

**Lautdiskrimination
natürlicher und akustisch
modifizierter Sprache
bei Kindern
mit Lese-Rechtschreibstörung**

Dissertation

der Fakultät für Informations- und Kognitionswissenschaften
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt von
Dipl. Psych. Dipl. Phys. Dipl. Ing. (ECP) Michael Wannke
aus Reutlingen

**Tübingen
2004**

Tag der mündlichen Qualifikation: 30.06.2004
Dekan: Prof. Dr. Ulrich Güntzer
1. Berichterstatter: Prof. Dr. Bruno Preilowski
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Martin Hautzinger

Zur Vereinfachung der sprachlichen Form wird in dem vorliegenden Text bei Personenbezeichnungen die Form des männlichen Geschlechts verwendet. Diese soll die weibliche Form stets mit einschließen.

Meinen Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	11
Einführung	13
Der Begriff der Lese-Rechtschreibstörung	16
Störungen der Sprache als Vorläufer für Störungen der Schriftsprache	21
Auditiv-zeitliche Verarbeitung	24
Training der Sprachwahrnehmung mit Hilfe akustisch modifizierter Sprache	38
Fragestellungen und Hypothesen	55
Methoden	58
Beschreibung der Stichproben und Gruppenzuweisung	58
Untersuchungsinstrumente	60
Intelligenzniveau	60
Lese-Rechtschreibleistungen	61
Sprachliches Leistungsniveau	62
Leistungen der nonverbalen auditiv-zeitlichen Verarbeitung, Gap	
Detection-Schwelle	63
Sprachlautdiskrimination bei akustisch modifizierter Sprache	67
Hörprobe	75
Psychosoziale Rahmenbedingungen	75
Design und Ablauf	76
Ergebnisse	77
Schriftsprachliche Leistungen der Stichproben	78
Höhere sprachliche Funktionen	80
Nonverbale auditiv-zeitliche Verarbeitung	81
Zusammenhänge zwischen den sprachlichen Verarbeitungsebenen	83
Effekte akustischer Modifikationen auf Lautunterscheidungsleistungen	85
Diskussion	96
Zusammenfassung	114
Literatur	118

Anhang	125
PRAAT-Skript des Deepen Band Modification Algorithmus	125
Stimuli des Lautunterscheidungstests	128
Umrechnungstabellen der Lesedauer und O-Fehler in T-Werte des Salzburger Lese- und Rechtschreibtests	129
Lesedauer und interpolierte Prozenträge	129
O-Fehler und interpolierte Prozenträge	133
Zuordnung der Prozenträge zu quasinormalverteilten T-Werten	134

Akronyme	135
-----------------	------------

Tabellen

Tab. 1. Skalenniveaus auditiv-zeitlicher Phänomene	27
Tab. 2. Deskriptive Daten zu den untersuchten Versuchspersonengruppen	60
Tab. 3. Schrittweiten des adaptiven Verfahrens	65
Tab. 4. Abfolge der Aufgaben und der Sprachmodifikationsarten während der Präsentation der Stimuli am Beispiel der ersten Versuchsperson	74
Tab. 5. Übersicht über Intelligenz- und Lese- / Rechtschreibleistungen der Versuchsteilnehmer	78
Tab. 6. Details zu den Lese- und Rechtschreibleistungen der Versuchsteilnehmer	79

Abbildungen

Abb. 1. Beispielstimulus zur Bestimmung von Gap Detection- Schwellen	32
Abb. 2. Ablauf der Gap Detection-Messung	66
Abb. 3. Beispiel der Modifikation der Hüllkurve durch den DBM-Algorithmus	70
Abb. 4. Übertragungscharakteristik des Filters zur Verstärkung mittelhoher Frequenzen	71
Abb. 5. Verteilung der akustischen Modifikationen auf die Versuchspersonen	72
Abb. 6. Leistungen im Test zur phonologischen Bewußtheit	80
Abb. 7. Ergebnisse beim Nachsprechen von Pseudowörtern (Mottier-Test)	81

Abb. 8. Histogramme der Gap Detection-Schwellen der beiden Versuchspersonengruppen	82
Abb. 9. Auswirkungen der unterschiedlichen Sprachmodifikationen auf die Lautunterscheidung	85
Abb. 10. Mittlere Leistungen im Lautunterscheidungstest für die Teilmodifikationen im Vergleich zu unmodifizierter und zu vollständig modifizierter Sprache	88
Abb. 11. Gemittelte Anteile korrekter Antworten im Verlaufe der Aufgaben über alle Teilaufgaben hinweg bei unmodifizierter (MU) und vollständig modifizierter (MV) Sprache	90
Abb. 12. Mittlere Leistungen in den einzelnen Aufgabenblöcken bei unmodifizierter respektive vollständig modifizierter Sprache	92
Abb. 13. Individuelle Leistungen im Sprachlautdiskriminationstest bei ausgewählten Sprachmodifikationen relativ zu unmodifizierter Sprache	93
Abb. 14. Lautdiskrimination und Gap Detection-Schwelle bei den Teilmodifikationen MS, MMF und MMH	95

Danksagung

Zahlreiche Personen unterstützten mich bei der Durchführung dieser Studie. Diesen Personen gebührt mein herzlicher Dank.

Herrn Prof. Dr. Bruno Preilowski möchte ich für die Anregung zu diesem interessanten Thema und für seine nunmehr mehrjährige Unterstützung danken. Seine wertvollen Hinweise, seine Begleitung und Betreuung trugen wesentlich zum Gelingen bei.

Herrn Prof. Dr. Martin Hautzinger danke ich für die Übernahme der zweiten Begutachtung.

Frau Anja Blender möchte ich für die ebenfalls langjährige gute Zusammenarbeit danken, nicht zuletzt auch für die gelungenen gemeinsamen Untersuchungen, deren Daten in diese Dissertation Eingang fanden. Auch den anderen jetzigen und ehemaligen Mitgliedern der Arbeitsgruppe Klinische und Experimentelle Neuropsychologie, insbesondere Herrn Kyriakos Sidiropoulos, Frau Marion Stamm, Frau Bärbel Roller als auch Frau Gordana Andjelkovic, danke ich herzlich.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. Harry de Maddalena, mit dem sich aufgrund seines Interesse an Fragen der auditiven Verarbeitung bereits seit mehreren Jahren ein intensiver Austausch, auch über den Themenkreis der vorliegenden Studie hinaus, entwickelt hat.

Frau Katrin Giel, Frau Susanne Knaus und Frau Dr. Svenja Tilgner danke ich für die sehr sorgfältige Durchsicht vorheriger Versionen dieses Textes.

Ganz herzlich danken möchte ich natürlich auch allen Kindern, die die Untersuchungen, die nicht nur Daten für diese Dissertation lieferten, mit Einsatz und Ausdauer hinter sich brachten.

Im Frühjahr 2004,

Michael Wannke.

Einführung

Schriftsprachliche Fertigkeiten stellen in der heutigen Welt wesentliche Kulturtechniken dar. Sie tragen unter anderem dazu bei, daß Wissen über Generationen hinweg gesammelt und weitergegeben werden kann. Daher zählt der Erwerb von Lese-/Rechtschreibkompetenzen zu den Kernaufgaben im heutigen Schulwesen. Den allermeisten Schülern gelingt es im Unterricht verhältnismäßig schnell, das Alphabet zu erlernen, erste Worte lesen und orthographisch korrekt schreiben zu können. Ein nicht zu vernachlässigender Teil der Kinder scheitert dennoch an dieser essentiellen Aufgabe, obwohl bei diesen Kindern grundlegende Lernvoraussetzungen wie ein adäquater physischer und kognitiver Entwicklungsstand als auch angemessene Beschulungsmöglichkeiten gegeben sind.

Unterschiedliche Ursachen dieser besonderen Schwierigkeiten des Lesens und Rechtschreibens sind in der bisherigen Forschung postuliert worden. Eine besondere Rolle kommt dabei neuropsychologisch orientierten Ansätzen zu, obwohl bei den betroffenen Kindern definitionsgemäß zumindest keine offensichtlichen Schädigungen des Gehirns vorliegen müssen (Preilowski, 1991). Aus diesen Ansätzen leiten sich zahlreiche verschiedenartige therapeutische Vorgehensweisen ab (Preilowski und Blender, 1999), für die sowohl modalitätsspezifische als auch zum Teil modalitätsübergreifende Wirkungen postuliert werden.

Besondere Bedeutung haben Ansätze gewonnen, die zumindest bei einem Großteil dieser Kinder häufig den schriftsprachlichen Defiziten vorausgehende Schwierigkeiten im Bereich der Sprachentwicklung betonen. Auf diesen Ansätzen aufbauend wurden weiterhin Theorien entwickelt, die sowohl für einen Großteil der Kinder mit Auffälligkeiten in der Sprachentwicklung als auch für einen bedeutenden Anteil der Kinder mit Lese-Rechtschreibschwierigkeiten annehmen, daß diese Schwierigkeiten durch Defizite im Bereich der Hörwahrnehmung und -verarbeitung ausgelöst werden. Dabei wird vor allem die Verarbeitung zeitlich kurzer oder klanglich sich schnell verändernder Stimuli, subsumiert unter dem Begriff der auditiv-zeitlichen Verarbei-

tung, in Betracht gezogen. Ferner wird angenommen, daß auditiv-zeitliche Verarbeitungsleistungen beziehungsweise entsprechende Defizite nicht an die Verarbeitung sprachlichen Materials gebunden seien, sondern in vergleichbarer Weise für die Verarbeitung nonverbaler Reize benötigt würden.

Diese ätiologischen Modelle gaben Anlaß zu einer Reihe von Experimenten mit akustisch modifizierter Sprache. Dabei wurde vermutet, daß, wenn den oben genannten Störungsbildern zumindest häufig auditiv-zeitliche Verarbeitungsdefizite zugrunde liegen, Sprache künstlich so modifiziert werden könnte, daß diese Verarbeitungsdefizite durch die akustischen Modifikationen kompensiert würden. Auf diese Weise könnten Betroffene trotz der auditiv-zeitlichen Defizite normale Leistungen im Bereich der Hörwahrnehmung, insbesondere bei der Wahrnehmung und Verarbeitung von Sprachschall, erbringen. Die hierfür verwendeten Klangmodifikationen umfaßten in der Regel zwei Komponenten: eine zeitliche Dehnung als auch eine Betonung der als kritisch für die korrekte Sprachwahrnehmung vermuteten Teile des Sprachsignals. Es konnte bislang unter anderem gezeigt werden, daß ein Training mit derart modifizierter Sprache zumindest bei manchen Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen zu einem rascheren Lernfortschritt führte als ein vergleichbares Training mit natürlicher, unmodifizierter Sprache. Ähnlich positive Ergebnisse lieferten darüber hinaus erste Studien an Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung.

Obwohl diese Forschungsbefunde zumindest für einzelne Kinder einen bedeutenden Schritt zu effektiveren Therapien bedeuten könnten, ergibt sich aus diesen ersten Ergebnissen eine Reihe bislang noch ungeklärter Fragen.

So bleibt offen, inwieweit die Ergebnisse dieser Trainingsstudien auf unterschiedliche Personengruppen, insbesondere innerhalb der Personen mit Lese-Rechtschreibstörung, generalisierbar sind. Kriterien, die einen prädiktiven Wert innerhalb dieses Störungsbildes zur Vorhersage von Trainingserfolgen unter Verwendung akustisch modifizierter Sprache besitzen, sind bislang noch nicht definiert.

Vor allem bleibt jedoch bislang ungeklärt, inwieweit das Ziel der Verbesserung des Hörverständnisses tatsächlich durch die spezifisch angewandten Sprachmodifikationen erreicht wird. Sprachsignale mit na-

türlicher, nichtsynthetisierter Sprache besitzen eine Vielzahl von Eigenschaften, die in unterschiedlichem Umfang zu einer funktionierenden Sprachwahrnehmung beitragen können. Es bleibt daher unklar, ob die durch die akustischen Modifikationen veränderten Eigenschaften auch für besondere Personengruppen, in diesem Falle Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen und/oder Lese-Rechtschreibstörungen, einen bedeutenden Beitrag zur Lautdiskrimination und somit zum Hörverständnis leisten können.

Die nichtlineare Natur der vorgeschlagenen Klangmodifikationen und der Hörverarbeitungsprozesse aggraviert diese Problematik, da hierdurch die Kombination einzelner, für sich wirkungsvoller Modifikationskomponenten zu einer Gesamtmodifikation nicht notwendigerweise eine additive Wirkung zeigen muß.

Der Nachweis, daß die Effektivität eines Trainings gesteigert werden kann, indem akustisch modifizierte anstelle natürlicher Sprache verwendet wird, kann nicht als hinreichender Beleg für eine positive Wirkung der akustischen Modifikationen auf die resultierenden Hörverständnisleistungen beziehungsweise nachfolgend auf schriftsprachliche Leistungen gewertet werden. Auch eine Reduktion der Sprachverständlichkeit könnte aufgrund sekundärer Effekte, beispielsweise motivationaler oder aufmerksamkeitsbezogener Natur, letztendlich zu einer Steigerung des Trainingsfortschrittes führen.

Die vorliegende Untersuchung geht daher der Frage nach, welche Wirkung akustische Modifikationen auf die Sprachwahrnehmung bei deutschsprachigen Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung zeigen. Im einzelnen werden dazu Lautdiskriminationsleistungen dieser Kinder sowohl bei modifizierter als auch bei unmodifizierter, natürlicher Sprache erfaßt und miteinander verglichen. Diese Ergebnisse werden den entsprechenden Leistungen von schriftsprachlich unauffälligen Kindern gegenübergestellt. Auf analoge Weise werden darüber hinaus auch die einzelnen Komponenten der vorgeschlagenen Sprachmodifikationen, beispielsweise eine alleinige zeitliche Dehnung der Sprachsignale, auf ihre spezifische Wirksamkeit hin untersucht.

Um weitere Anhaltspunkte für eine mögliche Subkategorisierung derjenigen Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung zu gewinnen, deren Therapieerfolg durch den Einsatz akustisch modifizierter Sprache ge-

steigert werden könnte, werden die gewonnenen Lautdiskriminationsleistungen sowohl zu individuellen Leistungen im Bereich der auditiv-zeitlichen Verarbeitung als auch zu Leistungen im Bereich der Sprachwahrnehmung und -verarbeitung in Beziehung gesetzt.

Die Daten dieser Studie sollen somit sowohl auf grundlagen- als auch auf anwendungsorientierter Ebene Beiträge zur Erforschung aktueller ätiologischer Modelle und daraus abgeleiteter therapeutischer Ansätze zum Störungsbild der Lese-Rechtschreibstörung liefern.

Der Begriff der Lese-Rechtschreibstörung

Spezifische Störungen des Erwerbs schriftsprachlicher Kompetenzen stellen Verhaltensauffälligkeiten dar, bei denen die normalen Muster des Fertigkeitenerwerbs im Bereich des Lesens und Rechtschreibens im Regelfall schon sehr frühzeitig gestört sind, obwohl alle wesentlichen Lernvoraussetzungen als gegeben erscheinen. Unbehandelt können diese Störungen, wie auch andere Lernstörungen, sowohl die schulische als auch die soziale Entwicklung der Betroffenen zum Teil stark beeinträchtigen (Hautzinger, 2002).

Unterschiedliche Studien legen nahe, daß es sich bei derartigen Störungsbildern tatsächlich eher um manifeste Störungen als um Extreme auf einem statistischen Kontinuum des Lernverhaltens handelt. Untersuchungen zur Heredität zeigen, daß Kinder von betroffenen Eltern ein bedeutend erhöhtes Erkrankungsrisiko aufweisen. (Vogler, DeFries und Decker, 1985). Ebenso deuten Genomanalysen darauf hin, daß sich auf unterschiedlichen Chromosomen Risikofaktoren für eine Manifestation einer solchen spezifischen Störung des Lesens und/oder Rechtschreibens abbilden (beispielsweise Chromosomen 2 und 6: Fagerheim, Raeymaekers, Tonnessen, Pedersen et al., 1999; Chromosom 3: Nopola-Hemmi, Myllyluoma, Haltia, Taipale et al., 2001; Chromosom 15: Morris, Robinson, Turic, Duke et al., 2000). Post mortem-Studien von Galaburda, Sherman, Rosen, Aboitiz und Geschwind (1985) und Studien mit bildgebenden Verfahren (beispielsweise Hynd und Semrud-Clikeman, 1989) weisen zudem auf mögliche neuroanatomische Besonderheiten hin.

Weiterhin unterstreichen Daten aus Langzeitstudien, beispielsweise der Arbeitsgruppe von Esser (Esser und Schmidt, 1994; Esser,

Wyschkon und Schmidt, 2002), die besondere Therapiebedürftigkeit der betroffenen Kinder. So zeigen die Autoren unter anderem, daß sich Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung nicht nur in bezug auf die Schullaufbahn schwächer als unauffällige Kinder entwickeln. Personen, die als Achtjährige eine Lese-Rechtschreibstörung zeigten, waren im Alter von 25 Jahren rund sechsmal häufiger von Arbeitslosigkeit betroffen als ehemals unauffällige Personen. Daneben zeigten sie allgemein im Bereich psychosozialen Verhaltens vermehrt Auffälligkeiten, insbesondere ergaben sich deutlich mehr Sucht- und dissoziale Phänomene als bei ihren Altersgenossen.

In der Klasse der umschriebenen Entwicklungsstörungen schulischer Fertigkeiten führt die Internationale Klassifikation psychischer Störungen (ICD-10, Dilling, Monbaur und Schmidt, 1993) im wesentlichen die Lese-Rechtschreibstörungen (F81.0) sowie die isolierte Rechtschreibstörung (F81.1) neben der Mischkategorie der kombinierten Störung schulischer Fertigkeiten (F81.3) auf. Weitere in diesem Klassifikationsschema vorgesehene Restkategorien, beispielsweise die Entwicklungsstörung schulischer Fertigkeiten, nicht näher bezeichnet, sollen gemäß ICD-10 vermieden werden. Daher wird die folgende Darstellung auf die erstgenannten Kategorien beschränkt.

Die Lese-Rechtschreibstörung bezeichnet ein Störungsbild, in dem in der Regel Defizite des Lesens überwiegen. Diese sind häufig von Defiziten in der Orthographie begleitet. Vor allem bei älteren Kindern und Erwachsenen können diese Defizite der Rechtschreibung, insbesondere im deutschsprachigen Raum, auch dann noch persistieren, wenn die Schwierigkeiten im Lesen weniger bedeutsam geworden sind. Die Kategorie der isolierten Rechtschreibstörung umfaßt dagegen Kinder mit besonderen Defiziten in der Rechtschreibung, bei denen keine anhaltenden oder vorangehenden Schwierigkeiten im Lesen erkennbar waren beziehungsweise sind. Die Diagnose einer kombinierten Störung schulischer Fertigkeiten kann bei Personen gestellt werden, bei denen zusätzlich zu besonderen Defiziten der Schriftsprache weitere Schulleistungsdefizite, insbesondere im Bereich des mathematischen Denkens, bedeutsam sind.

Allen diesen Kategorien gemein ist, daß sich die schulischen Leistungsdefizite nicht einfach als Folge mangelnder Gelegenheiten zu lernen darstellen. Die jeweiligen Defizite sollen nicht auf Krankheiten

oder erworbene Schädigungen, beispielsweise durch Hirnverletzungen, zurückzuführen sein. Falls zusätzliche Schädigungen oder Krankheiten vorliegen, sollen die schriftsprachlichen Defizite deutlich das durch die Schädigungen oder Krankheiten zu Erwartende übersteigen. Dies betrifft beispielsweise psychiatrische Auffälligkeiten beziehungsweise emotionale Störungen, Visusprobleme oder Beeinträchtigungen des Gehörs.

Die in den jeweiligen Schulleistungsbereichen gezeigten Leistungen sollen darüber hinaus bedeutsam von den aufgrund der allgemeinen Intelligenz zu erwartenden schriftsprachlichen Leistungen abweichen. Aus dieser Forderung dieses sogenannten Diskrepanzkriteriums läßt sich ableiten, daß für die Diagnose einer Lese-Rechtschreibstörung beziehungsweise einer isolierten Rechtschreibstörung individuell ein Erwartungshorizont der schriftsprachlichen Leistungen aufgrund des individuellen Intelligenzniveaus geschätzt werden sollte. Hierzu haben Schulte-Körne, Deimel und Remschmidt (2001) versucht, durch Annahme einer üblichen Korrelation zwischen Intelligenz- und Rechtschreibleistungen intelligenzbezogene Richtwerte für einen solchen Erwartungshorizont regressionsanalytisch abzuleiten¹. In dieser Allgemeinheit ist ein solches Vorgehen jedoch nur bedingt anwendbar, da die in die Regressionsanalyse eingehenden Korrelationskoeffizienten a-priori nicht bekannt sind und testspezifisch ermittelt werden müssen. Deren Bestimmung würde in der Regel außerordentlich große Stichproben erfordern.

Bislang übliche Studien, insbesondere im deutschsprachigen Raum, nehmen daher häufig als Mittelweg (implizit) an, daß Intelligenzleistungen höchstens in nur nichtbedeutsamer Weise mit schriftsprachlichen Leistungen korrelativ zusammenhängen. Unter dieser Annahme läßt sich die Unterschreitung des geforderten Erwartungshorizontes aus einer statistisch und/oder praktisch bedeutsamen Differenz der in gleichen Einheiten gemessenen Intelligenz- und der Lese- beziehungsweise Rechtschreibleistungen ableiten.

¹ Die von Schulte-Körne und Kollegen publizierten Tabellen sind gemäß Berechnungen des Autors jedoch korrekturbedürftig und sollten daher auch über die im folgenden angeführten grundsätzlichen Einschränkungen hinaus nicht vorbehaltlos eingesetzt werden.

Da aus praktischer Sicht die Ausschlußdiagnose vorangegangener Lesedefizite nur schwer möglich ist und in der Literatur auch nur selten beschrieben wird, werden im folgenden Text die vorgestellten Kategorien unter der Hauptkategorie der Lese-Rechtschreibstörung subsumiert. Ebenso wird im vorliegenden Text der aus dem Englischen abgeleitete Begriff „Dyslexie“ beziehungsweise „Entwicklungsdyslexie“ äquivalent zu Lese-Rechtschreibstörung verwendet.

Neben diesen eher formal ausgerichteten diagnostischen Aspekten einer Lese-Rechtschreibstörung sehen es manche Forscher als vorteilhaft an, den Begriff der Lese-Rechtschreibstörung inhaltlich weiter aufzugliedern. Beispielsweise schlägt Boder (Boder, 1970, 1973a, b) eine Unterscheidung zwischen einem „dysphonetischen“, einem „dysseiditischen“ und einem „gemischten“ Typus vor.

Kinder mit *dysphonetischer Dyslexie*, die wahrscheinlich die bedeutendste Untergruppe darstellen, haben besondere Schwierigkeiten, Laut-Symbol-Zuordnungen durchzuführen, wodurch Phonem- beziehungsweise Graphemfehler gehäuft auftreten. Bereits vor Beginn des Lese- und Rechtschreibunterrichts zeigen diese Kinder oftmals Schwierigkeiten bei der Analyse und Verarbeitung von Sprache, beispielsweise beim Entfernen oder Austauschen einzelner Laute innerhalb einer Lautfolge. In der Schulzeit zeigen sich typische Lesefehler nach Boder vor allem darin, daß Wörter anhand einzelner minimaler Merkmale „erlesen“ werden, so daß komplette Wortsubstitutionen entstehen. Beispielsweise könnte „Straße“ anstelle von „Suppe“ gelesen werden.

Kinder mit *dysseiditischer Dyslexie* stützen sich dagegen vorwiegend auf lautorientierte Strategien während der Lese-Rechtschreibprozesse. Die Verarbeitung regulärer Wörter gelingt daher zumeist mit nur wenigen Fehlern. Allerdings werden häufig auftretende Wörter, die unauffällige Kinder auch anhand des vollständigen Wortbildes schnell erfassen können, deutlich verlangsamt wiedergegeben, da dysseiditische Kinder auch bei diesen Wörtern die Lautfolge aus der Sequenz der einzelnen Grapheme zu synthetisieren versuchen. Ebenso treten Lesefehler bei nicht regelhaft auszusprechenden Wörtern auf.

Kinder, die den *gemischten Typus* zeigen, weisen sowohl Schwierigkeiten im Bereich der Laut-Symbol-Zuordnungen als auch bei der

ganzheitlichen Erfassung und Verarbeitung des Wortbildes auf. Die Prognose dieser Kinder ist vermutlich deutlich schlechter als die Prognose der Kinder der beiden anderen Gruppen.

Ein weiteres, häufig verwendetes Schema zur Subtypisierung der Lese-Rechtschreibstörung wird aus linguistischen beziehungsweise neuropsychologischen Mehrrouutenmodellen des Lese- beziehungsweise Schreibprozesses abgeleitet.

Beispielsweise nimmt das duale Routenmodell des Lesens (siehe zum Beispiel Davelaar, Coltheart, Besner und Jonasson, 1978; Humphreys und Evett, 1985) an, daß zwei unterschiedliche Wege zur Decodierung der Graphemfolgen und Zuordnung zu Phonemfolgen beim lauten Lesen angewendet werden.

Die sogenannte *direkte* oder *lexikalische* Route setzt ein mentales Lexikon voraus, in dem Wortbildern oder einzelnen Graphemfolgen Lautfolgen zugeordnet werden. Ein bereits bekanntes geschriebenes Wort oder ein Teil hiervon kann dann gelesen werden, indem die zugehörige Graphemfolge im Lexikon gesucht und die zugeordnete Phonemfolge abgerufen wird.

Die direkte Route erfordert ein bereits aufgebautes, umfangreiches Lexikon. So gelingt zwar das Lesen bekannter Wörter sehr schnell und sicher, das Erlesen unbekannter Wörter bedarf jedoch mindestens einer weiteren Route, in diesem Falle der *indirekten* oder *sublexikalischen* Route. Hier erfolgt das Lesen durch den Einsatz von Graphem-Phonem-Transformationsregeln. Wörter, das heißt auch unbekannte Wörter, die regelgerecht auszusprechen sind, werden korrekt vorgelesen. Bezüglich der Aussprache unregelmäßige Wörter, beispielsweise bestimmte Fremdwörter wie „Chaussee“, werden dagegen bei Verwendung dieser Route falsch wiedergegeben.

Aus diesem dualen Routenmodell des Lesens leitet sich eine Kategorisierung von Lese-Rechtschreibstörungen nach mindestens zwei Klassen ab: „Oberflächendyslexie“ und „phonologische Dyslexie“ (siehe zum Beispiel Castles und Coltheart, 1993). Kinder mit Oberflächendyslexie zeigen deutliche Schwierigkeiten, die lexikalische Route einzusetzen. Kinder der zweiten Klasse können dagegen die indirekte Route nur unzureichend anwenden. Eine Überprüfung und Zuordnung von dyslektischen Kindern zu diesen Kategorien innerhalb von Lese-

tests erfolgt zumeist durch den Vergleich der Leseleistungen beim Lesen von Pseudowörtern mit Leistungen beim Lesen häufig vorkommender, bekannter Wörter. Nach dem dualen Routenmodell sollten erstere allein durch eine indirekte Route zu erlesen sein, während häufige Wörter auch mit Hilfe der direkten Route und somit rascher wiedergegeben werden können.

Es ist anzunehmen, daß die spezifische Rolle dieser beiden Typen von Lese-Rechtschreibstörungen und demgemäß ihre relativen Prävalenzen innerhalb des Störungsbildes auch von Charakteristika der zugrundeliegenden Sprache abhängen. Beispielsweise variiert über verschiedene Sprachen hinweg das Ausmaß, in dem ein Wort durch eine indirekte Strategie korrekt wiedergegeben werden kann. Dennoch dürfte dieser klassifikatorische Ansatz grundsätzlich sprachübergreifend bedeutsam sein (Wimmer, 1996).

Störungen der Sprache als Vorläufer für Störungen der Schriftsprache

Sprachentwicklungsstörungen. Sprachentwicklungsstörungen (engl. language learning impairments, LLI) werden analog zu Lese-Rechtschreibstörungen diagnostiziert, wenn Kinder bei rezeptiven und/oder produktiven Sprachfunktionen Defizite zeigen, obwohl offensichtliche potentielle Ursachen wie physische oder psychiatrische Auffälligkeiten oder Minderbegabung ausgeschlossen werden können. Diese Defizite zeigen sich in Symptomen wie reduziertem Wortschatz, defizitärer Phonologie, Syntax oder Morphologie. Ebenso können sich produktive Leistungen, beispielsweise beim Nachsprechen von Kunstwörtern (Conti-Ramsden und Hesketh, 2003), beeinträchtigt sein.

Die Untergruppen der dysphonetischen Dyslexie sowie der phonologischen Dyslexie legen bereits nahe, daß zwischen Lese-Rechtschreibstörungen und Störungen der Sprachentwicklung enge Zusammenhänge bestehen. Eine Vielzahl von Studien belegt, daß Kinder mit vorschulischen Sprachentwicklungsstörungen ein erhöhtes Risiko zeigen, später eine Lese-Rechtschreibstörung auszubilden (beispielsweise Snowling, Bishop und Stothard, 2000; Snowling, 2001).

Phonologische Bewußtheit. In diesem Zusammenhang hat der Begriff der phonologischen Bewußtheit eine besondere Bedeutung erlangt. Unter phonologischer Bewußtheit werden dabei Fertigkeiten zusammengefaßt, einerseits Sprache aus einzelnen Segmenten bestehend wahrzunehmen und andererseits mit diesen Segmenten Manipulationen durchführen zu können. Das heißt insbesondere, daß diese Segmente sowohl zu Lautfolgen zusammengefügt als auch Lautfolgen in die bestehenden Segmente zerlegt werden können. Nach Marx und Schneider (2000) wird teilweise noch zusätzlich eine phonologische Bewußtheit im engeren von einer phonologischen Bewußtheit im weiteren Sinne unterschieden. Dabei bezieht sich diese Unterscheidung auf die Länge der zugrundeliegenden lautlichen Einheiten. Phonologische Bewußtheit im engeren Sinne schränkt sich auf Phoneme als kleinste lautliche Einheiten ein, während die phonologische Bewußtheit im weiteren Sinne auch die Verarbeitung von Silben, Reimen und dergleichen mit einbezieht.

Nach Wagner und Torgesen (1987) kann phonologische Bewußtheit als eine von drei Komponenten der Verarbeitung phonologischer Informationen betrachtet werden: phonologische Bewußtheit, phonologisches Rekodieren beim lexikalischen Zugriff sowie phonologisches Rekodieren im Arbeitsgedächtnis. Diese drei Komponenten korrelieren in mittlerer Höhe miteinander. Gemäß den Autoren stehen darüber hinaus alle drei Komponenten im Zusammenhang zum Schriftspracherwerb. Die meisten Belege für einen Einfluß auf die Entwicklung des Lesens und Schreibens fanden sich jedoch innerhalb dieser drei Komponenten in bezug auf die phonologische Bewußtheit (Marx und Schneider, 2000).

Beispielhaft für die Forschung zur phonologischen Bewußtheit werden zwei klassische Untersuchungen von Bradley und Bryant (Bradley und Bryant, 1978, 1983) beschrieben. In der ersten Studie verglichen die Autoren im Mittel 10;4 Jahre alte, leseschwache Kinder mit jüngeren Kindern, die äquivalente Leseleistungen (entsprechend circa 7½ Jahren) zeigten. Der Vergleich von Versuchspersonen gleicher Leseleistungen wurde gewählt, damit etwaige untersuchungsrelevante Leistungsunterschiede zwischen den beiden Versuchspersonengruppen nicht auf unterschiedliche Mengen an Leseerfahrungen attribuiert werden können. Den Versuchsteilnehmern wurden jeweils vier

einsilbige Wörter vorgelegt, von denen genau drei ein gemeinsames, besonderes Phonem aufwiesen (z.B. „weed“, „peel“, „need“, „deed“). Dieses besondere Phonem befand sich dabei je nach Aufgabenblock am Anfang, in der Mitte oder am Ende des Wortes. Die Versuchsteilnehmer sollten das Wort benennen, das dieses besondere Phonem nicht aufwies.

Die leseschwache Gruppe schnitt bei dieser Aufgabe bedeutend schlechter ab als die Gruppe unauffälliger Kinder. Das heißt, daß die Kinder mit höherem Lebensalter signifikant mehr Fehler produzierten, obwohl aufgrund ihres höheren durchschnittlichen Alters bei vergleichbarem IQ höhere kognitive Leistungen zu erwarten gewesen wären. Besonders schwer schien den Leseschwachen die Aufgabe zu fallen, Wörter zu diskriminieren, die sich in ihrem Anfangslaut unterschieden. Darüber hinaus zeigte diese Gruppe gehäuft Schwierigkeiten, Reimwörter zu vorgegebenen Wörtern anzugeben.

In der zweiten Studie zeigten Bradley und Bryant, daß die Fähigkeit, Sprachlaute zu kategorisieren, prädiktiven Wert für spätere Lese- und Rechtschreibfertigkeiten aufweist. Darüber hinaus kann ein Training der Sprachlautwahrnehmung die späteren Lese-Rechtschreibfertigkeiten verbessern, insbesondere, wenn zusätzlich ein expliziter Bezug zwischen Phonemen und Graphemen aufgebaut wird. Insgesamt schließen die Autoren aufgrund dieser Ergebnisse, daß bereits die vorschulische Fähigkeit, Phoneme zu diskriminieren, insbesondere die Fähigkeit, Reime und Alliterationen herauszufinden, eine kausale Verbindung zu späteren Lese- und Buchstabierleistungen aufweist.

Verschiedene Studien bestätigen die Bedeutung der Fertigkeiten, die lautliche Struktur der Sprache verarbeiten zu können, auch für deutschsprachige Kinder (beispielsweise Ziegler, Perry, Ma-Wyatt, Ladner und Schulte-Körne, 2003). Phonologische Bewußtheit korreliert mit schriftsprachlichen Leistungen (beispielsweise Schulte-Körne, Deimel, Bartling und Remschmidt, 1999b). Maße der phonologischen Bewußtheit besitzen auch im Deutschen prädiktiven Wert zur Bestimmung des Risikos, eine Lese-Rechtschreibstörung auszubilden (zum Beispiel Marx, Jansen und Skowronek, 2000; Marx und Schneider, 2000). Ebenso kann ein Training unterschiedlicher Fertigkeiten im Bereich der phonologischen Bewußtheit dieses Risiko senken. Dabei kann dieses Training sogar bereits vor der Einschulung

durchgeführt werden (Schneider, Ennemoser, Roth und Küspert, 1999; Schneider, Küspert, Roth und Vise, 1997; Schneider, Roth, Küspert und Ennemoser, 1998).

Auditiv-zeitliche Verarbeitung

Begriff. Schall kann als sich zeitlich veränderndes Signal aufgefaßt werden. Dieses Signal wird im Laufe der Hörverarbeitung aufgenommen und durch die periphere und zentrale Signalweiterleitung linear und nichtlinear gefiltert. Schließlich wird das Signal hinsichtlich unterschiedlicher Komponenten analysiert, so daß dem resultierenden Signal Bedeutungen zugeschrieben werden können. Einige Merkmale dieser Komponenten sind insbesondere durch den Charakter des zugrunde liegenden Sprachsignals zeitlicher Natur.

Im Rahmen der Sprachwahrnehmung werden dabei zwei Komponenten des Sprachsignals besonders häufig betrachtet: die Stimmeinsatzzeit (engl. voice onset time, VOT) sowie der zeitliche Verlauf von Formanten. Unter Stimmeinsatzzeit ist, beispielsweise bei Plosiv-Vokal-Silben, die Dauer einer Phase relativer Stille zwischen der Lösung des Plosivs und dem Beginn der Stimmbandschwingungen gemeint. Insbesondere die Stimmhaftigkeit eines Plosivs wird durch diese Dauer beeinflusst. Unterschiedliche Studien belegen, daß die Wahrnehmung der Stimmhaftigkeit kategorial erfolgt (zum Beispiel Goldstein, 1997). Das heißt, daß auch nach einer künstlichen Variation der Stimmeinsatzzeit innerhalb eines bestimmten Umfangs stets ein bekanntes Phonem wahrgenommen wird und nicht ein neuartiges Phonem entstehen kann. Somit wird bei Über- beziehungsweise Unterschreiten einer individuell unterschiedlichen Schwellendauer der Stimmeinsatzzeit mit hoher Wahrscheinlichkeit ein gänzlich anderes, aber grundsätzlich bekanntes Phonem wahrgenommen, beispielsweise anstelle von /b/ /p/.

Formanten sind person- und phonem-spezifische Obertöne im Sprachsignal, die vor allem durch orale oder pharyngale Resonanzen entstehen. Während des Sprechaktes variiert die Form der oralen und pharyngalen Hohlräume, wodurch sich die Amplituden und zentralen

Frequenzen dieser Formanten über die Zeit hinweg verändern². Der hieraus resultierende zeitliche Verlauf ist innerhalb einer bestimmten Lautumgebung ein Merkmal für die jeweils gebildeten Phoneme.

Unter anderem legen diese Merkmale Stimmeinsatzzeiten und Formantverläufe daher nahe, daß für eine funktionierende Sprachwahrnehmung eine korrekte Verarbeitung zeitlicher Veränderungen im Sprachsignal wichtig sein könnte.

Aus diesen Überlegungen wurde die Hypothese abgeleitet, daß Defizite der auditiven Verarbeitung zeitlicher Veränderungen von Sprachsignalen häufig Auslöser für Störungen der Sprachwahrnehmung sein könnten (beispielsweise Tallal und Piercy, 1973b). Wie im vorangehenden Abschnitt dargelegt, ist zudem von einer engen Beziehung zwischen der korrekten Wahrnehmung und Verarbeitung von Sprachlauten einerseits und dem Erwerb von Lese-Rechtschreibkompetenzen andererseits auszugehen. Daher wurde diese Hypothese auditiv-zeitlicher Verarbeitungsdefizite ebenfalls als mögliche Hauptursache von Lese-Rechtschreibstörungen postuliert (beispielsweise Tallal, Galaburda, Llinas und von Euler, 1993). Das Modell von Farmer und Klein (1995) faßt diese Annahmen zusammen: Einer phonologischen Dyslexie lägen hauptsächlich zwei Komponenten zugrunde: ein Defizit der auditiv-zeitlichen Verarbeitung sowie ein „nicht-zeitliches“ linguistisches Defizit. Demnach sei ein Defizit der auditiv-zeitlichen Verarbeitung wesentlich daran beteiligt, daß ein Kind nicht in ausreichendem Maße Feinstrukturen des Sprachsignals wahrnehmen könne und es sich so die notwendigen Phonemrepräsentationen im Verlauf des Spracherwerbs nicht aneignen könnte.

² Die Beschreibung von zeitlichen Veränderungen von Frequenzen eines Signals ist im eigentlichen Sinne irreführend, da sich dieser Begriff ursprünglich auf Fourieranalysen bezieht. Eine Fourieranalyse transformiert eineindeutig die Darstellung eines Signals in Form einer Amplituden-Zeit-Funktion in eine Darstellung in Form einer Amplituden-Frequenz-Funktion. Dementsprechend ist die Frequenzdimension definitionsgemäß zeitunabhängig. Im hier vorliegenden Zusammenhang wird dagegen implizit von Kurzzeit-Fourieranalysen ausgegangen. Diese unterteilen ein vorgegebenes Amplituden-Zeit-Signal mittels sogenannter Fensterfunktionen in eine zeitliche Sequenz einzelner Signalteile. Jeder Signaltteil wird dann separat einer Fourieranalyse unterzogen. So ergibt sich eine Transformation der zweidimensionalen Amplituden-Zeit-Funktion in eine dreidimensionale Amplituden-Frequenz-Zeit-Darstellung. Aufgrund dieser Dimensionserweiterung sind Kurzzeit-Fourieranalysen nicht eindeutig, sondern können zum Beispiel durch Wahl unterschiedlicher Fensterfunktionen stark beeinflußt werden. Dies sollte bei der Beurteilung von Spektrogrammen, beispielsweise um resultierende Frequenzverläufe zu beurteilen, stets berücksichtigt werden.

Einzelne Autoren (siehe zum Beispiel Habib, 2000) äußern darüber hinaus die Vermutung, daß ein solches Defizit der Verarbeitung auditiv-zeitlicher Informationen Teil einer supramodalen Störung der generellen Verarbeitung zeitlicher Informationen sein könnte. So wird in dem angeführten Modell der Oberflächendyslexie analog zur Erklärung der phonologischen Dyslexie davon ausgegangen, daß sowohl visuell-zeitliche Verarbeitungsdefizite als auch „nicht-zeitliche“ visuelle Defizite und/oder weitere, verhaltensbezogene Defizite kausale Beiträge zur Entwicklung des Störungsbildes liefern.

Der Begriff der auditiv-zeitlichen Verarbeitung beziehungsweise eines auditiv-zeitlichen Verarbeitungsdefizits wird oftmals nur unzureichend präzise definiert. Welches Verständnis eines solchen Verarbeitungsdefizits einer Studie zugrunde liegt, muß daher in der Regel aus dessen Operationalisierung geschlossen werden. Dieser Umstand hat selbst bei einer Beschränkung auf die auditive Modalität zu einer sehr großen Heterogenität im Verständnis des Begriffes und somit nur zu einer eingeschränkten Vergleichbarkeit zwischen Studien geführt.

Zumeist werden Aufgaben eingesetzt, die die Verarbeitung einfacher, zeitlich kurzer und/oder dicht aufeinander folgender Stimuli erfordern. Dennoch bleibt unklar, ob das hypothetische Defizit eher darin besteht, diese kurzen und/oder komplexen Stimuli oder deren Reihenfolge des Auftretens zu verarbeiten oder Kombinationen dieser Anforderungen zu erfüllen (Rayner, Pollatsek und Bilsky, 1995).

Weiterhin unterscheiden sich Studien in der Größenordnung der zugrundegelegten Zeitskalen. Tab. 1 zeigt Beispiele für unterschiedliche Skalenniveaus zugeordneter Sprachphänomene.

Tab. 1.
Skalenniveaus auditiv-zeitlicher Phänomene

Skalenniveau (ms)	Beispiele für nonverbale Aufgabenstellungen	Beispiele zugeordneter sprachlicher Phänomene
10^0	Individuation zweier Stimuli	Stimmeinsatzzeit
$10^1 \dots 10^2$	Bestimmung von Reihenfolgen zweier Stimuli, Wahrnehmung eines Stimulus trotz Maskierung	Formantübergang
$10^2 \dots 10^4$	Wahrnehmung von Schwebungen	Silbenrhythmus, Satzmelodie

(in Anlehnung an Berwanger, 2001)

Dieser sehr weite Bereich der auditiv-zeitlichen Verarbeitung umfaßt daher eine Vielzahl grundsätzlich verschiedener Phänomene. Es ist deshalb anzunehmen, daß sowohl die Art der auditiv-zeitlichen Perzepte als auch deren Kodierung auf neuronaler Ebene sehr heterogen ist (Phillips, 1993; Fraisse, 1984).

Im Kontext der vorliegenden Untersuchung wird der Fokus auf Skalenniveaus der auditiv-zeitlichen Verarbeitung gelegt, die mit der Hörwahrnehmung einzelner Sprachlaute und deren Komponenten in Verbindung gebracht werden können, das heißt auf Skalenniveaus im Bereich von Milli- bis Zehntelsekunden.

Zusammenhänge der auditiv-zeitlichen Verarbeitung mit Leistungen im Bereich der phonologischen Bewußtheit und mit schriftsprachlichen Leistungen. Aufgrund der im einzelnen differierenden Definitionen des Begriffs der auditiv-zeitlichen Verarbeitung ist eine Vielzahl von Methoden zur Erfassung entsprechender Leistungen entwickelt worden. Da wie zuvor dargestellt Stimmeinsatzzeiten und Formantübergänge für die Sprachverarbeitung besonders wichtig sein könnten, orientieren sich die meisten Studien an den Teilprozessen Individuation zweier oder mehrerer Stimuli, Identifikation beziehungsweise Unterscheidung dieser Stimuli sowie Verarbeitung der Reihenfolgeninformationen des Auftretens unterschiedlicher Stimuli.

In der Arbeitsgruppe um Tallal wurden mehrere Studien zur Wahrnehmung und Benennung von Reihenfolgen mit Hilfe des hierfür entwickelten „Tallal Repetition Test“ durchgeführt (unter anderem Tallal,

1980; Tallal und Piercy, 1974, 1975). In diesem Verfahren werden jeweils zwei verschiedene Stimuli in den folgenden vier Untertests präsentiert. Im Untertest „Association“ wird ein Versuchsteilnehmer trainiert, die beiden Stimuli zu unterscheiden und eine jeweils zugeordnete Taste zu betätigen. Nur wenn es ihm gelingt, diese mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit zu differenzieren und korrekt zu antworten, wird der Test fortgeführt. Im anschließenden „Sequencing Test“ werden dem Probanden jeweils zwei Stimuli vorgespielt. Der Proband soll die Reihenfolge der präsentierten Stimuli angeben, in dem er die den Stimuli zugeordneten Tasten in der gleichen Reihenfolge betätigt. In diesem Untertest beträgt das Interstimulusintervall 428 ms. Der dritte Untertest, der „Rapid Perception Test“, entspricht weitgehend dem vorangehenden Sequencing Test. Jedoch wird das Interstimulusintervall im Bereich von 8 - 305 ms variiert. Um auszuschließen, daß eine Versuchsperson zwar die Reihenfolge einer Sequenz wahrnimmt, aufgrund motorischer Defizite diese aber nicht wiedergeben kann, wird durch den letzten Untertest „Same-Different“ der Nachweis verlangt, daß der Versuchsteilnehmer grundsätzlich in der Lage ist, beide Stimuli voneinander zu unterscheiden. Dazu wird im Anschluß an eine Trainingsphase mit einem Interstimulusintervall von 428 ms das Interstimulusintervall analog zum Untertest Rapid Perception im Bereich von 8 - 305 ms variiert. Um Übungeffekte auszuschließen, erhält in der Regel die erste Hälfte einer Versuchspersonengruppe den Untertest Rapid Perception vor dem Untertest Same-Different, während die zweite Hälfte die Tests in umgekehrter Reihenfolge absolviert.

Unter Verwendung dieses Paradigmas präsentierte die Forschergruppe schon Anfang der 70er Jahre Daten, daß zumindest einige Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen Defizite der auditiv-zeitlichen Verarbeitung aufweisen. Dies konnte sowohl für nonverbale Stimuli (Tallal und Piercy, 1973a) als auch für unterschiedliche verbale Stimuli (Tallal und Piercy, 1974, 1975) gezeigt werden.

Aufbauend auf Corkin (1974) untersuchte Tallal (1980) dyslektische Kinder im Alter von 8 bis 12 Jahren. Im Repetition Test mit komplexen nonverbalen Stimuli trafen die dyslektischen Kinder signifikant häufiger Fehlentscheidungen als eine etwas jüngere Normstichprobe im Untertest Rapid Perception, nicht jedoch in den Untertests Association und Sequencing. In der Analyse individueller Leistungen zeigten

sich jedoch beträchtliche Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsteilnehmern. Während sich 55 % der Stichprobe im Bereich normgerechter Leistungen bewegten, begingen die verbleibenden 45 % mehr Fehler als das leistungsschwächste Kind der Normstichprobe. Dies spiegelte sich auch im Untertest Same-Different wider: Bei einem Interstimulusintervall von 428 ms unterschieden sich die Leistungen der dyslektischen Kinder nicht von der Normstichprobe, dagegen war die Zahl der Fehler innerhalb der Präsentationen mit einem Interstimulusintervall im Bereich von 8 - 305 ms signifikant erhöht. Der Vergleich des Untertests Rapid Perception mit dem Untertest Same-Different ergab vergleichbare Leistungen sowohl in bezug auf kurze Interstimulusintervalle (8 - 305 ms) als auch in bezug auf lange Interstimulusintervalle (428 ms). Dies bedeutet, daß die Leistungen der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung bei kurzen Interstimulusintervallen reduziert waren, unabhängig davon, ob eine Reihenfolge zu bestimmen war oder nicht. Die Leistungen im Untertest Rapid Perception korrelierten zudem mit unterschiedlichen Leseleistungen im Bereich von $r = .58 \dots .81$. Korrelate des Untertests Same-Different wurden in der Studie nicht aufgeführt.

Diese Daten interpretieren die Autoren als Beleg dafür, daß analog zu den Studien an Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen auch bei dyslektischen Kindern auditiv-zeitliche Verarbeitungsdefizite eine bedeutende Rolle spielen könnten. Insbesondere fiel es dyslektischen Kindern schwerer als unauffälligen Kindern, zeitlich kurze Sprachelemente zu verarbeiten. Leider wurden diese Ergebnisse zum Teil nur ungenau rezipiert. Farmer und Klein (1995) nehmen diese Studie zusammen mit den Studien von Kinsbourne, Rufo, Gamzu, Palmer und Berliner (1991, zitiert nach Farmer und Klein, 1995) sowie Reed (1989) als Beleg dafür, daß Kinder mit Lese-Rechtschreibstörungen auch bei nonverbalen, auditiv-zeitlichen Stimuli Reihenfolgen schlechter bestimmen können als Kinder mit normalen Schriftsprachkompetenzen. Dieses Defizit wurde zwar wie beschrieben gezeigt, jedoch könnte die Störung bereits die Individuation zeitlich dicht aufeinanderfolgender Stimuli betreffen.

Zur direkten Untersuchung des Vermögens von Kindern mit Lese-Rechtschreibstörungen, die Separation zweier Stimuli wahrzunehmen beziehungsweise separate Stimuli voneinander unabhängig verarbei-

ten zu können, wurden ebenfalls unterschiedliche Paradigmen eingesetzt: insbesondere die Messung von Effekten der Rückwärtsmaskierung und die Bestimmung von auditiven Fusions- oder Gap Detection-Schwellen.

Unter (auditiver) Maskierung ist dabei zu verstehen, daß die (auditive) Präsentation eines sogenannten Maskierungsstimulus die Wahrnehmung eines Prüfstimulus erschwert. Auditive Maskierungsstimuli sind beispielsweise häufig breitbandige Rauschsignale. Als Prüfstimuli können beispielsweise kurze schmalbandige Töne dienen. Durch das Lautstärkeverhältnis der beiden Stimuli zueinander kann das Ausmaß der Maskierung und somit die Erkennbarkeit des Prüfstimulus variiert werden. Daher läßt sich eine relative Lautstärkenschwelle des Prüfstimulus ableiten, ab der der Prüfstimulus mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit wahrgenommen werden kann. Eine Vorwärtsmaskierung liegt vor, wenn der Maskierungsstimulus dem Prüfstimulus zeitlich vorangeht. Entsprechend liegt eine Rückwärtsmaskierung vor, wenn der Maskierungsstimulus ohne zeitliche Überlappung dem Prüfstimulus folgt. Überlappen sich beide Stimuli, so wird dies als simultane Maskierung bezeichnet.

Eine erste Studie untersuchte Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen hinsichtlich auditiver Maskierungseffekte (Wright, Lombardino, King, Puranik et al., 1997). Verwendet wurden zwei verschiedene Maskierungsstimuli: ein breitbandiges Rauschen als auch ein durch eine Bandsperre gefiltertes Rauschen. Der Frequenzbereich der Bandsperre war so gewählt, daß die Frequenz des Prüfsignals durch das Rauschsignal nicht überlagert wurde. Gemessen wurden sowohl Vorwärts-, Rückwärts- als auch Simultanmaskierungsschwellen. Die Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen zeigten nur in den beiden Rückwärtsmaskierungsbedingungen gegenüber Kontrollkindern ohne Sprachstörungen erhöhte Maskierungsschwellen. Vorläufige Daten für Kinder mit Lesedefiziten legten gemäß den Autoren nahe, daß zumindest 5 von 12 Kindern ebenfalls deutlich erhöhte Schwellen bezüglich der Rückwärtsmaskierung zeigten. Das Ausmaß dieser Erhöhung erreichte jedoch nicht das der Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen.

Auch Rosen und Manganari (2001) konnten zwar zeigen, daß die von ihnen untersuchte Gruppe von 8 dyslektischen Jugendlichen eine erhöhte Schwelle der Rückwärtsmaskierung aufwies. Weiterhin über-

prüften die Autoren unter anderem die Sprachlauterkennung und -unterscheidung von /ba/ im Vergleich zu /da/. Die Autoren erwarteten hierbei, daß der den Konsonanten nachfolgende Vokal eine Rückwärtsmaskierung der Konsonanten bewirken sollte. Dies sollte bei den Jugendlichen mit erhöhter Schwelle der Rückwärtsmaskierung zu Defiziten der Differenzierung dieser Stimuli führen. Dies konnten die Autoren jedoch nicht durch ihre Daten bestätigen. Die Autoren schließen daraus, daß zwar durchaus ein nonverbales auditiv-zeitliches Defizit zumindest bei einzelnen der Versuchsteilnehmer vorgelegen haben könnte. Das Verhältnis von Leistungen im auditiv-zeitlichen Bereich, insbesondere der Rückwärtsmaskierung, könne aber zumindest nicht in einem einfachen Verhältnis zu höheren Sprachleistungen und damit auch zu Lese- beziehungsweise Rechtschreibleistungen stehen. Es sollte jedoch angemerkt werden, daß die Leistungsunterschiede in bezug auf die Rückwärtsmaskierung zwischen den Jugendlichen mit Lese-Rechtschreibstörung und den Kontrollpersonen unter Verwendung eines durch eine Bandsperre gefilterten Rauschens im Mittel deutlich geringer ausfielen. Für diese Stimuli ergab sich daher kein signifikanter Unterschied der Rückwärtsmaskierung. Es könnte daher sein, daß die vermutete Rückwärtsmaskierung nicht in dem Ausmaße stattfinden konnte, das notwendig wäre, damit ein Unterschied bezüglich der Unterscheidung der Stimuli bei einer kleinen Gruppe statistisch bedeutsam würde. Jedoch führen die Autoren das Beispiel einer Person an, die nicht in die Kontrollgruppe eingeschlossen werden konnte, die aber trotz einer sehr hohen Schwelle der Rückwärtsmaskierung sehr gute Lese- und Rechtschreibleistungen zeigte. Daher kann ein Defizit, das sich durch eine sehr hohe Rückwärtsmaskierungsschwelle ausdrückt, keine hinreichende Bedingung für die Ausbildung von Defiziten schriftsprachlicher Kompetenzen darstellen.

McCroskey und Kidder (1980) maßen auditive Fusionsschwellen unter anderem bei Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung und bei unauffälligen Kindern. Dazu präsentierten sie Paare kurzer (17 ms) Tonpulse mit variierendem Interstimulusintervall. Durch Tastendruck hatten die Probanden anzugeben, ob sie ein oder zwei Tonsignale wahrgenommen hatten. Die Schwelle der Wahrnehmung separater Pulse, die sogenannte Fusionsschwelle, lag bei den Kontrollkindern signifikant niedriger als bei der Gruppe der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung vergleichbaren Alters.

Als Gap Detection-Schwelle (siehe Abb. 1) wird die Dauer einer Unterbrechung beziehungsweise Stille innerhalb eines Stimulus bezeichnet, wobei diese Stille mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit vom Probanden erkannt werden soll, so daß der vorangehende erste Teil des Stimulus als vom nachfolgenden Teil des Stimulus separiert wahrgenommen wird. Diese Phase der Unterbrechung wird im folgenden mit „Gap“ bezeichnet. Im Gegensatz zur Fusionschwel­lenmessung werden bei der Bestimmung von Gap Detection-Schwellen in der Regel zeitlich längere Stimuli verwendet.

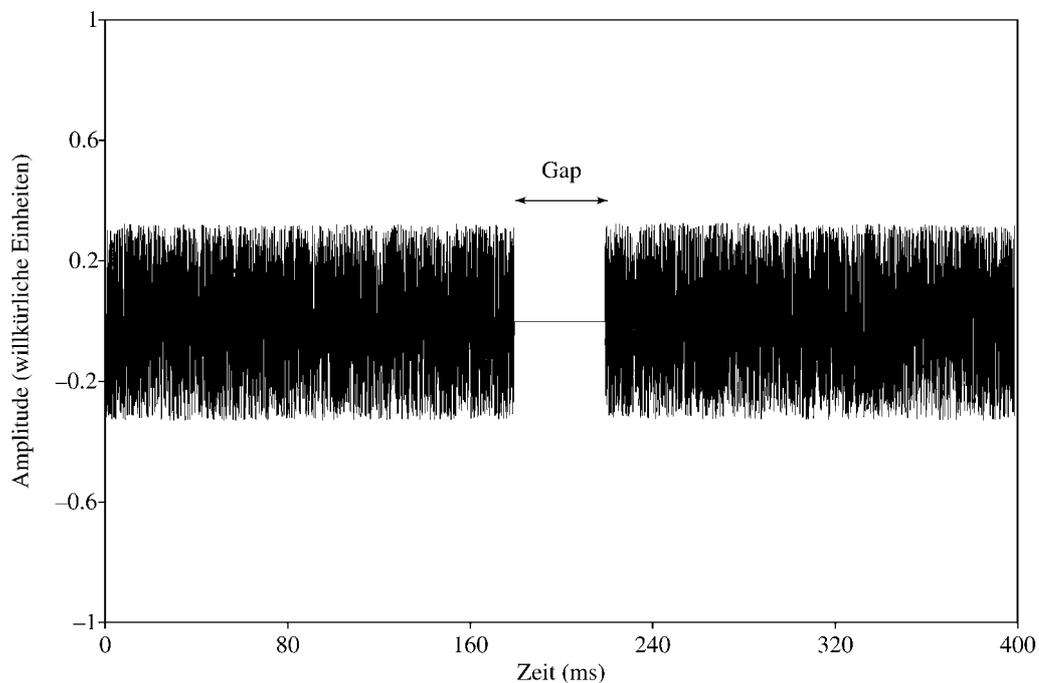


Abb. 1.
Beispielstimulus zur Bestimmung von Gap Detection-Schwellen

Zur Bestimmung der Gap Detection-Schwelle wird die Dauer des Gaps, das heißt der mit Pfeil markierten Stillephase, variiert.

Balise (1997) verglich dyslektische Kinder mit unauffälligen Kindern anhand mehrerer Maße der auditiv-zeitlichen Verarbeitung. In allen getesteten Bereichen schnitten die Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung schlechter ab als die Kontrollgruppe. Insbesondere zeigten sich sowohl Defizite in einer auditiven, nonverbalen Gap Detection-Aufgabe als auch in einem verbalen Analogon, das auf dem Paar /say/ versus /stay/ aufbaute.

Van Ingelghem, van Wieringen, Wouters, Vandenbussche et al. (2001) setzten ebenso eine auditive Gap Detection-Messung bei dyslektischen Kindern ein. Als Ausgangsstimulus diente weißes Rauschen. Dyslektische Kinder zeigten mit 3.3 ms im Mittel um ca. 22 % erhöhte auditive Gap Detection-Schwellen im Vergleich zur altersangepaßten Kontrollgruppe (2.7 ms). Auch bei einer visuell-zeitlichen Aufgaben schnitten die dyslektischen Kinder schwächer ab. Sowohl die auditiv-zeitlichen als auch die visuell-zeitlichen Leistungen korrelierten mit den individuellen Leseleistungen, so daß insgesamt 7 von 10 Kindern in beiden Modalitäten defizitäre Leistungen zeigten. Die Autoren nehmen diese Daten nicht nur als weitere Unterstützung der Hypothese, daß dyslektische Kinder ein auditiv-zeitliches Defizit aufweisen, sondern auch als Unterstützung einer Defizithypothese einer supramodalen Verarbeitung zeitlicher Informationen.

McAnally und Stein (1996) untersuchten Erwachsene mit und ohne Lese-Rechtschreibstörung hinsichtlich unterschiedlicher Maße der auditiv-zeitlichen Verarbeitung. Unter anderem setzten auch sie eine Gap Detection-Aufgabe mit weißem Rauschen als Ausgangssignal ein. Im Gegensatz zu den oben zitierten Studien ergab sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

Fraglich ist jedoch, inwieweit Untersuchungen an Erwachsenen Aufschluß über entwicklungsrelevante Unterschiede der auditiv-zeitlichen Verarbeitung geben können. Es könnte vermutet werden, daß, sollte das Vermögen, eine Sequenz von Stimuli getrennt wahrzunehmen, für die Sprachentwicklung relevant sein, vor allem Kinder defizitäre Leistungen in entsprechenden Aufgaben zeigen. Schulte-Körne, Deimel, Bartling und Remschmidt (1998) untersuchten daher neben einer Gruppe von Erwachsenen auch eine Gruppe von Kindern mit beziehungsweise ohne Lese-Rechtschreibstörung. Um über den gesamten Verlauf des Experiments sicherzustellen, daß die Probanden auf die Wahrnehmung einer Unterbrechung zwischen den Stimuli reagieren, präsentierten sie in zufälligen Abständen Distraktoren ohne Unterbrechungen. Als Grundlage für die Stimuli diente ein Frequenzgemisch aus Frequenzen im Bereich von 1 - 2000 Hz. Die Gap Detection-Schwellen unterschieden sich weder bei Kindern noch bei Erwachsenen zwischen den jeweiligen Gruppen von Versuchsteilnehmern mit beziehungsweise ohne Lese-Rechtschreibstörung. Auch ließen sich

keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Rechtschreibvermögen und der Gap Detection-Schwelle ermitteln. Daher sehen die Autoren es als in Frage gestellt an, daß nonverbale auditiv-zeitliche Kompetenzen in spezifischem Zusammenhang zu Lese-Rechtschreibstörungen stehen. Aufgrund einer genaueren Betrachtung der Daten ist jedoch anzumerken, daß die lese-rechtschreibschwachen Stichproben eine sehr große Heterogenität bei einer verhältnismäßig kleinen Stichprobengröße bezüglich der Lese-Rechtschreibkompetenzen aufwiesen. Insbesondere unterschieden sich die Gruppen innerhalb der dyslektischen Gruppen nicht signifikant bezüglich der Lesezeiten. Lesezeiten differenzieren Leseleistungen jedoch in üblichen deutschsprachigen Lesetests (beispielsweise Landerl, Wimmer und Moser, 1997) besser als die Zahl der Lesefehler. Insofern konnte aufgrund der Stichprobenszusammensetzung kein starker Zusammenhang zwischen nonverbalen auditiv-zeitlichen Leistungen und schriftsprachlichen Kompetenzen erwartet werden. Darüber hinaus liegen die ermittelten Schwellenwerte der Gap Detection-Schwellen sowohl für unauffällige Kinder als auch für Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung ca. dreimal so hoch wie die äquivalenten Werte von Van Ingelghem, van Wieringen et al. (2001).

Neurophysiologische Aspekte. Zumindest für einige der oben angeführten Teilprozesse auditiv-zeitlicher Informationsverarbeitung wie Separation oder Verarbeitung von Reihenfolgeinformationen etc. sind unterschiedliche neuroanatomische Korrelate postuliert worden.

Die Verarbeitung auditiv-zeitlicher Informationen kann grundsätzlich von prototypischen neocortikalen Neuronen geleistet werden. Buonomano und Kollegen (Buonomano, 2000; Buonomano und Merzenich, 1995) simulierten ein neuronales Netzwerk mit Integrate-And-Fire-Zellen. In diesen Simulationsrechnungen implementierten sie bekannte neuronale Funktionen wie langsame inhibitorische postsynaptische Potentiale und Paired-Pulse-Facilitation. Dieses neuronale Netzwerk aus identischen Einzelzellen war in der Lage, zeitliche Informationen im Bereich von Zehntelsekunden in ein räumlich verteiltes Aktivitätsmuster zu transformieren und durch Selbstorganisation unterschiedliche zeitliche Muster unterscheiden zu lernen. Daraus schließen die Autoren, daß eine neuronale Verarbeitung zeitlicher Information

grundsätzlich keine Neuronen mit spezifischen, auf die zeitliche Verarbeitung ausgerichteten Funktionen erfordere.

Dementsprechend wird eine Vielzahl potentiell für die Verarbeitung auditiv-zeitlicher Signalelemente relevanter Areale diskutiert. Elektrophysiologische Studien deuten darauf hin, daß Defizite der Verarbeitung auditiv-zeitlicher Sprachmerkmale im Bereich von Millisekunden bis mehreren zehn Millisekunden bereits durch Zentren der präattentiven Verarbeitung verursacht werden können. Beispielsweise ergaben Messungen bei Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung geringere Amplituden der Mismatch-Negativity, wenn sie Unterschiede in der feinzeitlichen Struktur eines komplexen Tonsignals entdecken sollten (Schulte-Körne, Deimel, Bartling und Remschmidt, 1999a).

McAnally und Stein (1996) setzten neben der bereits beschriebenen Gap Detection-Aufgabe eine Aufgabe zur Frequenzdiskrimination sowie eine binaurale Maskierungsaufgabe ein. Gemäß den Autoren werden die zur Lösung dieser Aufgaben benötigten feinzeitlichen Merkmale der auditiven Stimuli durch phasensynchrone neuronale Aktivitätsmuster codiert. Im wesentlichen sollten sie die adäquate Verarbeitung dieser phasenbezogenen Information erfordern. In genau diesen Aufgaben zeigten sich nun signifikante Leistungsunterschiede zwischen einer Gruppe von Dyslektikern und einer Kontrollgruppe ohne Lese-Rechtschreibschwierigkeiten. Auch Amplituden ereigniskorrelierter Potentiale, die als Maß der Ausdehnung phasensynchron feuender neuronaler Systeme aufgefaßt werden können, waren in der Experimentalgruppe reduziert. Daraus leiteten die Autoren eine mögliche Lokalisierung dieser speziellen Art auditiv-zeitlicher Verarbeitungsdefizite im Bereich des Hirnstamms ab.

Im inferioren Colliculus sind Neuronen in isofrequenten Schichten angeordnet. Werden diese Neuronen durch amplitudenmodulierte akustische Stimuli angeregt, so lassen sich für die unterschiedlichen Schichten systematisch angeordnete, unterschiedliche beste Modulationsresonanzfrequenzen für Modulationsfrequenzen von 30 bis ca. 1000 Hz ableiten (Merzenich, Schreiner, Jenkins und Wang, 1993). Im Cortex lassen sich zwar ebenso Neuronen finden, die selektiv für bestimmte Amplitudenmodulationsfrequenzen eine erhöhte Aktivität zeigen, jedoch zumindest bei Katzen in einem deutlich eingeschränkten Frequenzbereich von 5 bis 25 Hz beziehungsweise je nach Region

bis 100 Hz. Daraus folgern die Autoren insbesondere, daß auf der Ebene des auditiven Cortex vor allem dann eine erhöhte Aktivität auftreten sollte, wenn diese Zellen „sukzessiv in Zeiteinheiten zerhackt“ beziehungsweise im Abstand der Zyklusdauern der besten Amplitudenmodulationsfrequenzen angeregt werden. Die Zyklusdauern lägen im primären auditiven Cortex im Bereich von 50 - 200 ms, in höheren auditiven Arealen auch bis 500 ms. Daher seien diese Zyklusdauern für die Verarbeitung von Signalen geeignet, die beispielsweise mit der Rate sprachlicher Phoneme eintreffen.

Einer ähnlichen Argumentation folgend leiten jedoch Phillips und Farmer (1990) aus einer Literaturanalyse zur Ursachenforschung bei erworbener Worttaubheit her, daß Defizite der Verarbeitung auch kürzerer Intervalleinheiten im Bereich von Millisekunden bis Hundertstelsekunden, wie sie beispielsweise bei Gap Detection-Aufgaben auftreten, durch Defizite im primären auditorischen Cortex hervorgerufen werden können. Trotz dieser Schlußfolgerung werfen die Autoren jedoch die Frage auf, warum diese Verarbeitungsebene auch an der perceptuellen, nichtlinguistischen Analyse dieses Zeitniveaus beteiligt sein sollte, obwohl der auditorische Hirnstamm hierfür eine bessere feinzeitliche Auflösung aufweise. Für eine Beteiligung des auditorischen Cortex, insbesondere aber nicht ausschließlich des primären auditorischen Cortex, sprechen zudem eine Reihe von Studien an Tiermodellen (siehe beispielsweise Ison, 1991; Eggermont, 1999; Eggermont, 2000) sowie am Humancortex (Rupp, Hack, Gutschalk, Schneider et al., 2000).

Auch auf Ebenen zwischen dem inferioren Colliculus und dem primären auditorischen Cortex könnte eine abnorm entwickelte Innervation zu einer defizitären Wahrnehmung auditiv-zeitlicher Signalkomponenten führen. Kerne des Corpus geniculatum mediale (CGM) werden vom inferioren Colliculus innerviert. Auch das CGM besitzt auditorische Neurone, die zeitlich signalbezogen und frequenzselektiv reagieren. Weiterhin erhalten diese auditorischen Neuronen rückgekoppelte Signale aus dem retikulären Thalamusgebiet. Diese Signale wirken vermutlich inhibitorisch und dienen möglicherweise dazu, die Diskrimination von Frequenzen zu verbessern. Dadurch könnte eine Störung dieses Systems zu einer Verschlechterung beispielsweise der Wahrnehmung von schnellen Frequenzwechselln führen (Tallal, Townsend,

Curtiss und Wulfeck, 1991; Lennartz und Weinberger, 1992; Farmer und Klein, 1995).

Neben diesen im Zusammenhang mit auditiv-zeitlicher Verarbeitung beziehungsweise entsprechender defizitärer Leistungen am häufigsten genannten Areale, werden darüber hinaus noch eine Vielzahl weiterer Areale in Betracht gezogen. Mathiak, Hertrich, Grodd und Ackermann (2002) untersuchten die Verarbeitung synthetischer Sprachstimuli, bei denen zwei phonembezogene Zeitspannen variiert wurden. Ihre Daten legen nahe, daß an der Diskrimination dieser Zeitspannen sowohl frontocorticale als auch cerebelläre Areale beteiligt sein könnten. Aktivitätserhöhungen im Cerebellum waren dabei vorwiegend rechts-hemisphärisch. Diese Befunde werden durch die Daten von Belin, McAdams, Thivard, Smith et al. (2002) gestützt und erweitert. In ihrem Experiment variierten die Autoren die Dauer akustischer Stimuli im Bereich um 300 ms. Eine Diskriminationsaufgabe, bei der die Dauer dieser Stimuli mit der Dauer eines Standards verglichen wurde, führte zu erhöhtem Blutdurchfluß in unterschiedlichen Arealen, die einerseits mit aufmerksamkeitsbezogenen Aspekten der Aufgabenstellung und andererseits mit zeitlichen Aufgabenmerkmalen in Verbindung gebracht wurden. In bezug auf die zeitlichen Aufgabenmerkmale leiten die Autoren im Vergleich mit vorhergehenden Studien eine Beteiligung der Basalganglien, des Cerebellums sowie des rechten präfrontalen Cortex ab.

Trotz des weiterhin spekulativen Charakters der Hypothese, daß Störungen der auditiv-zeitlichen Verarbeitung Ausdruck einer supramodalen Störung sein könnten, sieht Habib (2000) ebenso das Cerebellum als möglichen Taktgeber an, der einen Grundrhythmus für die sequentielle Verarbeitung von Informationseinheiten liefern könnte.

Es sei nur kurz angemerkt, daß einzelne Studien auch eine cytoarchitektonische Ebene betrachten. In post-mortem Studien wurde von Anomalien des cerebralen Cortex, beispielsweise Ektopien, bei dyslexischen Erwachsenen berichtet (Galaburda, Sherman et al., 1985). Clark, Rosen, Tallal und Fitch (2000) konnten nun anhand eines Mausmodells zeigen, daß das Auftreten von Ektopien beziehungsweise Mikrogyri zu reduzierten auditiv-zeitlichen Leistungen führen kann.

Training der Sprachwahrnehmung mit Hilfe akustisch modifizierter Sprache

Explorative Trainingsstudien. Wenn in häufigen Fällen eine defizitäre Entwicklung auditiv-zeitlicher Verarbeitungsleistungen zu Fehlfunktionen bei höheren Sprachfunktionen führt und somit von einer kausalen Bedeutung auszugehen wäre, könnten die negativen Auswirkungen dieser Defizite umgangen werden, indem Sprache geeignet akustisch modifiziert wird. Dieser Ansatz wurde erstmalig in zwei wegweisenden Studien (Merzenich, Jenkins, Johnston, Schreiner et al., 1996; Tallal, Miller, Bedi, Byma et al., 1996) verfolgt.

Insbesondere gingen die Autoren von der Annahme aus, daß eine Betonung und zeitliche Dehnung als kritisch angesehener Elemente des Sprachflusses die phonologische Diskrimination und damit das Sprachverständnis verbessert würden:

A strong prediction is suggested by these findings: If the critical acoustic cues within the context of fluent, ongoing speech could be altered to be emphasized and extended in time, then the phonological discrimination and the on-line language comprehension abilities of LLI [language learning impaired, Anm. des Autors] children should significantly improve.

(Tallal, Miller et al., 1996, S. 81)

Um diese Hypothese zu überprüfen, wurde ein zweistufiger Algorithmus zur Modifikation von Sprachsignalen entwickelt (Jenkins, Merzenich, Miller, Peterson und Tallal, 1997; Nagarajan, Wang, Merzenich, Schreiner et al., 1998; Tallal, Miller et al., 1996). Wie im Teil Methoden näher erläutert, wurde das Sprachsignal zuerst um maximal 50 % verlangsamt. Anschließend erfolgte eine Anhebung der Frequenzen im Bereich von 3 bis 30 Hz der Hüllkurve³ um maximal

³ Stellt man ein Schallsignal in einem Amplituden-Zeit-Diagramm dar, so stellt die „Hüllkurve“ die Verbindung der Extrempunkte der einzelnen Wellenberge beziehungsweise Wellentäler dar. Somit repräsentiert die Hüllkurve näherungsweise (unter Vernachlässigung bestimmter psycho-physikalischer Phänomene) den feinzeitlichen Verlauf der Lautstärke eines Signals.

20 dB. Zusätzlich wurden mittelhohe Frequenzen des Sprachsignals ebenfalls um bis zu 20 dB verstärkt.

Ziel der Verlangsamung war es, die im Sprachsignal als kritisch für das Sprachverständnis angesehenen, sich schnell verändernden Elemente zeitlich von vorausgehenden oder nachfolgenden Elementen des Sprachsignals zu trennen. Dies sollte dazu beitragen, daß Effekte wie Vorwärts- und Rückwärtsmaskierungen reduziert werden. Basierend auf Experimenten zur Plastizität (siehe beispielsweise Merzenich, Wright, Jenkins, Xerri et al., 1996; Merzenich, Schreiner et al., 1993; Recanzone, Schreiner und Merzenich, 1993), gingen die Autoren davon aus, daß eine zusätzliche Hervorhebung dieser kritischen Elemente in Form einer Verstärkung bestimmter Komponenten der Hüllkurve Lernvorgänge zur Verarbeitung komplexer Signale unterstützen sollte.

In einer ersten Untersuchung wurden sieben englischsprachige Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen (LLI) im Alter von 5.8 - 9.1 Jahren untersucht. Die Kinder wiesen eine durchschnittliche Intelligenz auf und zeigten gemäß den Autoren deutliche Auffälligkeiten sowohl im Bereich rezeptiver als auch expressiver Sprachfunktionen sowie nicht näher definierte „marked temporal processing deficits“ (Merzenich, Jenkins et al., 1996, S. 80). Zusätzlich zeigten alle Kinder Defizite im Lesen.

Über vier Wochen wurde mit den Versuchsteilnehmern ein intensives Sprachtraining durchgeführt. An fünf Tagen pro Woche erhielten die Kinder drei Stunden täglich Übungen in einem Labor sowie zusätzlich an jedem Tag ein bis zwei Stunden Training zu Hause. Dieses Trainingsprogramm wurde von je einer einwöchigen Prä- beziehungsweise Posttrainingsphase umfaßt, in der unterschiedliche Maße verbaler sowie nonverbaler Leistungen individuell bestimmt wurden.

Die Übungen bestanden weitgehend aus computerbasierten Spielen. Sprachliche Übungen umfaßten beispielsweise Aufgaben, in denen gehörte Kommandos ausgeführt werden oder zu vorgesprochenen Wörtern korrespondierende Bilder ausgewählt werden sollten. Dabei wurden alle Sprachausgaben mit dem genannten Algorithmus akustisch modifiziert, wobei zu Beginn die Ausprägungsstärke der akustischen Modifikationen maximiert wurde. Im Verlauf des Trainings wurde dann einerseits die Stärke der akustischen Modifikationen

schrittweise reduziert, so daß am Ende der Trainingsperiode alle Aufgaben in normaler, unmodifizierter Sprache dargeboten wurden. Parallel hierzu wurde der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben beispielsweise durch Erhöhung der Komplexität der Syntax der Kommandos schrittweise gesteigert. Die Kinder erhielten eine direkte Rückmeldung über die Richtigkeit ihrer Antworten. Um Aufmerksamkeit und Motivation aufrechtzuerhalten, wurde die Auswahl des Schwierigkeitsniveaus adaptiv an die Leistungen der Kinder angepaßt. Nach Erreichen eines definierten Leistungsniveaus beziehungsweise einer vorab festgelegten Anzahl von Trainingseinheiten erhielten die Kinder zudem Belohnungen in Form von kurzen audiovisuellen Sequenzen. Darüber hinaus erhielten die Kinder für die Durchführung des Programms Punkte, die gegen Preise eingetauscht werden konnten.

Zusätzlich führten die Kinder innerhalb der vierwöchigen Trainingsperiode 19 bis 28 Trainingseinheiten je 20 Minuten Übungen zum Training auditiv-zeitlicher Verarbeitung durch. In der Übung „Circus Sequence“ mußten die Kinder die Reihenfolge zweier tonaler Stimuli ansteigender beziehungsweise abfallender Tonhöhe angeben. Erfasst wurde das minimal benötigte Interstimulusintervall, wobei zusätzlich der Frequenzbereich der Stimuli variiert wurde. In der Übung „Phoneme Identification“ sollten synthetisch produzierte Konsonant-Vokal-Stimuli wiedererkannt werden. Hauptvariablen dieser Aufgabe waren die Dauer der Konsonanten beziehungsweise der Vokale, eine Verstärkung der Konsonanten relativ zu den Vokalen um bis zu 20 dB und das Interstimulusintervall zwischen den beiden Phonemen. Auch hier wurde mit einer maximalen akustischen Veränderung, das heißt mit einer maximalen Verstärkung und einem großen Interstimulusintervall, begonnen. Im Verlaufe des Trainings erfolgte eine adaptive Annäherung der synthetisch produzierten Stimuli an unmodifizierte Stimuli.

Dieses Training führte zu signifikanten Leistungsverbesserungen sowohl in Bereichen nonverbaler Leistungen, beispielsweise gemessen durch den Tallal Repetition Test, als auch in sprachbezogenen Leistungen. Insbesondere ergaben sich Verbesserungen in bezug auf die Diskrimination von Sprachlauten sowie in bezug auf Leistungen im Bereich des Verständnisses sowohl morphologischer als auch syntaktischer Sprachstrukturen. Die Verbesserungen entsprachen dabei ei-

nem Äquivalent von circa 2 Jahren, so daß nach Abschluß des Trainings insgesamt altersadäquate Leistungen in den sprachbezogenen Tests erreicht wurden.

Eine zweite, ebenfalls in Tallal, Miller et al., 1996 und Merzenich, Jenkins et al., 1996 dargestellte Untersuchung verglich anschließend in einer etwas größeren Stichprobe ($N = 22$, Alter 5.2 - 10.0 Jahre, vergleichbare Defizite wie in der ersten Studie) unter anderem die Auswirkungen der Sprachmodifikationen auf Lernfortschritte. Hierzu wurden Kinder mit LLI in zwei Gruppen getrennt: Eine Gruppe absolvierte ein im wesentlichen der vorangehenden Studie vergleichbares adaptives Training mit akustisch modifizierten Stimuli. Die zweite Gruppe hingegen durchlief als Vergleichsgruppe das gleiche Training, jedoch mit nichtmodifizierten, natürlichen Stimuli. Anstelle der auditiv-zeitlichen Trainingsaufgaben spielte diese Gruppe gewöhnliche Videospiele.

Beide Gruppen erreichten im Vergleich der Leistungen vor und nach dem Training signifikante Lernfortschritte in bezug auf verbale Leistungen. In bezug auf nonverbale Leistungen verbesserte sich dagegen nur die erste Gruppe hochsignifikant. Darüber hinaus war der Lernfortschritt in der Gruppe der Kinder, die Übungen mit akustisch modifizierter Sprache erhielten, signifikant größer als der Lernfortschritt der Vergleichsgruppe.

Die Autoren schließen, daß diese Ergebnisse einerseits eine zusätzliche Bestätigung für die Hypothese liefern, daß Kinder mit LLI bedeutende auditiv-zeitliche Verarbeitungsdefizite sowie Schwierigkeiten bei der Erkennung schneller sprachlicher Elemente besitzen. Unklar bleibt, inwieweit diese Eigenschaften nicht bereits zumindest zum Teil in den Selektionskriterien eingeschlossen waren. Weiterhin schließen sie, daß diese Ergebnisse als Indizien dafür gedeutet werden könnten, daß diese auditiv-zeitlichen Verarbeitungsdefizite durch ein geeignetes Training überwunden werden können. Dementsprechend liege kein fundamentaler, nichthebbarer Defekt der Störung zugrunde. Eher sei die Störung durch eine besondere Lerngeschichte und damit verbunden durch ungeeignete neuronale Repräsentationen sprachlicher Signale ausgelöst.

Außerdem vermuten Tallal und Kollegen, es sei eher unwahrscheinlich, daß diese Kinder innerhalb eines Monats einen Rückstand von circa zwei Jahren aufgeholt hätten. Sie nehmen eher an, daß die Versuchsteilnehmer vor dem Training zwar unterschwellig deutlich mehr sprachliche Leistungen entwickelten, diese aber aufgrund des zugrundeliegenden Defizits der auditiv-zeitlichen Verarbeitung nicht zum Einsatz bringen konnten. Insbesondere der Einsatz akustisch modifizierter Sprache in adaptiven Lernspielen habe zu einer deutlichen Verbesserung der „on line“ (Tallal, Miller et al., 1996, S. 83) Sprache geführt⁴.

Diese Ergebnisse werden jedoch durch mehrere bislang ungeklärte Fragen relativiert (siehe zum Beispiel Veale, 1999, Gillam, 1999 und Studdert-Kennedy, Liberman, Brady, Fowler et al., 1994). So weisen alle genannten Studien mehrere methodische Unklarheiten auf, vor allem in bezug auf die jeweiligen Stichproben (Größen, Selektionskriterien) und des Designs (z. B. Variation mehrerer Faktoren, obwohl nur eine Kontrollgruppe vorhanden ist).

Vor allem aber bleibt bislang offen, inwieweit die Kernziele durch die angewandten Sprachmodifikationen umgesetzt werden können. Obwohl die Autoren ihre Ergebnisse dahingehend interpretieren, können diese Studien keine Entscheidung darüber treffen, inwieweit die vorgeschlagenen Sprachmodifikationen zu einer Verbesserung der „on line“ Sprachlautdiskrimination und damit zu einer Erleichterung des Sprachverständnisses beitragen. Allein eine erhöhte Wirksamkeit des Trainings durch modifizierte relativ zu unmodifizierter Sprache kann nicht als Beleg für die Ausgangshypothese gelten, daß die akustischen Modifikationen die Sprachverständlichkeit verbessern. Hierzu sollten auch mögliche sekundäre Effekte akustischer Modifikationen, beispielsweise motivationale oder aufmerksamkeitsbezogene Effekte, in Betracht gezogen werden.

Darüber hinaus ist es naheliegend, daß die Komponenten des vorgeschlagenen nichtlinearen mehrstufigen Algorithmus nicht additiv auf die Verständlichkeit der resultierenden Sprache wirken, selbst wenn

⁴ Scientific Learning Corporation bietet in der Zwischenzeit ein Softwarepaket namens Fast Forward™ kommerziell an, das dem in diesen beiden Studien von 1996 verwendeten Paket weitgehend entspricht.

einzelne Komponenten (z. B. eine Sprachverlangsamung) einen positiven Einfluß auf die Sprachlautdiskrimination nähmen.

Unabhängig hiervon wurde vermutet, daß ein Einsatz dieses Trainingsprogramms auch bei dyslektischen Kindern angebracht sein könnte (zum Beispiel Brady, Scarborough und Shankweiler, 1996; Miller und Tallal, 1996).

Replikationsversuche. Fünf explorative Studien anderer Arbeitsgruppen (Friel-Patti, DesBarres und Thibodeau, 2001; Friel-Patti, Loeb und Gillam, 2001; Gillam, Crofford, Gale und Hoffman, 2001; Gillam, Loeb und Friel-Patti, 2001; Loeb, Stoke und Fey, 2001; Marler, Champlin und Gillam, 2001; Thibodeau, Friel-Patti und Britt, 2001) hatten zum Ziel, die vorgefundenen Ergebnisse in Einzelfall- und Kleingruppenstudien zu replizieren und weiter zu spezifizieren. Unter anderem wurde folgenden vier Fragen nachgegangen:

- Lassen sich die durch ein Training mit modifizierter Sprache gefundenen signifikanten Verbesserungen des Sprachverständnisses und der Sprachproduktion unabhängig replizieren?
- Verbessert dieses Training ebenso die Lesefähigkeiten?
- Ist ein derartiges Training wirksamer als eine vergleichbare, herkömmliche Trainingsmethode ohne modifizierte Sprache?
- Wenn sich eine Wirksamkeit grundsätzlich bestätigen läßt, welcher Wirkmechanismus könnte dafür verantwortlich sein?

Die Daten von Gillam, Crofford et al. (2001) und Friel-Patti, DesBarres et al. (2001) zeigen, daß sich zumindest bei einzelnen Kindern mit Sprachentwicklungsverzögerungen signifikante Verbesserungen in einem oder mehreren Bereichen des Sprachverständnisses ergaben. Auch drei Monate nach Abschluß des Trainings konnten bei den drei von Loeb, Stoke et al. (2001) wiederholt untersuchten Kindern Leistungsverbesserungen festgestellt werden. Die Verbesserungen erstreckten sich jedoch zumeist nur auf einen kleinen Teil der überprüften Funktionsbereiche. Darüber hinaus konnten die von Tallal, Merzenich und Kollegen genannten signifikanten Verbesserungen in bezug auf das Verständnis syntaktischer Informationen nicht bestätigt werden. Nur eines von neun Kindern überschritt das 95 %-Konfidenzniveau im Prä/Post-Vergleich, obwohl zumindest eine Übungsaufgabe innerhalb des Trainingsprogramms eine hohe inhaltli-

che Ähnlichkeit mit den Anforderungen des zur Überprüfung des Verständnisses syntaktischer Informationen eingesetzten Tests besaß. Zwei Kinder verschlechterten sich um mindestens eine Standardabweichung in diesem Test.

Veränderungen der Sprachproduktion zeigten sich vor allem in Form der mittleren Länge der sprachlichen Äußerungen, die gemäß Gillam, Loeb et al. (2001) als allgemeiner Indikator der Sprachentwicklung angesehen werden kann. Dies ging jedoch im Gegensatz zu den Studien von Tallal, Merzenich und Kollegen nicht mit grammatikalischen Fortschritten einher. In der Studie von Friel-Patti, DesBarres et al. (2001) äußerten zwar zwei der fünf untersuchten Kinder insgesamt mehr Wörter, jedoch begingen sie dabei auch mehr grammatikalische Fehler. In der Studie von Gillam, Crofford et al. (2001) produzierten beide Kinder, die mit modifizierter Sprache trainiert wurden, in der Nachfolgeuntersuchung mehr grammatikalische Fehler als vor dem Training.

Zwei dieser Studien untersuchten ebenfalls Veränderungen der Lese- und Rechtschreibkompetenzen. Obwohl sich in Loeb, Stoke et al. (2001) drei Kinder in einzelnen Bereichen des Lesens verbesserten, ergaben sich nur geringe Änderungen in bezug auf die Gesamtleseleistungen. Darüber hinaus verbesserte sich zwar ein Kind signifikant im Bereich der phonologischen Bewußtheit. Dies wirkte sich aber nicht auf die Leseleistungen aus. Ein ähnliches Bild ergab sich auch in bezug auf Rechtschreibkompetenzen. Gillam, Loeb et al. (2001) schlossen daraus, daß das vorgeschlagene Training zwar einzelne Aspekte der phonologischen Bewußtheit und des Lesens beeinflussen könnte, dies jedoch ohne eine zusätzliche explizite Instruktion der Kinder nicht zu bedeutenden Fortschritten im Lesen oder Rechtschreiben führt.

Gillam, Crofford et al. (2001) stellten außerdem dieses Trainingsprogramm einem weiteren kommerziell erhältlichen computerbasierten Trainingssystem gegenüber. Dabei ergaben sich weitgehend vergleichbare Fortschritte, sowohl in bezug auf verbale als auch auf non-verbale Leistungen, obwohl die inhaltliche Ausrichtung beider Programmpakete als auch die Art der eingesetzten Stimuli differierte. Dies könnte darauf hindeuten, daß Trainingseffekte eher auf Gemeinsamkeiten zwischen diesen Programmen, beispielsweise auf Beloh-

nungssysteme oder auf die Notwendigkeit, über längere Zeit auditiven und visuellen Stimuli Aufmerksamkeit zu widmen, als auf deren Unterschiede zurückzuführen sind. Diese Studie könnte daher erste Hinweise für die besondere Bedeutung aufmerksamkeitsbezogener und motivationaler Aspekte liefern.

Einige Ergebnisse dieser Studien sind darüber hinaus inkonsistent zu der Annahme, das Training mit modifizierter Sprache sei dadurch wirksam, daß es auditiv-zeitliche Verarbeitungsleistungen fördert. Beispielsweise erfaßten Thibodeau, Friel-Patti et al. (2001) und Marler, Champlin et al. (2001) unter anderem Rückwärts- und Simultanmaskierungseffekte bei Kindern mit und ohne Sprachentwicklungsstörungen. Nach Wright, Lombardino et al. (1997) sollten Kinder mit Sprachentwicklungsverzögerungen sowohl bei der Simultan- als auch bei der Rückwärtsmaskierung vergleichbare Schwellen zeigen, Kindern ohne Sprachstörungen sollten dagegen Aufgaben zur Rückwärtsmaskierung leichter fallen als Simultanmaskierungsaufgaben. Ein Training gemäß Tallal, Merzenich und Kollegen sollte daher bei Kindern mit LLI zu Verbesserungen hinsichtlich Rückwärtsmaskierungsschwellen führen. Eine solche Verbesserung war zumindest bei zwei Kindern in der Studie von Marler, Champlin et al. (2001) zu erkennen. Jedoch war eines dieser beiden Kinder mit dem alternativen Trainingsprogramm trainiert worden, das nicht auf eine Verbesserung auditiv-zeitlicher Phänomene abzielt. In der Studie von Thibodeau, Friel-Patti et al. (2001) vergrößerte zwar ein Versuchsteilnehmer den Abstand der Schwellenwerte zwischen Rückwärts- und Simultanmaskierung, dieser zeigte jedoch gemäß den Autoren vor Trainingsbeginn kein gravierendes Defizit der Rückwärtsmaskierung.

Training der phonologischen Bewußtheit mit akustisch modifizierter Sprache. Habib, Espesser, Rey, Giraud et al. (1999) untersuchten 10 - 12jährige, französischsprachige Kinder mit phonologischer Dyslexie. Bei durchschnittlicher Intelligenz und gravierenden Auffälligkeiten im Lesen und teilweise im Buchstabieren wiesen die Kinder vor allem deutliche Leistungsdefizite im Bereich der phonologischen Bewußtheit auf. Ziel der Studie war es herauszufinden, ob ein Training mit typischen Aufgaben zur Verbesserung der phonologischen Bewußtheit effektiver ist, wenn akustisch modifizierte Sprache eingesetzt wird. Der eingesetzte Algorithmus zur Sprachmodifikation umfaßte

dabei ebenfalls sowohl eine Betonung „instabiler Elemente“ des Sprachsignals als auch eine artifizielle Verlangsamung der Sprache. In Anlehnung an die bisherigen Trainingsstudien wurde auch in dieser Untersuchung die Stärke der Sprachmodifikation stufenweise, nicht jedoch adaptiv zurückgenommen. Dargeboten wurden pro Aufgabe jeweils drei bis vier Wörtern oder Pseudowörter, die mit Ausnahme eines Wortes einen gemeinsamen Laut teilten. Die Probanden sollten dann dasjenige Wort benennen, das diesen von allen anderen Wörtern geteilten Laut nicht aufwies. Diese Aufgabenstruktur lag sowohl Prä- und Posttest- als auch den Trainingsaufgaben zugrunde. In der Studie wurde eine Experimentalgruppe, der die Aufgaben akustisch modifiziert präsentiert wurden, mit einer Kontrollgruppe unauffälliger Kinder verglichen, die die gleichen Aufgaben durchlief, jedoch mit natürlicher, unmodifizierter Sprache.

Nach einem Training über 25 Tage à 1 Stunde in professioneller Betreuung durch Sprachtherapeuten ergab sich nur für die Experimentalgruppe eine signifikant verbesserte Leistung, die mit Leistungen unauffälliger Kinder vergleichbar waren. Auch bei einer wiederholten Messung einen Monat nach Beendigung des Trainings blieb der Unterschied zwischen beiden Gruppen erhalten, obwohl vor Beginn des Trainings beide Gruppen äquivalente Defizite in bezug auf diese prototypische Aufgabe des Leistungsbereiches phonologische Bewußtheit zeigten.

Dennoch bleibt in dieser Studie erstens unklar, inwieweit diese Ergebnisse auf unselektierte dyslektische Kinder verallgemeinerbar sind. Zweitens können diese Ergebnisse im Gegensatz zu der Interpretation der Autoren nicht dazu beitragen zu beantworten, inwieweit vorlinguistische, auditiv-zeitliche Verarbeitungsstufen als grundlegende Dysfunktion bei Lese-Rechtschreibstörungen wirken. Insbesondere die Rolle unspezifischer Effekte einer Sprachmodifikation bleibt auch bei dieser Studie offen.

In einem neueren Artikel (Habib, Rey, Daffaure, Camps et al., 2002) berichten die Autoren von zwei Folgestudien, die zumindest teilweise diesen beiden Fragestellungen nachgingen. Die erste dieser beiden Studien diente dazu, eine größere Gruppe ($N = 29$) jüngerer Kinder (5 - 12 Jahre) in einem klinischen Umfeld mit akustisch modifizierter Sprache zu trainieren. Dazu wurden die Trainingssitzungen zeitlich

auf $\frac{1}{4}$ Stunde pro Tag verkürzt und sowohl während professioneller Betreuung als auch zu Hause durchgeführt. Während der professionellen Betreuung erhielten die Kinder zusätzlich Förderungen weiterer defizitärer Bereiche, beispielsweise im Buchstabieren. Insgesamt ergab sich auch hier trotz des reduzierten Trainingsumfanges zumindest für ältere Kinder ein signifikanter Trainingseffekt in bezug auf die phonologische Bewußtheit. Es wurde darüber hinaus erwartet, daß jüngere Kinder stärker von dem Training profitieren sollten, da diese Effekten der Plastizität stärker zugänglich sein sollten.

Die ermittelten Daten widersprachen jedoch dieser Vermutung. 8 der 29 Kinder zeigten keinerlei phonologische Trainingsfortschritte. Gemäß den Autoren fühlten sich einige dieser Kinder durch die akustischen Sprachmodifikationen gestört. Daher hatte die zweite Studie (siehe auch De Martino, Espesser, Rey und Habib, 2001) unter anderem zum Ziel, Prädiktoren für einen Therapieerfolg zu ermitteln. Aus einer Testbatterie von acht Aufgaben zeigte nur eine Aufgabe zu auditiv-zeitlichen Verarbeitungsleistungen einen geringen prädiktiven Wert für die Verbesserung phonologischer Leistungen. Die Aufgabe bestand darin festzustellen, ob /apsa/ oder /aspa/ auditiv präsentiert wurde, wobei beide Stimuli synthetisch verlangsamt wurden. Eine weitere Aufgabe zur Unterscheidung der Dauer eines Konsonanten in einem Vokal-Konsonant-Vokal-Stimulus zeigte jedoch keine Vorhersagekraft für Trainingsfortschritte.

Hayes, Warrier, Nicol, Zecker und Kraus (2003) beschreiben Veränderungen in ereigniskorrelierten Potentialen während eines Trainings unterschiedlicher Sprach- und Aufmerksamkeitsleistungen, wobei zumindest bei einzelnen Aufgaben auch gedehnte Sprache eingesetzt wurde. Untersucht wurden dazu Kinder mit Lernschwierigkeiten oder einer Lernbehinderung in Verbindung mit auditiven Wahrnehmungsstörungen und teilweise Aufmerksamkeitsstörungen. Die Autoren interpretieren diese Veränderungen in den ereigniskorrelierten Potentialen, vor allem der P1 und N2, als Auswirkungen plastischer Veränderungen auf neuronaler Ebene durch dieses computergestützte Training. Jedoch erlaubt diese Studie aufgrund der Vielfalt der verwendeten Aufgabentypen ebenfalls keinen direkten Schluß auf die Bedeutung der Sprachmodifikationen für den Trainingsfortschritt.

Zusammenfassend kann aus den genannten Studien daher geschlossen werden, daß zumindest für Untergruppen von Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen sowie für Untergruppen von Kindern mit Leserechtschreibstörung ein Training mit akustisch modifizierter Sprache zu größeren Trainingsfortschritten führen kann als ohne diese Modifikationen. Zwar gibt es Hinweise, daß diese größeren Lernfortschritte auch in Zusammenhang mit Defiziten im Bereich auditiv-zeitlicher Verarbeitung stehen, jedoch kann weiterhin eine derartige Verbindung aufgrund der vorliegenden Daten nicht eindeutig gezogen werden. Demgemäß können die vorliegenden Daten bislang noch nicht als Beleg dafür angesehen werden, daß akustische Modifikationen Trainingsfortschritte durch Verbesserung der Diskriminierbarkeit von Sprachlauten steigern.

Sprachlautdiskrimination und Sprachverständnis bei akustisch modifizierter Sprache. Für unterschiedliche Personengruppen liegen bereits einzelne Studien vor, die dieser letztgenannten Frage direkt durch Überprüfung des Sprachverständnisses nachgehen.

Bereits 1970 testete Schon dazu das Sprachverständnis junger normalhörender Erwachsener, junger Erwachsener mit leichten Hördefiziten und älterer Personen. In dieser Studie wurde die Sprachgeschwindigkeit von zeitlicher Kompression bis hin zu zeitlicher Dehnung variiert. Alle Gruppen erkannten Wörter vergleichbar oft: Unabhängig davon, ob Sprache zeitlich gedehnt oder komprimiert wurde, wurden *weniger* Wörter korrekt wiedergegeben als bei unveränderter, natürlicher Sprache. Diese Verschlechterung des Sprachverständnisses fiel dabei bei gedehnten Wörtern geringer aus als bei um den gleichen Faktor komprimierten Wörtern. Je stärker die Stimuli zeitlich modifiziert wurden, desto stärker fiel darüber hinaus die Verschlechterung des Sprachverständnisses aus.

Tallal und Piercy (1973b, 1974, 1975) überprüften die Lautwahrnehmung mit synthetisch produzierten Konsonant-Vokal- (CV-) oder Vokal-Vokal-Lauten. Dabei wurde die Dauer der zu unterscheidenden Stimuluskomponenten, in diesem Falle der zeitliche Verlauf der 2. und 3. Formanten, unter Beibehaltung der Gesamtdauer der Stimuli variiert. Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen zeigten bedeutende Schwierigkeiten, CV-Stimuli korrekt wahrzunehmen, wenn die Formantübergänge kurz (43 ms), nicht aber, wenn diese länger (95 ms)

andauerten. Daraus schließen die Autoren unter anderem, daß Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen nicht grundsätzlich Defizite bei der Unterscheidung von Formantübergängen zeigen, sondern nur, wenn diese zeitlich zu kurz andauern.

Nur zum Teil werden diese Ergebnisse von Bradlow, Kraus, Nicol, McGee et al. (1999) unterstützt. Entlang eines synthetisch hergestellten CV-Kontinuums von /da/ bis /ga/ variierten die Autoren insbesondere die Dauer des Überganges des 3. Formanten. Auf behavioraler Ebene ergaben sich keine Unterschiede bezüglich der Diskriminationsleistungen von Kindern mit Lernschwierigkeiten. Jedoch ergab die Untersuchung ereigniskorrelierter Potentiale geringere Reaktionen hinsichtlich der Mismatch-Negativity (MMN) bei Kindern mit Lernschwierigkeiten insbesondere bei kürzeren Formantübergängen. Diese EEG-Daten werden zusätzlich von McAnally und Stein (1997) gestützt. Bradlow und Kollegen interpretieren ihre Daten dahingehend, daß die synthetische Verlängerung des Formantüberganges zwar auf präattentiver, neuronaler Ebene positive Auswirkungen zeigen könnte. Diese positiven Auswirkungen seien aber vermutlich zu gering, als daß sie auf behavioraler Ebene Niederschlag finden könnten.

Kato, Tsuzaki und Sagisaka (2002) evaluierten unter anderem die Auswirkungen einer Dehnung der kontinuierlichen Anteile des Sprachsignals innerhalb natürlich gesprochener Wörter. Die erwachsenen Probanden sollten dazu einschätzen, wie akzeptabel sie ein modifiziertes Wort als Exemplar eines Prototyps einstufen. Ihre Ergebnisse zeigten einen parabolischen Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der zeitlichen Dehnung und der Akzeptanz des jeweiligen Wortes. Insbesondere reduzierte sich auch in dieser Studie die Akzeptanz eines Wortes mit verstärkter zeitlicher Dehnung. Darüber hinaus zeigte sich eine besonders hohe Anfälligkeit gegenüber zeitlichen Manipulationen für Vokale im Vergleich zu beispielsweise Nasalen oder Frikativen.

In direkter Anlehnung an die Trainingsstudien von Tallal, Merzenich und Kollegen untersuchten Uchanski, Geers und Protopapas (2002) die Auswirkungen akustischer Modifikationen bei Kindern mit einem durch Hörgeräte korrigierten, starken Hörverlust. Die Autoren testeten dabei sowohl die Diskriminierbarkeit von Sprachlauten anhand von Konsonant-Vokal-Silben als auch sich ergebende Sprachverständnis-

leistungen anhand der Identifikation von einzelnen Wörtern und Wörtern in Sätzen. Die natürlichen sprachlichen Stimuli wurden mit Hilfe der Algorithmen von Nagarajan, Wang et al. (1998, siehe auch im Teil Methoden) um 50 % gedehnt, Hüllkurven-betont oder sowohl gedehnt als auch zusätzlich Hüllkurven-betont. Für eine Vergleichsgruppe von Kindern ohne Hörverlust wurden die Stimuli mit einem zusätzlichen Hintergrundrauschen versehen. Die Daten zeigen, daß keine der Sprachmodifikationen die Lautdiskrimination oder die Wiedererkennung von Wörtern unterstützte. Während in den meisten Bedingungen die alleinige zeitliche Dehnung der Stimuli die Sprachqualität nicht beeinträchtigte, reduzierte die Modifikation der Hüllkurve im Mittel die Sprachlautdiskrimination als auch das Sprachverständnis signifikant. Die akustischen Modifikationen beeinflussten darüber hinaus beide Gruppen mit und ohne Hörverlust in vergleichbarer Weise.

Eine erste Studie, in der dyslektische Jugendliche mehrfach akustisch modifizierte Konsonant-Vokal-Konsonant-Stimuli identifizieren sollten, wird von McAnally, Hansen, Cornelissen und Stein (1997) beschrieben. Die Modifikationen erstreckten sich dabei sowohl auf eine Dehnung beziehungsweise Kompression in der Zeit als auch in der Frequenzdimension. Informelle Tests zeigten gemäß den Autoren, daß die Modifikation der Frequenzdimension einer besonders klaren respektive undeutlichen Aussprache gleichkam. Entgegen den Erwartungen der Autoren ergaben sich auch in dieser Studie keine Verbesserungen der Identifikation der Stimuli. Zwar erhöhte sich die Unterscheidbarkeit einzelner phonetischer Merkmale zumindest teilweise, diese Verbesserungen ließen jedoch keinen systematischen Einfluß über alle Versuchspersonen hinweg erkennen und/oder wurden durch gleichzeitige Verschlechterung der Wahrnehmung anderer phonetischer Merkmale begleitet. Diese Forschungsbefunde von McAnally und Kollegen sollten jedoch aus zweierlei Hinsicht nur unter Vorbehalt verallgemeinert werden. Erstens wurden auch in dieser Studie ausschließlich synthetische Stimuli verwendet. Diese wurden darüber hinaus mit einer verhältnismäßig niedrigen Abtastrate von 10 kHz synthetisiert. Dies entspricht einer Nyquist-Frequenz von 5 kHz, so daß davon auszugehen ist, daß die allgemeine Qualität der Stimuli insgesamt reduziert war. Zweitens umfaßte die Stichprobe nur 15 dyslektische Jugendliche im Alter von ca. 15 Jahren. Tallal, Miller et al.

(1996) vermuten dagegen, daß bei jüngeren Kindern stärkere positive Effekte zu erwarten seien.

Dyslektische Personen zeigen zumindest teilweise eine von Personen ohne Lesedefizite abweichende kategoriale Klassifikation von CV-Kontinua. Beispielsweise unterscheiden sich innerhalb der synthetisch generierten Kontinua /ba/ - /da/, in dem die Dauer des Formantüberganges variiert wird, oder /sa/ - /sta/, bei dem die Stimmeinsatzzeit verändert wird, die Kategorisierungsschwellen von denen unauffälliger Personen (Steffens, 1992; Sussman, 1993). Zumindest eine größere Untergruppe von Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung könnte daher hinsichtlich der Wahrnehmung und Verarbeitung von Formantübergängen von Kindern ohne Lese-Rechtschreibstörung abweichen. Die oben angeführten Studien deuten jedoch darauf hin, daß eine Sprachmodifikation, die auf diesen beiden Komponenten, Stimmeinsatzzeiten und Dauer von Formantübergängen, aufbaut, nicht notwendigerweise zu einer Verbesserung der Lautdiskrimination und damit des Sprachverständnisses führt. Unterschiedliche Gründe können hierfür verantwortlich gemacht werden.

In erster Linie bleibt offen, welche Faktoren in welchem Maß zur Sprachlautdiskrimination beziehungsweise zu dem daraus resultierenden Sprachverständnis beitragen. Ein Großteil der bisherigen Studien stützt sich auf synthetisch erzeugte Stimuli. Übliche Syntheseverfahren der Stimuli schließen jedoch zumeist nur die Reproduktion weniger Faktoren, insbesondere der beiden oben genannten Faktoren Stimmeinsatzzeit und Formantübergänge, ein. Dementsprechend wird die Bedeutung dieser beiden Faktoren relativ zu Komponenten, die in natürlichen, nicht aber in derartig synthetisierten Stimuli vorhanden sind, in solchen Studien übergewichtet. Lisker (1978) nennt beispielsweise neben den in diesem Zusammenhang vorwiegend betrachteten Parametern der Stimmeinsatzzeit und den Formantverläufen 14 weitere akustische Merkmale der englischen Sprache, die die Wörter „rapid“ (dt. schnell, rasch) und „rabid“ (dt. wütend, tollwütig) voneinander unterscheiden. Beispielsweise werden mehrere Variablen zur Lage des ersten Formanten oder der relativen Amplituden einzelner Teile der Sprachsignale aufgeführt. Potentiell könnte dabei jedes dieser Merkmale zur korrekten Unterscheidung und Identifizierung dieser Wörter beitragen. Mehrere dieser Merkmale können dazu dienen,

Sprachinformationen redundant zu übertragen und dadurch auch unter erschwerten Umweltbedingungen die Verständigung zu erleichtern (Lieberman, 1985). Das Ausmaß des relativen Beitrags der einzelnen Merkmale zur Lautidentifikation könnte nach Lacerda und Lindblom (1998) auch auf Lernvorgängen basieren. Zur Unterstützung zitieren die Autoren unter anderem die Studie von Kluender, Diehl und Killeen (1987). Kluender und Mitarbeiter trainierten japanische Wachteln unter anderem darauf, /dis/, /dus/, /daes/ und /das/ von /bis/, /bus/, /baes/ und /bas/ sowie von /gis/, /gus/, /gaes/ und /gas/ zu unterscheiden. Nachdem die Wachteln gelernt hatten, die konkurrierenden Phoneme /d/, /b/ und /g/ in unterschiedlichen Phonemkontexten zu unterscheiden, konnten die Vögel diese Phoneme auch in neuen, bislang unbekanntem Phonemkontexten diskriminieren. Dies ist um so bemerkenswerter, als daß diese Aufgabe nicht nur durch die einfache Wahrnehmung und Unterscheidung eines einzelnen Merkmals, beispielsweise der Formantübergänge, zu lösen ist. Aus diesen beiden Überlegungen kann man ableiten, daß dyslektische Kinder und/oder Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen, die eine vom Unauffälligen abweichende Wahrnehmung auditiver Reize besitzen, lernen könnten, andere der redundant vorhandenen Informationen für die Spracherkennung heranzuziehen. Dies bedeutet, daß selbst eine an sich „erfolgreiche“ Hervorhebung der für Personen ohne deviante Sprachleistungen wichtigen Merkmale nicht zu einer Verbesserung der Sprachlautdiskrimination beziehungsweise des Sprachverständnisses bei Personen mit Sprach- und/oder schriftsprachlichen Störungen führen muß.

Lieberman, Harris, Hoffman und Griffith zeigten bereits 1957, daß die Diskrimination von Stimuli innerhalb gleicher Phonemgrenzen schlechter gelingt als zwischen unterschiedlichen Phonemgrenzen. Daher kann im Einzelfall beispielsweise eine zeitliche Dehnung oder Kompression des Sprachsignals je nach Ausmaß der Modifikation entweder nur eine sehr geringe Auswirkung zeigen oder aber - bei Überschreitung von Phonemgrenzen - gehäuft zu einer völlig anderen Wahrnehmung des Sprachsignals führen. Ein entsprechendes Beispiel für letzteren Fall findet sich in der bereits beschriebenen Studie von Lacerda (2001) und in Lacerda und Lindblom (1998), in der /ba/ gehäuft mit /wa/ verwechselt wurde. Es sei jedoch auch angemerkt, daß Lisker (1978) einen Fall beschreibt, in dem die Klassifikation eines

Phonems beibehalten wurde, obwohl die Phonemgrenze des betrachteten Phonems überschritten wurde.

Eine Prognose der Auswirkungen akustischer Modifikationen auf die Sprachlautdiskrimination wird durch Effekte der Koartikulation weiterhin erschwert (Locke, 1980a, b; Studdert-Kennedy, Liberman et al., 1994). Darunter ist zu verstehen, daß Sprachsignale nicht als Sequenz diskreter akustischer, sprachinformationstragender Komponenten anzusehen sind, sondern daß sich diese einzelnen Komponenten in weiten Anteilen gegenseitig überlappen. Daher könnte es sein, daß die Wahrnehmung von Sprachlauten weniger erfordert, die Reihenfolge einzelner, rasch aufeinanderfolgender Ereignisse zu verarbeiten, sondern eher eine Sensitivität, aus den aufgrund von Effekten der Koartikulation mehr oder minder gleichzeitig übertragenen Informationen über Vokale, Konsonanten und deren Abfolgen entsprechende Hinweise abzuleiten. Dazu dürften neben „bottom-up“- auch „top-down“-Prozesse wichtige Beiträge liefern.

Zusammenfassung. Insgesamt läßt sich aus den dargelegten Studien ableiten, daß zumindest einige Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung Defizite im Bereich der Verarbeitung auditiv-zeitlicher Signalmerkmale zeigen. Diese Defizite können insbesondere darin bestehen, bei Aufgaben schwächere Leistungen zu erbringen, in denen einzelne Stimuli von einander getrennt wahrgenommen und verarbeitet werden sollen. Für diese auditiv-zeitlichen Defizite werden zudem bereits unterschiedliche mögliche neuroanatomische Korrelate diskutiert.

Auf diesen Ergebnissen aufbauend wurden spezifische Trainingsprogramme entwickelt. Zumindest manche Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung beziehungsweise Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen profitieren möglicherweise von solchen Trainingsprogrammen stärker, wenn die Aufgaben dieser Trainingsprogramme in spezifisch akustisch modifizierter Sprache präsentiert werden.

Unklar bleibt bislang, welche Ursachen diesem möglichen zusätzlichen Trainingsnutzen zugrunde liegen. Die Grundannahme war, daß die eingesetzten akustischen Modifikationen Lautunterscheidungsleistungen und damit das Sprachverständnis betroffener Kinder verbessern sollen. Einige der bisher zum Teil an anderen als den genannten Personengruppen überprüften Befunde deuten jedoch an, daß die vor-

geschlagenen akustischen Modifikationen im Gegensatz zu dieser Grundannahme zu einer Reduktion der Lautdiskriminierbarkeit führen. Da ein solches Training mit akustisch modifizierter Sprache wahrscheinlich eine differentiell unterschiedliche Wirksamkeit aufweist, sollten zudem Variablen ermittelt werden, die einen prädiktiven Wert für die Prognose von Lautdiskriminationsleistungen und/oder von Effizienzsteigerungen besitzen.

Da die meisten Studien korrelative Zusammenhänge nachweisen, bleibt zusätzlich bislang offen, inwieweit auditiv-zeitliche Verarbeitungsdefizite die Ausbildung von Störungen des Schriftspracherwerbs kausal beeinflussen. Es wäre sowohl denkbar, daß Defizite, die sich bereits auf nonverbaler Ebene zeigen, die Sprachwahrnehmung negativ beeinflussen und damit entsprechend dem Modell von Farmer und Klein (1995) auch den Erwerb von Lese- und Rechtschreibfertigkeiten erschweren. Ebenso ist aber nicht auszuschließen, daß diese Defizite parallel zu Defiziten des Erwerbs schriftsprachbezogener Kompetenzen Ausdruck einer gemeinsamen Ursache sein könnten. Die Kausalität könnte sogar zumindest zum Teil umgekehrt werden: Die korrekte Wahrnehmung nonverbaler ebenso wie verbaler Stimuli kann durch Lernvorgänge beeinflußt werden. Daher wäre es denkbar, daß ein unzureichender Erwerb von Fertigkeiten, Sprachlaute präzise wahrzunehmen, auch eine defizitäre Wahrnehmung auf nonverbaler Ebene nach sich ziehen könnte.

Fragestellungen und Hypothesen

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es daher zu überprüfen, ob die Sprachmodifikationen der in der bisherigen Forschungsliteratur beschriebenen Art zu einer Verbesserung der Diskriminierbarkeit komplexer natürlicher (im Gegensatz zu synthetischen) Sprachstimuli führen. Da zu vermuten ist, daß die geplanten Sprachmodifikationen nur für die Personen wirksam sein könnten, die ein Mindestmaß bestimmter auditiv-zeitlicher Defizite aufweisen, werden Kinder sowohl mit als auch ohne Lese-Rechtschreibstörung untersucht. Darüber hinaus werden Zusammenhänge der jeweils sich ergebenden Diskriminationsfähigkeiten und den auditiven Gap Detection-Schwellen der jeweiligen Personen bestimmt.

Sollten diese Sprachmodifikationen entgegen der ursprünglichen aus den genannten Trainingsstudien abgeleiteten Annahmen die Diskriminierbarkeit reduzieren, könnte dies auf die Bedeutung sekundärer, insbesondere aufmerksamkeitsbezogener oder motivationaler Effekte der Sprachmodifikationen während eines entsprechenden Trainings hindeuten.

Konkret werden die folgenden akustischen Modifikationen betrachtet. Dazu ist jeweils die modifizierte Dimension und die Zielrichtung genannt, die zu einer hypothetischen Verbesserung der Sprachlautdiskrimination führen sollte.

- Synthetische Verlangsamung des Sprachflusses (**MS**, Modifikation des Sprachflusses auf 2/3 der Normalgeschwindigkeit).
- Verstärkung mittelhoher Frequenzen. Verstärkung um 20 dB im Bereich 1 - 4 kHz (**MMF**, Modifikation **m**ittelhoher **F**requenzen).
- Klangmodifikation durch Verstärkung mittelhoher Frequenzen gemäß MMF sowie Betonung sich rasch verändernder Anteil im Bereich 3 - 30 Hz der Hüllkurve (**MMH**, Modifikation **m**ittelhoher Frequenzen und der **H**üllkurve)

- Vollständige Klangmodifikation, diese entspricht der Kombination der Verlangsamung MS und der Klangmodifikation gemäß MMH
(MV, Modifikation gemäß vollständigem Algorithmus)

Eine genauere Darstellung dieser Modifikationsarten erfolgt im Abschnitt Methoden. Lautdiskriminationsleistungen bei diesen Sprachmodifikationsarten werden jeweils mit den Leistungen bei unmodifizierter (UM), natürlicher Sprache verglichen. Ein besonderer Schwerpunkt soll dabei auf die vollständige Modifikation (MV) gelegt werden, da diese der in Merzenich, Jenkins et al. (1996) beziehungsweise Nagarajan, Wang et al. (1998) und Tallal, Miller et al. (1996) angewandten beziehungsweise beschriebenen akustischen Modifikationen entspricht.

Im einzelnen werden in dieser Untersuchung folgende Annahmen überprüft:

Gemäß den Entwicklern des Trainings mit akustisch modifizierter Sprache sollte die vollständige Modifikation MV zu einer Verbesserung der Lautdiskrimination führen. Daher sollte die Anwendung der vollständigen Modifikation (MV) die Diskriminierbarkeit von Pseudowörtern oder eingebetteten Einzelphonemen im Vergleich zu natürlicher Sprache sowohl bei unauffälligen Kindern als auch bei Kindern mit Lese-Rechtschreibstörungen insgesamt verbessern.

Es könnte argumentiert werden, daß eine technische Kombination der verschiedenen Teilmodifikationen zur vollständigen Modifikation MV die resultierende Klangqualität der Sprachsignale in bedeutsamen Ausmaß aufgrund technischer Unzulänglichkeiten der Umsetzung reduziert. Dann sollten theoriegemäß dennoch Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung, für die ein Defizit der auditiv-zeitlichen Verarbeitung vermutet wird, von den akustischen Modifikationen trotz allgemein reduzierter Leistungen zumindest relativ zu Kindern ohne schriftsprachliche Defizite bezüglich Lautdiskriminationsleistungen profitieren. Demgemäß wird eine Wechselwirkung zwischen der Lautdiskriminationsleistungen bei unveränderter (UM) versus gemäß MV akustisch modifizierter Sprache und der Versuchspersonengruppe (Kinder mit beziehungsweise ohne Lese-Rechtschreibstörung) erwartet.

Für die einzeln angewendeten Komponenten sollte technischen Artefakten eine geringere Bedeutung zukommen. Daher sollten die Einzelkomponenten MS und MMH jeweils die Lautdiskrimination unterstützen, selbst wenn aus technischen Gründen die vollständige Modifikation zu einer Verschlechterung der Lautdiskriminationsleistungen führen sollte.

Um zu überprüfen, inwieweit innerhalb der Gruppe der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung tatsächlich auditiv-zeitliche Verarbeitungsdefizite vorliegen, werden auditive Gap Detection-Schwellen bestimmt. Diese sollten zumindest im Mittel gegenüber der Gruppe der Kinder ohne Lese-Rechtschreibstörung signifikant erhöht sein. Ebenso sollten Kinder mit schriftsprachlichen Defiziten in sprachlichen Leistungen, vor allem im Bereich der phonologischen Bewußtheit, Defizite aufweisen. Theoriegemäß werden zusätzlich Korrelationen der Gap Detection-Schwelle mit Leistungen im Bereich sprachlicher sowie schriftsprachlicher Leistungen erwartet. Insbesondere sollten sich korrelative Zusammenhänge der individuellen auditiven Gap Detection-Schwelle und der Diskriminierbarkeit unmodifizierter Pseudowörter oder eingebetteter Einzelphoneme ergeben.

Das Ausmaß der Steigerung der Diskriminationsfähigkeit durch einzelne Sprachmodifikationskomponenten (MMS, MMH beziehungsweise MV) sollte mit größeren auditiv-zeitlichen Defiziten und somit mit höheren Gap Detection-Schwellen ansteigen.

Da davon auszugehen ist, daß die Lese-Rechtschreibstörung ein heterogenes Störungsbild darstellt, werden auch Individualdaten hinsichtlich Hinweisen auf Personengruppen untersucht, die von der Gesamtgruppe abweichende Tendenzen zeigen.

Ebenso ist bekannt, daß Lese-Rechtschreibstörungen mit einer Vielzahl weiterer Auffälligkeiten einhergehen können. Daher wird durch Vergleich der Lösungsquoten über den Verlauf der Testung der Lautunterscheidungsleistungen hinweg analysiert, inwieweit Ermüdungs- oder Gedächtniseffekte einen verzerrenden Einfluß auf die Testbewertungen nehmen.

Methoden

Das experimentelle Design sah die Teilnahme von insgesamt 72 Kindern in je einer Experimentalgruppe und einer Kontrollgruppe vor. Dabei wurden je nach präsentierten Sprachmodifikationen drei Bedingungen unterschieden.

Im folgenden sollen die Stichproben und deren Zuordnung zu den einzelnen Gruppen und Bedingungen, der Ablauf der Untersuchung sowie die erfaßten Variablen und die Konstruktion der zugehörigen Testmaterialien dargestellt werden.

Beschreibung der Stichproben und Gruppenzuweisung

In Kooperation mit einer weiteren Studie (Blender, 2004) wurden insgesamt 120 Kinder aus dem Raum Reutlingen, Tübingen und Stuttgart untersucht. Von diesen erfüllten 72 die weiter unten beschriebenen Kriterien.

Die Rekrutierung der Versuchspersonen erfolgte sowohl über Hinweise in der örtlichen Presse als auch über Anschreiben, die über direkt kontaktierte Schulen an Eltern der betreffenden Klassen verteilt wurden. Für letzteren Weg wurde das ausdrückliche Einverständnis und die Unterstützung der zuständigen Behörden, Schulleiter und Lehrer eingeholt. Als Vergütung für die Teilnahme erhielten die Eltern, sofern gewünscht, einen Kurzbefund über den Entwicklungsstand ihres Kindes, der in Zusammenarbeit mit der Autorin der oben genannten Studie erstellt wurde. Die Kinder erhielten für ihre Teilnahme eine Urkunde.

Folgende Ein- beziehungsweise Ausschlußkriterien wurden bei der Aufnahme der Kinder in die Untersuchungsgruppen angelegt:

Die Schüler mußten die 3. oder 4. Klasse der Regelschule besuchen und sich im Alter von 8;7 - 11;0 Jahren befinden. Alle Kinder sprachen als Muttersprache deutsch. Die Kinder mußten ein normales Hör- und Sehvermögen aufweisen, wobei das Sehvermögen gegebenenfalls durch eine Brille geeignet korrigiert sein durfte. Kinder, deren Intelli-

genz unterhalb einer Standardabweichung unter dem Altersüblichen lag, das heißt, die einen IQ von unter 85 gemäß der weiter unten beschriebenen Operationalisierung erreichten, oder Kinder, bei denen die Eltern von bekannten Diagnosen schwerwiegender neurologischer oder psychiatrischer Art berichteten, wurden ausgeschlossen. Insbesondere wurden auch Kinder nicht in die Studie aufgenommen, die im Zeitraum der Untersuchung Psychopharmaka, insbesondere Methylphenidat, verabreicht bekamen.

Die Einteilung der Kinder in Experimental- und Kontrollgruppe erfolgte aufgrund der Ergebnisse der Intelligenz- sowie Lese-Rechtschreibtestungen.

In Anlehnung an ICD-10 (Dilling, Monbaur et al. 1993), Kategorien F81.0 und F81.1, wurde dazu eine Konzeption der Lese-Rechtschreibstörung zugrunde gelegt, die eine Spezifität der Störung in Relation zur allgemeinen kognitiven Entwicklung voraussetzt.

Im einzelnen wurden Versuchsteilnehmer anhand folgender Grenzwerte eingeteilt:

Eine Zuordnung zur Experimentalgruppe, das heißt zur Gruppe der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung (LRS), erfolgte, wenn mindestens einer der beiden an der jeweiligen Klassenstufe normierten Prozentränge des Lesens oder Rechtschreibens unter Prozentrang (PR) 10 lag. Gleichzeitig mußte eine Diskrepanz von mindestens 1.5 z-Werten zwischen dem IQ-Wert und diesem Prozentrang des Lesens oder Rechtschreibens bestehen. Im Gegensatz dazu wurde die Kontrollgruppe (KG) als Kontrastgruppe in dem Sinne konzipiert, daß nur Kinder, die sowohl im Lesen als auch im Rechtschreiben als unauffällig gelten konnten, dieser Gruppe zugeordnet wurden. Im einzelnen wurde zur Operationalisierung verlangt, daß das jeweilige Kind weder im Lesen noch im Rechtschreiben einen Prozentrang von 16 unterschritt.

Wie aus Tab. 2 zu entnehmen ist, konnten die beiden Gruppen insgesamt weitgehend nach Alter, Geschlecht, Klassenstufe und Besuchsdauer auf einander abgestimmt werden.

Tab. 2.
Deskriptive Daten zu den untersuchten Versuchspersonengruppen

	Klasse	3			4			gesamt
		Geschlecht	m	w	gesamt	m	w	
Kon- troll- gruppe (KG)	Anzahl	11	10	21	12	3	15	36
	Alter (Jahre)	9;2	9;1	9;2	10;2	10;1	10;2	9;7
	Beschu- lungsdauer (Monate) ^a	23	23	23	33	31	32	27
Expe- rimental- gruppe (LRS)	Anzahl	11	10	21	13	2	15	36
	Alter (Jahre)	9;4	9;4	9;4	10;1	9;7	10;0	9;8
	Beschu- lungsdauer (Monate) ^a	24	26	25	32	30	31	28
gesamt	Anzahl	22	20	42	25	5	30	72
	Alter (Jahre)	9;3	9;3	9;3	10;2	9;10	10;1	9;7
	Beschu- lungsdauer (Monate) ^a	24	25	24	32	31	32	27

^a Die Beschulungsdauer wurde mit 9 Monaten pro Schuljahr angesetzt.

Untersuchungsinstrumente

Intelligenzniveau

Die Einschätzung des allgemeinen Intelligenzniveaus erfolgte unter der Vorgabe, daß Lese-Rechtschreibleistungen die Testleistungen in einem möglichst nur geringfügigen Ausmaß beeinflussen sollten, um eine möglichst hohe Testfairness über beide Gruppen hinweg zu gewährleisten. Andererseits wurde gleichzeitig eine möglichst umfassende Konzeption des Intelligenzbegriffes angestrebt. Insbesondere sollten neben nonverbalen Leistungen ebenso verbale Leistungen miterfaßt werden, da diese bei Lese-Rechtschreibstörungen nicht notwendigerweise defizitär entwickelt sein müssen. Weiterhin sollten die Anforderungen an Konzentration und Aufmerksamkeit im altersüblichen Bereich liegen.

Aufgrund dieser Randbedingungen wurde als Maß der allgemeinen Intelligenz der Mittelwert der Leistung in der sprachfreien Kurzfassung

des CFT-20 (Weiß, 1987) und der auf IQ-Werte umgerechneten Leistung im Wortschatztest des HAWIK-III (Tewes, Rossmann und Schallberger, 2000) verwendet.

Lese-Rechtschreibleistungen

Zur Einstufung des Niveaus der Lese-Rechtschreibleistungen wurde der Salzburger Lese- und Rechtschreibtest (SLRT, Landerl, Wimmer et al., 1997) eingesetzt.

Dieser Test erfaßt mittels mehrerer Untertests Leistungen im Lesen häufiger Wörter, zusammengesetzter Wörter sowie wortähnlicher beziehungsweise wortunähnlicher Pseudowörter. Zur Beurteilung der Leseleistungen wurden nur die Lesegeschwindigkeiten für die weitere Auswertung herangezogen, da diese die reliabelsten Leistungsmaße darstellen (Landerl, Wimmer et al., 1997). Dieser Test erfaßt Leistungen der Rechtschreibung durch ein Wortdiktat. Ausgewertet werden orthographische (O-Fehler), nichtlauttreue (N-Fehler) sowie Groß-/Kleinschreibungsfehler (G-Fehler). Da die Ergebnisse dieser Subtests jeweils nur in Prozenträngen oder Prozentrangbändern für die einzelnen Lesekategorien sowie für die Kategorie der O-Fehler mitgeteilt werden, wurden sofern benötigt Gesamtskalenwerte wie folgt berechnet:

Durch lineare Interpolation der im Testhandbuch tabellierten Normdaten wurden Zwischenwerte der Prozentrangäquivalente für nicht tabellierte Rohwerte der einzelnen Skalen geschätzt (siehe Anhang). Alle derart durch Interpolation geschätzten individuellen Prozentränge der einzelnen Leistungsskalen im Bereich des Lesens wurden in quasinormalverteilte T-Werte transformiert und anschließend gleichgewichtet arithmetisch gemittelt. Entsprechend den Testanweisungen wurde für die Rechtschreibleistung als bestem Schätzer ausschließlich die Anzahl der O-Fehler gewertet, jedoch ebenfalls in quasinormalverteilte T-Werte transformiert.

Um eine Einschätzung des mittleren Leistungsniveaus eines Kindes im Bereich des Lesens und Rechtschreibens zu erhalten, wurden dann die so gewonnenen T-Werte des Lesens und Rechtschreibens ebenfalls gleichgewichtet gemittelt.

Sprachliches Leistungsniveau

Phonologische Bewußtheit. Leistungen im Bereich der phonologischen Bewußtheit wurden durch den in Marx und Schneider (2000) beschriebenen Test überprüft. Dieser Test beinhaltet insgesamt fünf verbale Subtests, die sowohl den analytischen als auch den synthetischen Umgang mit gesprochener Sprache erfassen. In jedem Subtest wird pro korrekt beantwortetem Item ein Punkt gewertet.

Im einzelnen handelt es sich dabei um die Aufgaben:

1. Laute zerlegen
Ein vom Testleiter vorgesprochenes Wort soll vom Versuchsteilnehmer in seine einzelnen Laute zerlegt werden. Für jeden Laut, den das Wort enthält, soll das Kind 1 Chip auf den Tisch legen und den Laut aussprechen.
Beispiel: HUT → H – U – T
2. Laute ersetzen
Innerhalb eines vorgesprochenen Wortes soll ein Laut ersetzt und das entstehende Wort ausgesprochen werden.
Beispiel: SAND → SIND
3. Laute entfernen
Der erste Laut eines vorgesprochenen Wortes soll weggelassen werden und das entstehende Wort ausgesprochen werden.
Beispiel: MANN → ANN
4. Laute vertauschen
Innerhalb eines vorgesprochenen Wortes sollen die beiden ersten Laute vertauscht werden und das entstehende Wort ausgesprochen werden.
Beispiel: RADIO → ARDIO
5. Laute unterscheiden
Im letzten Untertest werden vom Versuchsleiter vier Wörter vorgesprochen. Aufgabe der zu testenden Person ist es, das Wort oder dessen Nummer zu nennen, das - je nach Item - am Anfang oder am Ende einen von den restlichen Wörtern abweichenden Laut aufweist.
Beispiel: KOPF – TURM – TIEF – TRICK → KOPF

Mottier-Test. Bei diesem Test (Mottier, 1951; Seibert, Dierks, Strehlow, Haffner et al., 2001) sollen die Versuchsteilnehmer vom Versuchsleiter vorgeschene Pseudowörter nachsprechen. Die im Test verwendeten Pseudowörter sind durch Aneinanderreihen von Konsonant-Vokal-Silben gebildet.

Pro vollständig korrekt reproduziertem Wort wird ein Punkt gewertet, so daß maximal 30 Punkte zu erzielen sind. Insgesamt werden mit diesem Test Leistungen im Bereich der Sprachlautwahrnehmung, -speicherung und -reproduktion erfaßt.

Leistungen der nonverbalen auditiv-zeitlichen Verarbeitung, Gap Detection-Schwelle

Allgemeines. Als Verfahren zur Bestimmung der Leistungen im Bereich der nonverbalen auditiv-zeitlichen Verarbeitung wurde eine Gap Detection-Aufgabe in Anlehnung an Schulte-Körne, Deimel et al. (1998) entwickelt. Prinzipiell wurden den Versuchsteilnehmern dazu Stimuli mit Rauschsignalen über Kopfhörer präsentiert, woraufhin die Versuchsteilnehmer durch Tastendruck auf einer von zwei Tasten angeben sollten, ob der jeweilige Stimulus ein Gap enthielt oder nicht. Mehrere Zielsetzungen wurden bei der Konzeption dieses Verfahrens umgesetzt, die im folgenden näher erläutert werden sollen.

Erstens sollte das durch die Stimuli verursachte Anregungsmuster der Basilarmembranen weitgehend unabhängig vom jeweiligen Stimulus sein, da ansonsten nicht ausgeschlossen werden könnte, daß grundsätzlich unterschiedliche Perzepte eine Entscheidungsfindung auf höherer kognitiver Stufe ermöglichen würden. Dies würde die Validität des Meßverfahrens als Verfahren zur Erfassung zeitlich-auditiver Leistungsfähigkeit gefährden. Beispielsweise sollte vermieden werden, daß verschiedene Stimuli grundsätzlich verschiedene Bereiche entlang der Basilarmembran anregen. Aus diesen Gründen wurden die Stimuli aus einem weißen Rauschen hergestellt. In dieses Ausgangssignal wurden jeweils zeitlich zentriert Gaps, das heißt Pausen, mit einer Dauer von .5 - 200 ms eingefügt, so daß die Frequenzspektren „vor“ und „nach“ dem Gap dem Frequenzspektrum des Gesamtsignals ähnelten. Außerdem betrug auf diese Weise die Gesamtdauer der resultierenden Stimuli stets konstant 400 ms. Dadurch wurde ebenfalls sichergestellt, daß die von den Versuchspersonen zu treffenden Ent-

scheidungen nicht aufgrund einer Entscheidung bezüglich der Gesamtdauer des Signals sondern bezüglich des zeitlichen Signalverlaufs zustande kommen mußten.

Zweitens sollte der Einfluß differentieller Unterschiede zwischen den Versuchsteilnehmern beispielsweise durch differierende Antworttendenzen minimiert werden. So wurde ein adaptiver Algorithmus implementiert, der die Gesamtdauer der Messung minimiert. Darüber hinaus wurden in 30 % der präsentierten Stimuli zufallsgesteuert Stimuli ohne Gap präsentiert, wodurch die Versuchsteilnehmer angehalten wurden, beide Antwortmöglichkeiten zu verwenden.

Das Verfahren wurde als Teil eines speziell entwickelten Softwaresystems auf einem Pentium III-Laptop-Computer zusammen mit dem weiter unten beschriebenen Lautdiskriminationstest realisiert. Alle Stimuli wurden mit einer Abtastrate von 22.5 kHz und 16 Bit Auflösung digital hergestellt und verarbeitet. Die Präsentation erfolgte in normaler Hörlautstärke bei ca. 65 dB über Kopfhörer. Die Testung der Versuchsteilnehmer erfolgte unter Aufsicht des Autors als Versuchsleiter.

Alle Instruktionen wurden sowohl schriftlich auf dem Bildschirm als auch akustisch über Kopfhörer präsentiert und nach Bedarf wiederholt und erklärt, um das Instruktionsverständnis auch bei Kindern mit schwachen Lese-Rechtschreibleistungen sicherzustellen. Als Erinnerungshilfe wurden die Antworttasten mit einem Kreuz- beziehungsweise einem Häkchen-Symbol versehen, um Verwechslungen der Antworttasten während der Durchführung zu vermeiden.

Details zum Ablauf. Als Einführungsaufgabe wurde abwechselnd entweder ein Ton mit einer Frequenz im Bereich .4 - 3.2 kHz oder kein Ton präsentiert. Die Versuchsperson sollte daraufhin jeweils durch Tastendruck angeben, ob ein Ton vorgespielt wurde oder nicht. Innerhalb der acht Durchgänge durfte insgesamt maximal eine falsche Antwort gegeben werden, ansonsten wurde diese Einführungsaufgabe wiederholt. Anschließend wurde die Gap Detection-Aufgabe instruiert und das Verständnis der Instruktionen anhand eines Stimulus mit einem 200 ms langen Gap sowie einem Stimulus ohne Gap überprüft. Antwortete der Proband bei dieser zweiten Einführungsaufgabe falsch, wurde sie wiederholt, anderenfalls begann die eigentliche Bestim-

mung der Gap Detection-Schwelle gemäß dem im folgenden beschriebenen Verfahren.

Der entwickelte Algorithmus reduzierte adaptiv die Dauer der in den Stimuli enthaltenen Gaps und ermittelte dadurch entsprechende Wendepunkte, an denen der Proband das Gap in dem Stimulus nicht mehr beziehungsweise wieder erkannte. Zusätzlich wurden Distraktoren ohne Gap als Kontrollstimuli zufallsgesteuert eingestreut. Im einzelnen stellte sich der Ablauf wie in Abb. 2 auf der folgenden Seite abgebildet dar.

Das adaptive Verfahren begann stets mit einem Stimulus mit einem Gap von 80 ms Dauer. Nach jeweils zwei aufeinanderfolgenden korrekt erkannten Stimuli mit Gap wurde die Dauer des Gaps innerhalb der Stimuli um eine Stufe gemäß den Schrittweiten aus Tab. 3 verringert. Wurde ein Gap nicht erkannt, verlängerte sich die Dauer des Gaps sofort um eine Stufe.

Tab. 3.
Schrittweiten des adaptiven Verfahrens

Aktuelle Dauer t des Gaps (ms)	nächste Schrittweite (ms)
50 .. 80	10.0
<50 .. 20	5.0
<20 ^a	.5
1	0

^a gilt erst, wenn mindestens eine falsch negative Antwort abgegeben wurde, ansonsten bleibt die Schrittweite bei 5 ms

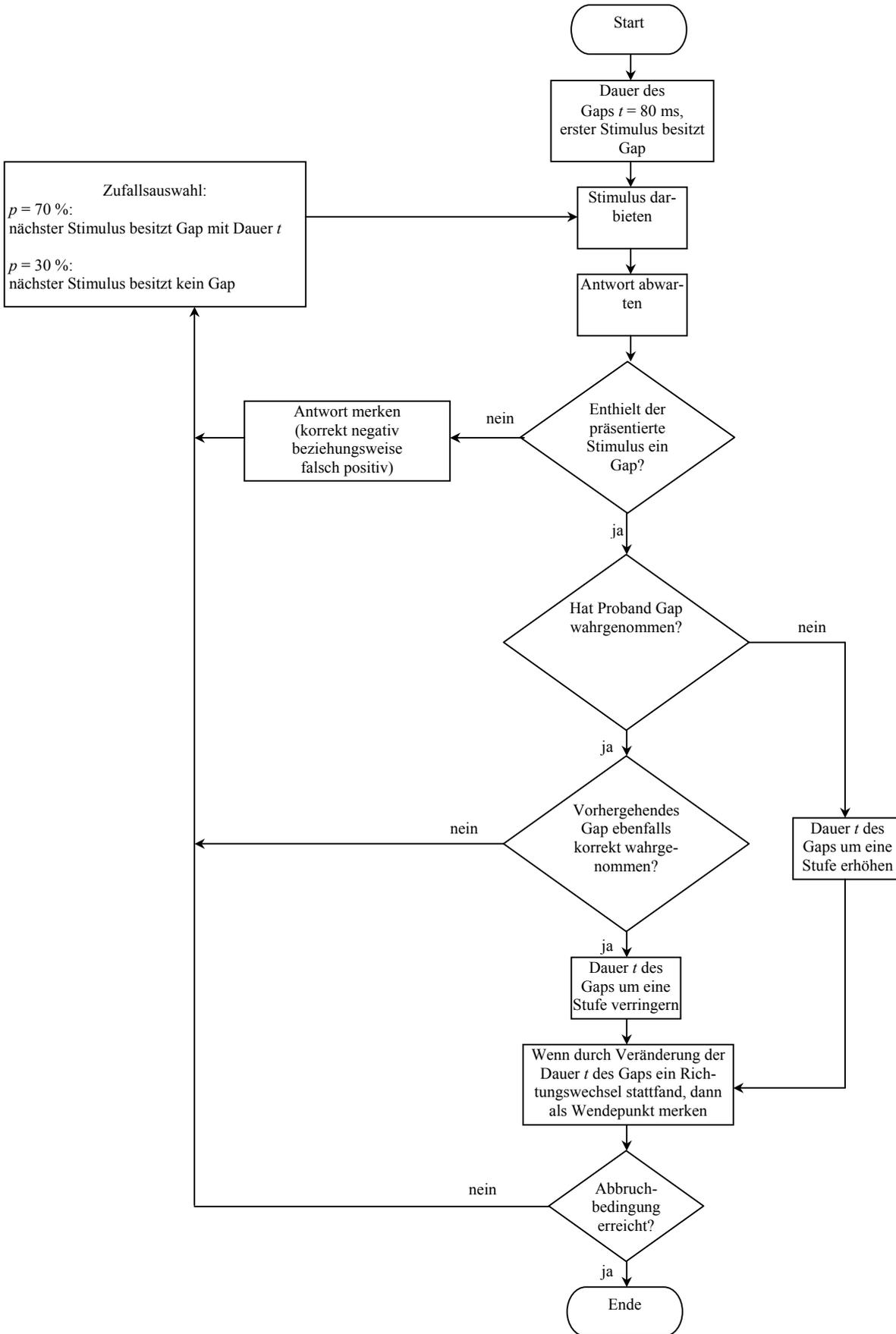


Abb. 2. Ablauf der Gap Detection-Messung

Dadurch strebt dieses Verfahren gegen die Schwelle für eine $50\sqrt{2}\%$ (= 70.1 %) Erkennungswahrscheinlichkeit. Unabhängig hiervon wurden mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 30 % Stimuli ohne Gap eingestreut. Die Antworten auf diese Stimuli beeinflussten nicht die Ablaufsteuerung des adaptiven Verfahrens.

Als Abbruchkriterium des Algorithmus wurden mindestens 80 Antworten und mindestens 10 Wendepunkte verlangt.

Der erzielte Gap Detection-Schwellenwert wurde wie folgt aus den Wendepunkten abgeleitet:

1. Falls ein Wendepunkt als Ausreißer zu werten war, wurden alle Wendepunkte bis zu diesem von der Auswertung ausgeschlossen. Als Ausreißer galt dabei ein Wendepunkt, wenn dessen Dauer des Gaps größer als der doppelte Zeitmittelwert aller Wendepunkte war.
2. Die Anzahl der verwendeten Wendepunkte sollte gerade sein. Anderenfalls wurde der erste der verbleibenden Wendepunkte nicht berücksichtigt.
3. Die derart auswertbaren Wendepunkte wurden arithmetisch gemittelt und ergaben den individuellen Gap Detection-Schwellenwert.

Falsch positive Antworten, das heißt Antworten, bei denen der Versuchsteilnehmer angab, ein Gap wahrgenommen zu haben, obwohl ein Stimulus ohne Gap präsentiert wurde, wurden separat ausgewertet.

Sprachlautdiskrimination bei akustisch modifizierter Sprache

Ausgangsmaterial. Als zentraler Teil der den Versuchsteilnehmern vorgelegten Testbatterie wurde ein Test zur Überprüfung der Sprachlautdiskriminationsleistungen unter Verwendung verschiedenartig modifizierter Sprache konstruiert.

Als Ausgangspunkt diente hierzu der Untertest „Lautdiskrimination“ des „Hörverstehenstests“ (Urban, 1986). Dieser Test zeichnet sich unter anderem dadurch aus, daß seine Normierungsdaten in der hier vorliegenden Altersgruppe der Versuchsteilnehmer weder Decken- noch Bodeneffekte erwarten ließen. Weiterhin sind alle Stimuli durch einen männlichen Sprecher gesprochen und demgemäß nicht synthetisiert.

Insgesamt setzt sich der Untertest „Lautdiskrimination“ aus insgesamt 15 Aufgaben in vier Aufgabenblöcken zusammen, die im folgenden näher erläutert werden. Eine Liste der Stimuli des Tests findet sich ebenfalls im Anhang.

1. Aufgabenblock

(Aufgaben 1 - 5). Innerhalb dieser ersten Aufgabengruppe wird ein Pseudowort als Vergleichswort vorgegeben. Der Versuchsteilnehmer entscheidet daraufhin bei den folgenden sieben Pseudowörtern nacheinander, ob das jeweilige Wort dem aktuellen Vergleichswort entspricht.

Beispiel:

Vergleichswort: *germ*

germ (ja) - glerm (nein) - germ (ja) - kerm (nein) - germ (ja) - term (nein) - derm (nein)

2. Aufgabenblock

(Aufgaben 6 - 9). Es werden jeweils 4 Pseudowörter vorgespielt, von denen drei Wörter den gleichen Anfangslaut besitzen. Die Versuchsperson soll dasjenige Wort mit dem abweichenden Anfangslaut angeben.

Beispiel:

oki - uft - ufe - urt

3. Aufgabenblock

(Aufgaben 10 - 12). Dieser Aufgabenblock ähnelt dem ersten, jedoch werden hier Phoneme sowie ein Pseudowort, in dem dieses Phonem in der Mitte auftritt, als Vergleichsstimuli vorgegeben. Anschließend werden fünf Pseudowörter präsentiert, bei denen die Versuchsperson jeweils angeben soll, ob das Vergleichsphonem in der Mitte des Wortes enthalten ist.

Beispiel:

Vergleichslaut: /b/ wie in labo

rebi (ja) - sapo (nein) - eba (ja) - lebi (ja) - ipa (nein)

4. Aufgabenblock

(Aufgaben 13 - 15). Der letzte Aufgabenblock entspricht weitgehend den Aufgaben 10 - 12, jedoch soll angegeben werden, ob das Vergleichsphonem am Ende des jeweils präsentierten Wortes auftritt.

Beispiel:

Vergleichslaut: /f/ wie in buf

pich (nein) - nif (ja) - sif (ja) - zif (ja) - rich (nein)

Vor Beginn wird eine Übungsaufgabe entsprechend zur ersten Aufgabe durchgeführt.

In der ursprünglichen Fassung des Tests wird jeweils nur dann eine Aufgabe mit einem Punkt bewertet, wenn alle zugehörigen Teilergebnisse korrekt beantwortet sind. Es können daher insgesamt bei dieser Bewertungsmethode maximal 15 Punkte erzielt werden.

Herstellung der sprachmodifizierten Testitems. Wie bereits im einleitenden Teil kurz dargestellt, setzt sich die in Merzenich, Jenkins et al. (1996) und Tallal, Miller et al. (1996) vorgeschlagene Sprachmanipulation aus zwei Stufen zusammen, einer synthetischen Dehnung sowie einem Betonungsalgorithmus. Dieser Betonungsalgorithmus läßt sich wiederum in eine Verstärkung mittelhoher Frequenzen sowie in eine Betonung der sich schnell ändernden Anteile der Hüllkurve des Ausgangssignals aufgliedern. Bei der Umsetzung dieser Klangmanipulationen wurde in der vorliegenden Untersuchung weitgehend versucht, Algorithmen einzusetzen, die eine qualitativ hochwertige Klangqualität gewährleisten, auch wenn diese von den originär vorgeschlagenen abweichen. Beispielsweise wurden Signalbearbeitungen im Frequenzraum stets am vollständig transformierten Spektrum anstelle mehrerer schrittweiser Bearbeitungen des über Fensterfunktionen berechneten Spektrogrammes durchgeführt, auch wenn dies zu deutlich größerem Aufwand an Rechenleistung führte. Ebenso erfolgte die digitale Abtastung der Ausgangssignale stets mit 44 kHz Abtastrate und 16 Bit Abtasttiefe anstelle der vorgeschlagenen 22 kHz und 8 Bit.

Alle Klangmodifikationen mittels des Klangbearbeitungsprogramms PRAAT (Version 3.9.11, Boersma und Weenink, 2001) durchgeführt.

Zur synthetischen Dehnung der Sprachstimuli wurde in Anlehnung an Nagarajan, Wang et al. 1998 ein Pitch Synchronous Overlap and Add (PSOLA)-Algorithmus auf den Frequenzbereich 75 - 300 Hz angewandt. Dieser Algorithmus produziert eine Verlangsamung, wobei die Stimmlage der Sprachsignale unverändert bleibt. Die zeitliche Dehnung erfolgte dabei um 50 %.

Die Betonung schnell wechselnder Anteile der Hüllkurve erfolgte unter Verwendung des in PRAAT integrierten Deepen Band Modulation (DBM)-Algorithmus. Eine detaillierte Beschreibung der Funktionsweise dieses Algorithmus findet sich im Anhang. Abb. 3 zeigt beispielhaft die Veränderung einer Intensitätskontur durch diesen Algorithmus anhand des Stimulus ‚stip‘.

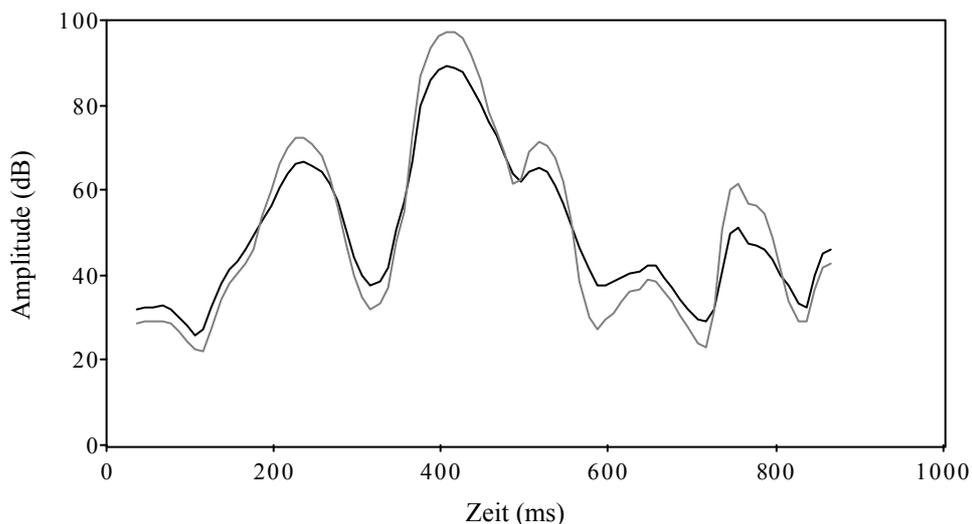


Abb. 3.
Beispiel der Modifikation der Hüllkurve durch den DBM-Algorithmus

schwarz Intensitätskontur von ‚stip‘

grau Intensitätskontur von ‚stip‘ nach Modifikation durch den DBM-Algorithmus

Man erkennt unter anderem, daß durch den Algorithmus zwar der grobe beziehungsweise niederfrequente Verlauf der Hüllkurve erhalten bleibt, schneller variierende, das heißt höherfrequente, Anteile jedoch besonders verstärkt werden.

Zur Verstärkung mittelhoher Frequenzen wurde der Frequenzgang des zu simulierenden Bandpasses aus der entsprechenden in Nagarajan, Wang et al. (1998) abgebildeten Graphik übernommen. Durch eine spline-Anpassung wurde die resultierende Kurve geglättet. Abb. 4 gibt die resultierende Filtercharakteristik wieder.

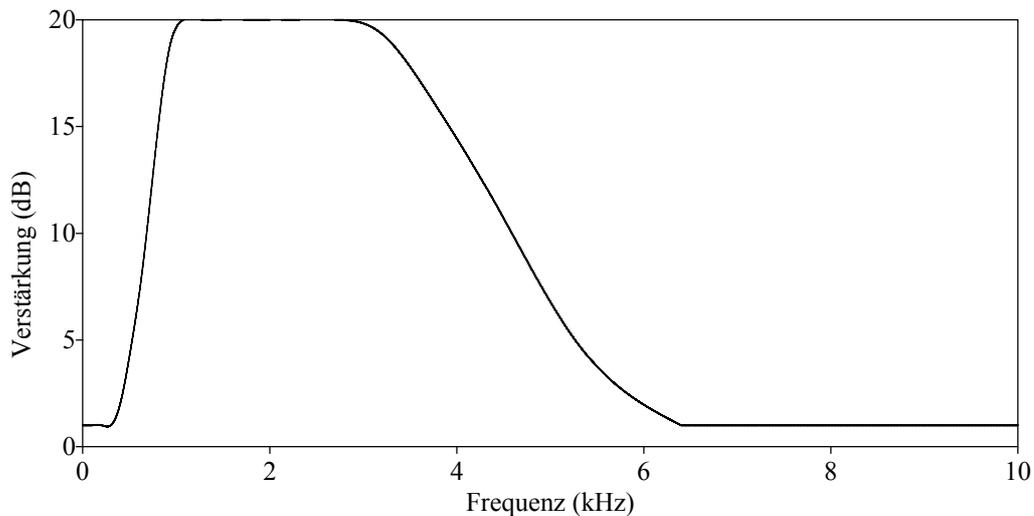


Abb. 4.
Übertragungscharakteristik des Filters zur Verstärkung mittelhoher Frequenzen

Diese Verstärkung mittelhoher Frequenzen wurde durch Multiplikation dieser spline-Anpassung mit den Daten des vollständigen Spektrums des jeweiligen Stimulus und anschließender Rücktransformation in den Zeit-Amplituden-Raum umgesetzt.

Mit diesen Teilschritten wurden die folgenden Varianten der Ausgangsstimuli erzeugt:

- unmodifizierte, natürliche Stimuli (UM),
- gedehnte Stimuli (MS),
- Stimuli, bei denen nur mittelhohe Frequenzen verstärkt sind (MMF),
- Stimuli, bei denen mittelhohe Frequenzen verstärkt (MMF) sowie die Hüllkurve mittels des DBM-Algorithmus betont sind (MMH) und
- Stimuli, auf die alle Einzelalgorithmen in der Reihenfolge MS->MMH angewandt wurden (vollständige Modifikation MV). Diese Kombination der Modifikationen entspricht dem von Tallal, Merzenich und Kollegen vorgeschlagenen Vorgehen.

Abschließend wurden alle Stimuli auf 95 % der maximal möglichen Amplitude bezüglich der Lautstärke normiert.

Design und Ablauf. Um einerseits hohe Teststärken zumindest für ausgewählte statistische Vergleiche zu gewährleisten, andererseits jedoch die Belastung der Versuchsteilnehmer zu minimieren, wurden folgende Zielsetzungen bei der Festlegung des experimentellen Designs zugrunde gelegt. Ausgehend von der Grundfrage, inwieweit und auf welche Weise die von Tallal, Merzenich und Kollegen vorgeschlagenen Sprachmodifikationen die Diskriminationsleistungen von Sprachreizen beeinflussen, sollten intraindividuelle Vergleiche zwischen den Leistungen bei natürlicher, unmodifizierter Sprache (UM) und den Leistungen bei vollständiger Sprachmodifikation (MV) eine hohe Priorität erhalten. Vergleiche unter Einbezug von Teilkomponenten dieser Sprachmodifikationen sollten dagegen eher explorativer Natur sein. Dazu wurde jeder Versuchsperson das komplette Testmaterial insgesamt drei Mal in jeweils unterschiedlichen Sprachmodifikationen vorgelegt. Dabei wurde jede Person mit unmodifizierter Sprache (UM) sowie mit vollständig modifizierter Sprache (MV) getestet. Wie in Abb. 5 dargestellt, wurden jeweils 12 der Versuchspersonen jeder Gruppe, das heißt der Kinder mit guten beziehungsweise schwachen Lese-Rechtschreibkompetenzen, mit einer der drei verbleibenden Sprachmodifikationen (MS, MMF sowie MMH) getestet.

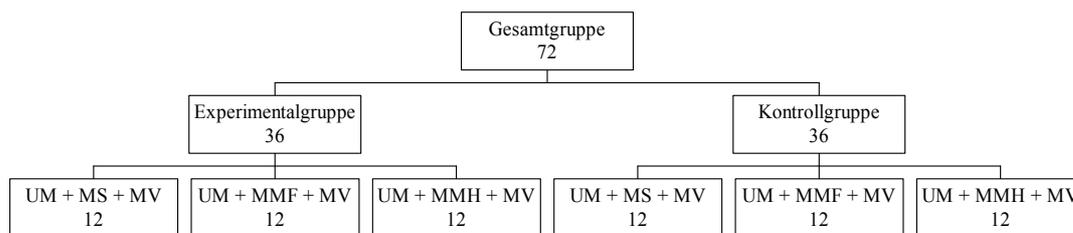


Abb. 5.
Verteilung der akustischen Modifikationen auf die Versuchspersonen

Innerhalb einer Versuchsperson wurde jeder der vier Aufgabenblöcke zuerst drei Mal wiederholt, bevor der nächste Aufgabenblock von dem Versuchsteilnehmer abgearbeitet werden konnte. Die Reihenfolge der Sprachmodifikationen innerhalb eines Aufgabenblockes wurde systematisch permutiert, so daß über jeweils zwei der zwölf Versuchspersonen einer Gruppe und der gleichen Kombination von Sprachmodifi-

kationen eine vollständige Kompensation eventueller Reihenfolgenefekte realisiert wurde.

Ziel war es primär zu ermitteln, ob Lautdiskriminationsleistungen durch akustische Sprachmodifikationen erleichtert würden. Daher sollten die Aufgaben so gestellt werden, daß ein Erkennen der Phoneme beziehungsweise der Pseudowörter nicht für die Lösung der Aufgaben notwendig war. Aus diesem Grund wurde jede Aufgabe jeweils komplett mit derselben Sprachmodifikation dargeboten, so daß beispielsweise ein auf eine Weise modifiziertes Zielwort stets mit einem in der gleichen Weise modifizierten Vergleichswort zu vergleichen war.

Ein Beispiel für die Abfolge der einzelnen Aufgaben und der zugehörigen Sprachmodifikationen für eine spezifische Versuchsperson ist in Tab. 4 enthalten.

Instruktionen, Präsentation und Antwortabgabe. Dieses Testverfahren zur Bestimmung der Lautdiskrimination bei akustisch modifizierter Sprache wurde ebenfalls in Form eines Computerprogramms umgesetzt. Die Präsentation erfolgte mittels des gleichen Laptop-Computers, wie er bereits bei der Darstellung der Gap Detection-Messung beschrieben wurde. Alle Instruktionen wurden sowohl auf dem Bildschirm präsentiert als auch über Kopfhörer vorgesprochen und bei Bedarf durch den Versuchsleiter wiederholt, um ein sicheres Instruktionsverständnis bei allen Kindern zu gewährleisten. Insbesondere wurden die Versuchsteilnehmer darauf hingewiesen, daß es keine richtigen beziehungsweise falschen Antworten gebe, da jede Person die jeweiligen Stimuli unterschiedlich wahrnehmen könne und es nur darum ginge, daß jeder Teilnehmer so antworte, wie er die Stimuli wahrnehme.

Auch in diesem Untersuchungsabschnitt wurden alle Antworten über zwei mit geeigneten Symbolen markierten Tasten abgegeben. In dem Aufgabenblock 2, den Mehrfachwahlaufgaben, konnten die Versuchsteilnehmer wahlweise auf eine der Antwort entsprechenden Position am Bildschirm zeigen oder auf eine zugehörige Taste drücken.

Tab. 4.
Abfolge der Aufgaben und der Sprachmodifikationsarten während der Präsentation der Stimuli am Beispiel der ersten Versuchsperson

Lau- fende Nr.	Aufga- benblock Nr.	Auf- gabe Nr.	Wie- der- holung Nr.	Sprach- modifi- kation ^a	Laufende Nr.	Aufga- benblock Nr.	Auf- gabe Nr.	Wie- der- holung Nr.	Sprach- modifi- kation ^a
1	1	1	1	UM	28	3	10	1	MV
2	1	2	1	UM	29	3	11	1	MV
3	1	3	1	MS	30	3	12	1	MS
4	1	4	1	MV	31	3	10	2	UM
5	1	5	1	MV	32	3	11	2	MS
6	1	1	2	MS	33	3	12	2	MV
7	1	2	2	MV	34	3	10	3	MS
8	1	3	2	UM	35	3	11	3	UM
9	1	4	2	UM	36	3	12	3	UM
10	1	5	2	MS					
11	1	1	3	MV	37	4	13	1	UM
12	1	2	3	MS	38	4	14	1	UM
13	1	3	3	MV	39	4	15	1	MS
14	1	4	3	MS	40	4	13	2	MS
15	1	5	3	UM	41	4	14	2	MV
					42	4	15	2	UM
16	2	6	1	MS	43	4	13	3	MV
17	2	7	1	UM	44	4	14	3	MS
18	2	8	1	UM	45	4	15	3	MV
19	2	9	1	MS					
20	2	6	2	MV					
21	2	7	2	MS					
22	2	8	2	MV					
23	2	9	2	UM					
24	2	6	3	UM					
25	2	7	3	MV					
26	2	8	3	MS					
27	2	9	3	MV					

^a Der Versuchsteilnehmer 1 gehört zur Gruppe der Personen, denen unmodifizierte (UM), verlangsamte (MS) und vollständig modifizierte Sprache (MV) dargeboten wird.

Auswertung. Jede einzelne Antwort, die mit der Sollantwort des Originaltests übereinstimmte, wurde mit einem Punkt bewertet. Dies erlaubte eine feinere Differenzierung der Leistungen der Versuchsteilnehmer im Vergleich zu der üblicherweise anzuwendenden Auswertungsmethode. Insgesamt konnten somit von einer Versuchsperson innerhalb einer Sprachmodifikation maximal 69 Punkte erzielt werden. Da hierbei der Aufgabenabschnitt 2 mit den Mehrfachwahlaufgaben

relativ zu den sonstigen Aufgabentypen untergewichtet bewertet wird, werden die Antworten in diesem Aufgabenblock im Ergebnisteil zusätzlich separat ausgewertet.

Hörprobe

Um besondere Schwächen im Bereich des peripheren Gehörs auszuschließen, wurde mit den Versuchsteilnehmern ein Screening der Hörschwellen der linken und rechten Seite mit den Frequenzen 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz und 8 kHz mittels eines manuellen Hörschwellentestgerätes durchgeführt. Da die Testungen in nichtschallisolierten Räumen stattfanden, wurde ein Kind als geeignet klassifiziert, wenn es bei keiner Frequenz einen Wert von größer als 30 dB und im Mittel über alle Frequenzen pro Seite besser als 20 dB erreichte. Dieses Kriterium ist strikter als das für dieses Hörschwellentestgerät angegebene Screeningverfahren, das nur verlangt, daß bei jeder Frequenz ein Wert von besser als 30 dB erreicht wird.

Psychosoziale Rahmenbedingungen

Zum Ausschluß bedeutender Auffälligkeiten im psychosozialen Verhalten der Kinder wurde weiterhin der CBCL/4-18 (Döpfner, Plück, Bölte, Lenz et al., 1994) mindestens einem Elternteil vorgelegt. Dieser Fragebogen erfaßt durch 113 Fragen Auffälligkeiten in zehn Skalen, die sowohl Bereiche internalisierender als auch externalisierender Verhaltensweisen einschließen. Der Bereich aufmerksamkeits- und aktivitätsbezogener Auffälligkeiten wurde darüber hinaus mit Hilfe des Fremdbeurteilungsfragebogens „Hyperkinetische Störungen“ des DISYPS-KJ (FBB-HKS, Döpfner und Lehmkuhl, 1998) gesondert eingeschätzt. Dieses Fragebogenverfahren umfaßt insgesamt 20 Fragen zum Schweregrad des jeweiligen spezifischen Verhaltens in vorgegebenen Situationen bezüglich des allgemeinen Aufmerksamkeitsverhaltens, des Aktivitätsniveaus sowie des Grades impulsiven Verhaltens des jeweiligen Kindes. Weiterhin wurde mit mindestens einem Elternteil ein circa halbstündiges Elterngespräch durchgeführt. Die zugehörigen Ergebnisse dienten vor allem zum Ausschluß potentiell psychosozial auffälliger Entwicklungsverläufe der Kinder. Insbesondere aufgrund der reduzierten Testgütekriterien des CBCL/4-18 wurden in der vorliegenden Untersuchung diese Informationen vorwie-

gend qualitativ bewertet und werden im Teil Ergebnisse nur kurz dargestellt.

Design und Ablauf

Das Design der Untersuchung wurde als Querschnittsuntersuchung ausgelegt. Die Testungen erfolgten pro Kind auf maximal zwei Testtage verteilt entweder in den Räumen des Ambulatoriums des Psychologischen Instituts Tübingen oder vor Ort in den jeweiligen Grundschulen. Neben den hier beschriebenen Tests wurden den Kindern zum Teil noch weitere Tests (siehe Blender, 2004) zur Bearbeitung vorgelegt. Bei Bedarf wurden den Kindern stets Pausen zwischen den einzelnen Tests ermöglicht.

Untersucher waren neben dem Autor Frau Dipl.-Psych. Anja Blender, Frau cand. psych. Bärbel Roller sowie Frau cand. psych. Marion Stamm, die Teile der Lese-Rechtschreibdiagnostik und der Sprachleistungsdiagnostik übernahmen.

Ergebnisse

Obwohl sich die Testsitzungen pro Kind insgesamt über mehrere Stunden erstreckten, absolvierten nahezu alle Kinder das Untersuchungsprogramm ohne Einschränkungen. Vor allem der Lautunterscheidungstest wurde von den Kindern mit besonderer Freude absolviert, da für die meisten Kinder die in diesem Test zu hörenden Sprachlaute „so lustig“, „witzig“ oder „so komisch“ klangen. Ein einziges Kind mußte die Untersuchung jedoch wegen Ermüdung nach circa drei Vierteln abbrechen. Eine erneute Testung dieses Kindes an einem anderen Testtag war aus organisatorischen Gründen nicht möglich. Für ein Kind liegen des weiteren keine Daten aus den beiden Fragebogenverfahren vor.

Von den insgesamt 120 untersuchten Kindern konnten in der hier dargestellten Auswertung 72 Kinder berücksichtigt werden. Häufigster Ausschlußgrund war, daß die Kinder zwar schwache Leistungen im Bereich des Lesens und/oder der Rechtschreibung zeigten, dennoch die enggefaßten Kriterien zum Einschluß in die Experimentalgruppe nicht erfüllten. Dies lag beispielsweise darin begründet, daß die Lese-Rechtschreibleistungen in den Bereich zwischen den Leistungsbereichen der beiden Kontrastgruppen fielen. Weitere Gründe waren, daß die jeweiligen individuellen Intelligenzleistungen nicht mehr als altersgemäß einzustufen waren oder die Diskrepanz zwischen Lese-Rechtschreibleistungen und Intelligenzleistungen zu gering ausfiel. Etwa ein Viertel der nicht berücksichtigten Kinder zeigte im Rahmen des Screeningverfahrens Auffälligkeiten beim Hören. Hierbei wurden auch Kinder ausgeschlossen, die zwar die geforderten Hörschwellen unterschritten, jedoch mehrfach falsche Seiten sowohl verbal als auch motorisch bezeichneten, auf denen sie die jeweiligen Töne gehört hätten. Ein Kind konnte nicht berücksichtigt werden, da es regelmäßig Methylphenidat verabreicht bekam.

Innerhalb der in die Auswertung aufgenommenen Kinder deuteten die beiden Fragebogenverfahren FBB-HKS und CBCL/4-18 nur auf Unterschiede in einzelnen Bereichen zwischen den Gruppen hin. Insbesondere fielen die Antworten der Eltern von Kindern mit Lese-

Rechtschreibstörung auf Fragen bezüglich des Aufmerksamkeitsverhaltens in beiden Fragebögen stärker in Richtung auffälligen Verhaltens aus als die Antworten der Eltern der unauffälligen Kinder (Median-Test, $N = 71$, $df = 1$, $p < .01$ in beiden Fragebögen). Darüber hinaus ergaben sich innerhalb der weiteren sieben Einzelskalen des CBCL/4-18 nur für die Skalen „sozialer Rückzug“ sowie „soziale Probleme“ höhere Werte der Experimentalgruppe gegenüber der Kontrollgruppe (Median-Tests, ebenso jeweils $N = 71$, $df = 1$, $p < .01$).

Im folgenden sollen nun die einzelnen Testleistungen der beiden Versuchspersonengruppen eingehender erläutert werden. Dazu wird, sofern nicht explizit anders genannt, stets von einem Signifikanzniveau von $p < .05$ ausgegangen. Zur Untersuchung explorativer Fragestellungen werden gegebenenfalls zusätzlich Trends entsprechend $p < .10$ mitgeteilt. Hypothesen wurden stets zweiseitig getestet. Zu Anfang wird eine Übersicht über schriftsprachliche, sprachliche sowie non-verbale auditiv-zeitliche Leistungen gegeben, um eine Einstufung der Versuchspersonengruppen zu ermöglichen. In der zweiten Hälfte wird dann auf die Leistungen in bezug auf die Lautunterscheidung eingegangen.

Schriftsprachliche Leistungen der Stichproben

Tab. 5 gibt eine Übersicht über die Intelligenz, Lese- und die Rechtschreibleistungen der beiden Versuchspersonengruppen.

Tab. 5.
Übersicht über Intelligenz- und Lese- / Rechtschreibleistungen der Versuchsteilnehmer

		IQ	Lesen (T-Werte)	Rechtschreibung (T-Werte)	Gesamtwert Lesen und Rechtschreibung (T-Werte)
KG	<i>N</i>	36	36	36	36
	<i>m</i>	107.06	50.54	50.17	50.35
	<i>s</i>	9.18	5.90	6.34	4.63
LRS	<i>N</i>	36	36	36	36
	<i>m</i>	103.63	36.09	31.41	33.75
	<i>s</i>	7.58	8.52	3.18	4.48
<i>t</i>		1.729	8.374	15.874	15.462
<i>p</i> ^a		n. s.	< .001	< .001	< .001

^a für jeden *t*-Test: $N = 72$, $df = 70$

Wie erwartet, erreichten die Kinder der Kontrollgruppe alters- und klassenübliche Leistungen sowohl im Lesen als auch in der Rechtschreibung. Aufgrund der Auswahlkriterien lagen die entsprechenden Leistungen der Kinder der Experimentalgruppe dagegen mit einem T-Wert von im Mittel ca. 34, entsprechend einem Prozentrang von ca. PR 5, im schwachen Leistungsbereich. Während sich dementsprechend die Leistungsunterschiede in schriftsprachlichen Leistungen signifikant unterschieden, zeigte sich kein signifikanter Unterschied in bezug auf die ermittelten allgemeinen kognitiven Leistungsniveaus in beiden Versuchspersonengruppen. Beide Gruppen zeigten somit einen altersüblichen kognitiven Entwicklungsstand.

Tab. 6 listet die Leistungen der Kinder in den einzelnen Leistungsbereichen des Salzburger Lese- und Rechtschreibtests auf.

Tab. 6.
Details zu den Lese- und Rechtschreibleistungen der Versuchsteilnehmer

		KG	LRS	p^a
Lesen				
Häufige Wörter	Anzahl der Fehler	.22	2.08	< .001
	Zeit (s)	22.53	43.72	< .001
Zusammengesetzte Wörter	Anzahl der Fehler	.42	2.36	< .001
	Zeit (s)	20.03	37.24	< .001
Text	Anzahl der Fehler	.61	3.25	< .001
	Zeit (s)	34.47	86.69	< .001
Wortunähnliche Pseudowörter	Anzahl der Fehler	3.08	5.39	< .05
	Zeit (s)	44.78	79.89	< .001
Wortähnliche Pseudowörter	Anzahl der Fehler	3.53	5.72	< .001
	Zeit (s)	38.97	72.64	< .001
Rechtschreibung				
Orthographische Fehler	Anzahl der Fehler	5.72	21.94	< .001
Nichtlauttreue Fehler	Anzahl der Fehler	.36	3.19	< .001
Groß/Kleinschreibungsfehler	Anzahl der Fehler	.86	7.42	< .001

Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte. Man beachte, daß die Wertung eines Rechtschreibfehlers nur entweder als orthographischer oder als nichtlauttreuer Fehler möglich ist, wohingegen Fehler der Groß- / Kleinschreibung separat bewertet werden.

^a Median-Test, $N = 72$, $df = 1$

Es zeigt sich, daß sich die Leistungsdefizite der Experimentalgruppe sowohl auf Leseleistungen als auch auf Leistungen im Bereich der Rechtschreibung erstreckten. Insbesondere zeigten diese Kinder sowohl Schwierigkeiten in Aufgaben, die mit synthetischen Verarbeitungsstrategien in Verbindung gebracht werden, als auch bei Aufgaben zu analytischen Verarbeitungsstrategien.

Höhere sprachliche Funktionen

Abb. 6 und Abb. 7 stellen die Leistungen im Test zur phonologischen Bewußtheit sowie im Mottier-Test im Gruppenvergleich dar.

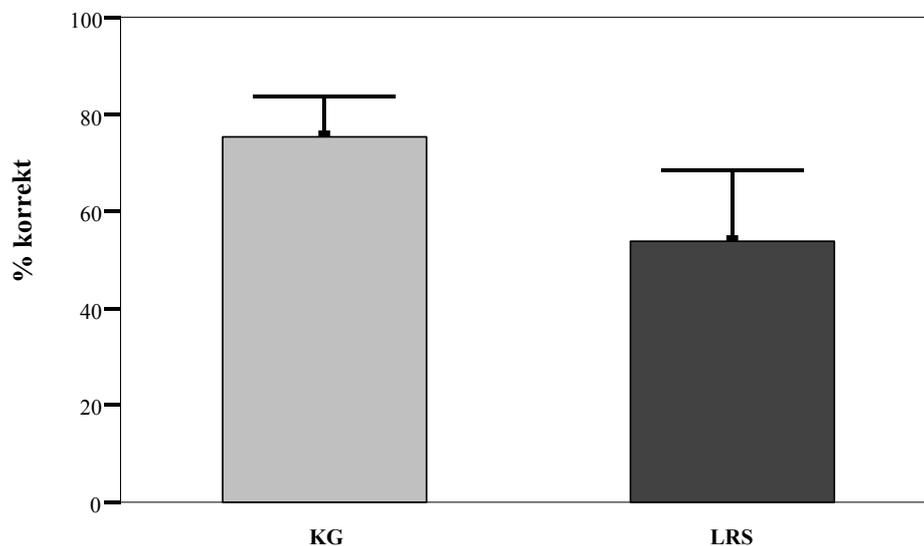


Abb. 6.
Leistungen im Test zur phonologischen Bewußtheit

Dargestellt sind jeweils der Mittelwert + 1 Standardabweichung des Anteils der korrekten Antworten im Test zur phonologischen Bewußtheit.

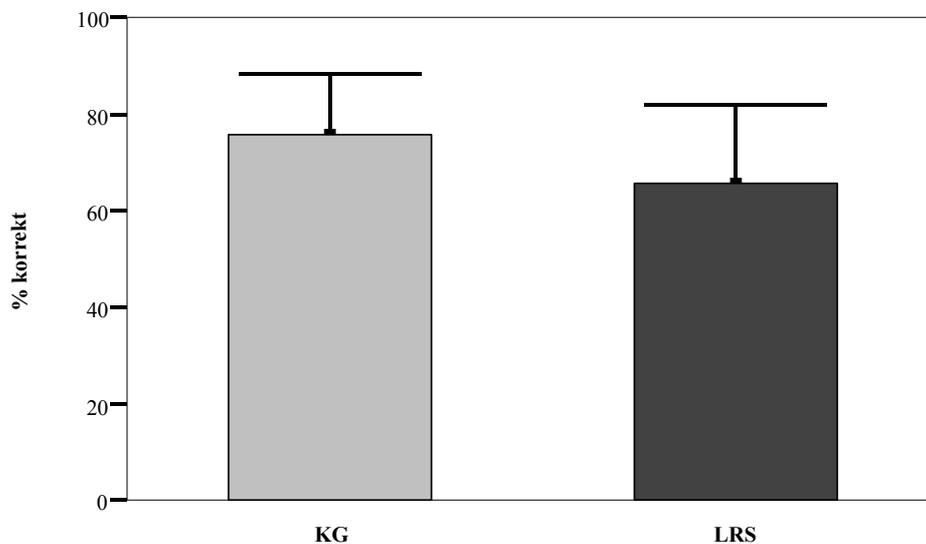


Abb. 7.
Ergebnisse beim Nachsprechen von Pseudowörtern (Mottier-Test)

Dargestellt sind jeweils der Mittelwert + 1 Standardabweichung des Prozentsatzes der korrekt wiedergegebenen Silben.

Sowohl im Bereich der phonologischen Bewußtheit ($N = 72$, $df = 70$, $t = 7.810$, $p < .001$) als auch beim Nachsprechen von Pseudowörtern, wie es im Mottier-Test ($N = 72$, $df = 70$, $t = 2.947$, $p < .01$) erfaßt wird, zeigten sich signifikante Defizite der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Daher ist davon auszugehen, daß zumindest bei einem Teil der Kinder der Experimentalgruppe die Lese-Rechtschreibproblematik mit Schwierigkeiten im Bereich der sprachlichen Leistungsfähigkeit einherging.

Nonverbale auditiv-zeitliche Verarbeitung

Ebenso zeigte die Experimentalgruppe insgesamt Defizite im Bereich der Verarbeitung nonverbaler zeitlich-auditiver Stimuli. Zwar erreichte die Gap Detection-Schwelle bei einem Großteil der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung den entsprechenden Bereich der Gruppe auffälliger Kinder, jedoch schnitt auch ein erheblicher Anteil der Kin-

der mit Lese-Rechtschreibstörung deutlich schwächer ab (siehe Abb. 8).

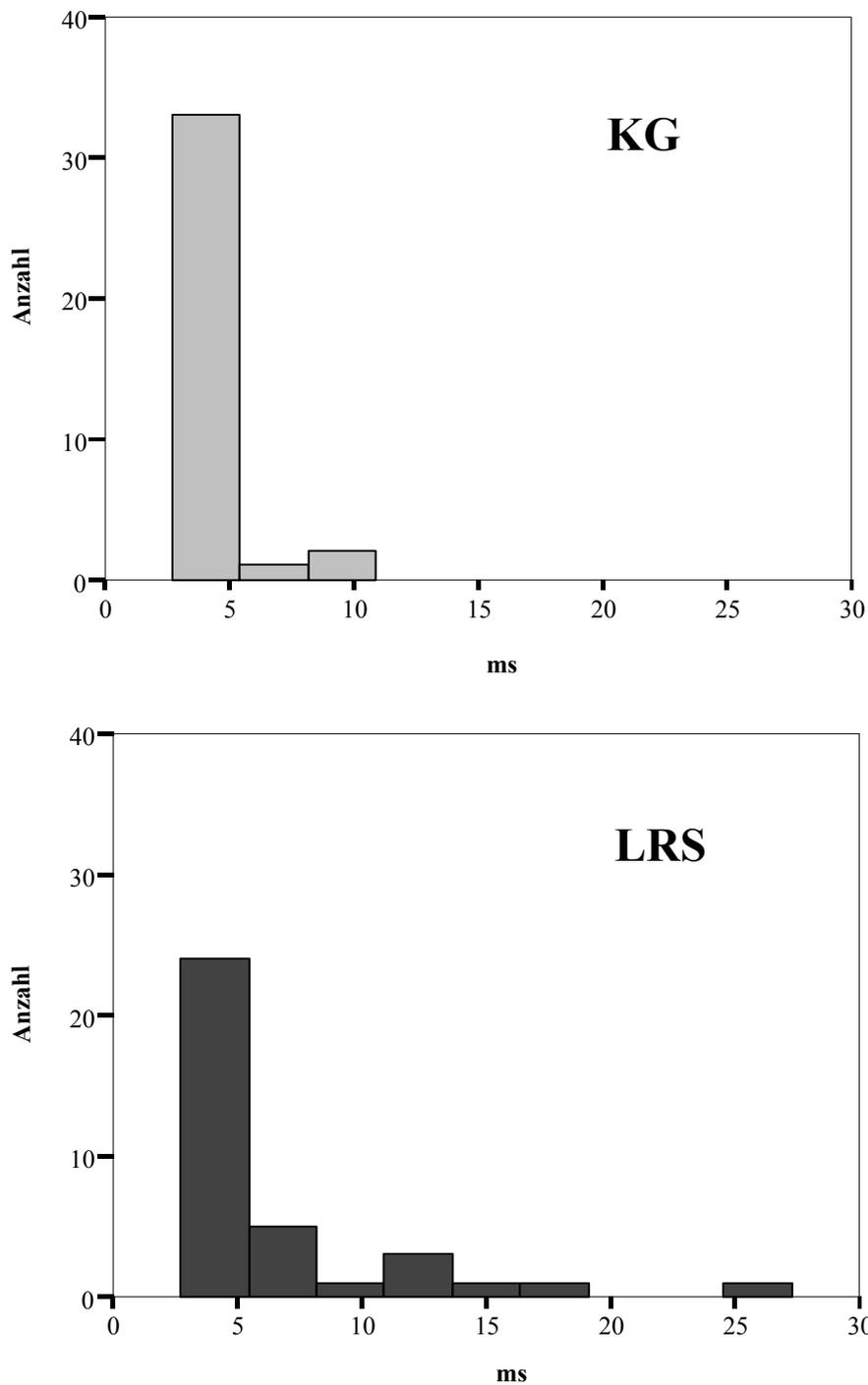


Abb. 8.
Histogramme der Gap Detection-Schwellen der beiden Versuchspersonengruppen

Demgemäß unterschied sich die Verteilung der Gap Detection-Schwellen in beiden Gruppen (Mann-Whitney-U-Test: $N = 72$,

$U = 402.5$, $p < .01$). Ein Mediantest bestätigt darüber hinaus ($N = 72$, $df = 1$, $\chi^2 = 5.56$, $p < .05$), daß die Gap Detection-Schwelle in der Gruppe unauffälliger Kinder mit einem Median von $Md = 3.89$ ms niedriger als in der Gruppe der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung lag ($Md = 4.42$ ms). Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung gaben zwar geringfügig häufiger falsch positive Antworten (8.49 % versus 6.45 %), das heißt sie gaben häufiger an, ein Gap wahrgenommen zu haben, obwohl ein unterbrechungsfreies Rauschen präsentiert wurde. Dieser Unterschied ließ sich jedoch nicht statistisch absichern (Mann-Whitney-U-Test: $N = 72$, $U = 603.0$, $p = .612$). Ebenso ergab sich keine signifikante Spearman-Rangkorrelation zwischen dem Anteil falsch positiver Antworten und der gemessenen Gap Detection-Schwelle ($N = 72$, $r = .066$, $p = .581$).

Zusammenhänge zwischen den sprachlichen Verarbeitungsebenen

Liegt Lese-Rechtschreibstörungen ein Defizit im Bereich der nonverbalen auditiv-zeitlichen Verarbeitung zugrunde, so sollten sich Zusammenhänge zwischen schriftsprachlichen Leistungen und Leistungen auf sprachlicher Ebene ergeben. Sind ferner auditiv-sprachliche Funktionen Vorläuferfunktionen für den Erwerb von schriftsprachlichen Kompetenzen, so sollten sich zwischen allen drei Leistungsdimensionen zumindest schwache korrelative Zusammenhänge ergeben.

Diese Annahmen konnten durch die vorliegenden Daten bestätigt werden. Aufgrund der nicht normalverteilten Daten wurden zur Überprüfung Rangkorrelationen nach Spearman herangezogen. Die Gap Detection-Schwelle als Maß nonverbaler, auditiv-zeitlicher Verarbeitungsleistungen korrelierte sowohl mit Leistungen im Mottier-Test ($N = 72$, $r = -.333$, $p < .001$) als auch mit den Ergebnissen im Test zur phonologischen Bewußtheit ($N = 72$, $r = -.391$, $p < .001$). Niedrigere Gap Detection-Schwellen gingen daher erwartungskonform mit besseren sprachlichen Leistungen einher. Ebenso hingen niedrigere Schwellenwerte bei der Gap Detection-Messung mit besseren Rechtschreibleistungen ($N = 72$, $r = -.298$, $p \leq .01$) sowie zumindest tendenziell mit besseren Leistungen im Lesen ($N = 72$, $r = -.206$, $p < .10$) zusammen. Erwartungsgemäß ergaben sich weiterhin ebenfalls Zusammenhänge zwischen Leistungen im Test zur phonologischen Bewußtheit und Le-

seleistungen ($N = 72$, $r = .596$, $p < .001$) und Rechtschreibleistungen ($N = 72$, $r = .713$, $p < .001$). Auch das Nachsprechen von Pseudowörtern, wie es durch den Mottier-Test erfaßt wird, zeigte erwartungsgemäße signifikante Zusammenhänge mit Rechtschreibleistungen ($N = 72$, $r = .405$, $p < .001$) sowie zumindest einen tendenziellen Zusammenhang zu Leseleistungen ($N = 72$, $r = .224$, $p < .10$). Dabei ließen sich diese Zusammenhänge nicht auf einen gemeinsamen Einfluß der individuellen Hörschwellen auf die Leistungen in den einzelnen Tests zurückführen, da keines der Ergebnisse der obigen Tests einen signifikanten korrelativen Zusammenhang mit den gemessenen Hörschwellen zeigte.

Effekte akustischer Modifikationen auf Lautunterscheidungsleistungen

Abb. 9 zeigt als Überblick die mittleren Anzahlen korrekter Antworten im Lautdiskriminationstest für die fünf unterschiedlichen Sprachmodifikationsarten in der Reihenfolge absteigender Leistungen sowohl für die Kontrollkinder als auch für die Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung.

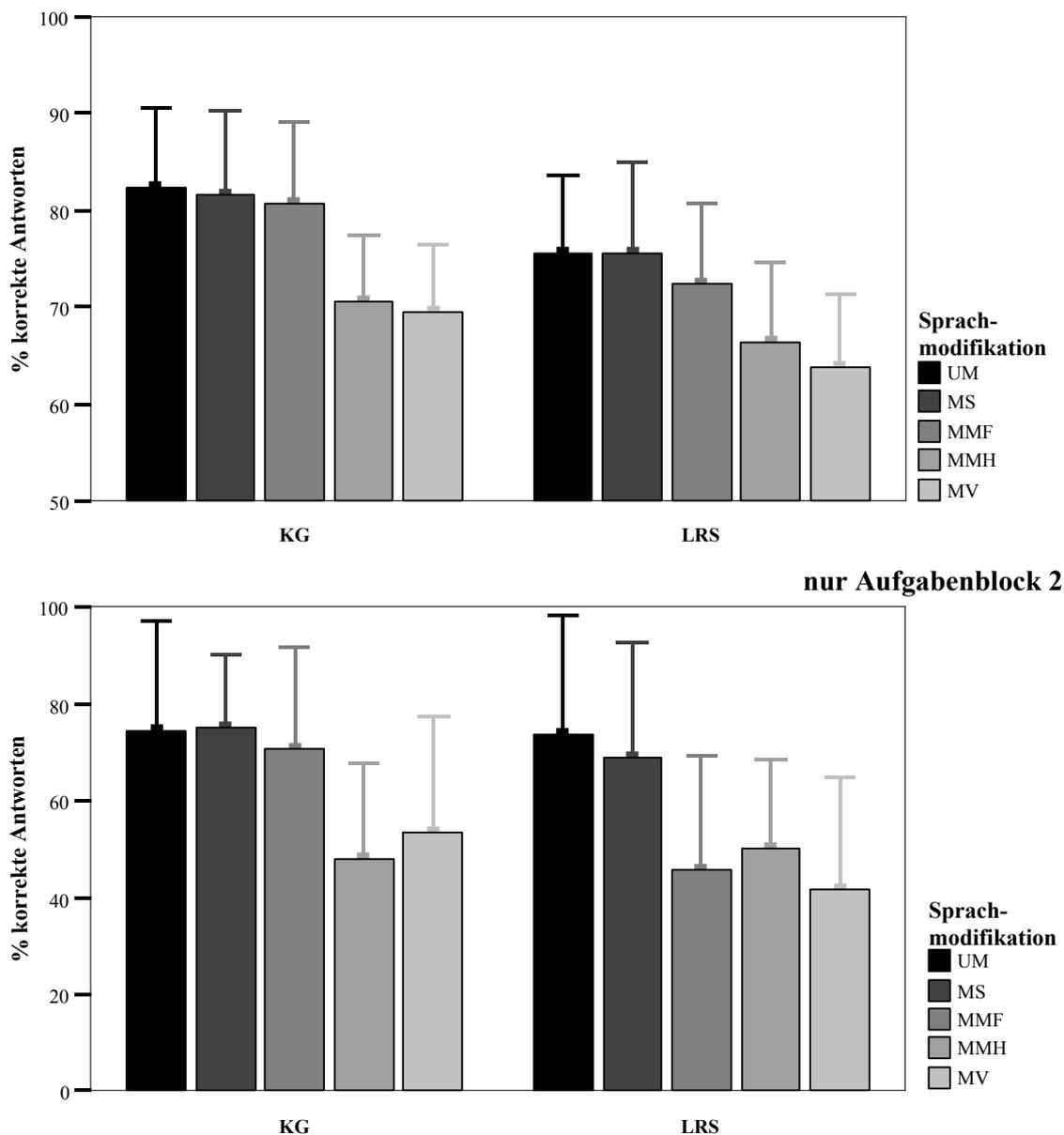


Abb. 9.
Auswirkungen der unterschiedlichen Sprachmodifikationen auf die Lautunterscheidung

Dargestellt ist jeweils der Mittelwert + 1 Standardabweichung des Anteils korrekter Antworten im Lautunterscheidungstest. Das obere Diagramm bezieht sich auf alle Aufgaben des Tests, das untere Diagramm nur auf die Aufgaben im Aufgabenblock 2.

Wie man aus der unteren Hälfte der Abbildung erkennt, wichen die Leistungen im zweiten Aufgabenblock nicht wesentlich von dem allgemeinen Leistungsverhalten ab.

In beiden Gruppen reduzierte sich die Anzahl richtiger Antworten in der Reihenfolge der Sprachmodifikationen von UM über MS, MMF und MMH zu MV.

Für die weitere Erläuterung der Ergebnisse des Lautdiskriminationstests muß berücksichtigt werden, daß aufgrund des spezifisch gewählten Designs der Untersuchung die Stichprobengrößen sowie die Art des Vergleichs, das heißt, ob intra- oder interpersonale Vergleiche gezogen wurden, mit den jeweils zu vergleichenden Sprachmodifikationen variieren. Daher wurden im folgenden die vorliegenden Daten mittels mehrerer einzelner Varianzanalysen mit unterschiedlichen Stichprobengrößen anstelle einer Varianzanalyse der Gesamtdaten untersucht.

Betrachtet man nur die Aufgaben, die in natürlicher, unmodifizierter Sprache (MU) präsentiert werden, so ähnelt der Lautunterscheidungstest inhaltlich dem Test zur phonologischen Bewußtheit. Dementsprechend zeigten Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung bei der Präsentation akustisch nicht modifizierter Aufgaben ebenso wie beim Test zur phonologischen Bewußtheit schlechtere Leistungen als die Vergleichsgruppe ($N = 72$, $df = 70$, $t = 3.528$, $p < .01$).

Eine Varianzanalyse mit dem intrapersonalen, zweigestuften Faktor Sprachmodifikation, der die beiden Stufen MU und MV umfaßt, die allen ($N = 72$) Kindern präsentiert wurden, sowie dem Faktor Gruppe (Kontrollgruppe versus Kinder mit LRS) ergab signifikante Haupteffekte beider Faktoren. Die vollständige Sprachmodifikation (MV) führte daher gegenüber natürlicher Sprache insgesamt zu reduzierten Leistungen ($N = 72$, $F(1, 70) = 225.458$, $p < .001$). Darüber hinaus schnitt die Gruppe der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung unabhängig von der Sprachmodifikation signifikant schwächer ab ($N = 72$, $F(1, 70) = 14.637$, $p < .001$). Jedoch ließ sich keine signifikante Interaktion der beiden Faktoren Gruppe x Modifikationstyp ableiten ($N = 72$, $F(1, 70) = .472$, $p = .494$).

Um abzuschätzen, welche Stärke ein solcher Interaktionseffekt haben müßte, um bei der gegebenen Stichprobengröße und den gegebenen

Fehlervarianzen als signifikant beurteilt zu werden, wurden entsprechende relative Leistungsverbesserungen aufgrund der vollständigen Sprachmodifikation MV numerisch simuliert. Diese Simulation ergab, daß bereits um 3 % (bezogen auf die tatsächlichen Leistungen) bessere Leistungen der Gruppe der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung während der Präsentation der vollständigen Sprachmodifikation MV zu einer Signifikanz der Interaktion Gruppe x Sprachmodifikation geführt hätten.

Lautunterscheidungsleistungen für die Teilmodifikationen MS, MMF und MMH. Die alleinige Modifikation der Hüllkurve der Sprachstimuli gemäß der Modifikationsart MMH führte zu vergleichbaren Defiziten wie die vollständige Sprachmodifikation MV (siehe auch Abb. 10).

So ergab ein intrapersonaler post-hoc Vergleich korrigiert nach Bonferroni zwischen unmodifizierter (MU), hüllkurvenmodifizierter (MMH) und vollständig modifizierter Sprache (MV) signifikante Leistungsunterschiede zwischen den Ergebnissen des Lautdiskriminationstests unter Verwendung unmodifizierter Sprache und den Leistungen bei hüllkurvenmodifizierter (MMH, $N = 24$, $p < .001$) beziehungsweise vollständig modifizierter Sprache (MV, $N = 24$, $p < .001$). Die Leistungen der beiden letzteren Sprachmodifikationen MMH und MV wichen dagegen untereinander statistisch nicht signifikant von einander ab ($N = 24$, $p = .729$).

Äquivalente Varianzanalysen für die Sprachmodifikationen MS und MMF zeigten, daß eine Verlangsamung des Sprachsignals (MS, $N = 24$, $p = .999$) sowie eine separate Betonung mittelhoher Frequenzen (MMF, $N = 24$, $p = .555$) zu Leistungen führten, die vergleichbar mit den Leistungen bei unmodifizierter Sprache waren. Jede dieser Varianzanalysen umfaßte jeweils ein Drittel aller Versuchsteilnehmer. Dabei ergab sich für die Vergleiche von MU, MS und MV sowie von MU, MMF und MV ein Haupteffekt der Gruppe ($N = 24$, $F(1, 22) = 7.387$, $p < .05$ sowie $N = 24$, $F(1, 22) = 7.537$, $p < .05$). Zumindest innerhalb dieser Teilgruppen schnitten Kinder mit Lese-Rechtschreibstörungen statistisch signifikant schlechter ab als unauffällige Kinder. Keine der drei Varianzanalysen lieferte Hinweise auf signifikante Wechselwirkungen zwischen der Gruppe der Kinder und der jeweiligen Sprachmodifikation (jeweils $N = 24$, $p > .20$).

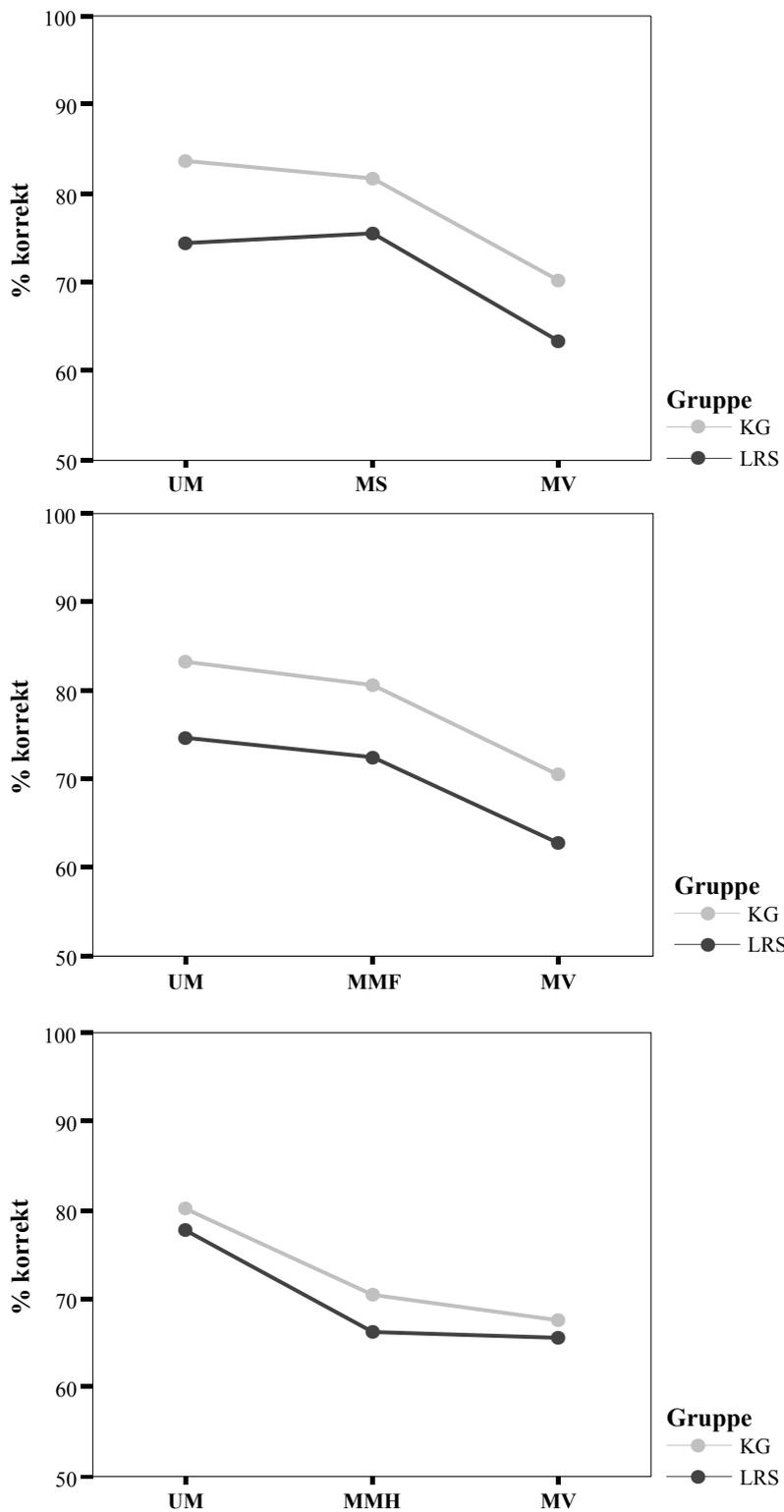


Abb. 10.

Mittlere Leistungen im Lautunterscheidungstest für die Teilmodifikationen im Vergleich zu unmodifizierter und zu vollständig modifizierter Sprache

Zum leichteren Vergleich sind Punktschätzungen durch Linienzüge verbunden. Aufgrund des Untersuchungsdesigns repräsentiert jede Graphik unterschiedliche Teilstichproben.

Es ist davon auszugehen, daß sich Kinder mit Leserechtschreibstörung in vielfältigen Eigenschaften von unauffälligen Kindern unterscheiden können. Daher könnten Leistungsdifferenzen auf mehrere Faktoren zurückzuführen sein. Im folgenden soll daher der Einfluß zweier wesentlicher potentieller Einflußfaktoren näher eruiert werden, um das Ausmaß einer möglichen Kontamination der Messung der Lautdiskriminationsleistungen durch diese Faktoren abzuschätzen.

Gedächtniseffekte. Insbesondere bei den Aufgabenblöcken 1, 3 und 4, in denen zu Beginn ein Vergleichswort vorgegeben wird, das anschließend über mehrere Teilaufgaben hinweg mit den jeweiligen Stimuli verglichen werden muß, muß der Klang des Vergleichsworts über mehrere Sekunden hinweg zwischengespeichert werden. Im folgenden sollen daher durch Vergleich der Lösungsquoten jeder Teilaufgabe in den betreffenden Aufgabenblöcken Hinweise auf mögliche differentielle Gedächtniseffekte abgeleitet werden. Abb. 11 zeigt hierzu die entsprechenden Graphiken.

Die Graphiken deuten auf weitgehend konstante Lösungsquoten über alle Teilaufgaben hinweg. Aufgrund der Konstruktion des Tests umfassen die Aufgaben 1 - 5 sieben Teilaufgaben, die Aufgaben 10 - 15 dagegen nur fünf Teilaufgaben. Zur statistischen Absicherung wurden die Lösungsquoten der 1. Teilaufgabe jeder Aufgabe mit den Lösungsquoten der 5. beziehungsweise der 7. Teilaufgaben miteinander durch zwei Varianzanalysen mit den Faktoren Gruppe (KG versus LRS) x Sprachmodifikation (UM versus MV) x Position der Teilaufgabe (1. versus 5. beziehungsweise 7.) verglichen.

Neben den aufgrund der an anderer Stelle bereits mitgeteilten zu erwartenden Effekten ergaben sich in keiner der beiden Varianzanalysen signifikante Effekte der Teilaufgabe ($N = 44$, $F(1, 40) = .197$, $p = .659$ beziehungsweise $N = 20$, $F(1, 16) = .982$, $p = .336$). Auch Wechselwirkungen mit der Position der Teilaufgabe ließen sich nicht bestätigen (in allen Fällen $p > .5$).

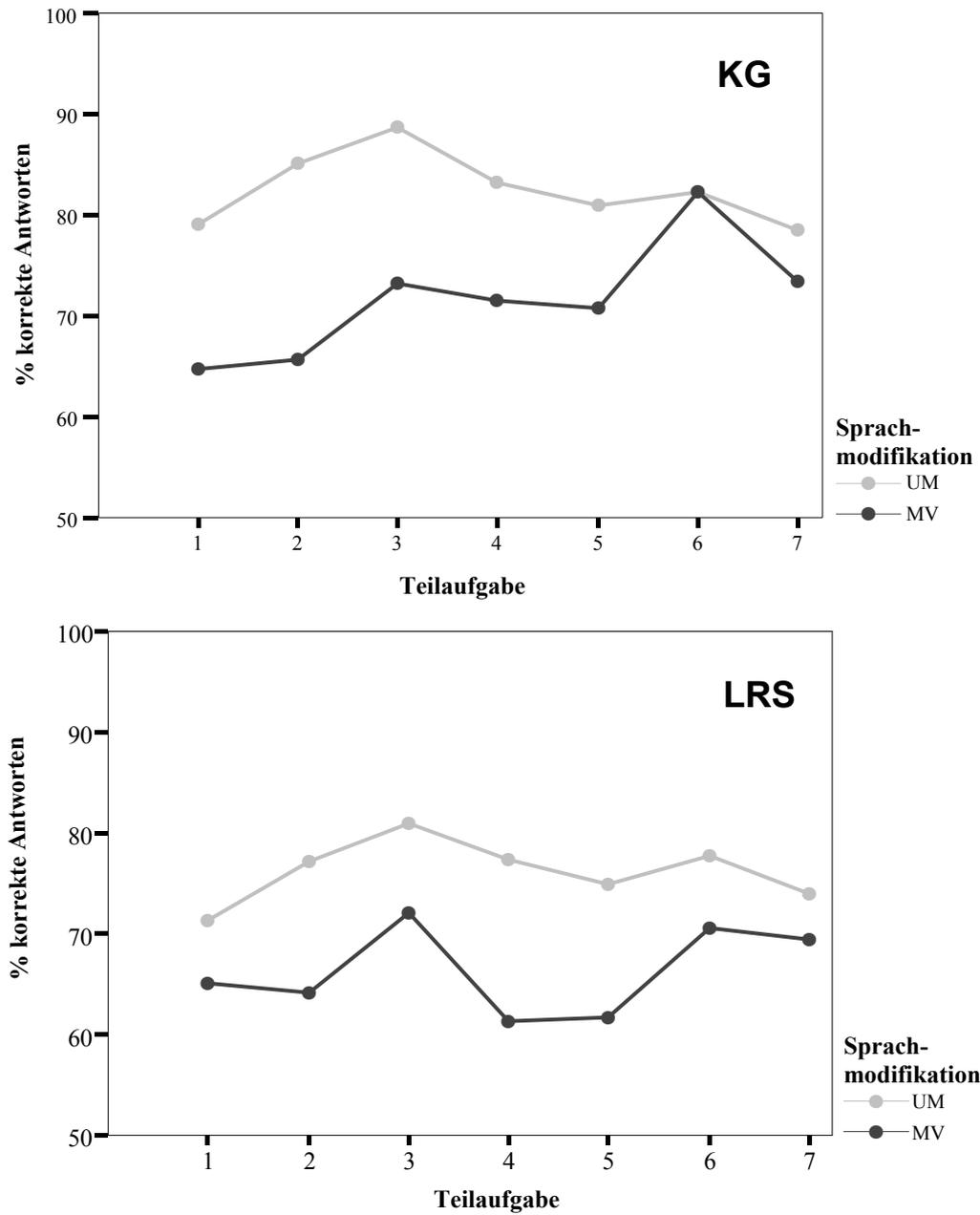


Abb. 11. **Gemittelte Anteile korrekter Antworten im Verlaufe der Aufgaben über alle Teilaufgaben hinweg bei unmodifizierter (MU) und vollständig modifizierter (MV) Sprache**

Prozentangaben beziehen sich auf die innerhalb einer Teilaufgabe maximal mögliche Anzahl richtiger Antworten innerhalb einer Versuchspersonengruppe. Ausgewertet sind die Aufgaben 1 - 5 und 10 - 15. Nur die Aufgaben 1 - 5 enthalten 7 Teilaufgaben, die Aufgaben 10 - 15 enthalten jeweils 5 Teilaufgaben. Zur besseren Übersicht sind Punktmittelwerte durch Linienzüge verbunden.

Ermüdung. Würde bei Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung die Leistungsfähigkeit rascher ermüden als bei unauffälligen Kinder, so sollten sich die jeweiligen Lösungsquoten vom Beginn des Tests bis zum Ende hin im Gruppenvergleich unterschiedlich entwickeln. Die Abb. 12 auf der folgenden Seite stellt dazu die mittleren Lösungsquoten innerhalb jedes Aufgabenblockes für die beiden akustischen Modifikationen UM und MV innerhalb der beiden Versuchspersonengruppen dar.

Eine Varianzanalyse über die beiden Gruppen der Versuchsteilnehmer als interpersonalem Faktor mit den beiden intrapersonalen Faktoren Sprachmodifikationen (MU versus MV) sowie Aufgabenblock (1. versus 4.) ergab neben den zu erwartenden Effekten der akustischen Modifikation und der Gruppe auch einen Effekt des Aufgabenblockes ($N = 71$, $F(1, 69) = 9.608$, $p < .01$). Alle anderen Effekte waren nicht signifikant. Insbesondere überschritt keine der Interaktionen Aufgabenblock x Gruppe ($N = 71$, $F(1, 69) = .220$, $p = .641$), akustische Modifikation x Aufgabenblock ($N = 71$, $F(1, 69) = .723$, $p = .398$) oder Sprachmodifikation x Aufgabenblock x Gruppe ($N = 71$, $F(1, 69) = 2.411$, $p = .125$) die Signifikanzschwelle. Differentielle Ermüdungseffekte werden daher durch die vorliegenden Daten nicht gestützt.

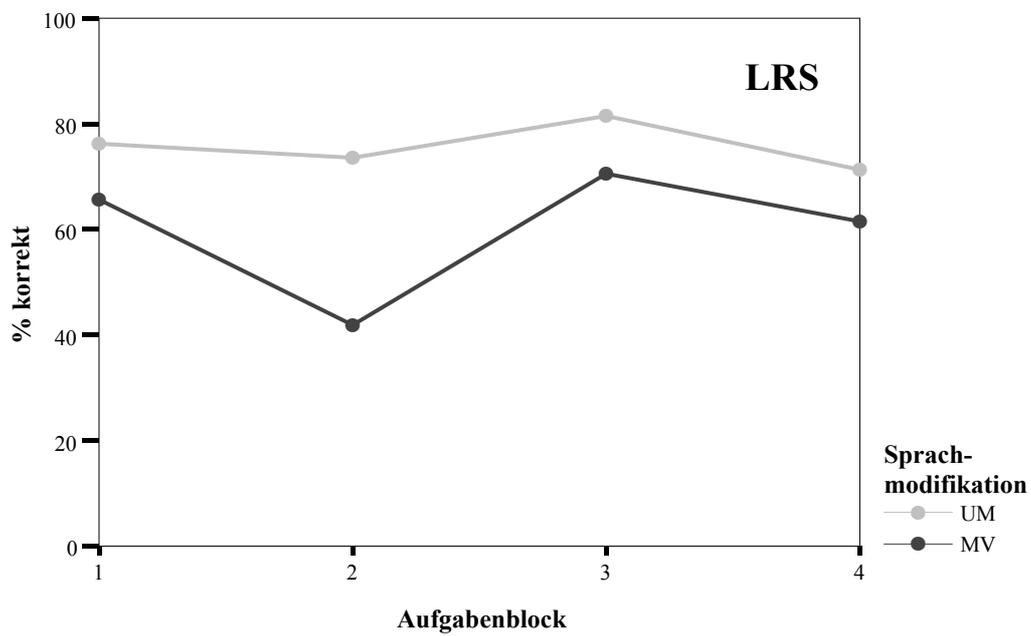
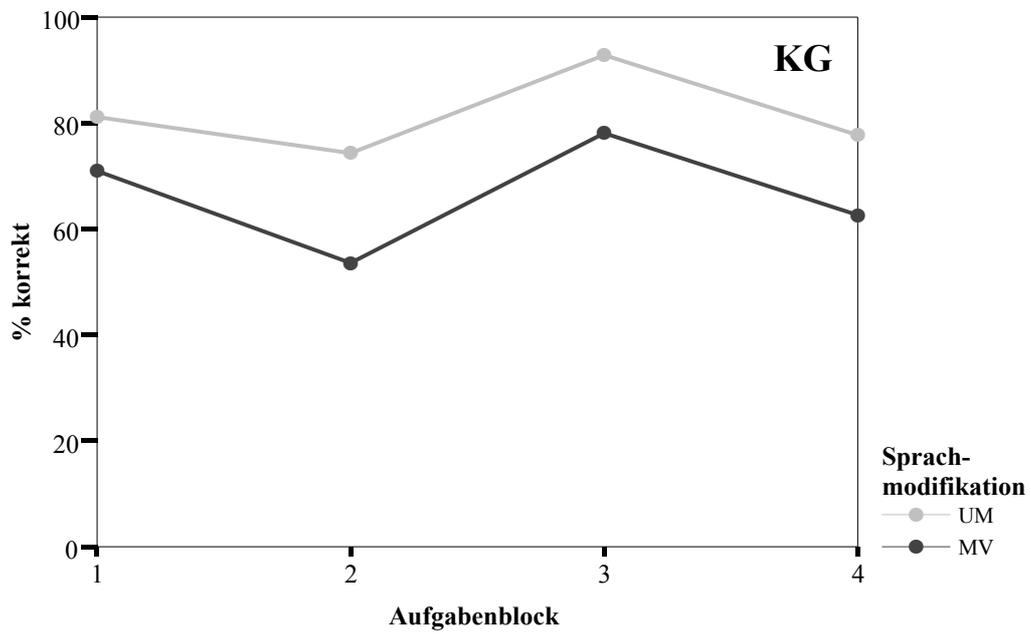
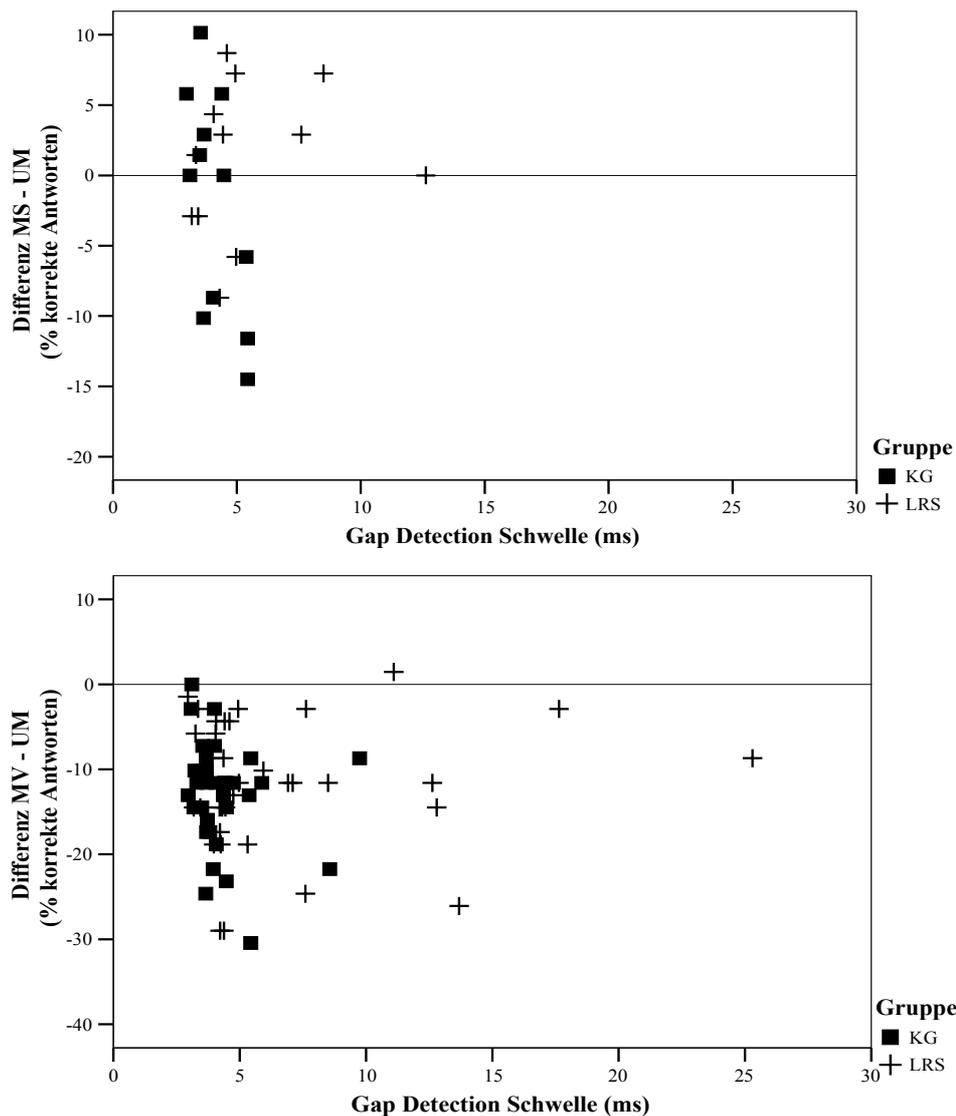


Abb. 12. Mittlere Leistungen in den einzelnen Aufgabenblöcken bei unmodifizierter respektive vollständig modifizierter Sprache

Zum besseren Vergleich sind Punktschätzungen durch Linienzüge verbunden.

Individuelle Leistungen. Um neben den Gruppentendenzen auch eventuelle individuelle Besonderheiten innerhalb der Leistungen im Lautdiskriminationstest bei unterschiedlichen Sprachmodifikationen zu untersuchen, zeigt Abb. 13 die individuellen Leistungssteigerungen bei verlangsamer (MS) beziehungsweise vollständig modifizierter (MV) Sprache relativ zu den Leistungen mit unmodifizierter Sprache.



difizierter Sprache, negative Werte auf der Ordinate bedeuten entsprechend durch die jeweilige Sprachmodifikation reduzierte Leistungen.

Zwar erzielte etwa die Hälfte der Versuchsteilnehmer, denen die Sprachstimuli verlangsamt präsentiert wurden, in Übereinstimmung mit der Gruppentendenz bessere Leistungen als mit unmodifizierter Sprache, jedoch ist aus Abb. 13 kein Zusammenhang mit der Gap Detection-Schwelle erkennbar. Demgemäß ergaben sich auch keine signifikanten Korrelationen zwischen der individuellen Gap Detection-Schwelle und diesen zumindest bei einzelnen Teilnehmern vorhandenen Leistungssteigerungen ($N = 24$, Spearman-Rangkorrelation $r = -.07$, $p = .734$). In bezug auf die vollständige Sprachmodifikation MV, die im Gruppenvergleich zu den größten Leistungseinbußen führte, verbesserte nur ein Versuchsteilnehmer seine Leistungen gegenüber unmodifizierter Sprache. Auch hier ergab sich trotz der erhöhten Fallzahl keine signifikante Korrelation der Leistungsverbesserung zu UM mit der individuellen Gap Detection-Schwelle ($N = 72$, Spearman-Rangkorrelation $r = -.11$, $p = .362$).

Ebenso korrelierten weder Leistungen in den Lese- und Rechtschreibtests noch den sprachbezogenen Tests (Test zur phonologischen Bewußtheit, Mottier-Test) mit Leistungsverbesserungen bei MS oder MV signifikant (Spearman- Rangkorrelationen, stets $p > .3$).

Teilt man alle Versuchspersonen in Quartilsgruppen in bezug auf ihre Gap Detection-Schwellen auf, so zeigt sich (Abb. 14), daß die Spannweiten der Lautunterscheidungsleistungen zwischen den Gruppen der kürzesten und der längsten Gap Detection-Schwellen beträchtlich variieren.

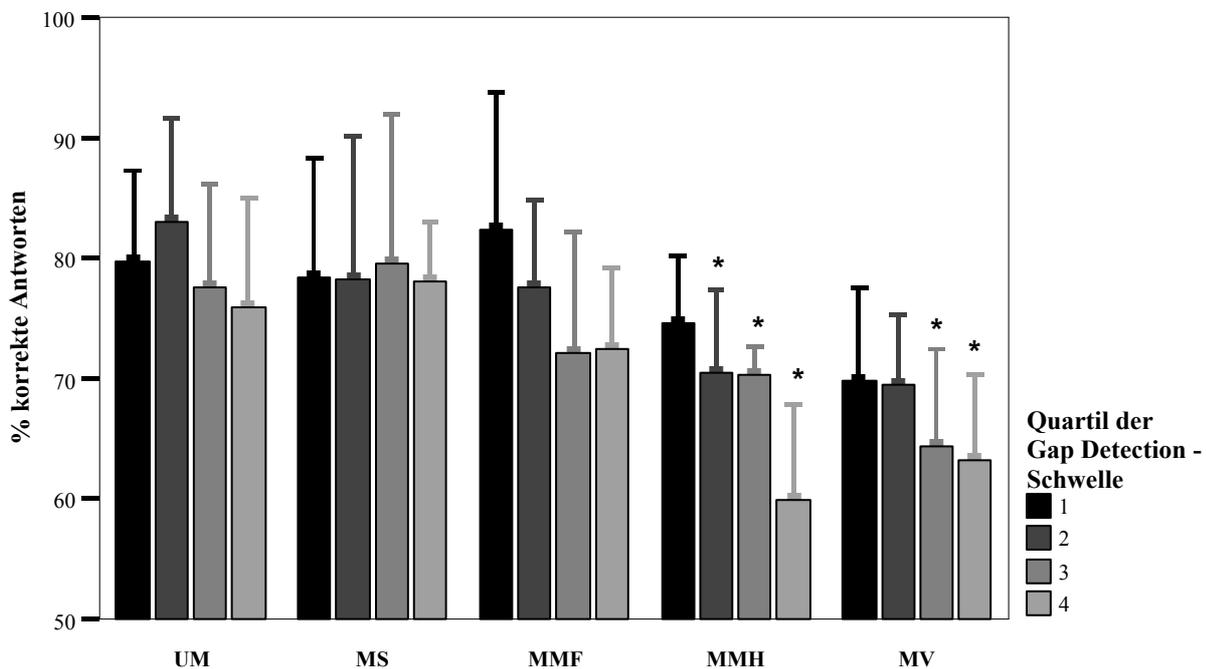


Abb. 14.
Lautdiskrimination und Gap Detection-Schwelle bei den Teilmodifikationen MS, MMF und MMH

Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert + 1 Standardabweichung des Anteils korrekter Antworten im Lautdiskriminationstest. Die kürzesten Gap Detection-Schwellen entsprechen dem 1. Quartil, die längsten dem 4. Quartil.

Signifikante Unterschiede ($p < .05$, korrigiert nach Bonferroni) innerhalb einer Sprachmodifikation ergaben sich jeweils für Gruppen der Kinder der mit * markierten Quartile gegenüber der Gruppe der Kinder mit Gap Detection-Leistungen im 1. Quartil.

Besonders weit streuten die Leistungen für die akustischen Modifikationen MMH und MV. Längere Gap Detection-Schwellen gingen bei diesen Sprachmodifikationen mit signifikant schwächeren Leistungen im Lautunterscheidungstest einher. Bei unmodifizierter Sprache (UM) oder bei verlangsamter Sprache (MS) waren diese Zusammenhänge weniger stark ausgeprägt, dennoch korrelierten zumindest die Leistungen bei unmodifizierter Sprache (UM) mit den Gap Detection-Schwellen ($r = -.251$, $p < .05$). Daher konnten weder besondere Defizite auf sprachlicher Ebene oder auf schriftsprachlicher Ebene, beispielsweise besonders defizitäre Leistungen bei der Anwendung einer spezifischen Lese- oder Rechtschreibstrategie, mit relativen Leistungssteigerungen durch diese akustischen Modifikationen in Verbindung gebracht werden.

Diskussion

Überblick. Mit der vorliegenden Untersuchung sollte überprüft werden, wie spezifische akustische Sprachmodifikationen die Sprachlautdiskrimination und damit das Sprachverständnis bei Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung und bei einer Kontrollgruppe normalentwickelter Kinder beeinflussen. Basierend auf der bisherigen Forschung zur Wahrnehmung und Verarbeitung auditiv-zeitlicher Informationen bei Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen und bei Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung wurde vermutet, daß diese akustischen Sprachmodifikationen auditiv-zeitliche Verarbeitungsdefizite dieser Kinder kompensieren und somit das Sprachverständnis verbessern könnten. Die bisherige Forschungsliteratur zeigt, daß ein Training mit derart modifizierter Sprache zu größeren Lernfortschritten führen kann als ein identisches Training mit unmodifizierter, natürlicher Sprache. Unklar ist jedoch bislang geblieben, wodurch dieser zusätzliche Trainingsgewinn hervorgerufen wird. Die Entwickler dieses Trainingsverfahrens gehen bislang von einer Verbesserung der Diskriminierbarkeit von Sprachlauten aus. Dies erscheint jedoch nicht zwingend. Beispielsweise könnte auch eine Reduktion der Diskriminierbarkeit aufgrund sekundärer Effekte gleichfalls eine fördernde Wirkung zeigen.

Darüber hinaus sollte überprüft werden, ob einzelne Komponenten dieser akustischen Sprachmodifikationen einen von der vollständigen Modifikation abweichenden Einfluß auf die Lautdiskrimination nehmen.

In der vorliegenden Untersuchung führte die Anwendung der vollständigen akustischen Modifikation zu einer Reduktion der Leistungen im Lautdiskriminationstest sowohl bei Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung als auch bei normalentwickelten Kindern. Eine alleinige Verlangsamung führte im Gruppenmittel zu Lautdiskriminationsleistungen, die mit denen bei natürlicher, unmodifizierter Sprache vergleichbar waren. Dagegen reduzierte eine Betonung bestimmter Anteile der Hüllkurven der Sprachstimuli in Kombination mit einer Verstärkung mittelhoher Frequenzen die Leistungen bei der Lautdiskrimination signifikant.

Die Gruppe der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung schnitt im Mittel in einer Gap Detection-Aufgabe leistungsschwächer ab als die Kontrollgruppe. Daher wurde erwartet, daß diese Kinder von den akustischen Sprachmodifikationen stärker profitieren beziehungsweise von negativen Effekten schwächer betroffen sein sollten als normalentwickelte Kinder. Diese Annahme wird durch die Daten dieser Studie jedoch nicht gestützt, da die Stärke der Reduktion der Lautdiskriminationsleistungen in beiden Gruppen vergleichbar ausfiel.

Die vorliegenden Daten unterstützen daher die Annahme, daß vor allem sekundären Faktoren eine wichtige Rolle zukommt, die Effektivität eines Trainings mit akustisch modifizierter Sprache zu steigern. Wenn daher eine Reduktion der Sprachqualität zu einer Steigerung der Effektivität von Trainingsmaßnahmen beitragen kann, so wäre eine direkte Implikation aus diesen Ergebnissen, daß alternative akustische Modifikationen von Sprachsignalen innerhalb einer hochmotivierenden, intensiven Trainingsumgebung ebenso Trainingsfortschritte unterstützen könnten. Hierzu könnten auch akustische Modifikationen eingesetzt werden, die insbesondere die Sprechgeschwindigkeit nicht verändern, wodurch die Darbietung der modifizierten Sprachstimuli ohne Zeitverzögerung ermöglicht würde.

Im folgenden werden die einzelnen Ergebnisse im Detail erörtert.

Wirkung akustischer Modifikationen auf Lautdiskriminationsleistungen. Die vollständige akustische Modifikation, die sich aus einer zeitlichen Dehnung sowie einer Hervorhebung einzelner Elemente des Sprachsignals zusammensetzt, führte zu reduzierten Leistungen im Lautdiskriminationstest. Das Sprachverständnis war somit innerhalb der durch diesen Test erfaßten Bereiche sowohl bei Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung als auch bei unauffälligen Kindern signifikant eingeschränkt. Wie im einleitenden Teil bereits dargestellt, liefern bisherige Forschungsarbeiten noch nicht eindeutige Aussagen über die Auswirkungen derartiger akustischer Modifikationen bei Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung. Dabei gehen diese Studien zumeist von der in den Arbeiten von Tallal, Merzenich und Kollegen entwickelten Hypothese (Merzenich, Jenkins et al., 1996; Tallal, Miller et al., 1996) aus. Dieser Hypothese zufolge sollte eine vollständige akustische Modifikation zu einer Verbesserung des Sprachverständnisses bei Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen und in Erweiterung dieser

Hypothese auch bei Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung führen. Bislang unterstützen nur indirekte Überprüfungen diese Annahme. Beispielsweise zeigen Habib und Kollegen (Habib, Espesser et al., 1999; Habib, Rey et al., 2002), daß eine Steigerung der Effektivität eines Trainings durch Verwendung auf ähnliche Weise akustisch modifizierter Sprache bei Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung erzielt werden kann. Direkte Überprüfungen der Wirkungen akustischer Modifikationen auf die Diskriminierbarkeit von Sprachlauten wurden bislang entweder an anderen als den ursprünglichen Personengruppen oder unter Verwendung synthetischer Stimuli durchgeführt. Diese Studien deuten an, daß die vollständige akustische Modifikation zu einer Reduktion des Sprachverständnisses führen könnte (beispielsweise Uchanski, Geers et al., 2002 bei Hörgeschädigten, McAnally, Hansen et al., 1997 mit synthetisch hergestellten Stimuli). Als vermutlich erste Studie liefert nun die vorliegende Untersuchung Daten, die in bezug auf Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung unter Verwendung von natürlicher Sprache als Ausgangsmaterial gegen oben genannte Hypothese einer Verbesserung der Diskriminierbarkeit von Sprachlauten sprechen.

Zudem ergaben sich keine Hinweise dafür, daß das Sprachverständnis durch einzelne Komponenten dieser vollständigen akustischen Modifikation unterstützt werden könnte. Eine alleinige Verlangsamung sowie eine alleinige Betonung mittelhoher Frequenzen beeinflussten die entsprechenden Leistungen im Lautunterscheidungstest nur geringfügig. Dementsprechend wurden, auch unter Berücksichtigung der für diese Teiluntersuchung kleineren Stichprobengrößen und somit höher anzusetzenden Signifikanzschwellen, keine signifikanten Abweichungen dieser Leistungen im Vergleich zu den Leistungen bei unmodifizierter Sprache festgestellt. Zwar verbesserten einzelne Individuen ihre Leistungen insbesondere bei verlangsamer Sprache. Da sich jedoch keine systematischen Zusammenhänge dieser einzelnen Leistungsverbesserungen mit anderen der untersuchten Variablen ableiten ließen, deutet dies darauf hin, daß diese individuellen Leistungsverbesserungen im Rahmen statistischer Schwankungen lagen. Ähnliche Ergebnisse bei anderen Personengruppen sind bereits ebenfalls von unterschiedlichen Autoren aufgefunden worden. Schon untersuchte 1970 die Auswirkungen einer Verlangsamung auf das Sprachverständnis bei Hörgeschädigten und fand, daß sich durch die akustischen Mani-

pulationen das Sprachverständnis reduzierte. Angesichts der damals noch nicht ausgereiften Technologien zur Sprachmanipulation könnte dies aber auf eine mit den Manipulationen einhergehende allgemeine Verschlechterung der Signalqualität zurückzuführen sein. Jedoch stützen auch neuere Studien diese Befunde. So zeigen Uchanski, Geers et al. (2002) beispielsweise mittels einer Aufgabe zur Erkennung isolierter Wörter, daß auch bei den von ihnen untersuchten Personen eine zeitliche Dehnung der Sprachstimuli nicht zu einer Verschlechterung, aber auch nicht zu einer Verbesserung der Spracherkennung führte. Fu, Galvin und Wang (2001) fanden ebenso bei Normalhörenden keinen Einfluß der Verlangsamung auf das Sprachverständnis. Bei einem von fünf Probanden mit Cochlea-Implantat reduzierte sich die Spracherkennungsleistung in relevantem Ausmaß.

Nur zum Teil lassen sich die Daten der vorliegenden Untersuchung mit Studien in Einklang bringen, die die Wahrnehmung von zeitlich gedehnten, synthetisch hergestellten Stimuli untersuchen. Exemplarisch seien die Studien von Tallal und Piercy (Tallal und Piercy, 1974, 1975) genannt. Die Autoren verwendeten in diesen Studien sowohl Konsonant-Vokal-als auch Vokal-Vokal-Stimuli. Für beide Stimulusarten ergab sich, daß Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen Schwierigkeiten hatten, diese zu identifizieren und zu diskriminieren, wenn für die Differenzierung relevante Signalkomponenten nur 43 ms dauerten, nicht aber, wenn diese Elemente auf 95 ms gedehnt wurden.

Jedoch konnten Bradlow, Kraus et al. (1999) die Daten von Tallal und Piercy auf behavioraler Ebene nicht reproduzieren. Dabei verwendeten sie synthetische Stimuli, deren Formantverläufe kontinuierlich im Bereich zwischen /da/ und /ga/ variiert wurden. Unterschiede in der Wahrnehmung dieser Stimuli fanden sich in der Gruppe von Kindern mit Lernstörungen nur auf präattentivem Verarbeitungsniveau.

Für den Vergleich dieser Studien könnte die Art der Herstellung der Stimuli eine wesentliche Rolle spielen. Wie Lacerda (2001) im Rahmen einer Pilotstudie zeigt, könnte ein wesentlicher Grund für Unterschiede zwischen den vorliegenden und den zitierten Befunden in der Art der Stimuli begründet sein. In seiner Studie verglich er den Einfluß der Manipulation der Dauer der Formanttransitionen bei natürlichen und synthetisch generierten Stimuli. Die Formantwechsel wurden dabei sowohl zeitlich auf die Hälfte verkürzt als auch zeitlich

auf die doppelte Dauer gedehnt. Es ergab sich, daß Kinder weitgehend insensitiv sowohl gegenüber Verkürzungen als auch gegenüber Dehnungen der Formantübergänge waren, solange natürliche Stimuli eingesetzt wurden. Die Lautidentifikation bei synthetisch generierten Stimuli wurde dagegen durch diese zeitlichen Manipulationen beeinflusst. Beispielsweise ergab sich gehäuft eine Verwechslung der Stimuli /ba/ mit /wa/, wenn deren Formanttransitionen zeitlich gedehnt beziehungsweise verkürzt wurden. Gemäß dem Autor sei diese Verwechslung zu erwarten, da durch die zeitliche Manipulation die kategorialen Grenzen der jeweiligen Stimuli überschritten werden. Ebenso klassifizierten Erwachsene natürliche Stimuli unabhängig von sprachlichen Modifikationen korrekt, während wiederum synthetisch generierte Stimuli mit zusätzlichen zeitlichen Manipulationen gehäuft fehlklassifiziert wurden. Aus dieser Studie könnte gefolgert werden, daß an synthetisch generierten Stimuli gewonnene Daten zu Lautdiskriminationsleistungen nicht ohne weiteres auf natürliche Stimuli übertragbar sind.

In diesem Zusammenhang sei auch vermerkt, daß ein Vorteil des in der vorliegenden Studie verwendeten Lautunterscheidungstests darin besteht, komplexere Stimuli einzusetzen. Insbesondere wurde die Unterscheidung nicht nur von kurzen Phonemfolgen, beispielsweise Konsonant-Vokal-Silben, sondern auch von längeren Phonemsequenzen, namentlich Kunstwörtern, verlangt. Dadurch werden unterschiedliche, dem Sprachfluß inhärente Effekte, beispielsweise Effekte der Koartikulation, mit berücksichtigt. Hierdurch dürfte eine höhere externe Validität gewährleistet sein, um entscheiden zu können, wie nicht nur im Rahmen von auditiven Trainingsprogrammen das Sprachverständnis durch akustische Modifikationen beeinflusst wird.

Eine lineare Verstärkung mittelhoher Frequenzen beeinflusste die Lautunterscheidungsleistungen nicht wesentlich. Dies steht in Einklang mit Studien an Personen mit Hörverlust (beispielsweise Baer, Moore und Kluk, 2002). Demgegenüber führte die zusätzliche Manipulation der Hüllkurve in beiden Versuchspersonengruppen zu signifikant reduzierten Leistungen, die im Bereich der Lautunterscheidungsleistungen bei vollständig modifizierter Sprache lagen. Auch dieser Befund stimmt mit den Ergebnissen von Uchanski, Geers et al. (2002) bei Hörgeschädigten überein, steht jedoch in deutlichem Widerspruch zu den Erwartungen, wie sie durch Tallal, Merzenich und

Kollegen formuliert wurden. Ausgehend von der Studie von Vandali (2001) könnte vermutet werden, daß diese Verschlechterung der Klangqualität nicht grundsätzlich auf Modifikationen der Hüllkurve zurückzuführen sein könnte, sondern eher auf den spezifisch gewählten Algorithmus. In dieser Studie durchliefen Probanden mit Cochlea-Implantaten mehrere Tests zur Sprachwahrnehmung, wobei die Signalprozessoren der Cochlea-Implantate zusätzlich zur üblichen Signalverarbeitung auf zwei verschiedene, aber ähnliche Algorithmen, genannt TESM beziehungsweise SMSP, programmiert wurden. Insgesamt ergaben sich bessere Leistungen der Probanden bei Verwendung des TESM-Algorithmus. Der wesentliche Unterschied zwischen diesen beiden Algorithmen bestand vorwiegend darin, daß der TESM-Algorithmus das Ausgangssignal nur punktuell zusätzlich modifiziert, wohingegen der SMSP-Algorithmus dieses kontinuierlich zusätzlich verändert. Analog könnte vermutet werden, daß der hier eingesetzte Algorithmus nicht auf das vollständige Sprachsignal angewendet werden sollte, sondern ebenso nur punktuell zur Hervorhebung beispielsweise einzelner Flanken innerhalb des Sprachsignals. Diese Vermutung bedürfte aber noch einer vertiefenden experimentellen Überprüfung, da anzunehmen ist, daß Ergebnisse bei Personen mit schwersten Hörschädigungen nur eingeschränkt auf Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung übertragbar sind.

Zusammenfassend legen daher die hier präsentierten Daten nahe, daß der beschriebene Algorithmus zur Hervorhebung schnell wechselnder Elemente der Hüllkurve zu reduzierten Leistungen im Bereich der Lautdiskrimination und somit zu einem reduzierten Sprachverständnis führt. Ebenso beeinflusst die von der Arbeitsgruppe um Tallal und Merzenich vorgeschlagene vollständige akustische Modifikation, die diese Hüllkurvenbetonung mit einschließt, die Lautdiskriminierbarkeit der resultierenden Sprachsignale in vergleichbarem Ausmaße negativ. In der bisherigen Forschungsliteratur dargestellte Daten zu weiteren Personengruppen stützen diese Schlußfolgerung zusätzlich.

Es könnte argumentiert werden, daß akustische Modifikationen natürlicher Stimuli technisch bedingt stets zu einer Verschlechterung der resultierenden Klangqualität führen und damit grundsätzlich positive Effekte der akustischen Modifikationen verdeckt würden. Beispielsweise sehen die hier realisierten Modifikationsalgorithmen zum Teil

die Aneinanderreihung mehrerer nichtlinearer Signalumformungen vor, die aufgrund der stets gegebenen technischen Limitationen nur suboptimal umgesetzt werden können. Zwar wurde in der vorliegenden Untersuchung besonders hoher Wert darauf gelegt, daß technische Parameter wie Abtastrate, Abtastauflösung oder Frequenzauflösung mindestens so hochwertig, in der Regel jedoch besser gewählt waren wie in den zugrundegelegten Originalarbeiten (insbesondere Nagarajan, Wang et al., 1998). Dennoch ist ein Einfluß dieses technischen Faktors nicht grundsätzlich auszuschließen. Aufgrund dieses Faktors sollte daher ein allgemeiner negativer Einfluß der reduzierten Signalqualität mit einem positiven Effekt der Verbesserung der Verarbeitung auditiv-zeitlicher Informationen einhergehen. Von letzterem Effekt sollten vor allem Kinder mit Defiziten der auditiv-zeitlichen Verarbeitung profitieren. Daher wäre hypothesengemäß zu erwarten, daß vor allem in der Gruppe der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung die Gesamtreduktion der Lautdiskriminationsleistungen geringer ausfiele als in der Gruppe unauffälliger Kinder. Eine solche Interaktion zwischen der Gruppe und der Art der akustischen Modifikation konnte jedoch nicht aus den vorliegenden Daten abgeleitet werden. Eine numerische Analyse zeigt zusätzlich, daß das gewählte experimentelle Design es ermöglicht hätte, bereits geringe relative Verbesserungen der Gruppe der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung gegenüber der Gruppe der unauffälligen Kinder festzustellen. Die notwendige Schwelle einer relativen Leistungsverbesserung von ca. 3 % der von den Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung tatsächlich gezeigten Leistungen dürfte dabei in einem Bereich liegen, der vermutlich noch nicht den Einsatz akustisch modifizierter Sprache im Rahmen von Trainingsmaßnahmen trotz allgemeiner Verschlechterung der Klangqualität rechtfertigen würde.

Weiterhin könnte vermutet werden, daß die Daten durch Anforderungen des Lautdiskriminationstests in wesentlichem Maße kontaminiert sein könnten, die über die angenommene direkte Überprüfung der Lautdiskriminationsleistungen hinausgehen. Aufgrund der besonderen Aufgabenstruktur des Lautdiskriminationstests und der Dauer der Durchführung der gesamten Untersuchung wären insbesondere differentiell wirksame Gedächtnis- und Ermüdungseffekte in Betracht zu ziehen.

Diese Vermutung kann jedoch bei genauerer Analyse der Aufgabenstellungen entkräftet werden. Zumindest bei drei der vier Aufgabenblöcke des eingesetzten Testverfahrens muß ein Proband folgende Teilschritte durchführen, um die Aufgabe erfolgreich zu lösen: Zuerst muß eine Lautfolge als Modellsignal aufgenommen und abgespeichert werden. In einem zweiten Schritt wird dann eine weitere Lautfolge gehört und muß mit dem abgespeicherten Modell verglichen werden. Anschließend muß das Ergebnis durch eine motorische Reaktion mitgeteilt werden. Dieser zweite Schritt wird solange wiederholt, bis alle Vergleichslautfolgen abgearbeitet sind. Die Hypothese im Rahmen dieses Paradigmas ist nun, daß akustische Klangmodifikationen die Aufnahme der Modellsignale als auch der Vergleichslautfolgen durch Verbesserung der Lautdiskrimination unterstützen und somit die Lautvergleiche erleichtert würden.

Aus dieser Aufzählung der notwendigen Teilschritte läßt sich jedoch ableiten, daß neben der Lautdiskrimination auch Gedächtnisprozessen eine wesentliche Rolle zukommen könnte. Insbesondere wäre anzunehmen, daß im zeitlichen Verlauf innerhalb der bis zu sieben Teilaufgaben die Quote richtiger Antworten abfiele, wenn die Qualität des abgespeicherten Modellsignals über die Zeit hinweg abnehme. Hinzu kommt, daß die resultierenden Sprachsignale für die vollständige Modifikation am stärksten von den Sprachsignalen unmodifizierter, natürlicher Sprache abweichen. Nimmt man weiter an, daß die Einspeicherung von Lautsignalen erleichtert wird, wenn bereits zuvor Schemata für einzelne Lauteinheiten gelernt wurden, sollte dieser negative Gedächtniseffekt für die vollständige Sprachmodifikation besonders deutlich ausgeprägt sein. Unter dieser Annahme sollten zuvor während des Hörens natürlicher Sprache eventuell erlernte Schemata für die Abspeicherung dieser Sprachsignale im Vergleich zu allen anderen Sprachmodifikationen beziehungsweise zu unmodifizierter Sprache am wenigsten geeignet sein. Es könnte daher aus diesen Überlegungen abgeleitet werden, daß sich ein differentieller Gedächtniseffekt ergäbe, der abhängig von der jeweiligen Art der Sprachmodifikation die Quote richtiger Antworten über die Teilaufgaben hinweg unterschiedlich beeinflussen würde. Obwohl im eingesetzten Testverfahren die Stimuli der Teilaufgaben nicht vollständig systematisch variiert wurden, ist dennoch daher anzunehmen, daß ein differentiell unterschied-

licher Abfall der Diskriminationsleistungen über die Teilaufgaben hinweg auch für die hier verwendeten Stimuli zu erwarten wäre.

Hinweise auf einen solchen Gedächtniseffekt konnten jedoch in den vorliegenden Daten nicht gefunden werden, da sich in beiden Versuchspersonengruppen die Quote richtiger Antworten über alle Teilaufgaben der betreffenden Aufgabenblöcke hinweg in einem weitgehend konstanten Bereich bewegte. Darüber hinaus ergaben sich die numerisch größten Abweichungen der Leistungen zwischen den Probandengruppen im Aufgabenblock 2, bei dem aufgrund seiner andersartigen Aufgabenstruktur von einer geringeren Gedächtnisanforderung als bei den übrigen Aufgabenblöcken auszugehen ist.

Ebenso ließen sich keine Anhaltspunkte für differentiell und/oder für die einzelnen Sprachmodifikationen spezifisch wirksame Ermüdungserscheinungen während der Durchführung des Lautunterscheidungstests ermitteln. Insbesondere konnte kein Gruppeneffekt beim Vergleich der Lösungsquoten zu Beginn des Lautdiskriminationstest mit den Leistungen am Ende aufgefunden werden.

Es sei noch angemerkt, daß diese Überprüfungen etwaiger Gedächtnis- oder Ermüdungseffekte die jeweiligen Variablen mit dem Schwierigkeitsgrad der Stimuli konfundieren, da jeweils unterschiedliche (Teil-) Aufgaben miteinander verglichen werden. Dies ist jedoch für die vorliegenden Fragestellungen nur von geringem Belang, da vor allem auf die Betrachtung differentieller Effekte beziehungsweise relativer Veränderungen in Vergleich zwischen Sprachmodifikationen Wert gelegt wird.

Leistungen der auditiv-zeitlichen Verarbeitung. Unter der Annahme, daß auditiv-zeitliche Verarbeitungsdefizite die Entwicklung von Lese-Rechtschreibstörungen kausal beeinflussen, wären Vorteile durch akustische Sprachmodifikationen vor allem für Kinder zu erwarten, die defizitäre auditiv-zeitliche Leistungen zeigen. Zur Überprüfung dieses Leistungsbereiches wurde in der vorliegenden Untersuchung eine individuelle Bestimmung der Gap Detection-Schwellen durchgeführt. Es zeigte sich theoriekonform, daß die Gruppe der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung im Mittel höhere Schwellen aufwies als die Gruppe der unauffälligen Kinder. Dies steht in Gegensatz zu einer Studie von Schulte-Körne, Deimel et al. (1998), in der bei deutsch-

sprachigen Kindern der 5. und 6. Klasse kein signifikanter Unterschied bezüglich der Gap Detection-Schwelle festgestellt werden konnte. Jedoch untersuchten diese Autoren eine nur halb so große Stichprobe wie in der vorliegenden Studie. Daher könnte auch eine mangelnde Teststärke in der dortigen Studie Ursache für die unterschiedlichen Befunde sein. Zudem stehen die hier gefundenen Werte in Einklang mit einer Studie von Trehub, Schneider und Henderson (1995). Diese Autoren fanden unter anderem, daß bereits 5 Jahre alte Kinder mindestens Gaps von 8 ms besser als auf Zufallsniveau erkennen können. Auch die Studie von Van Ingelghem, van Wieringen et al. (2001) berichtet von Gap Detection-Schwellen in der hier gefundenen Größenordnung. Daher sind die hier dargestellten Werte eher insgesamt als erwartungsgemäß einzustufen als die in der Studie von Schulte-Körne und Kollegen nahezu doppelt so hohen Werte im Bereich um 10 ms. Unterschiede der absoluten Schwellenwerte können jedoch auch durch Eigenschaften der Stimuli beeinflußt sein. Wichtige Parameter sind in diesem Zusammenhang die Lautstärke der Stimuli, die Bandbreite als auch der Frequenzbereich, den die Stimuli einnehmen (Nelson und Thomas, 1997; Eddins, 1992; Grose, 1989).

Allein unterschiedliche Antwortmuster beziehungsweise Antworttendenzen können die gefundenen Gruppenunterschiede nicht hinreichend erklären. Eine Besonderheit des für diese Studie entwickelten Verfahrens bestand darin, während der adaptiv ablaufenden Messung neben den eigentlichen Stimuli auch Distraktoren zu präsentieren. Diese Distraktoren bestanden aus einem durchgehenden Rauschsignal. Eine Analyse der falsch positiven Antworten, das heißt der Antworten, bei denen auf die Präsentation eines Distraktors geantwortet wurde, daß ein Gap wahrgenommen worden sei, obwohl faktisch ein solches nicht vorhanden war, sollte daher Aufschluß über Effekte wie zwischen den Gruppen abweichende Antwortmuster etc. geben. Ein signifikanter Unterschied des Anteils dieser falsch positiven Antworten zwischen den beiden Gruppen konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Insgesamt kann daher vermutet werden, daß die in dieser Studie untersuchten Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung tatsächlich im Gruppenmittel defizitäre Leistungen in zumindest einem Bereich der auditiv-zeitlichen Verarbeitung erbrachten. Dennoch bleibt die Relevanz

eines solchen Defizits als Ursache schriftsprachlicher Leistungsdefizite für die hier untersuchten Kinder fraglich. Selbst unter der Annahme, daß die in dem hier verwendeten Test gezeigten Leistungen ein Abbild der Leistungsfähigkeit des neuronalen Hörverarbeitungssystems darstellen, erscheint es wenig plausibel, daß ein Defizit der Wahrnehmung von Gaps, das sich darin ausdrückt, daß im Median die zur Erkennung benötigte Dauer des Gaps um ca. .5 ms erhöht ist, die Sprachwahrnehmung nachhaltig verschlechtern kann.

Darüber hinaus zeigte sich insbesondere in der Gruppe der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung eine große Bandbreite der Leistungen in diesem Gap Detection-Test, weshalb diese defizitäre Leistungen vorwiegend nur einen Teil der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung betrafen. Dieser Befund kann die Bedeutung von Subpopulationen innerhalb des Störungsbildes der Lese-Rechtschreibstörung zusätzlich unterstreichen.

Zusammenhänge zwischen nonverbalen Leistungen und weiteren Leistungsbereichen. Um gegebenenfalls vom allgemeinen Gruppenverhalten abweichende Subpopulationen erkennen zu können, wurden zusätzlich Auswertungen vorgenommen, in denen Zusammenhänge der individuellen Gap Detection-Leistungen mit anderen Leistungsbereichen untersucht wurden.

Hierbei ergaben sich nur teilweise Resultate, die mit einer Theorie der auditiv-zeitlichen Verarbeitung als kausale Ursache für Lese-Rechtschreibstörungen konform sind: Theoriegemäß hingen Gap Detection-Leistungen mit individuellen Leistungen im Bereich der phonologischen Bewußtheit zusammen. Weiterhin ergaben sich signifikante Korrelationen mit unterschiedlichen schriftsprachlichen Leistungen. Indes zeigt eine genauere Analyse der einzelnen Teilaufgaben des verwendeten Lesetests, daß Untertests, die den Einsatz phonologischer Strategien überprüfen sollen, die schwächsten korrelativen Zusammenhänge zu Leistungen im Gap Detection-Test aufwiesen. Da theoriegemäß jedoch bei Kindern mit auditiv-zeitlichen Verarbeitungsdefiziten vor allem die Wahrnehmung von minimalen Spracheinheiten wie Phonemen oder kurzen Phonemfolgen gestört sein sollte, sollten vor allem auch Fertigkeiten im Umgang mit Phonem-Graphem-Beziehungen gestört sein. Daher wären im Gegensatz zu den vorliegenden Daten bei Kindern mit reduziertem auditiv-

zeitlichen Verarbeitungsvermögen Defizite im Einsatz phonologischer Strategien und somit bei Untertests, die diese Strategien überprüfen, zu erwarten. Dem könnte entgegengesetzt werden, daß im Laufe der Ontogenese der Kinder Defizite bei phonologischen Strategien auch die Aneignung üblicherweise häufiger und daher bekannter Wörter erschweren. Dies hätte auch Schwierigkeiten im Bereich direkter Lese-strategien zur Folge. Dennoch wären auch unter dieser Annahme zu-mindest vergleichbar hohe Korrelationsstärken bei allen überprüften Leseleistungen zu erwarten. Die hier aufgefundenen korrelativen Zu-sammenhänge können daher, ähnlich wie der zuvor diskutierte Grup-penunterschied in bezug auf Leistungen im Gap-Detection-Test, nur sehr eingeschränkt die Relevanz auditiv-zeitlicher Leistungen für die Ausbildung schriftsprachlicher Defizite stützen.

Weiterhin konnte kein systematischer Zusammenhang zwischen Lei-stungen im Gap Detection-Test und relativen Verbesserungen der Lautdiskrimination durch akustische Modifikationen, insbesondere durch eine Verlangsamung MS oder die vollständige Modifikation MV, festgestellt werden. Auch andere sprachliche Leistungen zeigten keinen Zusammenhang zu etwaigen Leistungsverbesserungen. Auch bei einer individuellen Betrachtung der zum Lautdiskriminationstest mit unmodifizierter Sprache relativen Leistungsverbesserungen ließen sich keine systematischen relativen Verbesserungen bei Kindern mit besonders erhöhter Gap Detection-Schwelle erkennen. Insgesamt können daher aus diesen Daten keine Hinweise auf Subpopulationen abgeleitet werden, deren Verhalten von den Gruppentendenzen mar-kant abwichen.

Ein in diesem Kontext eher selten diskutierter Punkt soll in diesem Zusammenhang besonders herausgestellt werden: Aufgrund der Struk-tur der Untersuchungen muß unklar bleiben, inwieweit Ergebnisse von Tests, die Leistungen im Bereich der auditiv-zeitlichen Verarbeitung erfassen sollen, mit präattentiven Prozessen der Sprachverarbeitung zusammenhängen. Offensichtlich können Informationen, die auf prä-attentiver Ebene grundsätzlich nicht neuronal kodiert werden können, auf höheren Verarbeitungsebenen nicht ausgewertet werden. Wenn je-doch auf präattentiv-perzeptueller Ebene die Codierung einer Informa-tion möglich ist, bedeutet dies nicht zwangsläufig, daß diese Informa-tion dann auch einer willentlichen, bewußten verbalen oder motori-

schen Äußerung der Versuchsperson zugänglich ist, was jedoch zu-
meist implizit unterstellt wird. Es könnte außerdem angenommen
werden, daß Informationen, die nicht benennbar sind beziehungsweise
nicht durch eine motorische oder ähnliche Reaktion ausgedrückt wer-
den können, dennoch bei der Verarbeitung von Sprachsignalen Ver-
wendung finden könnten. Beispielsweise ist anzunehmen, daß nur we-
nige Personen in der Lage sein dürften, ohne zuvor über die Struktur
des Sprachsignals informiert worden zu sein, die Stimmeinsatzzeit,
das heißt die Dauer einer relativen Stille, als ein unterscheidendes
Merkmal zwischen den Stimuli /ba/ und /pa/ zu benennen. Und dies,
obwohl die meisten Personen diese Stimuli in der Regel fehlerfrei
klassifizieren. Einen ersten entsprechenden Hinweis liefern die Daten
der Studie von Schulte-Körne, Deimel et al. (1999b), obwohl die Au-
toren diesen Punkt nicht weiter in ihre Diskussion aufnehmen. Die
Autoren gingen bei ihren Untersuchungen von einem vierstufigen
Modell der verschiedenen auditiven Verarbeitungsebenen bei der
Entwicklung von Lese-Rechtschreibkompetenzen aus (in Klammern
ist die zugehörige Operationalisierung angegeben):

1. Ebene: Präattentive und automatisierte Verarbeitung audi-
tiver Stimuli (Mismatch-Negativity bei Sprachstimuli)
2. Ebene: Bewußte Verarbeitung auditiver Stimuli (Laut-
diskrimination dieser Sprachstimuli).
3. Ebene: Bewußte und kognitive, phonologische Verarbei-
tung (Phoneme zählen).
4. Ebene: Schriftsprachliche Kompetenzen (Rechtschreib-
leistungen).

Das Modell war hierarchisch angelegt, das heißt, daß Leistungen einer
Ebene Leistungen der nachfolgenden Ebene beeinflussen sollten. Die
Autoren konnten jedoch pfadanalytisch dieses Modell nicht bestäti-
gen, sondern mußten einen zusätzlichen direkten Pfad von der
1. Ebene zur 4. Ebene in das Modell aufnehmen, um mit dem Modell
einen relevanten Anteil der Varianz (42 %) der experimentellen Daten
zu erklären. Dieser zusätzliche Pfad war gleichzeitig der Pfad, der am
meisten zu einer zusätzlichen Varianzaufklärung beitragen konnte.
Das heißt insbesondere, daß die Leistungen bewußter Lautdiskrimina-
tion weniger Varianzanteile aufklären konnten als Lautdiskriminati-

onsleistungen auf präattentiver Ebene. Auch Bradlow, Kraus et al. (1999) fanden zwar Unterschiede durch Messungen der Mismatch-Negativität, nicht aber auf behavioraler Ebene.

Auch die umgekehrte Schlußfolgerung erscheint nicht zwingend. So ist es denkbar, daß Informationen zwar im Rahmen einer experimentellen Untersuchung benannt werden können. Dies bedeutet aber nicht, daß diese Informationen auch beispielsweise zur Unterscheidung von Sprachlauten zur Verfügung stehen, da hierzu vermutlich im Laufe der Sprachentwicklung ein entsprechender Lernvorgang, der die jeweiligen Zentren der Informationsermittlung mit Zentren der Sprachverarbeitung verknüpft, ausgelöst worden sein muß.

Dennoch legen die Studien Werner (2001) und Desjardins, Trainor, Hevenor und Polak (1999) nahe, daß zwischen diesen Verhaltensebenen zumindest lose Zusammenhänge bestehen.

Training mit akustisch modifizierter Sprache. Ausgangspunkt dieser Studie waren Untersuchungen, in denen akustisch modifizierte Sprache innerhalb von Trainingsprogrammen für sprachentwicklungsgestörte Kinder (Gillam, Crofford et al., 2001; Loeb, Stoke et al., 2001; Merzenich, Jenkins et al., 1996; Tallal, Merzenich, Miller und Jenkins, 1998; Tallal, Miller et al., 1996) als auch für Kinder mit Lese-Rechtschreibstörungen (Habib, Espesser et al., 1999; Habib, Rey et al., 2002) eingesetzt wurden. Dies geschah unter der Annahme, daß die eingesetzten akustischen Sprachmodifikationen auditiv-zeitliche Verarbeitungsdefizite kompensieren und somit das Sprachverständnis der Versuchspersonen verbessern sollten. Die Befunde der hier dargestellten Studie stehen jedoch dieser Annahme entgegen. Es erscheint zudem nur wenig plausibel anzunehmen, daß die hier gefundenen Verschlechterungen der Lautdiskrimination im Verlaufe eines solchen Trainings nur kurzfristig bestünden, daß sich also die Lernenden rasch an die neuartige Sprachweise gewöhnen und anschließend von den vermuteten Effekten auf die auditiv-zeitliche Verarbeitung profitieren. So zeigte die Einzelfallstudie von Friel-Patti, DesBarres et al. (2001), in der der Trainingsverlauf von fünf Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen protokolliert wurde, insgesamt, daß wenn Kinder in einzelnen Aufgaben Fortschritte erzielten, diese Fortschritte weitgehend monoton steigend verliefen. Eine systematische „Aufwärmphase“ zu

Beginn der Trainingseinheiten läßt sich zumindest bei den fünf untersuchten Kindern nicht aus den Verlaufsprotokollen ableiten.

Bevor jedoch auf hieraus resultierende Implikationen eingegangen wird, soll auf die gegenseitige Übertragbarkeit der Ergebnisse aufgrund der unterschiedlichen Muttersprachen der untersuchten Personengruppen näher eingegangen werden. Wimmer, Hartl und Moser (1990) zeigen, daß Modelle des Leseerwerbs, wie sie für englischsprachige Kinder entwickelt wurden, aufgrund der unterschiedlichen Sprachstrukturen nur bedingt auf deutschsprachige Kinder übertragbar sind. Ein besonders markantes Merkmal, in dem sich derartig Sprachpaare unterscheiden, liegt in dem Grad der Direktheit der Verschriftlichung von Lautfolgen. Während im Deutschen das Lesen durch indirekte Strategien relativ erfolgreich ist, erfordert die englische Sprache stärker direkte Lesestrategien. Daher kann nicht a priori davon ausgegangen werden, daß Ergebnisse aus dem einen Sprachraum vollständig in den anderen Sprachraum übertragen werden können. Für eine Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit der hier dargestellten Ergebnisse von und auf die genannten Studien spräche jedoch die Studie von Paulesu, Demonet, Fazio, McCrory et al. (2001). Mittels PET-Untersuchungen konnten die Autoren zeigen, daß trotz oberflächlicher Sprachunterschiede, in diesem Fall im Vergleich von Englisch, Französisch und Italienisch, der Lese-Rechtschreibstörung sprachübergreifend vergleichbare, abnorme neurokognitive Aktivierungsmuster während Leseaufgaben zuzuordnen waren. Weiterhin könnte angeführt werden, daß sowohl Ergebnisse von Trainingsstudien als auch von direkten Untersuchungen der Lautdiskrimination, auch wenn diese jeweils untereinander nicht vollständig vergleichbar waren, bei modifizierter Sprache in jeweils mindestens zwei Sprachen zumindest teilweise reproduziert werden konnten. Wenn zudem, wie bereits dargestellt, nur von einer losen Beziehung zwischen Leistungen in Tests und entsprechenden Leistungen auf neuronaler Ebene auszugehen ist, stellt sich weiterhin die Frage, ob mit einem verhaltensorientierten Test zur auditiv-zeitlichen Verarbeitung ein für die Klassifikation oder Selektion der Probanden relevantes Unterscheidungsmerkmal *in hinreichendem Umfang* erfaßt wird. Dies betrifft grundsätzlich alle Studien, die Vergleiche auditiv-zeitlicher Leistungen auf verhaltensorientierter Ebene ziehen. Die Vergleichbarkeit der Probandengruppen könnte nun vor allem dadurch gefährdet sein, daß anzunehmen ist, daß

aufgrund des Publikationsverhaltens vor allem Trainingsstudien veröffentlicht wurden, bei denen ein Training mit akustisch modifizierter Sprache einen besonderen Zusatznutzen bei vorhandenen auditiv-zeitlichen Defiziten zeigte. Bislang können diese Faktoren jedoch nicht abschließend bewertet werden, weshalb diese insgesamt bei einer Beurteilung aller Ergebnisse relativierend berücksichtigt werden sollten. In nachfolgenden Studien könnte diesem Aspekt zumindest teilweise dadurch begegnet werden, daß neben behavioralen auch beispielsweise elektrophysiologische Daten zusätzlich miteinbezogen werden.

Zu welchen Implikationen führt nun die vorliegende Untersuchung in bezug auf den Einsatz akustischer Modifikationen in der Therapie der Lese-Rechtschreibstörung?

Die vorliegenden Daten sprechen nicht zwangsläufig gegen einen Einsatz akustisch modifizierter Sprache bei einer Therapie von Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung. Geht man aufgrund der bisherigen Forschungsliteratur von verbesserten Trainingsverläufen aufgrund der akustischen Modifikationen aus, so ergeben sich jedoch unterschiedliche Implikationen für mögliche Wirkmechanismen solcher Therapieansätze. Dementsprechend geben die vorliegenden Ergebnisse Anlaß, in zukünftigen Studien den Wirkmechanismus akustischer Modifikationen im Rahmen von Trainingsprogrammen für Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung näher zu analysieren. Zwei mögliche Wirkmechanismen könnten hierfür näher in Betracht gezogen werden.

Unter der Voraussetzung, daß, wie zuvor dargestellt, Einflüssen der Sprache als auch spezifischer nicht erfaßter Merkmale der auditiv-zeitlichen Verarbeitung beziehungsweise allgemeiner spezifischer Eigenschaften der hier untersuchten Versuchspersonengruppen eine untergeordnete Rolle zukommt, legen die hier gefundenen Daten nahe, daß ein Training nicht durch eine Verbesserung der Lautdiskrimination auf bewußter Ebene mit Hilfe von akustischen Modifikationen, wie sie bislang vorgeschlagen wurden, gefördert wird. Dies schließt jedoch nicht aus, daß durch akustisch modifizierte Sprachsignale beziehungsweise durch geeignete nichtsprachliche Signale Plastizität auf neuronaler Ebene der präattentiven Verarbeitung unterstützt werden könnte. In Analogie zu der vorherigen Argumentationskette ist jedoch auch diese Vermutung in Frage zu stellen, da auch dies zumindest mit-

telfristig nach einer „Aufwärmphase“ zu einem beschleunigten Leistungsanstieg führen sollte, der jedoch zumindest bislang nicht dokumentiert worden ist. Wahrscheinlicher erscheint dagegen, daß sekundäre Effekte der vorgeschlagenen akustischen Sprachmodifikationen eine Steigerung von Trainingsfortschritten ermöglichen. Die Reduktion der Lautdiskriminierbarkeit führt definitionsgemäß zu einer Erhöhung der Schwierigkeitsgrade der gestellten Aufgaben. Zumindest innerhalb hochmotivierender Lernumgebungen, wie sie beispielsweise durch aktuelle, kommerziell erhältliche Trainingsprogramme realisiert werden, könnte daher für trainierende Kinder ein besonderer Anreiz entstehen, ihre auditive Aufmerksamkeit auf die für sie ungewöhnlichen Sprachgeräusche besonders zu fokussieren und/oder zusätzliche Strategien für das Hörverständnis akustisch verzerrter Signale zu entwickeln.

Obwohl Urteile von Eltern bezüglich Aufmerksamkeitsleistungen ihrer Kinder nur vorsichtig bewertet werden sollten, stünden die Ergebnisse der hier verwendeten Fragebogenverfahren in Einklang mit dieser Annahme. Darüber hinaus zeigt Rao (1998) anhand von Untersuchungen an Erwachsenen, daß selektive auditive Aufmerksamkeit grundsätzlich trainiert werden kann. Dieser Erklärungsansatz stünde weiterhin mit den Schlußfolgerungen von Gillam, Loeb et al. (2001) in Einklang. In ihrem Abschlußartikel zur Beurteilung mehrerer Trainingsstudien unter Verwendung akustisch modifizierter Sprache kommen die Autoren dabei ebenfalls zum Schluß, daß bei den Kindern, die ihre sprachlichen Leistungen durch ein Training mit akustisch modifizierter Sprache verbesserten, dies nicht primär auf eine Verbesserung auditiv-zeitlicher Verarbeitungsleistungen zurückführbar sein könnte. Ein solcher auf einer Metaebene angesiedelter Wirkmechanismus könnte weiterhin, im Gegensatz zu dem zuvor dargestellten möglichen Wirkmechanismus auf neuronaler Ebene, auch die in den unterschiedlichen Trainingsstudien aufgefundenen weitreichenden Generalisierungseffekte erklären.

Diese Überlegungen könnten daher Anlaß für vielversprechende Weiterentwicklungen der bisher vorgesehenen akustischen Modifikationen geben. Bislang besteht ein bedeutender Nachteil unter anderem darin, daß die resultierende Sprache einerseits aus technischen Gründen wegen der für die Umsetzung der einzelnen Algorithmen notwendigen

Rechenleistung, andererseits aber auch aufgrund der a priori vorgesehenen zeitlichen Dehnung der Sprachsignale nicht in Echtzeit präsentiert werden kann. Wäre nun für eine Verbesserung eines Trainingsfortschrittes in erster Linie eine Reduktion der Sprachqualität relevant, so könnte diese auf vielfältige andere Weisen realisiert werden. Beispielsweise wäre es naheliegend, anstelle der vorgeschlagenen Modifikationsalgorithmen den Trainingsstimuli Hintergrundgeräusche, insbesondere sprachlicher Natur, beizumischen. Es erscheint dazu weiterhin sinnvoll, Aufgaben mit Stimuli, die in dieser Weise bezüglich ihrer Klangqualität verändert sind, nur in Kombination mit hochmotivierenden Lernumgebungen einzusetzen. Eine dauerhafte Beschallung in einem undefinierten Kontext erscheint dagegen als wenig nutzbringend, da dies eine Verstärkung der Entwicklungsdefizite in Analogie zu schwerhörigen Kindern zur Folge haben könnte. Diese Vermutung sollte jedoch durch entsprechende Studien überprüft werden.

Eine abschließende Beurteilung des Erfolges eines solchen Konzeptes bedarf jedoch noch weiterer Untersuchungen, die insbesondere eventuelle Einflüsse unterschiedlicher Sprachsysteme als auch weitergehende Subtypisierungen von Kindern mit Lese-Rechtschreibstörung sowohl auf behavioraler als auch auf neuronaler beziehungsweise elektrophysiologischer Ebene berücksichtigen sollten.

Zusammenfassung

In der Forschungsliteratur sind ätiologische Modelle vorgeschlagen worden, die Defizite der auditiv-zeitlichen Verarbeitung akustischer Reize als eine wesentliche Ursache von Sprachentwicklungsstörungen betrachten. In Erweiterung dieser Modelle sollen auch Störungen des Erwerbs schriftsprachlicher Kompetenzen, insbesondere die Lese-Rechtschreibstörung, durch derartige Defizite verursacht werden. Auf dieser Grundlage wurden akustische Sprachmodifikationen entwickelt, die Sprachsignale so modifizieren sollen, daß etwaige Störungen der auditiv-zeitlichen Verarbeitung kompensiert und dadurch insbesondere die Wahrnehmung und Verarbeitung von Sprachlauten verbessert werden sollen. Üblicherweise umfassen diese akustischen Modifikationen eine zeitliche Dehnung als auch eine spezifische Betonung einzelner Komponenten der Hüllkurve der Sprachsignale.

Bisherige Trainingsstudien legen bereits nahe, daß ein Training mit akustisch modifizierter Sprache zumindest bei einigen Kindern den Lernfortschritt gegenüber gleichen Trainingsmaßnahmen mit unmodifizierter Sprache beschleunigen könnte.

In der hier vorliegenden Untersuchung konnte nun gezeigt werden, daß die vorgeschlagenen akustischen Modifikationen im direkten Vergleich zu unmodifizierter Sprache Lautunterscheidungsleistungen im Gegensatz zur ursprünglichen Annahme reduzieren. Dies betraf die hier untersuchten deutschsprachigen Kinder der 3. und 4. Grundschulklassen sowohl ohne als auch mit Lese-Rechtschreibstörung.

Die Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung schnitten in Tests zur phonologischen Bewußtheit, beim Nachsprechen von Kunstwörtern als auch bezüglich der hier als Maß auditiv-zeitlicher Leistungen verwendeten Gap-Detection-Schwellen schwächer ab als Kinder ohne Lese-Rechtschreibstörung. Daher wurde gemäß der zugrundegelegten Hypothese angenommen, daß diese Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung zumindest relativ stärker von den akustischen Modifikationen profitieren sollten als die unauffälligen Kinder. Auch diese Annahme wird durch die Daten dieser Studie nicht unterstützt,

da das Ausmaß der Reduktion der Leistungen im Lautdiskriminationstest für beide Gruppen voneinander nicht signifikant verschieden ausfiel.

Eine entsprechende Untersuchung verschiedener Teilkomponenten, aus denen sich diese akustischen Modifikationen zusammensetzen, zeigte zudem, daß vor allem eine Betonung mittelhoher Frequenzen von Sprachsignalen in Zusammenhang mit einer Betonung sich schnell verändernder Anteile der Hüllkurve dieser Sprachsignale eine mit der vollständigen akustischen Modifikation vergleichbare Reduktion der Lautunterscheidungsleistungen zur Folge hatte. Keine der Teilkomponenten konnte die Lautdiskriminationsleistungen signifikant verbessern.

Diese Befunde stellen daher die bislang vermuteten Wirkmechanismen akustischer Modifikationen im Rahmen von Trainingsprogrammen in Frage. Sollten die vorliegenden Ergebnisse nicht durch spezifische Eigenschaften der deutschen Sprache oder durch spezifische Eigenschaften der untersuchten Kinder bezüglich auditiv-zeitlicher Verarbeitungsleistungen beeinflusst sein, so könnten diese Daten auf eine besondere Rolle sekundärer, insbesondere aufmerksamkeitsbezogener und motivationaler Effekte der akustischen Sprachmodifikationen in Trainingsprogrammen hindeuten.

Für zukünftige Untersuchungen wird daher empfohlen, derartige sekundäre Effekte mitzuerfassen. Die Ergebnisse dieser Studie legen weiterhin nahe, daß Trainingsmaßnahmen mit in der Qualität reduzierten Sprachstimuli im Rahmen einer hochmotivierenden Lernumgebung einen besonderen Nutzen zeigen könnten. Entsprechende Untersuchungen könnten daher zu einer neuartigen Gattung von Trainingsprogrammen führen.

In diesem Sinne wird ein besonderer wissenschaftlicher Wert der vorliegenden Ergebnisse sowohl auf Ebene der Theoriebildung als auch auf der Ebene der praxisorientierten Weiterentwicklung von Verfahren zur Therapie von Lese-Rechtschreibstörungen gesehen.

The effects of acoustical modifications on speech sound discrimination in children with developmental reading disorders

Aetiological models have been claimed that suggest that auditory temporal processing deficits may form a major cause for specific language impairments. These models also have been expanded to reading and/or writing impairments like dyslexia. Acoustical modifications of speech have been proposed that are expected to bypass such auditory temporal processing deficits. Therefore, the basic assumption is that these acoustical modifications should enhance the perception and processing of speech sounds. Typically, these acoustical modifications consist of lengthening speech sounds and of differentially enhancing specific components of the speech signals and their envelopes.

Thus far, different studies have shown that such acoustical modifications may increase the training efficiency of computer-based language training programs.

This study directly compared German-speaking children with respectively without reading and/or spelling impairments in the 3rd and 4th grade in respect to their speech sound discrimination performances of modified speech versus natural, unmodified speech. In contrast to the basic hypothesis, the acoustical modifications decreased the speech sound discrimination performances for both normal children without as well as for dyslexic children with reading and/or spelling impairments.

The impaired children showed lower performances compared to the unimpaired children in tests of phonological awareness, in reproducing nonsense words, as well as in regard to a gap detection test that was used as measure of auditory temporal processing capabilities. Since the dyslexic children on average showed greater difficulties in the language-related tasks and in gap detection, they were expected to profit more from the suggested acoustical modifications in accordance with the basic hypothesis. Data did not support this expectation, as the reduction of the number of correct responses in the speech discrimination task did not differ significantly from unimpaired children.

Furthermore, using only components of the acoustical modification algorithm, neither component could improve the speech sound discrimination performances significantly. Emphasizing midrange fre-

quencies in combination with enhancing components of the speech signals' envelopes resulted in detrimental effects that were comparable to the complete acoustical modification.

Unless our data are subject to specific properties of the German language or to specific properties in temporal processing of our children, these data seem to question the hitherto supposed mechanism of action. Further research should therefore especially focus on other than speech-related, e.g. attentional and motivational, concomitants of acoustical modifications. In particular, these findings might motivate future research on training children with sound-distorted speech within a highly motivating environment. Such research could lead to a new class of training programs for dyslexic children.

Therefore, this study might influence future research on a theoretical as well as on an application-oriented level.

Literatur

- Baer, T., Moore, B. & Kluk, K. (2002). Effects of low pass filtering on the intelligibility of speech in noise for people with and without dead regions at high frequencies. *Journal of the Acoustical Society of America*, 112(3), 1133-1144.
- Balise, R. (1997). Auditory processing in children with and without developmental dyslexia: Evidence of speech and non-speech processing abnormalities. *Dissertation Abstracts International: Section B: The Sciences & Engineering*, 57(9), 5940.
- Belin, P., McAdams, S., Thivard, L., Smith, B. et al. (2002). The neuroanatomical substrate of sound duration discrimination. *Neuropsychologia*, 40(12), 1956-1964.
- Berwanger, D. (2001). Sprachentwicklungsstörungen und Zeitverarbeitung. In: W. Suchodoletz (Hrsg.), *Sprachentwicklungsstörung und Gehirn* (118-147). Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer.
- Blender, A. (2004). Neuropsychologische Aspekte der Diagnostik von Kindern mit spezifischen Lernstörungen. Dissertation. Fakultät für Informations- und Kognitionswissenschaften. Tübingen.
- Boder, E. (1970). Developmental dyslexia: A new diagnostic approach based on the identification of three subtypes. *Journal of School Health*, 40(6), 289-290.
- Boder, E. (1973a). Developmental dyslexia: A diagnostic approach based on three atypical reading-spelling patterns. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 15(5), 663-687.
- Boder, E. (1973b). Developmental dyslexia: Prevailing diagnostic concepts and a new diagnostic approach. *Bulletin of the Orton Society*, 23, 106-118.
- Boersma, P. & Weenink, D. (2001). Praat - a system for doing phonetics by computer. Amsterdam.
- Bradley, L. & Bryant, P. (1978). Difficulties in auditory organisation as a possible cause of reading backwardness. *Nature*, 271, 746-747.
- Bradley, L. & Bryant, P. (1983). Categorizing sounds and learning to read: A causal connection. *Nature*, 301, 419-421.
- Bradlow, A., Kraus, N., Nicol, T., McGee, T. et al. (1999). Effects of lengthened formant transition duration on discrimination and neural representation of synthetic CV syllables by normal and learning-disabled children. *Journal of the Acoustical Society of America*, 106(4), 2086-2096.
- Brady, S., Scarborough, H. & Shankweiler, D. (1996). A perspective on two recent research reports. *Perspectives*, 5-8.
- Buonomano, D. (2000). Decoding temporal information: A model based on short-term synaptic plasticity. *The Journal of Neuroscience*, 20(3), 1129-1141.
- Buonomano, D. & Merzenich, M. (1995). Temporal information transformed into a spatial code by a neural network with realistic properties. *Science*, 267(5200), 1028-1030.
- Castles, A. & Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*, 47(2), 149-180.
- Clark, M., Rosen, G., Tallal, P. & Fitch, R. (2000). Impaired processing of complex auditory stimuli in rats with induced cerebrocortical microgyria: An animal model of developmental language disabilities. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 828-839.
- Clark, M., Sherman, G., Bimonte, H. & Fitch, R. (2000). Perceptual auditory gap detection deficits in male BXSB mice with cerebrocortical ectopias. *Neuroreport*, 11(4), 693-696.
- Conti-Ramsden, G. & Hesketh, A. (2003). Risk markers for SLI: A study of young language-learning children. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 38(3), 251-263.
- Corkin, S. (1974). Serial-ordering deficits in inferior readers. *Neuropsychologia*, 12(3), 347-354.

- Davelaar, E., Coltheart, M., Besner, D. & Jonasson, J. (1978). Phonological recoding and lexical access. *Memory & Cognition*, 6(4), 391-402.
- De Martino, S., Espesser, R., Rey, V. & Habib, M. (2001). The "temporal processing deficit" hypothesis in dyslexia: new experimental evidence. *Brain Cognition*, 46(1-2), 104-108.
- Desjardins, R., Trainor, L., Hevenor, S. & Polak, C. (1999). Using mismatch negativity to measure auditory temporal resolution thresholds. *Neuroreport: For Rapid Communication of Neuroscience Research*, 10(10), 2079-2082.
- Dilling, H., Monbaur, W. & Schmidt, M., (Hrsg.). (1993). Internationale Klassifikation psychischer Störungen ICD-10 Kapitel V(F) Klinisch-diagnostische Leitlinien. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Hans Huber.
- Döpfner, M. & Lehmkuhl, G. (1998). Diagnostik-System für psychische Störungen im Kindes- und Jugendalter nach ICD-10 und DSM-IV (DISYPS-KJ). Bern: Huber.
- Döpfner, M., Plück, J., Bölte, Lenz, K. et al. (1994). Elternfragebogen über das Verhalten von Kindern und Jugendlichen. Deutsche Bearbeitung der Child Behavior Checklist (CBCL/4-18). 2. Auflage mit deutschen Normen. Köln: Arbeitsgruppe Deutsche Child Behavior Checklist.
- Eddins, D., Joseph W. Grose, John H. (1992). The detection of temporal gaps as a function of frequency region and absolute noise bandwidth. *Journal of the Acoustical Society of America*, 91(2), 1069-1077.
- Eggermont, J. (1999). Neural correlates of gap detection in three auditory cortical fields in the Cat. *Journal of Neurophysiology*, 81(5), 2570-2581.
- Eggermont, J. (2000). Neural responses in primary auditory cortex mimic psychophysical, across-frequency-channel, gap-detection thresholds. *Journal of Neurophysiology*, 84(3), 1453-1463.
- Esser, G. & Schmidt, M. (1994). Children with specific reading retardation--early determinants and long- term outcome. *Acta Paedopsychiatr*, 56(3), 229-237.
- Esser, G., Wyschkon, A. & Schmidt, M. (2002). Was wird aus Achtjaehrigen mit einer Lese- und Rechtschreibstoerung: Ergebnisse im Alter von 25 Jahren. *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie: Forschung und Praxis*, 31(4), 235-242.
- Fagerheim, T., Raeymaekers, P., Tonnessen, F., Pedersen, M. et al. (1999). A new gene (DYX3) for dyslexia is located on chromosome 2. *Journal of Medical Genetics*, 36(9), 664-669.
- Farmer, M. E. & Klein, R. M. (1995). The evidence for a temporal processing deficit linked to dyslexia: A review. *Psychonomic Bulletin and Review*, 2(4), 460-493.
- Fraisse, P. (1984). Perception and estimation of time. *Annual Review in Psychology*, 35, 1-36.
- Friel-Patti, S., DesBarres, K. & Thibodeau, L. (2001). Case studies of children using Fast ForWord. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 10(3), 203-215.
- Friel-Patti, S., Loeb, D. & Gillam, R. (2001). Looking ahead: An introduction to five exploratory studies of Fast ForWord. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 10(3), 195-202.
- Fu, Q.-J., Galvin, J. & Wang, X. (2001). Recognition of time-distorted sentences by normal-hearing and cochlear-implant listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 109(1), 379-384.
- Galaburda, A., Sherman, G., Rosen, G., Aboitiz, F. & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology*, 18(2), 222-233.
- Gillam, R. (1999). Treatment for temporal processing deficits: Computer-assisted language intervention using Fast ForWord(R): Theoretical and empirical considerations for clinical decision-making. *Language, Speech, & Hearing Services in Schools*, 30(4), 363-370.
- Gillam, R., Crofford, J., Gale, M. & Hoffman, L. (2001). Language change following computer-assisted language instruction with Fast ForWord or Laureate Learning Systems software. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 10(3), 231-247.
- Gillam, R., Loeb, D. & Friel-Patti, S. (2001). Looking back: A summary of five exploratory studies on Fast ForWord. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 10(3), 269-273.

- Goldstein, E. (1997). *Wahrnehmungspsychologie*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum, Akademischer Verlag.
- Grose, J., David A. Hall, Joseph W. (1989). Gap detection as a function of stimulus bandwidth with fixed high-frequency cutoff in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 86(5), 1747-1755.
- Habib, M. (2000). The neurological basis of developmental dyslexia: an overview and working hypothesis. *Brain*, 123 Pt 12, 2373-2399.
- Habib, M., Espesser, R., Rey, V., Giraud, K. et al. (1999). Training dyslexics with acoustically modified speech: Evidence of improved phonological performance. *Brain and Cognition*, 40(1), 143-146.
- Habib, M., Rey, V., Daffaure, V., Camps, R. et al. (2002). Phonological training in children with dyslexia using temporally modified speech: A three-step pilot investigation. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 37(3), 289-308.
- Hautzinger, M. (Hrsg.). (2002). *Klinische Psychologie*. Weinheim: Beltz.
- Hayes, E., Warrier, C., Nicol, T., Zecker, S. & Kraus, N. (2003). Neural plasticity following auditory training in children with learning problems. *Clinical Neurophysiology*, 114(4), 673-684.
- Humphreys, G. & Evett, L. (1985). Are there independent lexical and nonlexical routes in word processing? An evaluation of the dual-route theory of reading. *Behavioral & Brain Sciences*, 8(4), 689-740.
- Hynd, G. & Semrud-Clikeman, M. (1989). Dyslexia and brain morphology. *Psychological Bulletin*, 106(3), 447-482.
- Ison, J., Bowen, K., Bocirnea, P. (1991). Temporal resolution of gaps in noise by the rat is lost with functional decortication. *Behavioral Neuroscience*, 105(1), 33-40.
- Jenkins, W., Merzenich, M., Miller, S., Peterson, B. & Tallal, P. (1997). Method and apparatus for training of sensory and perceptual systems in LLI Subjects, Scientific Learning Corporation.
- Kato, H., Tsuzaki, M. & Sagisaka, Y. (2002). Effects of phoneme class and duration on the acceptability of temporal modifications in speech. *Journal of the Acoustical Society of America*, 111(1), 387-400.
- Kluender, K., Diehl, R. & Killeen, P. (1987). Japanese quail can learn phonetic categories. *Science*, 237(4819), 1195-1197.
- Lacerda, F. (2001). Re-assessing the perceptual consequences of CV-transition speed. Lund University, Dept. of Linguistics Working Papers. Lund: 98-101.
- Lacerda, F. & Lindblom, B. (1998). Some remarks on Tallal's transform in the light of emergent phonology. In: C. von Euler, Lundberg, I. & Llinás, R. (Hrsg.), *Basic mechanisms in cognition and language* (197-222). Amsterdam: Elsevier.
- Landerl, K., Wimmer, H. & Moser, E. (1997). *Der Salzburger Lese- und Rechtschreibtest (SLRT)*. Göttingen: Hogrefe.
- Lennartz, R. & Weinberger, N. (1992). Frequency selectivity is related to temporal processing in parallel thalamocortical auditory pathways. *Brain Research*, 583, 81-92.
- 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.
- Lieberman, P., Chatillon, R., Schupack, M. (1985). Phonetic speech perception deficits in dyslexia. *Journal of Speech & Hearing Research*, 28(4), 480-486.
- Lisker, L. (1978). Rapid vs. Rabid: A catalogue of acoustic features that may cue the distinction. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 54, 127-132.
- Locke, J. (1980a). The inference of speech perception in the phonologically disordered child. Part I: A rationale, some criteria, the conventional tests. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 1980, 431-444.
- Locke, J. (1980b). The inference of speech perception in the phonologically disordered child. Part II: Some clinically novel procedures, their use, some findings. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 1980, 445-468.

- Loeb, D., Stoke, C. & Fey, M. (2001). Language changes associated with Fast ForWord-language: Evidence from case studies. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 10(3), 216-230.
- Marler, J., Champlin, C. & Gillam, R. (2001). Backward and simultaneous masking measured in children with language-learning impairments who received intervention with Fast ForWord or Laureate Learning Systems software. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 10(3), 258-268.
- Marx, H., Jansen, H. & Skowronek, H. (2000). Prognostische, differentielle und konkurrente Validität des Bielefelder Screenings zur Früherkennung von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten (BISC). In: M. Hasselhorn, Schneider, W. & Marx, H. (Hrsg.), Diagnostik von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten (9 - 34). Göttingen: Hogrefe.
- Marx, P. & Schneider, W. (2000). Entwicklung eines Tests zur phonologischen Bewusstheit im Grundschulalter. In: M. Hasselhorn, Schneider, W. & Marx, H. (Hrsg.), Diagnostik von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten (91 - 117). Göttingen: Hogrefe.
- Mathiak, K., Hertrich, I., Grodd, W. & Ackermann, H. (2002). Cerebellum and speech perception: A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(6), 902-912.
- McAnally, K., Hansen, P., Cornelissen, P. & Stein, J. (1997). Effect of time and frequency manipulation on syllable perception in developmental dyslexics. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 40(4), 912-924.
- McAnally, K. & Stein, J. (1996). Auditory temporal coding in dyslexia. *Proceedings of the Royal Society of London, Part B: Biological Sciences*, 263(1373), 961-965.
- McAnally, K. & Stein, J. (1997). Scalp potentials evoked by amplitude-modulated tones in dyslexia. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 40(4), 939-945.
- McCroskey, R. & Kidder, H. (1980). Auditory fusion among learning disabled, reading disabled, and normal children. *Journal of Learning Disabilities*, 13(2), 69-76.
- Merzenich, M., Wright, B., Jenkins, W., Xerri, C. et al. (1996). Cortical plasticity underlying perceptual, motor, and cognitive skill development: implications for neurorehabilitation. *Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology*, 61, 1-8.
- Merzenich, M., Jenkins, W., Johnston, P., Schreiner, C. et al. (1996). Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. *Science*, 271(5245), 77-81.
- Merzenich, M., Schreiner, C., Jenkins, W. & Wang, X. (1993). Neural mechanisms underlying temporal integration, segmentation, and input sequence representation: some implications for the origin of learning disabilities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 682, 1-22.
- Miller, S. & Tallal, P. (1996). Acoustically modified speech training studies: Implications for dyslexia? *Perspectives*, 8-9.
- Morris, D. W., Robinson, L., Turic, D., Duke, M. et al. (2000). Family-based association mapping provides evidence for a gene for reading disability on chromosome 15q. *Hum Mol Genet*, 9(5), 843-848.
- Mottier, G. (1951). Über Untersuchungen zur Sprache lesegestörter Kinder. *Folia Phoniatica*(3), 170-177.
- Nagarajan, S., Wang, X., Merzenich, M., Schreiner, C. et al. (1998). Speech Modifications Algorithms Used for Training Language Learning-Impaired Children. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 6(3), 257-268.
- Nelson, P. & Thomas, S. (1997). Gap detection as a function of stimulus loudness for listeners with and without hearing loss. *Journal of Speech & Hearing Research*, 40(6), 1387-1394.
- Nopola-Hemmi, J., Myllyluoma, B., Haltia, T., Taipale, M. et al. (2001). A dominant gene for developmental dyslexia on chromosome 3. *Journal of Medical Genetics*, 38(10), 658-664.
- Paulesu, E., Demonet, J. F., Fazio, F., McCrory, E. et al. (2001). Dyslexia: cultural diversity and biological unity. *Science*, 291(5511), 2165-2167.
- Phillips, D. (1993). Neural representation of stimulus times in the primary auditory cortex. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 682, 104-118.

- Phillips, D. & Farmer, M. (1990). Acquired word deafness, and the temporal grain of sound representation in the primary auditory cortex. *Behavioural Brain Research*, 40(2), 85-94.
- Preilowski, B. (1991). Neuropsychologische Syndrome. In: W. Fröscher (Hrsg.), *Lehrbuch der Neurologie* (241-284). Berlin: Gruyter.
- Preilowski, B. & Blender, A. (1999). Developmental dyslexia: a critical review of recent therapeutic approaches [abstract]. International Conference on Basic Mechanisms of Language & Language Disorders, Leipzig, Leipziger Universitäts Verlag.
- Rao, A. (1998). Plasticity of auditory selective attention in adults: A behavioral and physiological analysis. *Dissertation Abstracts International: Section B: The Sciences & Engineering*, 58(9-), 4701.
- Rayner, K., Pollatsek, A. & Bilsky, A. (1995). Can a temporal processing deficit account for dyslexia? *Psychonomic Bulletin and Review*, 2(4), 501-507.
- Recanzone, G., Schreiner, C. & Merzenich, M. (1993). Plasticity in the frequency representation of primary auditory cortex following discrimination training in adult owl monkeys. *The Journal of Neuroscience*, 13(1), 87-103.
- Reed, M. (1989). Speech perception and the discrimination of brief auditory cues in reading disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48(2), 270-292.
- Rosen, S. & Manganari, E. (2001). Is there a relationship between speech and nonspeech auditory processing in children with dyslexia? *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 44(4), 720-736.
- Rupp, A., Hack, S., Gutschalk, A., Schneider, P. et al. (2000). Fast temporal interactions in human auditory cortex. *Neuroreport*, 11(17), 3731-3736.
- Schneider, W., Ennemoser, M., Roth, E. & Küspert, P. (1999). Kindergarten prevention of dyslexia: Does training in phonological awareness work for everybody? *Journal of Learning Disabilities*, 32(5), 429-436.
- Schneider, W., Küspert, P., Roth, E. & Vise, M. (1997). Short- and long-term effects of training phonological awareness in kindergarten: Evidence from two German studies. *Journal of Experimental Child Psychology*, 66(3), 311-340.
- Schneider, W., Roth, E., Küspert, P. & Ennemoser, M. (1998). Kurz- und langfristige Effekte eines Trainings der sprachlichen (phonologischen) Bewußtheit bei unterschiedlichen Leitungsgruppen: Befunde einer Sekundäranalyse. *Zeitschrift fuer Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 30(1), 26-39.
- Schon, T. (1970). The effects on speech intelligibility of time-compression and -expansion on normal-hearing, hard of hearing, and aged males. *Journal of Auditory Research*, 10(3), 263-268.
- Schulte-Körne, G., Deimel, W., Bartling, J. & Remschmidt, H. (1998). Role of auditory temporal processing for reading and spelling disability. *Perceptual and Motor Skills*, 86(3, Pt 1), 1043-1047.
- Schulte-Körne, G., Deimel, W., Bartling, J. & Remschmidt, H. (1999a). Pre-attentive processing of auditory patterns in dyslexic human subjects. *Neuroscience Letters*, 276(1), 41-44.
- Schulte-Körne, G., Deimel, W., Bartling, J. & Remschmidt, H. (1999b). The role of phonological awareness, speech perception, and auditory temporal processing for dyslexia. *European Child Adolescents Psychiatry*, 8 (Suppl 3), 28-34.
- Schulte-Körne, G., Deimel, W. & Remschmidt, H. (2001). Zur Diagnostik der Lese-Rechtschreibstörung. *Zeitschrift für Kinder und Jugendpsychiatrie*, 29(2), 113-116.
- Seibert, A., Dierks, A., Strehlow, U., Haffner, J. et al. (2001). Der Mottier-Test als computergestütztes Screeningverfahren bei der Legastheniediagnostik. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 22(2), 118-126.
- Snowling, M., Bishop, D. V. & Stothard, S. E. (2000). Is preschool language impairment a risk factor for dyslexia in adolescence? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 41(5), 587-600.
- Snowling, M. J. (2001). From language to reading and dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 37-46.

- Steffens, M. L. E., Rebecca E. Gross-Glenn, Karen Jallad, Bonnie (1992). Speech perception in adult subjects with familial dyslexia. *Journal of Speech & Hearing Research*, 35(1), 192-200.
- Studdert-Kennedy, M., Liberman, A., Brady, S., Fowler, A. et al. (1994). Lengthened formant transitions are irrelevant to the improvement of speech and language impairments. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 119(120), 35-38.
- Sussman, J. E. (1993). Perception of formant transition cues to place of articulation in children with language impairments. *Journal of Speech & Hearing Research*, 36(6), 1286-1299.
- Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language*, 9(2), 182-198.
- Tallal, P., Galaburda, A., Llinas, R. & von Euler, C. (1993). Temporal information processing in the nervous system: Special reference to dyslexia and dysphasia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 682.
- Tallal, P., Merzenich, M., Miller, S. & Jenkins, W. (1998). Language learning impairments: integrating basic science, technology, and remediation. *Experimental Brain Research*, 123 (1-2), 210-219.
- Tallal, P., Miller, S., Bedi, G., Byma, G. et al. (1996). Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science*, 271(5245), 81-84.
- Tallal, P. & Piercy, M. (1973a). Defects of non-verbal auditory perception in children with developmental aphasia. *Nature*, 241(5390), 468-469.
- Tallal, P. & Piercy, M. (1973b). Developmental aphasia: Impaired rate of non-verbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia*, 11(4), 389-398.
- Tallal, P. & Piercy, M. (1974). Developmental aphasia: Rate of auditory processing and selective impairment of consonant perception. *Neuropsychologia*, 12(1), 83-93.
- Tallal, P. & Piercy, M. (1975). Developmental aphasia: The perception of brief vowels and extended stop consonants. *Neuropsychologia*, 13(1), 69-74.
- Tallal, P., Townsend, J., Curtiss, S. & Wulfeck, B. (1991). Phenotypic profiles of language-impaired children based on genetic/family history. *Brain and Language*, 41(1), 81-95.
- Tewes, U., Rossmann, P. & Schallberger, U. (2000). Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Kinder III (HAWIK-III). Göttingen: Hogrefe.
- Thibodeau, L., Friel-Patti, S. & Britt, L. (2001). Psychoacoustic performance in children completing Fast ForWord training. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 10(3), 248-257.
- Trehub, S., Schneider, B. A. & Henderson, J. (1995). Gap detection in infants, children, and adults. *Journal of the Acoustical Society of America*, 98(5), 2532-2541.
- Uchanski, R., Geers, A. & Protopapas, A. (2002). Intelligibility of modified speech for young listeners with normal and impaired hearing. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 45(5), 1027-1038.
- Urban, K. (1986). Hörverstehenstest für 4. bis 7. Klassen. Weinheim, Basel: Beltz.
- Van Ingelghem, M., van Wieringen, A., Wouters, J., Vandenbussche, E. et al. (2001). Psychophysical evidence for a general temporal processing deficit in children with dyslexia. *Neuroreport*, 12(16), 3603-3607.
- Vandali, A. (2001). Emphasis of short-duration acoustic speech cues for cochlear implant users. *Journal of the Acoustical Society of America*, 109(5), 2049-2061.
- Veale, T. (1999). Targeting temporal processing deficits through Fast ForWord(R): Language therapy with a new twist. *Language, Speech, & Hearing Services in Schools*, 30(4), 353-362.
- Vogler, G., DeFries, J. & Decker, S. (1985). Family history as an indicator of risk for reading disability. *Journal of Learning Disabilities*, 18(7), 419-421.
- Wagner, R. & Torgesen, J. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 101(2), 192-212.

- Weiß, R. (1987). Grundintelligenztest Skala 2 (CFT 20) mit Wortschatztest (WS) und Zahlenfolgentest (ZF). Göttingen: Hogrefe.
- Werner, L., Mancl, R., Syapin, L. (2001). Human auditory brainstem response to temporal gaps in noise. *Journal of Speech, Language, & Hearing Research*, 44(4), 737-750.
- Wimmer, H. (1996). The nonword reading deficit in developmental dyslexia: evidence from children learning to read German. *Journal of Experimental Child Psychology*, 61(1), 80-90.
- Wimmer, H., Hartl, M. & Moser, E. (1990). Passen "englische" Modelle des Schriftspracherwerbs auf "deutsche" Kinder? Zweifel an der Bedeutsamkeit der logographischen Stufe. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 22(2), 136-154.
- Wright, B., Lombardino, L., King, W., Puranik, C. et al. (1997). Deficits in auditory temporal and spectral resolution in language-impaired children. *Nature*, 387, 176-178.
- Ziegler, J., Perry, C., Ma-Wyatt, A., Ladner, D. & Schulte-Körne, G. (2003). Developmental dyslexia in different languages: Language-specific or universal? *Journal of Experimental Child Psychology*, 86(3), 169-193.

Anhang

PRAAT-Skript des Deepen Band Modification Algorithmus

(Quelle: Emailkommunikation P. Boersma, 2001)

```
form Consonantversterker
positive Enhancement_(dB) 20
choice Algoritme: 3
button (1) Luide stukken spreiden in de tijd
button (2) Versterken bij beweging
button (3) Intensiteitscontour filteren
comment Al deze algoritmen werken binnen alle frequentiebanden!
endform
smooth = 100
low = 300
high = 8000
maximumFactor = 10^(Enhancement/20)

Copy... original

# Remove filter bands.
To Spectrum
Formula... if x<'low'-'smooth' then self else
... if x<'low'+smooth' then self*(0.5+0.5*cos(pi*(x-('low'-'smooth'))/(2*'smooth')))) else
... if x<'high'-'smooth' then 0 else
... if x<'high'+smooth' then self*(0.5-0.5*cos(pi*(x-('high'-'smooth'))/(2*'smooth')))) else
... self fi fi fi fi
To Sound
Rename... enhanced

min = low
while min < high
mid_bark = hertzToBark (min) + 0.5
max = round (barkToHertz (hertzToBark (min) + 1))
if max > high
max = high
endif
call enhance_one_band
min = max
endwhile

select Spectrum original
plus Sound original
Remove

select Sound enhanced
Rename... 'Algoritme'_ 'Enhancement'
Scale... 0.99

procedure enhance_one_band
select Sound original
To Spectrum
```

```

Formula... if x<'min'-'smooth'then 0 else
... if x<'min'+ 'smooth' then self*(0.5-0.5*cos(pi*(x-('min'-'smooth'))/(2*'smooth')))) else
... if x<'max'-'smooth' then self else
... if x<'max'+ 'smooth' then self*(0.5+0.5*cos(pi*(x-('max'-'smooth'))/(2*'smooth')))) else
... 0 fi fi fi fi
Rename... band
To Sound
if Algorithme = 1
To Intensity... 120 0.01
select Intensity band
Erase all
Viewport... 0 6 0 4
Draw... 0 5 0 80 yes
Down to Matrix
Rename... factor
Formula... if Intensity_band [col-2] > self then Intensity_band [col-2] else self fi
Formula... if Intensity_band [col-1] > self then Intensity_band [col-1] else self fi
Formula... if Intensity_band [col+1] > self then Intensity_band [col+1] else self fi
Formula... if Intensity_band [col+2] > self then Intensity_band [col+2] else self fi
Red
Draw rows... 0 5 0 0 0 80
Black
Formula... self - Intensity_band []
Formula... if self > 'Enhancement' then 'Enhancement' else self fi
Formula... 10^(self/20)
Viewport... 0 6 4 8
Draw rows... 0 5 0 0 0 Enhancement
Draw inner box
Text top... yes Band from 'min' to 'max' Hertz
Marks bottom... 2 yes yes no
Marks left every... 1 5 yes yes yes
select Intensity band
Remove
elsif Algorithme = 2
To Intensity... 120 0.01
# Enhance contour
Erase all
Viewport... 0 6 0 4
Draw... 0 5 0 80 yes
Down to Matrix
Rename... factor
Formula... if col = 1 or col = ncol then 1 else
... (abs (Intensity_band [col-1] - Intensity_band []) +
... abs (Intensity_band [col+1] - Intensity_band []))*0.5 fi
Formula... if self < 1 then 1 else if self > 'maximumFactor' then 'maximumFactor' else self fi fi
Red
Draw rows... 0 5 0 0 1 maximumFactor
Black
Text top... yes Band from 'min' to 'max' Hertz
Marks right every... 1 1 yes yes yes
select Intensity band
Remove
elsif Algorithme = 3
Copy... intensity
Formula... self^2+1e-6
Formula... 10*log10(self)
To Spectrum
Rename... intensityfilt
Formula... self*exp(-(x/35)^2)-self*exp(-(x/3.5)^2); if x<3 or x>30 then 0 else self fi;

```

```
To Sound
Erase all
Viewport... 0 6 0 4
Text top... no Band van 'min' tot 'max' Hertz
Draw... 0 5 -10 10 yes
Down to Matrix
Rename... factor
Formula... 10^(Sound_intensityfilt[]/2)
ceiling = 1+(maximumFactor -1)*(0.5-0.5*cos(pi*mid_bark/13))
Formula... 1/(1/self+1/'ceiling')
Viewport... 0 6 4 8
Draw rows... 0 5 0 0 0 ceiling
Draw inner box
Marks bottom... 2 yes yes no
Marks left every... 1 1 yes yes yes
select Sound intensity
plus Spectrum intensityfilt
plus Sound intensityfilt
Remove
endif
select Sound band
Formula... self*Matrix_factor()

select Sound enhanced
Formula... self+Sound_band[]

select Matrix factor
plus Spectrum band
plus Sound band
Remove
endproc
```

Stimuli des Lautunterscheidungstests

Übungsaufgabe

tip

bit - tip - lip - tip - tip - stip - dip

1. Aufgabe

germ

germ - glerm - germ - kerm - germ - term - derm

2. Aufgabe

poltk

wolke - poltk - wolke - wolke - lobke - poltk - polte

3. Aufgabe

rumbo

rompo - rombo - prumpo - brumbo - rumbo - rumbro - rumpo

4. Aufgabe

tombelke

tompelke - pontelde - kempelte - tombelke - tombelke - bomtelke - tomelke

5. Aufgabe

frigaze

frigarze - trigaze - frigaze - frigazke - friganze - frigaze - gifraze

6. Aufgabe

oki - uft - ufe - urt

7. Aufgabe

kall - kem - kas - *gell*

8. Aufgabe

ebe - esi - eta - *ibe*

9. Aufgabe

möll - *naʃ* - mak - mot

10. Aufgabe

/b/, labo

rebi - sapo - eba - lebi - ipa

11. Aufgabe

/m/, gema

lami - rona - kami - rema - tuma

12. Aufgabe

/t/, peti

keti - pedi - geti - redi - pedi

13. Aufgabe

/ʃ/, buʃ

pich - nif - sif - zif - rich

14. Aufgabe

/n/, kon

tam - don - san - tom - rem

15. Aufgabe

/β/, braβ

gematβ - leboβ - sagoβ - rinost - kabis

Umrechnungstabellen der Lesedauer und O-Fehler in T-Werte des Salzburger Lese- und Rechtschreibtests

Lesedauer und interpolierte Prozentränge

3.Klasse						4.Klasse				
Zeit in Sek.	Häufige Wörter	Zusammen-gesetzte Wörter	Text lesen	Wort-un-ähnliche Pseu-do-wörter	Wort-ähnliche Pseu-do-wörter	Häufige Wörter	Zusammen-gesetzte Wörter	Text lesen	Wort-un-ähnliche Pseu-do-wörter	Wort-ähnliche Pseu-do-wörter
0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1	99.40	99.31	99.62	99.71	99.65	99.36	99.10	99.57	99.68	99.61
2	98.80	98.62	99.25	99.42	99.31	98.71	98.20	99.14	99.36	99.22
3	98.20	97.92	98.88	99.13	98.96	98.07	97.30	98.71	99.04	98.83
4	97.60	97.23	98.50	98.84	98.62	97.43	96.40	98.29	98.71	98.43
5	97.00	96.54	98.12	98.55	98.27	96.79	95.50	97.86	98.39	98.04
6	96.40	95.85	97.75	98.26	97.92	96.14	94.60	97.43	98.07	97.65
7	95.80	95.15	97.38	97.97	97.58	95.50	93.70	97.00	97.75	97.26
8	95.20	94.46	97.00	97.68	97.23	94.86	92.80	96.57	97.43	96.87
9	94.60	93.77	96.62	97.39	96.88	94.21	91.90	96.14	97.11	96.48
10	94.00	93.08	96.25	97.10	96.54	93.57	91.00	95.71	96.79	96.09
11	93.40	92.38	95.88	96.81	96.19	92.93	90.00	95.29	96.46	95.70
12	92.80	91.69	95.50	96.52	95.85	92.29	85.00	94.86	96.14	95.30
13	92.20	91.00	95.12	96.23	95.50	91.64	80.00	94.43	95.82	94.91
14	91.60	90.00	94.75	95.94	95.15	91.00	70.00	94.00	95.50	94.52
15	91.00	85.00	94.38	95.65	94.81	90.00	60.00	93.57	95.18	94.13
16	90.00	80.00	94.00	95.35	94.46	80.00	50.00	93.14	94.86	93.74
17	85.00	75.00	93.62	95.06	94.12	75.00	45.00	92.71	94.54	93.35
18	80.00	70.00	93.25	94.77	93.77	70.00	40.00	92.29	94.21	92.96
19	75.00	65.00	92.88	94.48	93.42	60.00	35.00	91.86	93.89	92.57
20	70.00	60.00	92.50	94.19	93.08	50.00	30.00	91.43	93.57	92.17
21	60.00	56.67	92.12	93.90	92.73	40.00	26.33	91.00	93.25	91.78
22	56.67	53.33	91.75	93.61	92.38	30.00	22.67	90.00	92.93	91.39
23	53.33	50.00	91.38	93.32	92.04	26.00	19.00	85.00	92.61	91.00
24	50.00	45.00	91.00	93.03	91.69	22.00	16.00	80.00	92.29	90.00
25	40.00	40.00	90.00	92.74	91.35	18.00	14.00	75.00	91.96	86.67
26	35.00	36.67	86.67	92.45	91.00	14.00	13.00	70.00	91.64	83.33
27	30.00	33.33	83.33	92.16	90.00	12.00	11.00	60.00	91.32	80.00
28	24.50	30.00	80.00	91.87	87.50	11.00	10.00	55.00	91.00	77.50
29	19.00	28.33	76.67	91.58	85.00	10.00	9.50	50.00	90.00	75.00
30	17.00	26.67	73.33	91.29	82.50	8.00	9.00	45.00	87.50	72.50
31	14.00	25.00	70.00	91.00	80.00	7.00	8.50	40.00	85.00	70.00
32	13.00	23.33	66.67	90.00	77.50	5.00	8.00	35.00	82.50	66.67
33	10.00	21.67	63.33	88.00	75.00	4.00	7.00	30.00	80.00	63.33
34	9.00	20.00	60.00	86.00	72.50	3.00	6.50	27.50	76.67	60.00
35	8.00	19.00	50.00	84.00	70.00	2.50	6.00	25.00	73.33	50.00
36	7.00	18.00	47.50	82.00	68.00	2.00	5.67	22.50	70.00	45.00
37	5.00	17.00	45.00	80.00	66.00	1.80	5.33	20.00	66.67	40.00
38	4.75	16.00	42.50	77.50	64.00	1.60	5.00	18.00	63.33	37.50
39	4.50	15.00	40.00	75.00	62.00	1.40	4.67	17.00	60.00	35.00

3.Klasse						4.Klasse				
Zeit in Sek.	Häufige Wörter	Zusammen-gesetzte Wörter	Text lesen	Wort-un-ähnliche Pseu-do-wörter	Wort-ähnliche Pseu-do-wörter	Häufige Wörter	Zusammen-gesetzte Wörter	Text lesen	Wort-un-ähnliche Pseu-do-wörter	Wort-ähnliche Pseu-do-wörter
40	4.25	14.00	37.50	72.50	60.00	1.20	4.33	16.00	55.00	32.50
41	4.00	12.00	35.00	70.00	55.00	1.00	4.00	13.00	50.00	30.00
42	3.00	11.50	32.50	67.50	50.00	0.50	3.83	12.00	46.67	27.50
43	2.88	11.00	30.00	65.00	47.50	0.50	3.67	10.00	43.33	25.00
44	2.75	10.50	28.57	62.50	45.00	0.50	3.50	9.00	40.00	22.50
45	2.62	10.00	27.14	60.00	42.50	0.50	3.33	8.00	37.50	20.00
46	2.50	9.00	25.71	56.67	40.00	0.50	3.17	7.75	35.00	18.00
47	2.38	8.00	24.29	53.33	38.00	0.50	3.00	7.50	32.50	17.00
48	2.25	7.00	22.86	50.00	36.00	0.50	2.94	7.25	30.00	16.50
49	2.12	6.75	21.43	47.50	34.00	0.50	2.88	7.00	28.00	16.00
50	2.00	6.50	20.00	45.00	32.00	0.50	2.81	6.00	26.00	15.00
51	1.75	6.25	19.00	42.50	30.00	0.50	2.75	5.80	24.00	14.00
52	1.50	6.00	18.00	40.00	28.57	0.50	2.69	5.60	22.00	13.50
53	1.25	5.80	16.00	38.33	27.14	0.50	2.62	5.40	20.00	13.00
54	1.00	5.60	15.50	36.67	25.71	0.50	2.56	5.20	19.00	12.00
55	0.50	5.40	15.00	35.00	24.29	0.50	2.50	5.00	18.00	10.00
56	0.50	5.20	14.00	33.33	22.86	0.50	2.44	4.67	16.00	8.00
57	0.50	5.00	13.75	31.67	21.43	0.50	2.38	4.33	15.00	7.00
58	0.50	4.50	13.50	30.00	20.00	0.50	2.31	4.00	14.00	6.00
59	0.50	4.00	13.25	28.75	19.00	0.50	2.25	3.86	13.00	5.50
60	0.50	3.89	13.00	27.50	18.50	0.50	2.19	3.71	12.00	5.00
61	0.50	3.78	12.50	26.25	18.00	0.50	2.12	3.57	11.00	4.00
62	0.50	3.67	12.00	25.00	17.00	0.50	2.06	3.43	10.00	3.92
63	0.50	3.56	11.00	23.75	16.00	0.50	2.00	3.29	9.50	3.83
64	0.50	3.44	10.00	22.50	15.00	0.50	1.89	3.14	9.00	3.75
65	0.50	3.33	9.00	21.25	14.00	0.50	1.78	3.00	8.00	3.67
66	0.50	3.22	8.67	20.00	13.00	0.50	1.67	2.67	7.00	3.58
67	0.50	3.11	8.33	18.00	12.00	0.50	1.56	2.33	6.67	3.50
68	0.50	3.00	8.00	17.00	11.50	0.50	1.44	2.00	6.33	3.42
69	0.50	2.97	7.67	16.00	11.00	0.50	1.33	1.83	6.00	3.33
70	0.50	2.93	7.33	15.50	10.00	0.50	1.22	1.67	5.88	3.25
71	0.50	2.90	7.00	15.00	9.50	0.50	1.11	1.50	5.75	3.17
72	0.50	2.87	6.86	14.00	9.00	0.50	1.00	1.33	5.62	3.08
73	0.50	2.83	6.71	13.00	8.00	0.50	0.50	1.17	5.50	3.00
74	0.50	2.80	6.57	12.50	7.75	0.50	0.50	1.00	5.38	2.75
75	0.50	2.77	6.43	12.00	7.50	0.50	0.50	0.50	5.25	2.50
76	0.50	2.73	6.29	11.50	7.25	0.50	0.50	0.50	5.12	2.25
77	0.50	2.70	6.14	11.00	7.00	0.50	0.50	0.50	5.00	2.00
78	0.50	2.67	6.00	10.00	6.00	0.50	0.50	0.50	4.86	1.94
79	0.50	2.63	5.83	9.75	5.50	0.50	0.50	0.50	4.71	1.88
80	0.50	2.60	5.67	9.50	5.00	0.50	0.50	0.50	4.57	1.82
81	0.50	2.57	5.50	9.25	4.90	0.50	0.50	0.50	4.43	1.76
82	0.50	2.53	5.33	9.00	4.80	0.50	0.50	0.50	4.29	1.71
83	0.50	2.50	5.17	8.50	4.70	0.50	0.50	0.50	4.14	1.65
84	0.50	2.47	5.00	8.00	4.60	0.50	0.50	0.50	4.00	1.59
85	0.50	2.43	4.91	7.00	4.50	0.50	0.50	0.50	3.88	1.53
86	0.50	2.40	4.82	6.00	4.40	0.50	0.50	0.50	3.75	1.47
87	0.50	2.37	4.73	5.75	4.30	0.50	0.50	0.50	3.62	1.41

O-Fehler und interpolierte Prozentränge

Anzahl O-Fehler	Klasse 3 PR	Klasse 4 PR	Anzahl O-Fehler	Klasse 3 PR	Klasse 4 PR
0	100.00	100.00	16	12.50	4.08
1	93.33	80.00	17	10.00	3.77
2	86.67	65.00	18	8.33	3.46
3	80.00	50.00	19	6.67	3.15
4	70.00	40.00	20	5.00	2.85
5	60.00	30.00	21	4.56	2.54
6	50.00	25.00	22	4.11	2.23
7	45.00	20.00	23	3.67	1.92
8	40.00	16.67	24	3.22	1.62
9	35.00	13.33	25	2.78	1.31
10	30.00	10.00	26	2.33	1.00
11	26.67	8.33	27	1.89	0.50
12	23.33	6.67	28	1.44	0.50
13	20.00	5.00	29	1.00	0.50
14	17.50	4.69	>29	0.50	0.50
15	15.00	4.38			

Zuordnung der Prozentränge zu quasinormalverteilten T- Werten

PR	T	PR	T	PR	T
0		34	45.9	68	54.7
1	26.7	35	46.1	69	55.0
2	29.5	36	46.4	70	55.2
3	31.2	37	46.7	71	55.5
4	32.5	38	46.9	72	55.8
5	33.6	39	47.2	73	56.1
6	34.5	40	47.5	74	56.4
7	35.2	41	47.7	75	56.7
8	35.9	42	48.0	76	57.1
9	36.6	43	48.2	77	57.4
10	37.2	44	48.5	78	57.7
11	37.7	45	48.7	79	58.1
12	38.3	46	49.0	80	58.4
13	38.7	47	49.2	81	58.8
14	39.2	48	49.5	82	59.2
15	39.6	49	49.7	83	59.5
16	40.1	50	50.0	84	59.9
17	40.5	51	50.3	85	60.4
18	40.8	52	50.5	86	60.8
19	41.2	53	50.8	87	61.3
20	41.6	54	51.0	88	61.7
21	41.9	55	51.3	89	62.3
22	42.3	56	51.5	90	62.8
23	42.6	57	51.8	91	63.4
24	42.9	58	52.0	92	64.1
25	43.3	59	52.3	93	64.8
26	43.6	60	52.5	94	65.5
27	43.9	61	52.8	95	66.4
28	44.2	62	53.1	96	67.5
29	44.5	63	53.3	97	68.8
30	44.8	64	53.6	98	70.5
31	45.0	65	53.9	99	73.3
32	45.3	66	54.1	100	
33	45.6	67	54.4		

Akronyme

CGM	Corpus geniculatum mediale
DBM	Deepen Band Modulation
KG	Kontrollgruppe (Gruppe der bezüglich des Lesens und Rechtschreibens unauffälligen Kinder)
LLI	language learning impairment, Sprachentwicklungsstörung
LRS	Lese-Rechtschreibstörung bzw. Gruppe der Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung (Experimentalgruppe)
MMF	Klangmodifikation durch Verstärkung mittelhoher Frequenzen
MMH	Klangmodifikation durch Kombination der Verstärkung mittelhoher Frequenzen (MMF) und einer Verstärkung sich rasch verändernder Anteile der Hüllkurve
MS	Klangmodifikation der Sprechgeschwindigkeit
MV	vollständige Klangmodifikation (Kombination von MS und MMH)
UM	unmodifizierte, natürliche Sprache
VOT	voice onset time, Stimmeinsatzzeit