarter? Literacy and the development of verbal intelligence. In: Reese H (Ed.): *Advances in child development and behavior* (Vol. 24). San Diego, CA: Academic Press: 133-180.
- Stanovich KE, Siegel LS (1994): Phenotypic performance profile of children with reading disabilities: a regression-based test of the phonological-core variable-difference model. *Journal of Educational Psychology*; 86(1): 24-53.
- Stanovich KE, Siegel LS, Gottardo A (1997): Converging evidence for phonological and surface subtypes of reading disability. *Journal of Educational Psychology*; 89: 114-127.
- Steffens ML, Eilers R, Gross-Glen K, Jallad B (1992): Speech perception deficits in adult subjects with familial dyslexia. *Journal of Speech and Hearing Research*; 35: 192-200.
- Stein J, Walsh V (1997): To see but not to read: the magnocellular theory of developmental dyslexia. *Trends in Neuroscience*; 20: 147-152.
- Stein J (2001): The Magnocellular Theory of developmental dyslexia. *JAMA: Journal of the American Medical Association*; 264: 998–1002.
- Steinmetz H, Rademacher J, Jänke L, Huang Y, Thron A, Zilles K (1990): Total surface of temporoparietal intrsylvian cortex: diverging left-right asymmetries. *Brain and Language*; 39: 357-372.
- Steinschneider M, Volkov IO, Noh MD, Garell PC, Howard MA (1999): Temporal encoding of the voice onset time phonetic parameter by field potentials recorded directly from human auditory cortex. *Journal of Neurophysiology*; 82(5): 2346-2357.
- Stevenson J, Graham P, Fredman G, McLoughlin V (1987): A twin study of genetic influences on reading and spelling ability and disability. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*; 28: 229-247.
- Stevenson J (1991): Which aspects of processing text mediate genetic effects? *Reading and Writing*; 3: 249-269.
- Strehlow U, Kluge R, Moller H, Haffner J (1992): Der langfristige Verlauf der Legasthenie über die Schulzeit hinaus: Katamnesen aus einer Kinderpsychiatrischen Ambulanz. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*; 20: 254-265.

- Stuart M, Masterson J (1992): Patterns of reading and spelling in 10-year-old children related to prereading phonological abilities. *Journal of Experimental Child Psychology*; 54: 168-187.
- Stuart GW, McAnally KI, Castles A (2001): Can contrast sensitivity functions in dyslexics be explained by inattention rather than a magnocellular deficit? *Vision Research*; 41: 3205-3211.
- Studdert-Kennedy M & Mody M (1995): Auditory temporal perception deficits in the reading-impaired: A critical review of the evidence. *Psychonomic Bulletin & Review*; 2: 508-514.
- Studdert-Kennedy M (2002): Deficits in phoneme awareness do not arise from failures in rapid auditory processing. *Reading and Writing*; 15: 5-14.
- Swan D, Goswami U (1997a): Phonological awareness deficits in developmental dyslexia and the phonological representations hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology*; 66: 18-41
- Swan D, Goswami U (1997b): Picture naming deficits in developmental dyslexia: The phonological representations hypothesis. *Brain and Language*; 56(3): 334-353.
- Szeszulski PA, Manis FR (1987): A comparison of word recognition processes in dyslexic and normal readers at two reading-age levels. *Journal of Experimental Child Psychology*; 44: 465-474.
- Tacke G, Brezing H, Schultheiß G (1992): Zur Überwindung von Rechtschreibfehlern in der Grundschule. Können Verstöße gegen die lautgetreue Schreibung und Konsonantenverdopplung durch rhythmisch-syllabierendes Mitsprechen behoben werden? *Psychologie in Erziehung und Unterricht*; 39(1): 28-32.
- Tacke G, Wörner R, Schultheiß G, Brezing H (1993): Die Auswirkung rhythmisch-syllabierenden Mitsprechens auf die Rechtschreibleistung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*; 7(2/3): 139-147.
- Tacke G, Brezing H, Schultheiß G (1994): Rhythmisch-syllabierendes Mitsprechen als Möglichkeit, die Rechtschreibung zu verbessern. *Lehren und Lernen*; 1:
- Takeshita K, Nagamine T, Thuy DHD, Satow Z, Matsuhashi M, Yamamoto J, Takayama M, Fujiwara N, Shibasaki H (2002): Maturational change of parallel auditory processing in school-aged children revealed by simultaneous recording of magnetic and electric cortical responses. *Journal of Clinical Neurophysiology*; 113: 1470-1484.

- Talcott JB, Hansen PC, Willis-Owen C, McKinell LW, Richardson AJ, Stein JF (1998): Visual magnocellular impairment in adult developmental dyslexics. *Neuroophthalmology*; 20: 187-201.
- Talcott JB, Hansen PC, Elikem LA, Stein JF (2000): Visual motion sensitivity in dyslexia: evidence for temporal and motion energy integration deficits. *Neuropsychologia*; 38: 935-943.
- Tallal P, Piercy M (1973a): Defects of non-verbal auditory perception in children with developmental aphasia. *Nature*; 241: 468-469.
- Tallal P, Piercy M (1973b): Developmental aphasia: Impaired rate of non-verbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia*; 11: 389-398.
- Tallal P, Piercy M (1974): Developmental aphasia: Rate of auditory processing and selective impairment of consonant perception. *Neuropsychologia*; 12: 83-93.
- Tallal P, Piercy M (1975): Developmental aphasia: The perception of brief vowels and extended stop consonants. *Neuropsychologia*; 13: 69-74.
- Tallal P (1980): Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language*; 9: 182-198.
- Tallal P (1984): Temporal or phonetic processing deficit in dyslexia? That is the question. *Applied Psycholinguistics*; 5: 167-169.
- Tallal P, Curtiss S, Kaplan R (1988): The San Diego longitudinal study: Evaluating the outcomes of preschool impairment in language development. In: Gerber SE, Mencher GT (Eds.): *International Perspectives on Communication Disorders*: Gallaudet University Press; Washington: 86-126.
- Tallal P, Miller S, Fitch RH (1993): Neurobiological basis of speech: a case for the preeminence of temporal processing. *Annals of New York Academy of Sciences*; 682: 27-47.
- Tallal P, Miller SL, Bedi G, Byma G, Wang X, Nagarajan SS, Schreiner C, Jenkins WM, Merzenich MM (1996): Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science*; 271: 81-84.
- Tallal P, Merzenich MM, Miller S, Jenkins W (1998): Language learning impairments: integrating basic science, technology, and remediation. *Experimental Brain Research*; 123: 210-219.
- Taub E, Uswatte G, Elbert T (2002): New treatments in neurorehabilitation founded on basic research. *Nature Reviews Neuroscience*; 3(3): 228-36.

- Teale P, Sheeder J, Rojas DC, Walker J, Reite M (1998): Sequential source of the M100 exhibits inter-hemispheric asymmetry. *NeuroReport*; 9: 2647-2652.
- Temple CM, Marshall JC (1983): A case study of developmental phonological dyslexia. *British Journal of Psychology*; 74: 517-533.
- Temple E, Poldrack RA, Protopapas A, Nagarajan S, Salz T, Tallal P (2000): Disruption of the neural response to rapid acoustic stimuli in dyslexia: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*; 97: 13907-13912.
- Temple E, Poldrack RA, Salidis J, Deutsch GK, Tallal P, Merzenich MM (2001): Disrupted neural responses to phonological and orthographic processing in dyslexic children: an fMRI study. *NeuroReport*; 12: 299-307.
- Temple E (2002): Brain mechanisms in normal and dyslexic readers. *Current Opinion in Neurobiology*; 12: 178-183.
- Temple E, Deutsch GK, Poldrack RA, Miller SL, Tallal P, Merzenich MM, Gabrieli JDE (2003): Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Science, USA*; 100(5): 2860-2865.
- Thulborn KR, Carpenter PA, Just MA (1999): Plasticity of language-related brain function during recovery from stroke. *Stroke*; 30: 749-754.
- Tomblin JB, Freese PR, Records NL (1992): Diagnostic specific language impairment in adults for the purpose of pedigree analysis. *Journal of Speech and Hearing Research*; 35: 832-843.
- Tonnessen FE (1999): Options and limitations of the cognitive psychological approach to the treatment of dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*; 32(5): 386-393.
- Tonnquist-Uhlen I, Borg E, Persson HE, Spens KE (1996): Topography of auditory evoked cortical potentials in children with severe language impairment: the N1 component. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*; 100: 250-260.
- Torgesen JK (1977): The role of nonspecific factors in the task performance of learning disabled children: A theoretical assessment. *Journal of Learning Disabilities*; 10: 27-34.

- Torgesen JK, Morgan ST, Davis C (1992): Effects of two types of phonological awareness training on word reading in kindergarten children. *Journal of Educational Psychology*; 84(3): 364-370.
- Torgesen JK, Wagner RK, Rashotte C (1997): Approaches to the prevention and remediation of phonologically based reading disabilities. In: Bachmann BA (Ed): *Foundations of reading acquisition and dyslexia: Implications for early intervention*. Mahwah, New York: Erlbaum.
- Van Norden LPAS (1975): *Temporal coherence in the perception of tone sequences*. Eindhoven: Institute for Perception Research; Eindhoven University of Technology.
- Vaughan Jr HG, Kurtzberg D (1992): Electrophysiological indices of human brain maturation and cognitive development. In: Gunnar MR, Nelson C (eds.): *Minnesota symposia on child psychology*, Vol. 24. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates: 1-36.
- Vellutino FR, Scanlon DM (1987): Phonological coding, phonological awareness, and reading ability: Evidence from a longitudinal and experimental study. *Merrill Palmer Quarterly*; 33: 321-364.
- Vikingstad EM, Cao Y, Thomas AJ, Johnson AF, Malik GM, Welch KM (2000): Language hemispheric dominance in patients with congenital lesions of the eloquent brain. *Neurosurgery*; 47: 562-570.
- Vrugt A. (1994): Perceived self-efficacy, social comparison, affective reactions and academic performance. *British Journal of Educational Psychology*; 64 (3): 465-72.
- Wagner RK, Torgesen JK (1987): The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Review*; 101(2): 192-212.
- Wagner RK, Torgesen JK, Rashotte C (1994): The development of reading-related phonological processing abilities: New evidence of a bi-directional causality from a latent variable longitudinal study. *Developmental Psychology*; 30: 73-78.
- Welte V (1981): Der Mottiertest, ein Prüfungsmittel für die Lautdifferenzierungsfähigkeit und die auditive Merkfähigkeit. *Sprache-Stimme-Gehör*; 5: 121-125.

- Willcutt EG, Pennington BF, DeFries JC (1999): Twin study of the etiology of comorbidity between reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder. *American Journal of Medical Genetics (Neuropsychiatric Genetics)*; 96(3): 293-301.
- Willcutt EG, Pennington BF (2000a): Psychiatric comorbidity in children and adolescents with reading disability. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*; 41(8): 1039-1048.
- Willcutt EG, Pennington BF (2000b): Comorbidity of reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder: Differences by gender and subtype. *Journal of Learning Disabilities*; 33: 179-191.
- Wimmer H, Landerl K, Linortner R, Hummer P (1991): The relationship of phonological awareness to reading acquisition: more consequence than prediction but still important. *Cognition*; 40: 219-249.
- Wimmer H, Hartl M (1991): Erprobung einer phonologisch multisensorischen Förderung bei jungen Schülern mit Lese-Rechtschreibschwierigkeiten. *Heilpädagogische Forschung*; 17: 74-91.
- Wimmer H (1993): Characteristics of developmental dyslexia in a regular writing system. *Applied Psycholinguistics*; 14: 1-33.
- Wimmer H, Goswami U (1994): The influence of orthographic consistency on reading development: Word recognition in English and German children. *Cognition*; 51: 91-103.
- Wimmer H, Landerl K, Schneider W (1994): The role of rhyme awareness in learning to read a regular orthography. *British Journal of Developmental Psychology*; 12: 469-484.
- Wimmer H (1996): The nonword reading deficit in developmental dyslexia: Evidence from children learning to read German. *Journal of Experimental Child Psychology*; 61: 80-90.
- Wolf M (1991): Naming speed and reading: The contribution of the cognitive neurosciences. *Reading Research Quarterly*; 26: 123-141.
- Woodcock R (1987): *Woodcock Reading Mastery Tests-Revised*. American Guidance Service, Circle Pines, MN.
- Wrobel A (2000): Beta activity: a carrier for visual attention. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*; 60: 247-260.

- Wrobel A (1997): Attention related oscillatory activity within sensory systems. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*; 57: 38.
- Xiang J, Wilson D, Otsubo H, Ishii R, Chuang S (2001): Neuromagnetic spectral distribution of implicit processing of words. *NeuroReport*; 12(8): 3923-3937.
- Zerbin-Rüdin E (1967): Congenital word blindness. *Bulletin of the Orton Society*; 17: 47-54.

10. Anhang

- I. Instruktion für die Aufgaben zur kategorialen Wahrnehmung
- II. Das Buschmanntraining an 10 Terminen á 45 Minuten
- III. Das Marburger Rechtschreibtraining an 18 Terminen á 45 Minuten
- IV. Anleitung zur Installation und zum Spielablauf des Computerspiels

I.

Instruktion für die Aufgaben zur kategorialen Wahrnehmung:

Du wirst jetzt über den Kopfhörer in zufälliger Reihenfolge die Silben „ba“ und „da“ hören. Sobald du „ba“ hörst, drückst du die linke Taste mit dem gelben Punkt, sobald du „da“ hörst, drückst du die rechte Taste mit dem blauen Punkt. Diese Silben sind manchmal undeutlich, so dass oft schwer zu sagen ist, ob es sich nun um ein „ba“ oder ein „da“ handelt. Trotzdem solltest du dich immer möglichst schnell für eine der beiden Tasten entscheiden, da schon nach 1 Sekunde die nächste Silbe präsentiert wird.

Zunächst beginnen wir mit einem kurzen Probedurchgang. Auch hier gilt: hörst du „ba“, drücke gelb, hörst du „da“, drücke blau.

Wenn nach dem Probedurchgang alles klar scheint: Ich sehe, du hast alles verstanden, dann können wir jetzt mit dem richtigen Durchgang beginnen.

Nach dem ersten Durchgang: So, jetzt ändern sich die Silben. Im nächsten Durchgang hörst du die Silben „da“ und „ga“. Auch diese Silben sind wieder manchmal undeutlich. Trotzdem solltest du dich auch hier wieder möglichst schnell für eine der beiden Tasten entscheiden. Wenn du jetzt „da“ hörst, drücke die linke gelbe Taste, wenn du „ga“ hörst, drücke die rechte blaue Taste.

Auch hier beginnen wir wieder mit einem Probedurchgang: Hörst du „da“, drücke gelb, hörst du „ga“, drücke blau.

Wenn nach dem Probedurchgang alles klar scheint: Das klappt ja ohne Probleme, dann können wir jetzt mit dem richtigen Durchgang beginnen.

II.

Buschmanntraining an 10 Terminen

Allgemeines

- Zu Beginn jeder Sitzung: Lieblingswörter, schwierige oder andere Wörter der letzten Stunde im Stehen („tanzend“) zunächst von jedem Kind einzeln und dann gemeinsam schwingen lassen.
- Lieblingswörter sollten variieren
- Während des gesamten Trainings keine Merkwörter und (möglichst) keine Regeln verwenden!!
- am Anfang möglichst keine Stopp-Konsananten als Wortanfang verwenden

1.Termin

- Objekte, bzw. Bilder von Objekten mit mehrsilbigen Bezeichnungen unter einer Decke verstecken,
z.B. Sonnenblume, Kartoffel, Büroklammer, Füllfederhalter, Ananas, Kokosnuss, Banane, Telefonkabel, Filzmalstifte, Regenbogen, Sonnenaufgang, Sonnenuntergang, Korkenzieher, Taschenmesser, Lockenwickler, Kassettenrecorder, Bleistiftspitzer, Radiergummi, Regenmantel.....
- Jeden Gegenstand zunächst benennen lassen, dann von jedem Kind einzeln schwingen lassen, dann mit allen gemeinsam schwingen: je Silbe mit der rechten Hand (bei Linkshändern mit der linken) in Schreibrichtung von Augenhöhe über die Magengegend bis wieder auf Augenhöhe, begleitet vom Mitsprechen und einem seitlichen Schritt in Schreibrichtung
- nach einer Runde: Kinder dürfen sich selbst einen Gegenstand auswählen
- dann: Kinder dürfen selbst lange Wörter vorschlagen, evtl. Schlangenwörter einführen (vgl.

S.14, 17 und S.27-32)

- Hausaufgabe: die Wörter, die während der Sitzung silbiert wurden, selbständig im Stehen („tanzend“) silbieren und ein Lieblingswort aussuchen.

2. Termin

- Lieblingswörter und andere Wörter der letzten Sitzung erst einzeln, dann gemeinsam (im Stehen / „tanzend“) schwingen lassen
- dann neue Wörter und Schlangenwörter (vgl. **S.14, 17 und S.27-32**) einführen oder vorschlagen lassen (z.B. Berufe, zusammengesetzte Gerichte, z.B. -suppe, -auflauf, -salat, ...) und im Stehen („tanzend“) schwingen lassen.
- Variation der Schwünge: mit dem Finger an der Wand, mit der Kreide an der Tafel, im Sitzen mit dem Finger in der Luft, mit dem Finger auf dem Tisch und mit einem Bleistift auf einem Papier
- Hausaufgabe: die Wörter, die während der Sitzung silbiert wurden, selbständig in den verschiedenen Varianten silbieren und ein (neues) Lieblingswort aussuchen.

3. Termin

- 10 Minuten Lieblingswörter, alte Wörter oder schwierige Wörter schwingen, erst im Stehen, dann im Sitzen
- Übergang zum Schreiben: 2-silbiges, einfaches Verb an die Tafel schreiben (z.B.: malen, lesen, reden... vgl. **S.10a**); von den Kindern leise lesen und ins Ohr flüstern lassen, wie das Wort heißt.
- dann: alle zusammen das Wort im Sitzen mit dem Finger in der Luft silbieren.
- dann: der V1 schreibt das Wort in Silben koartikulierend an die Tafel, die Kinder schreiben es in Silben koartikulierend in ihr Heft.
- Wichtig: Jede Silbe soll unbedingt in einem „Zug“ geschrieben werden. Nach jeder Silbe wird eine kleine Pause gemacht und die Oberzeichen bzw. t-Striche eingefügt
- dann: der V1 malt die Bögen unter das Wort, erst nur mit dem Finger, dann mit der Kreide, dann machen es die Kinder entsprechend: erst mit dem Finger, dann mit einem Stift.
- dann: das nächste Wort mit derselben Prozedur
- Hausaufgabe: die Wörter, die während der Sitzung silbiert wurden, selbständig silbieren und koartikulierend schreiben, (neues) Lieblingswort zum Schwingen suchen.

4. Termin (quasi Wiederholung von 3.)

- 10 Minuten Lieblingswörter, alte Wörter oder schwierige Wörter schwingen, erst im Stehen, dann im Sitzen
- neues Wort an die Tafel schreiben
- erst von einem Kind schwingend lesen lassen, dann alle gemeinsam.
- dann: V1 schreibt das Wort in Silben koartikulierend an die Tafel, Kinder schreiben es in Silben koartikulierend in ihr Heft
- weitere Wörter auf die gleiche Weise einführen (z.B. raten, toben, fragen, weinen, schaffen, kommen, bitten, betteln, essen, rennen, sitzen, Witze, witzeln, schwatzen, vgl. **S.10a**, zur Steigerung der Schwierigkeit siehe **S.9**)
- Hausaufgabe: die Wörter, die während der Sitzung silbiert wurden, selbständig silbieren und koartikulierend schreiben, (neues) Lieblingswort zum Schwingen suchen.

5. Termin

- 5 Minuten Lieblingswörter, alte Wörter oder schwierige Wörter im Stehen schwingen
- kurze Sätze schwingen: z.B.: Die Bienen summen auf der Wiese, s.**S.36**
- Einführung von Silbenketten: nanunana an die Tafel schreiben, lesen und schwingen lassen, von allen Kindern an der Tafel Bögen drunter malen lassen.
- das gleiche mit nenunene und latituli
- dann: Arbeitsblatt **S.19**: zunächst jeder einzeln syllabierend lesen und gleichzeitig Bogen drunter malen, dann alle zusammen
- dann: neue Wörter schreiben wie bei 3. und 4., jetzt auch Schlangenwörter schreiben lassen (vgl. **S.14, 17** und **S.27-32**)
- Hausaufgabe: auf neuem Arbeitsblatt **S.19** dieselben Silbenreihen silbierend lesen, die schon bearbeitet wurden und Bögen drunter malen. Lieblingsreihe/ Lieblingswort zum Schwingen finden.

6. Termin

- 5 Minuten Lieblingswörter, alte Wörter oder schwierige Wörter im Stehen schwingen
- Wiederholung von nanunana, nenunene und latituli wie bei 5.
- Dann: Arbeitsblatt **S.19** weiter syllabierend lesen und Bögen drunter malen
- dann: neue Wörter schreiben wie bei 3., 4., und 5.
- Hausaufgabe: auf neuem Arbeitsblatt **S.19** dieselben Silbenreihen silbierend lesen, die schon bearbeitet wurden und Bögen drunter malen. Lieblingsreihe / Lieblingswort zum Schwingen finden.

7. Termin

- 5 Minuten Lieblingswörter, alte Wörter oder schwierige Wörter im Stehen schwingen
- Dann: Arbeitsblatt **S.19** weiter *leise* silbierend lesen und Bögen drunter malen
- dann: Trick für schwierige Auslaute (v.a. bei Einsilbern) am Beispiel „Pilz“ an der Tafel: „ich spreche und schreibe Pil, Pause, mache den i-Punkt, schwinge -ze und schreibe z“.
- jedes Kind macht das an der Tafel nach.
- gleiche Prozedur mit „schnell“
- dann: neue Wörter schreiben wie bei 3., 4., 5. und 6.
- Sätze lesen und gleichzeitig Bogen druntermalen (vgl. **S.33-39**, evtl. für die Kids neu tippen, so dass sie Platz für die Bögen haben)
- Hausaufgabe: den Trick mit den geübten Wörtern nochmal üben, Sätze nochmal lesen und wieder Bögen drunter machen, (neues) Lieblingswort zum Schwingen suchen.

8. Termin

- 5 Minuten Lieblingswörter, alte Wörter oder schwierige Wörter im Stehen schwingen
- Dann: Arbeitsblatt **S.19** oder **S.20** weiter *leise* silbierend lesen und Bögen drunter malen
- Wiederholung des Tricks

Wichtig: immer mit dem gesamten Spruch („ich spreche und schreibe....“)

- Anwendung auf neue Worte z.B. Zwerg, Brot, Rad, toll, flott, aufregend, er kommt (kommen), kam (kamen), Rollschuhe, Klapptür, Rennwagen... vgl. **S.10a**
- Sätze schwingen und ins Heft schreiben (evtl. als Diktat, vgl. **S.33-39**)

9. und 10. Termin: Wie 8. Termin

III.

Das Marburger Rechtschreibtraining an 18 Terminen á 45 Minuten

Übersicht

1. bis 7.Tag (7 Tage): Basics:

1.Woche: Selbstlaute, Mitlaute erkennen und Hauptwörter (Groß- und Kleinschreibung, Wortstamm); Merksätze 1-4 für Karteikasten

2.Woche: Wortarten und Wortteile (Hauptwörter, Tuwörter, Wiewörter; Wortstamm, Endungen), Merksätze 5-7

8.-16. Tag (9 Tage): kognitiver Schwerpunkt: Regeln anwenden, für die phonologische Anforderungen nur eine untergeordnete Rolle spielen:

Umlaute (1. Ableitung) und Auslaute (2. Ableitung) bei allen drei Wortarten

Ende 2. und 3. Woche:

Umlaute bei Haupt-, Tu-, und Wiewörtern (1. Ableitung; Regel 1-3),

Auslaute bei Haupt-, Tu-, und Wiewörtern (2. Ableitung; Regel 4-6)

4. Woche: Wiederholung der Regeln, selbständig die passende Regel finden und anwenden

- Beim ersten Termin in jeder Woche: Wiederholung des Stoffs der letzten Woche
- Zur Orientierung: Optimale Aufteilung einer Einheit (45 min):
1/3 Wiederholung (Wdh.) der letzten Stunde, 1/3 neue Regeln/Merksätze besprechen, 1/3 neue Regeln/Merksätze üben

1. Woche

1. Selbstlaute erkennen (Kap.1)

S. 1.1-1.2 *alle Buchstaben benennen lassen, was sind Selbstlaute, wie erkennt man*

sie? Falls sie die Selbstlaute nicht auswendig können: a,e,i,o,u an die Tafel schreiben;

vorbereitetes Zeilenlineal austeilen, Anwendung ausprobieren lassen;

Karteikasten und 1. Merksatz („Selbstlaute ...“, auf festes Papier kopiert) austeilen

- Ü1.1 1. u. 2. Block, evtl. gemeinsam lesen;
Einführung des “__” als Zeichen für Selbstlaut
- Ü1.2 nur 1. Spalte; Selbstlautkarten (A6) vorbereiten und austeilen,
reihum vorlesen lassen, ausgesuchte Vokalkarte zunächst verkehrt
herum
auf die Stirn halten lassen, wenn es alle haben: Karte umdrehen
- Ü1.7 bei „Selbstlautwürfel“: darf sich ein Vokal aussuchen

2. Mitlaute erkennen (Kap.2)

1. Merksatz gemeinsam lesen und für Wdh. Ü1.2 auf dem Tisch liegen lassen
- Wdh. Ü1.2 2. Spalte
- Wdh. Ü1.5 schwierig, evtl. weglassen
- S. 2.1-2.2 2. Merksatz („Mitlaute ...“, auf festes Papier kopiert) austeilen;
evtl. an die Tafel: „Selbstlaut = Lokomotive,
Mitlaut nach dem Selbstlaut = Wagen“;
„Lokomotive fährt den Wagen zum ersten Buchstaben, dem 1. Mitlaut;
oder: Lokomotive verbindet den 1. Mitlaut mit den anderen Mitlauten
im Wagen“
- Ü2.1
- Ü2.4 ohne Unterscheidung langer - kurzer Selbstlaut: Instruktion ohne ersten
Satz, dann „Schreibe die Wörter...“, letzten Satz auch weg lassen,
11 beliebige Wörter aussuchen lassen

3. Hauptwörter, Groß- und Kleinschreibung (Kap.4, 1. Teil)

1. u. 2. Merksatz gemeinsam lesen und für Wdh. Ü2.7 auf dem Tisch liegen lassen
- Wdh. Ü2.7 wie Ü2.4
- S. 4.5 3. Merksatz („Hauptwörter ...“, auf festes Papier kopiert) austeilen
- Ü4.2 nur erstes Lösungswort (1-9) und evtl. gemeinsam lesen
- Ü4.3 nur S. 4.7 oder 1. Reihe
- Ü1.2 nur mit Hauptwörtern, Artikel (Beiwort) immer dazu sagen lassen

4. Hauptwörter: Wortstamm (Kap. 4, 2. Teil)

3. Merksatz	<i>gemeinsam lesen und für Wdh. Ü4.3 Teil 2 auf dem Tisch liegen lassen</i>
Wdh. Ü4.2	<i>2. Teil</i>
Wdh. Ü4.3	<i>2. Teil</i>
S. 4.9-4.11	<i>Bezug auf Ü2.4 und Ü2.7: „Wörter bestehen aus verschiedenen Teilen“;</i>
	<i>auf S. 4.11 Kasten 2 (Regel anwenden) weglassen,</i>
	<i>4. Merksatz („Wortstämme ...“, auf festes Papier kopiert) austeilten</i>
Ü4.4	<i>evtl. nur S. 4.12</i>
Ü4.6	<i>S.4.14 - 1. Teil</i>

2. Woche

5. Wiederholung der Merksätze 1-4 mit Übungen

1. Merksatz	<i>(Selbstlaute...) gemeinsam lesen, Selbstlaute nennen lassen und an die Tafel schreiben</i>
Ü1.5	
2. Merksatz	<i>(Mitlaute...)gemeinsam lesen, Mitlaute nennen lassen</i>
Ü1.7	<i>reihum mit Selbstlautwürfel würfeln und mit Mitlautkarten (A2-A4) Wörter bilden</i>
3. Merksatz	<i>(Hauptwörter...)gemeinsam lesen, Hauptwörter nennen lassen</i>
Ü4.3	<i>3. Teil, evtl. mit neuen Wörtern aus dem Wortindex (W1-W10)</i>
4. Merksatz	<i>(Wortstamm...)gemeinsam lesen; „Der Wortstamm ist der Teil im Wort, der immer gleich geschrieben wird“</i>
Ü4.6	<i>2. Teil</i>

6. Hauptwörter: Wortendungen (Kap. 4, 3. Teil) und Tuwörter (Kap.6, 1. Teil)

S. 4.16	<i>evtl. eigenen, 5. Merksatz verfassen (z.B. „Nach dem Wortstamm kommen häufig die Endungen -el, -en, -er . Diese Endungen werden immer gleich geschrieben, egal an welchen Wortstamm sie drangehängt werden, z.B. Vat -er, Kell -er, Wint -er“, auf festes Papier kopiert) und austeilten</i>
---------	--

Ü4.7	1. Block
Ü4.8	
S. 6.1-6.3	6. Merksatz („Tuwörter ...“, auf festes Papier kopiert) austeilen ; Bezug auf Regeln 1-3 weglassen; Begriff der „Beugung“ einführen; „auch hier gilt wie bei den Hauptwörtern: der Wortstamm ist der Teil im Wort, der immer gleich geschrieben wird, egal welche Endung dran gehängt wird“ (- gilt natürlich nur für regelmäßige Verben)
Ü6.1	evtl. nur erster Block
Ü6.2	evtl. nur erster Block

7. Tuwörter (Kap. 6, 2.Teil) und Wiewörter (Kap.7, 2.Teil)

6. Merksatz	<i>gemeinsam lesen und auf dem Tisch liegen lassen</i>
Wdh. Ü6.2	<i>2. Hälfte</i>
Wdh. Ü6.3	<i>evtl. gemeinsam lesen</i>
Wdh. Ü6.4	
S. 7.13	7. Merksatz („Wiewörter ...“, auf festes Papier kopiert) austeilen
Ü7.9	<i>ersten Teil , gemeinsam lesen, reihum Wiewörter bestimmen lassen;</i>
Ü7.11	<i>eingesetzte Wörter kategorisieren lassen (H, T, W)</i>

8. Umlaute bei Hauptwörtern (Kap. 11, 1. Teil)

3.,6.u.7. Merksatz	<i>gemeinsam lesen und auf dem Tisch liegen lassen</i>
Wdh. Ü7.9	<i>zweiten Teil, gemeinsam lesen: Satz für Satz abwechselnd Hauptwörter, Wiewörter und Tuwörter bestimmen lassen</i>
S. 11.1-11.3	1. Regel: 1. Ableitung bei Hauptwörtern, <i>Lernkasten 6 (A29) austeilen</i>
Ü11.1	<i>(evtl.: „Die Rechtschreibung des Wortes bleibt auch bei Bildung der Mehrzahl gleich. Es wird nur eine Endung dran gehängt (-e, -er, -n) und wenn das Wort in der Einzahl ein -a- enthält, wird daraus in der Mehrzahl ein -ä-. Genauso wird aus dem -o- ein -ö- und aus dem -u- ein -ü-“.)</i>
Ü11.2	

3. Woche

9. Wiederholung der Merksätze 5,6 und 7 und der Regel 1 mit Übungen

5. Merksatz	(Wortendungen...) <i>gemeinsam lesen und für Ü4.7 auf dem Tisch liegen lassen</i>
Ü4.7	<i>2. Hälfte</i>
6. Merksatz	(Tuwörter...) <i>gemeinsam lesen und für Wdh. Ü6.5 auf dem Tisch liegen lassen, beliebige Tuwörter nennen lassen</i>
Ü6.5	<i>gemeinsam lesen, (falls bei Ü6.2 große Probleme: statt 6.5 wiederholen)</i>
7. Merksatz	(Wiewörter...) <i>gemeinsam lesen und für Wdh. Ü6.11 auf dem Tisch liegen lassen, beliebige Wiewörter nennen lassen</i>
Ü6.11	<i>gemeinsam lesen (keine Wiewörterübung aber Groß- und Kleinschreibung)</i>
Regel 1	<i>(1. Ableitung bei Hauptwörtern, Lernkasten 6) gemeinsam lesen und für Wdh. Ü11.6 auf dem Tisch liegen lassen</i>
Ü11.6	<i>gemeinsam lesen</i>

10. Umlaute bei Tu- und Wiewörtern (Kap. 11, 2. Teil)

S. 11.6-11.7	2. Regel: 1. Ableitung bei Tuwörtern, <i>Lernkasten 7 (A29) austeilen</i>
Ü11.3	<i>nur 1. Spalte</i>
S. 11.9	3. Regel: 1. Ableitung bei Wiewörtern, <i>Lernkasten 8 (A30) austeilen</i>
Ü11.4	
Ü11.5	<i>erste Hälfte</i>

11. Auslaute bei Hauptwörtern (Kap. 12, 1. Teil)

Regel 1,2,3	<i>(Lernkasten 6,7,8) gemeinsam lesen</i>
S. 11.11	Zusammenfassung der Regeln 1-3 für die Umlaute - 1. Ableitung
Wdh. Ü11.8	<i>statt vorlesen: selber lesen (zusätzliche visueller Kontrolle)</i>
S.12.1-12.2	4. Regel: 2. Ableitung bei Hauptwörtern, <i>Lernkasten 9 (A30) austeilen</i>
Ü12.1	
Ü12.2	

12. Auslaute bei Tu- und Wiewörtern (Kap.12, 2.Teil)

4. Regel	2. Ableitung bei Hauptwörtern, <i>Lernkasten 9 (A30): gemeinsam lesen und zur 5. Regel überleiten</i>
S.12.4-12.5 Ü12.3	5. Regel: 2. Ableitung bei Tuwörtern, <i>Lernkasten 10 (A31) austeilern evtl. die letzten nicht bearbeiten</i>
S. 12.6-12.7 Ü12.4	6. Regel: 2. Ableitung bei Wiewörtern, <i>Lernkasten 11 (A31) austeilern nur S. 12.8</i>

4. Woche

13. Wiederholung der Regeln 1-3 (Umlaute, Kap.11)

1. Regel	<i>(1. Ableitung bei Hauptwörtern, Lernkasten 6) gemeinsam lesen und für Wdh. Ü11.6 auf dem Tisch liegen lassen</i>
Ü11.6	<i>jetzt möglichst selbständig lösen</i>
2. Regel	<i>(1. Ableitung bei Tuwörtern, Lernkasten 7) gemeinsam lesen und für Wdh.Ü11.3 auf dem Tisch liegen lassen</i>
Ü11.3	<i>2. Spalte</i>
3. Regel	<i>(1. Ableitung bei Wiewörtern, Lernkasten 8) gemeinsam lesen und für Wdh. Ü11.4 auf dem Tisch liegen lassen</i>
Ü11.4	<i>Wiederholen</i>
Ü11.5	<i>zweite Hälfte</i>

14. Wiederholung der Regeln 4-6 (Endlaute, Kap.12)

4. Regel	<i>(2. Ableitung bei Hauptwörtern, Lernkasten 9) gemeinsam lesen und für Ü12.5 auf dem Tisch liegen lassen</i>
Ü12.5	<i>erste Hälfte, evtl. gemeinsam lesen, Rest vorlesen</i>
5. Regel	<i>(2. Ableitung bei Tuwörtern, Lernkasten 10) gemeinsam lesen und für Wdh. Ü12.3 auf dem Tisch liegen lassen</i>
Ü12.3	<i>noch nicht bearbeitete Aufgaben oder wiederholen</i>
6. Regel	<i>(2. Ableitung bei Wiewörtern, Lernkasten 11) gemeinsam lesen und für Wdh. Ü12.4 auf dem Tisch liegen lassen</i>
Ü12.4	<i>2. Hälfte</i>

15. Aufgabe: Selbständig die passenden Regelkarten finden:

vor dem Schreiben soll jeweils dem VL. die entsprechende Regelkarte gezeigt und die Anwendung auf das Problem demonstriert werden

Ü11.8 *als Diktat (der Instruktion entsprechend)*

Ü11.7 *Satz 1-4*

Wdh. Ü6.11

Ü12.6

16. Aufgabe: Selbständig die passenden Regelkarten finden (wie bei 15.):

Ü12.5 *zweite Hälfte*

Ü11.7 *Satz 5-8*

Ü12.8 *evtl. nur halb*

Ü12.10

17. und 18: Wie 16. mit Material aus dem Anhang

IV.

Anleitung zur Installation

Liebe Eltern!

Sie haben von uns eine CD erhalten, auf der sich das Computertraining befindet. Ihre einzige Aufgabe ist es, die CD in Ihr CD-Rom-Laufwerk zu legen und die darauf befindlichen Dateien „Parameter“, „Auswertung“ und „Spiel.exe“ in einen neuen Ordner direkt auf **C:** zu kopieren. Diesen „neuen Ordner“ benennen Sie dann in „Spiel“ um.

[„Arbeitsplatz“ doppelklicken, „System C“ doppelklicken, „Datei“ (links oben) anklicken, „neu“ anklicken, „Ordner“ anklicken, es erscheint ein neuer Ordner, aus dem Sie jetzt das „neuer Ordner“ herauslöschen und „Spiel“ hineinschreiben können. Doppelklicken Sie erneut „Arbeitsplatz“ und dann das CD-ROM-Laufwerk (z.B. „F“). Markieren Sie dann die drei Dateien („Steuerungstaste“ gedrückt halten und mit der Maus alle drei Dateien anklicken) und ziehen Sie dann mit gedrückter Maustaste die drei Dateien in den neu angelegten „Spiel“-Ordner.]

Es ist wichtig, dass der Ordner in kein Unterverzeichnis abgelegt wird, sondern direkt unter **C:!**

Wie wird gespielt?

Grundsätzlich:

- 1) doppelklicken Sie auf den Ordner „**Spiel**“
- 2) doppelklicken Sie auf die Datei ***Spiel.exe***
→ ein Fenster öffnet sich
klicken Sie auf den **Pfeil rechts unten**
- 3) in dem Fenster soll Ihr Kind seinen **Vor- und Nachnamen**, sowie sein **Geburtsdatum** eintragen. Wichtig ist, dass jedes Mal orthographisch exakt derselbe Name eingegeben wird.
- 4) Dann **auf den Pfeil rechts unten** klicken.
→ Sie sehen jetzt 4 Spiele

Ablauf:

- **Spiel 1 hat Julian schon ausreichend geübt**
- **Spiel 2 und 3 soll an 5 Tagen in der Woche jeweils 2x gespielt werden.**
- **Spiel 4 funktioniert nicht zuverlässig und wird deshalb weggelassen**

Spiel 2:

- 1) Klicken Sie beim zweiten Spiel auf „**Demo**“
→ das Spiel erklärt sich von selbst
- 2) ist die Demo-Version durchgelaufen, klicken Sie auf das **Bild des zweiten Spiels (über Demo)**
→ dieses wird gestartet
- 3) Mit der Maus in die Scheune klicken: 2 Tiere erscheinen.
Wie in der Demo beschrieben, soll Ihr Kind darauf hören, was für Töne die beiden Tiere von sich geben.

WICHTIG: es geht darum, die Abfolge der beiden Töne zu reproduzieren!

Beispiel: das erste Tier macht einen Ton, der sich von unten nach oben bewegt. Das zweite Tier macht einen Ton, der sich von oben nach unten bewegt. Dann soll Ihr Kind mit den Pfeiltasten diese Abfolge markieren: erst auf den ▲ Pfeil klicken, dann auf den ▼ Pfeil klicken!

WICHTIG: es geht nicht um die Tonhöhe, sondern um die Richtung der Töne!

- 4) Ist die Reaktion richtig, verschwinden die beiden Tiere, ist die Reaktion falsch, gibt es einen „falsch“-Ton. Neue Tiere werden durch einen Mausklick in die Scheune angefordert!
- 5) WICHTIG: Das Spiel soll immer so lange gespielt werden, bis die Anzeige „**Endstand Spiel 2:**“ angezeigt wird! Wird das Spiel davor abgebrochen, werden die Ergebnisse nicht gespeichert!

Spiel 3:

- 1) Klicken Sie beim dritten Spiel auf „**Demo**“
→ das Spiel erklärt sich von selbst
- 2) ist die Demo-Version durchgelaufen, klicken Sie auf das **Bild des dritten Spiels (über Demo)**
→ dieses wird gestartet
- 3) Mit der Maus in die gelbe Wolke klicken: 2 Tiere erscheinen. Wie in der Demo beschrieben, soll Ihr Kind darauf hören, welche Silbe das erste Tier, das erscheint, von sich gibt. Nach dem ersten Tier tauchen 2 weitere Tiere auf, von denen eines dieselbe Silbe sagt wie das erste Tier. Auf dieses Tier soll geklickt werden!
- 4) Ist die Reaktion richtig, verschwinden die beiden Tiere, ist die Reaktion falsch, gibt es einen „falsch“-Ton. Neue Tiere werden durch einen Mausklick in die gelbe Wolke angefordert!
- 5) WICHTIG: Das Spiel soll immer so lange gespielt werden, bis die Anzeige „**Endstand Spiel 3:**“ angezeigt wird! Wird das Spiel davor abgebrochen, werden die Ergebnisse nicht gespeichert!

Wie bekommen wir die Ergebnisse?

In dem Ordner

C:/Spiel/Auswertung

wird eine Textdatei mit allen für uns wichtigen Informationen erstellt. Diese sollten Sie auf eine Diskette speichern und Ihrem Kind jede Woche mit ins Training geben!!