

Universitätsklinikum Ulm
Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie III

Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. Dr. Manfred Spitzer

**Elektrophysiologische Korrelate
der Lese-Rechtschreibstörung
- eine EEG-Studie**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

eingereicht von
Kilian Gust
geboren in Stuttgart

2008

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Klaus-Michael Debatin

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. Manfred Spitzer

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Rainer Küfer

Tag der Promotion: 23. April 2009

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
------------------------------------	------------

1. Einleitung	1
1.1 Theoretische Grundlagen	4
1.1.1 Das Elektroenzephalogramm (EEG)	4
1.1.1.1 Das ereigniskorrelierte Potential (EKP).....	4
1.1.1.2 Die mismatch negativity (MMN)	5
1.1.2 Ursachenmodelle und Hypothesen der LRS-Entstehung.....	8
1.1.2.1 Genetische Disposition	8
1.1.2.2 Visuelles Defizit.....	8
1.1.2.3 Auditorische Störungen.....	9
1.1.2.4 Störung der phonologischen Bewusstheit.....	13
1.1.2.5 Stufenmodell der Entstehung einer LRS.....	13
1.2 Ziele der durchgeführten Studie	14
2. Material und Methoden.....	16
2.1 Votum der Ethikkommission	16
2.2 Studienaufbau.....	16
2.3 Probandenkollektiv	18
2.4 Studienplan	18
2.5 Beschreibung der diagnostischen Testverfahren	21
2.5.1 Intelligenztest CFT-1	21
2.5.2 Salzburger Lese- und Rechtschreibtest (SLRT).....	21
2.5.3 Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen (BAKO).....	23
2.6 Beschreibung der EEG-Untersuchung mit Messung der mismatch negativity (MMN) und des verwendeten Stimulationsmaterials	26
2.6.1 Die akustischen Stimuli	26
2.6.2 EEG-Aufzeichnung.....	26
2.6.3 EEG-Experiment	28
2.6.4 Ablauf der EEG-Sitzung	28
2.7 Auswertung der erhobenen Daten.....	31
2.7.1 Auswertung des CFT-1	31
2.7.2 Auswertung des SLRT	31
2.7.3 Auswertung des BAKO 1-4	31
2.7.4 Vorverarbeitungsschritte der EEG-Rohdaten.....	31
2.7.5 Statistische Auswertung	33
3. Ergebnisse	34
3.1 Ergebnisse der Gesamtstichprobe	34
3.1.1 Ergebnisse des CFT-1	34
3.1.2 Ergebnisse des Salzburger Lese-/Rechtschreibtest (SLRT).....	35
3.1.3 Vergleich der Ergebnisse des BAKO mit den Ergebnissen des Salzburger Lese-/Rechtschreibtest (SLRT).....	36

3.2	Ergebnisse der Versuchs- und Kontrollgruppe	37
3.2.1	Ergebnisse des Salzburger Lese-/Rechtschreibtest (SLRT)	38
3.2.1.1	Ergebnisse im Leseteil des SLRT	38
3.2.1.2	Ergebnisse im Rechtschreibteil des SLRT	40
3.2.2	Ergebnisse des BAKO	41
3.2.3	Ergebnisse der EEG-Untersuchung mit Messung der MMN	42
3.2.3.1	Ergebnisse des Sinustonpaares	42
3.2.3.2	Ergebnisse der Sprachstimuluspaares /ba/ vs. /da/	46
3.2.4	Vergleich der EEG-Daten (Sprachstimuli) mit Ergebnissen der psychometrischen Testverfahren zur Lese- und Rechtschreibfähigkeit	52
3.2.5	Vergleich der EEG-Daten (Sprachstimuli) mit Ergebnissen dem psychometrischen Testverfahren zur Überprüfung der phonologischen Bewusstheit – „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“ (BAKO)	54
4.	Diskussion	56
4.1	CFT-1	57
4.2	SLRT	57
4.2.1	Leseteil des SLRT	58
4.2.2	Rechtschreibteil des SLRT	58
4.3	Die Phonologische Bewusstheit überprüft mit dem BAKO	59
4.4	Elektrophysiologische Daten	60
4.4.1	MMN bei Sinustönen und Sprachreizen	60
4.4.2	Vergleich der elektrophysiologischen Daten mit den psychometrischen Daten aus den einzelnen Testverfahren	64
5.	Zusammenfassung	67
6.	Literaturverzeichnis	68
Anhang		79
Danksagungen		95

Abkürzungsverzeichnis

AEP	Akustisch evoziertes Potential
Ag	Silber
AgCl	Silberchlorid
ANOVA	Varianzanalyse (engl.: Analysis of variance)
BAKO	Test „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“
BAKGES	Gesamtpunktzahl im BAKO
BAKOLA	Punkte im Subtest „Lautkategorisierung“ des BAKO
BAKOPH	Punkte im Subtest „Phonemersetzung“ des BAKO
BAKOPW	Punkte im Subtest „Pseudowörter“ des BAKO
BAKORW	Punkte im Subtest „Restwortbestimmung“ des BAKO
BAKOVL	Punkte im Subtest „Vokallängenbestimmung“ aus BAKO
BAKOVO	Punkte im Subtest „Vokalersetzung“ des BAKO
BAKOUM	Punkte im Subtest „Wortumkehr“ aus BAKO
Bsp.	Beispiel
C3 / C4	Links-/rechtshemispherische zentrale Elektrodenpositionen
CD	Compact disc
CFT-1	Culture Fair Intelligence Test - Scale 1
CGM	Corpus geniculatum mediale
Cz	Zentrale Elektrodenposition in Medianlinie
df	Anzahl der Freiheitsgrade
DSM-IV	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders
EEG	Elektroenzephalographie
ELE	Elektrodenposition
ERP	Event related potential
EKP	Ereigniskorreliertes Potential
ERTS	Experimental Run Time System
F	Testwert
F3 / F4	Links-/rechtshemispherische frontale Elektrodenpositionen
FC3 / FC4	Links-/rechtshemispherische fronto-zentrale Elektrodenpositionen
fMRT	Funktionelle Magnetresonanztomographie
FPz	Erdungselektrode
Fz	Frontale Elektrodenposition in Medianlinie
GESF	Gesamtrechtschreibfehler im Salzburger Lese-Rechtschreibtest
GF	Fehler der Groß-/Kleinschreibung im Salzburger Lese-Rechtschreibtest
GLF	Gesamtlesefehler im Salzburger Lese-Rechtschreibtest
GLZT	Gesamtlesezeit im Salzburger Lese-Rechtschreibtest
GRP	Gruppe
HEOG	Horizontales Elektro-Okulogramm
HW	Häufige Wörter (Subtest des Leseteils des Salzburger Lese-Rechtschreibtests)
HWF	Lesefehler „Häufige Wörter“ im Leseteil des Salzburger Lese-Rechtschreibtests
HWZ	Lesezeit „Häufige Wörter“ im Leseteil des Salzburger Lese-Rechtschreibtests
Hz	Hertz

ICD-10	International Classification of Diseases, 10. Revision
IQ	Intelligenzquotient
ISI	Interstimulusintervall
kOhm	Kilo-Ohm
LRS	Lese-Rechtschreibstörung
M	Mittelwert
MEG	Magnetenzephalographie
MMN	mismatch negativity
MRT	Magnetresonanztomographie
ms	Millisekunden
mV	Millivolt
µV	Mikrovolt
n	Anzahl
NF	Nicht-lauttreue Rechtschreibfehler im Salzburger Lese-Rechtschreibtest
OF	Orthographische Rechtschreibfehler im Salzburger Lese-Rechtschreibtest
N2a	mismatch negativity
N2b	elektrophysiologisches Korrelat eines aktiven Diskriminationsprozesses
p	Statistische Signifikanz
Pkt	Punkte
PR	Prozentrang
r	Korrelationskoeffizient
SD	Standardabweichung (engl.: standard deviation)
SLRT	Salzburger Lese-Rechtschreibtest
SS	Sprachstimulus
STIM	Stimulus
T	Text (Subtest des Leseteils des Salzburger Lese-Rechtschreibtests)
t(n-2)	T-Verteilung mit (n-2)-Freiheitsgraden
TS	Tonstimulus
TLF	Lesefehler „Text“ des Salzburger Lese-Rechtschreibtest
TLZ	Lesezeit „Text“ des Salzburger Lese-Rechtschreibtests
VEOG	Vertikales Elektro-Okulogramm
vs.	gegenüber (lat.: versus)
WÄPW	Wortähnliche Pseudowörter (Leseteil des Salzburger Lese-Rechtschreibtests)
WAF	Lesefehler „wortähnliche Pseudowörter“ des Salzburger Lese-Rechtschreibtests
WAZ	Lesezeit „wortähnliche Pseudowörter“ des Salzburger Lese-Rechtschreibtests
WUÄPW	Wortunähnliche Pseudowörter (Subtest des Leseteils des Salzburger Lese-Rechtschreibtest)
WUF	Lesefehler „wortunähnliche Pseudowörter“ des Salzburger Lese-Rechtschreibtests
WUZ	Lesezeit „wortunähnliche Pseudowörter“ des Salzburger Lese-Rechtschreibtests
ZW	Zusammengesetzte Wörter (Subtest des Leseteils des Salzburger Lese-Rechtschreibtests)
ZWF	Lesefehler „Zusammengesetzte Wörter“ des Salzburger Lese-Rechtschreibtests
ZWZ	Lesezeit „Zusammengesetzte Wörter“ des Salzburger Lese-Rechtschreibtests

1. Einleitung

In den letzten Jahren haben sich viele Studien mit der Lese-Rechtschreibstörung (LRS) oder auch Dyslexie befasst. Vor allem die interdisziplinäre Forschung von Ärzten, Biologen, Pädagogen und Psychologen hat zu neuen Erkenntnissen über die möglichen Ursachen der LRS geführt, jedoch führen Unterschiede bei der Betrachtung von Ursache und Entstehungsprozess der LRS in den einzelnen Fachrichtungen zu Schwierigkeiten, eine einheitliche Definition der LRS zu finden. Häufig werden die Begriffe Legasthenie, Lese-Rechtschreibstörung, Lese-Rechtschreibschwäche und Dyslexie synonym verwendet, wobei in der angloamerikanischen Literatur der Begriff „dyslexia“ eine reine Leseschwäche beschreibt.

Was ist die LRS?

Bei der LRS handelt es sich um eine Teilleistungsstörung. Es treten also Schwierigkeiten beim Lese- und Schreibprozess unabhängig von Leistungen in anderen schulischen Bereichen und der Intelligenz auf. So wird im ICD-10 die Diagnose LRS lediglich bei Vorhandensein eines normalen oder überdurchschnittlichen Intelligenzniveaus vergeben.

Bei epidemiologischen Untersuchungen wurde eine Prävalenz im deutschen Sprachraum von 4-7 % ermittelt (WARNKE 2008), die der Prävalenz im englischen Sprachraum entspricht, welche mit 4-8 % angegeben wird (SHAYWITZ et al. 1990; LEWIS et al. 1992).

Diagnostische Kriterien der LRS nach dem ICD-10

Das Hauptmerkmal der LRS ist eine umschriebene und bedeutsame Beeinträchtigung in der Entwicklung der Lesefertigkeiten, die nicht allein durch das Entwicklungsalter, Visusprobleme oder unangemessene Beschulung erklärbar ist. Das Leseverständnis, die Fähigkeit, gelesene Worte wieder zu erkennen, vorzulesen und Leistungen, für welche Lesefähigkeit nötig ist, können sämtlich betroffen sein. Bei umschriebenen Lesestörungen sind Rechtschreibstörungen häufig und persistieren oft bis in die Adoleszenz, auch wenn einige Fortschritte im

Lesen gemacht werden. Umschriebenen Entwicklungsstörungen des Lesens gehen Entwicklungsstörungen des Sprechens oder der Sprache voraus. Während der Schulzeit sind begleitende Störungen im emotionalen und Verhaltensbereich häufig.

Leitsymptome der Lesestörung (WARNKE et al. 2007)

- Auslassen, Ersetzen, Verdrehen oder Hinzufügen von Worten oder Wortteilen
- Niedrige Lesegeschwindigkeit
- Startschwierigkeiten beim Vorlesen, langes Zögern oder Verlieren der Zeile im Text
- Ungenaueres Phrasieren
- Vertauschen von Wörtern im Satz oder von Buchstaben in den Wörtern

Hinzu kommen Defizite im Leseverständnis:

Die Beeinträchtigung Gelesenes wiederzugeben und aus dem Gelesenen Schlüsse zu ziehen oder Zusammenhänge daraus zu erkennen.

Rechtschreibfehler im Rahmen der Lese-Rechtschreibstörung (LRS)

zeigen sich häufig durch (nach WARNKE et al. 2007):

- Reversionen: innerhalb eines Wortes werden Buchstaben verdreht, besonders oft bei den Buchstabenpaaren "b-d" und "p-q"
- Reihenfolgefehler: in einem Wort werden die Buchstaben umgestellt
- Auslassen von einzelnen Buchstaben oder Wortteilen
- Einfügen von falschen Buchstaben oder Wortteilen
- Regelfehler: Fehler in der Groß- und Kleinschreibung, Dehnungsfehler
- Wahrnehmungsfehler: ähnlich klingende Buchstaben werden verwechselt, z.B. d - t oder g - k
- Fehlerinkonstanz: Ein und dasselbe Wort wird auch nach unter Umständen mehrjähriger Übung wird dasselbe Wort unterschiedlich fehlerhaft geschrieben.

26. Die Katze sitzt vor der Tür.
27. Nun wollen wir ein Lied singen.
28. Inge und Rudi haben sich im Wald herlaufen.
29. Ich liege im weichen Mass.
30. Er steckt den Schlüssel an die Tür.
31. Er muss larn nach Hause kommen.
32. Meine Freunde Wonen in einem Dorf.
33. Die Kinder pflücken süße Benen.
34. Das Buch ist Dicker als die Zeitung.
35. Der Bub hat starke Schmerzen.
36. Ich kaufe einen neuen Schuh.
37. Das Kind Rennt auf die Straße.
38. Klaus kauft ein Motorrad.
39. Manuel zieht seinen Pullover aus.
40. Wir senschnen leise zu sein.

Abb. 1: Typisches Beispiel eines Lückentextes im Rahmen des Salzburger Lese-Rechtschreibtests (SLRT) für ein Kind mit einer Lese-Rechtschreibstörung.

1.1 Theoretische Grundlagen

1.1.1 Das Elektroenzephalogramm (EEG)

Das EEG ist ein Verfahren zur Messung von Hirnströmen. Es erlaubt sowohl die Ableitung der spontanen hirnelektrischen Aktivität, als auch wie im Falle dieser Studie die Ableitung ereigniskorrelierter Potentialer (EKPs), also der elektrischen Antwort auf die kognitive Verarbeitung von Stimuli (BERLIT 2007).

Im Vergleich zu anderen Techniken zur Bestimmung der Hirnaktivität bietet das EEG den Vorteil einer hohen zeitlichen Auflösung. Diese Vorteile werden jedoch von Nachteilen begleitet, die sich auf die geringe räumliche Auflösung beziehen (SCHLÖGL 2003).

Die Elektroenzephalographie wurde Ende der zwanziger Jahre des 20. Jahrhunderts von dem deutschen Nervenarzt Hans Berger entwickelt und zeichnet von Nervenzellen des Gehirns ausgehende elektrische Potentialschwankungen auf (BERGER 1929). Diese Potentialschwankungen sind auf Strömen durch die Hirnrinde zurückzuführen, die in Abhängigkeit von ihrer Frequenz eingeteilt werden. Man unterscheidet Alpha- (8 - 12 Hz), Beta- (13 - 30 Hz), Theta- (4 - 7 Hz) und Delta-Wellen (< 4 Hz). Das Elektroenzephalogramm ist die graphische Darstellung dieser Wellen in Abhängigkeit der Zeit als so genannte hirnelektrische Kurven oder Hirnstromkurven. Die als Summenpotentiale registrierten Spannungen liegen in einem Bereich von 20 - 200 μV . Das EEG spiegelt das Aktivitätsniveau des Gehirns wider.

Bei geistiger Betätigung erhöht sich die Frequenz der Hirnstromwellen und verlagert sich in den Frequenzbereich der Beta-Wellen. Dem gegenüber sinkt sie während des Schlafes in den Bereich der Theta- und Delta-Wellen herab. Mittels evozierter und ereigniskorrelierter Potentiale lassen sich reizsynchrone Anteile des EEG darstellen (RUGG und COLES 1995).

1.1.1.1 Das ereigniskorrelierte Potential (EKP)

Als ereigniskorreliertes Potential bezeichnet man kurze Veränderungen im EEG-Signal in Folge der kognitiven Verarbeitung eines sensorischen Stimulus (KOLB und WISHAW 2003). EKPs eignen sich zur Erfassung kognitiver Operationen, da sie elektrophysiologische Korrelate komplexer Verarbeitungsprozesse darstellen. EKPs werden aus dem EEG über Mittelungen berechnet und

reflektieren die bei der Verarbeitung von inneren und äußeren Ereignissen auftretende Gehirnaktivität. Durch das reizgebundene, stabile Auftreten der EKPs ist jedoch mit Hilfe der Mittelungstechnik eine Separation von der reizungebundenen, zufälligen Spontanaktivität möglich (COULSON et al. 1998). Aufgrund der geringen Amplituden (1 - 30 μ V) evozierter Potentiale muss eine große Zahl von Reizantworten gemittelt werden, um eine verwertbare Antwort zu erhalten (Averaging) (BERLIT 2007). Das Ergebnis besteht in einer Wellenform, die eine Reihe auf- und abwärtsgerichteter Spitzen (Gipfel) enthält, die entsprechend ihrer Spannungspolarität als „positive Gipfel“ oder „negative Gipfel“ bezeichnet werden. Das EKP-Muster kann herangezogen werden, um die normale Funktion einer Gehirnregion zu überprüfen und zu analysieren, wie sie Informationen verarbeitet (KOLB und WISHAW 2003). Mit Hilfe von EKPs ist vor allem eine zeitliche Differenzierung kognitiver Prozesse, jedoch nur bedingt eine räumliche Lokalisation von Komponenten möglich. Auf diese Weise können Interaktion und Reihenfolge der beteiligten Subprozesse untersucht werden.

1.1.1.2 Die mismatch negativity (MMN)

Die mismatch negativity ist eine elektrophysiologische Komponente akustisch evozierter Potentiale (NÄÄTÄNEN 1992 und 1995).

Die MMN wird ausgelöst, wenn die durch eine Serie von Standardreizen gebildete Regularität durch gelegentlich auftretende, abweichende Reize verletzt wird (SCHRÖGER und WOLFF 1998), die sich in einem oder mehreren physikalischen Parametern wie Länge, Frequenz oder Lautstärke unterscheiden (NÄÄTÄNEN 1992).

Die MMN wird (größtenteils) im Hörkortex erzeugt. Sie reflektiert das Ergebnis eines Vergleichs der Repräsentation der aktuellen Stimulation mit der Repräsentation der Invarianten der vorangegangenen Stimulation. Bei der MMN handelt es sich um eine unwillkürliche, automatisierte Antwort auf einen Stimulus. Sie zeichnet sich durch eine an frontozentralen Elektrodenpositionen (z.B. Fz) erhöhte Negativierung des ereigniskorrelierten Potentials zu abweichenden Reizen (Deviant) im Vergleich zum Potential des Standardreizes im Bereich von etwa 100 bis 250 ms relativ zum Reizbeginn aus. An posterolateralen Elektrodenpositionen (z.B. Linker Mastoid) ist das EKP positiv. Der im EKP reflektierte Unterschied zwischen der Verarbeitung des Standards und des

Deviants wird am besten in der Differenzkurve (Deviant minus Standard) sichtbar (SCHRÖGER und WOLFF 1998) - also der MMN.

Ein klassisches Paradigma zur Auslösung der MMN ist die Präsentation einer Folge von homologen Stimuli, die durch seltene, in ihren Merkmalen abweichende oder fehlende Reize unterbrochen wird. Dabei konzentriert sich die Versuchsperson auf eine andere, meist visuelle Aufgabe, so dass die Aufmerksamkeit von den Tönen abgelenkt ist. Stellt man nun die Differenzkurve aus dem EKP des Standardtons subtrahiert vom EKP des Devianten dar, so findet man eine Negativierung um 200 ms post stimulus. Dieses frontozentrale negative Potential wird als „mismatch negativity“ oder auch N2a bezeichnet, da es die mangelnde Übereinstimmung des Devianten mit der Vorlage repetitiver Standardtöne reflektiert. Dessen EKP ist im Vergleich zu dem des Standardtons nach Negativ verschoben. Die MMN ist also das neuronale Korrelat eines Vergleichsprozesses des ankommenden Reizes mit vorher gespeicherten Reizen derselben Modalität. Je größer dabei die Stimulusdifferenz, desto höher die MMN-Amplitude und desto kürzer die Peak-Latenz und -Dauer. Dafür ist die MMN nicht sensitiv auf Änderungen der willentlichen, gerichteten Aufmerksamkeit und ist damit unabhängig von der Relevanz des Stimulus für das Individuum. NÄÄTÄNEN (1990) interpretierte sie als automatischen, vorbewussten kortikalen Verarbeitungsschritt. Nach OADES (1999) stellt die MMN ein Maß für eine neuronale Erregung und eine Spur des akustischen Arbeitsgedächtnisses für eine Reizverarbeitung dar. Die MMN gibt einen Hinweis für die Menge und Genauigkeit der spezifischen extrahierten und weitergeleiteten Stimulusinformationen.

Sie ist für die passive Oddball-Bedingung am besten untersucht und bildet hier den einzigen bedeutenden Unterschied der EKPs von Standardton und Deviant (NÄÄTÄNEN 1990). Sie tritt aber auch bei der aktiven Bedingung auf, wenn die Probanden sich auf den Zielton konzentrieren sollen, nur kommt es hier zu Überlappungen mit der N2b. Die N2b entspricht einem aktiven Diskriminationsprozess und weist eine etwas längere Latenz auf. Der Unterschied zur N2a besteht darin, dass die Probanden die Aufmerksamkeit auf die seltenen, abweichenden Reize richten müssen (NÄÄTÄNEN 1992). Eine Reduktion der MMN-Amplitude mit zunehmendem Alter konnte nachgewiesen werden, wobei diese auf eine Beeinträchtigung der automatischen Detektion von Stimulusabweichungen im Alter zurückgeführt wurde (WOODS 1992).

Die Generatoren der MMN befinden sich in den primären und sekundären sensorischen Arealen (SAMS et al. 1991) sowie im Frontallappen (GIARD et al. 1991), dessen Beitrag zur MMN als Orientierungsreaktion auf den seltenen Reiz gedeutet wird.

NÄÄTÄNEN (1990) diskutiert zwei mögliche Erklärungen der MMN. Die Refraktionstheorie geht von einer sensorischen Ermüdung frequenzspezifischer kortikaler Neurone aus, die durch ihre Refraktärzeit nach Erregung Informationen des Stimulus speichern und so einen Vergleich mit nachfolgenden Reizen ermöglichen (THOMPSON 1979). Die zweite Theorie postuliert einen separaten MMN-Generator, der nur auf die Unterschiede zweier Stimuli, nicht auf den Einzelreiz reagiert. Dies setzt eine exakte Gedächtnisvorlage des Standardtons voraus („*memory-trace explanation*“), da schon kleinste Unterschiede eine MMN hervorrufen. Dies würde erklären, dass die MMN umso größer und früher erscheint, je stärker sich zwei aufeinander folgende Reize unterscheiden.

Das Vorliegen der MMN impliziert Gedächtnisrepräsentationen der entsprechenden Reizmerkmale. Durch geeignete Wahl von Standardreiz und verändertem Reiz lassen sich Eigenschaften des auditiven Gedächtnisses untersuchen. Die MMN ist also ein objektiver Indikator für sensorische (Gedächtnis-)Repräsentationen, aus denen auditive Perzepte konstruiert werden (NÄÄTÄNEN 1992).

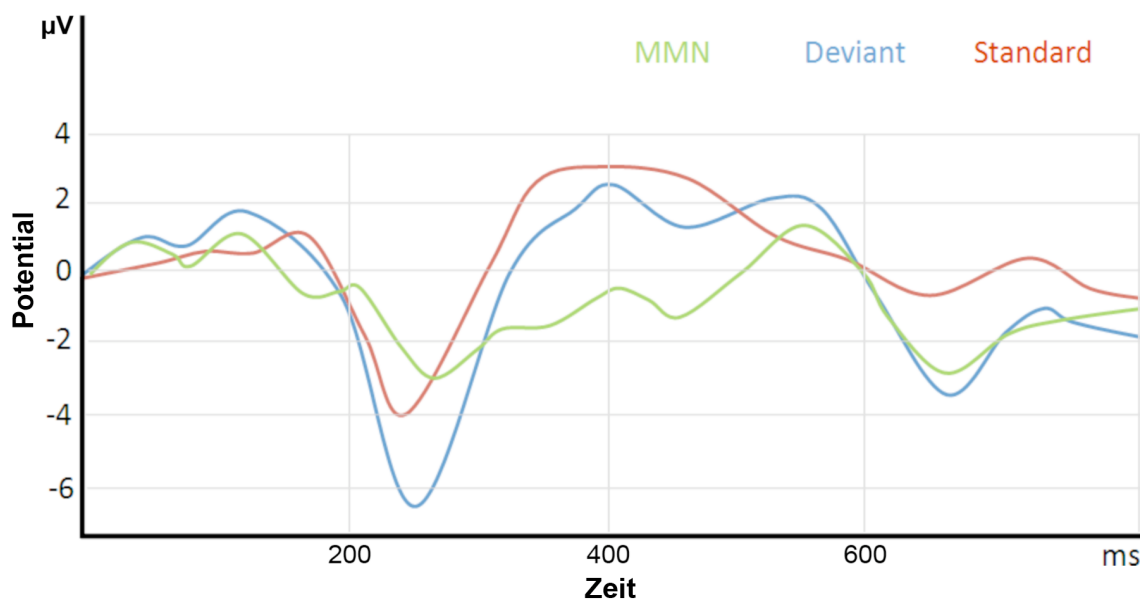


Abb. 2: Beispiel zweier ereigniskorrelierter Potentiale, wobei sich die mismatch negativity (MMN) als Differenz zwischen Deviant- und Standardstimulus errechnet. (modifiziert aus: EST! 2004)

Inzwischen sind mit der MMN auch die Verarbeitung komplexer, temporaler und linguistischer auditiver Reize an gesunden Probanden und an verschiedenen klinischen Populationen untersucht worden. Ein wichtiger Ertrag dieser Forschung ist die Erkenntnis, dass unser auditives System sehr viel an Reizinformation extrahiert, relativ komplexe Invarianten der akustischen Umwelt erkennt und kurzfristig in sensorischen Gedächtnisspuren repräsentiert, auch wenn die Versuchsperson den Reizen keine Beachtung schenkt.

1.1.2 Ursachenmodelle und Hypothesen der LRS-Entstehung

Einer LRS können Störungen bzw. Defizite in verschiedenen Systemen der Sinnesverarbeitung zugrunde liegen. Defizite werden im auditiven System ebenso beobachtet wie im visuellen Systems, diese können sowohl isoliert, als auch in Kombination auftreten. Zur Erklärung der komplexen, einer LRS zugrunde liegenden möglichen Ursachen sollen zunächst die einzelnen Defizite der Sprachverarbeitung in Laut- und Schriftform dargestellt werden, um dann im speziellen die Basis dieser Studie zu erläutern.

1.1.2.1 Genetische Disposition

In verschiedenen Studien wurde gezeigt, dass in der Verwandtschaft von LRS-Betroffenen eine erhöhte Prävalenz von Sprach- und Leseproblemen gefunden werden kann. Diese Beobachtung lässt eine genetische Komponente der LRS vermuten (CARDON et al. 1994 und 1995; SCHULTE-KÖRNE et al. 1996; SCHULTE-KÖRNE 2001).

Für die LRS konnte eine Assoziation mit mehreren Chromosomen nachgewiesen werden. Zu den in diesem Zusammenhang am besten untersuchten gehören die Chromosomen 6, 7, 13, 15 auf denen sogenannte DYX-Loci gefunden wurden (GIBSON und GRUEN 2008).

1.1.2.2 Visuelles Defizit

Bei der Hypothese des visuellen Defizits sind organische Störungen im Bereich des Auges von Störungen der zentralen visuellen Reizverarbeitung abzugrenzen. Bei der LRS scheint vor allem eine Verarbeitungsstörung im magnozellulären System eine Rolle zu spielen (STEIN und TALCOTT 1999).

Organische Störungen im Bereich des Augapfels

STEIN et al. (2000) wiesen bei LRS-Probanden eine Instabilität der binokulären Fixation nach und MOTSCH und MÜHLENDYCK (2001) und zeigten bei dem untersuchten Kollektiv Motilitätsstörungen (Winkelfehlsichtigkeit) und Refraktionsanomalien. Beide Studien zeigten eine Verbesserung der Leseleistung und der LRS-Symptomatik nach Korrektur der okulären Störung.

Störungen im Bereich der zentralen visuellen Reizverarbeitung

Durch Obduktionen und die nachfolgende histologische Aufarbeitung von Gehirnen, speziell dem Corpus geniculatum mediale (CGM), konnten GALABURDA et al. (1985 und 1994) eine Verminderung der Zellzahl im magnozellulären System bei Legasthenikern nachweisen.

Das magnozelluläre System ist zusammen mit dem parvozellulären System an der Blicksteuerung beim Leseprozess beteiligt. Während das parvozelluläre System im wesentlichen an der Fixation zur Enkodierung des Buchstabenmaterials beteiligt ist, dient das magnozelluläre System der Unterdrückung der anhaltenden Aktivität des parvozellulären Systems, um so einer Überlagerung visueller Informationen (visuelle Persistenz) zu verhindern. Ein Defizit im magnozellulären System könnte sich auf den Leseprozess insofern auswirken, dass die visuelle Verarbeitung eines Wortes durch die Persistenz der Reizinformation der vorangehenden Stimuli behindert wird, und sich die Wahrnehmungseindrücke so überlagern (STEIN 2001; HABIB 2000).

1.1.2.3 Auditorische Störungen

Verhaltenstest ergeben deutlich verminderte Leistungen auf der auditorischen Diskriminationsebene bei LRS-Betroffenen (TALLAL et al. 1980 und 1993). Bei Kindern mit einer Lese-Rechtschreibstörung konnte ein basales, temporales Verarbeitungsdefizit nachgewiesen werden, welches bei schnell aufeinander folgenden sensorischen Reizen, zu einem Unvermögen der Identifikation oder Unterscheidung der Stimuli führt.

Diese werden anhand von Untersuchungen, die sich Methoden, wie die Elektroenzephalographie (EEG) (SCHULTE-KÖRNE et al. 2003), die Magnetenzephalographie (MEG) (ELBERT 1998; LÜTKENHÖNER et al. 1998) und die

funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) (SHAYWITZ et al. 1998; TEMPLE et al. 2000) zu Hilfe nehmen, welche objektiv messbare Aussagen über die Verarbeitung von auditiven Reizen zulassen, analysiert. Als Stimuli bei derartigen Untersuchungen werden verschiedene Sprachstimuli oder Töne und Tonfolgen dargeboten, die sich in ihrer Frequenz unterscheiden und/oder in ihrer zeitlichen Abfolge variiert werden.

Untersuchungen hinsichtlich der Annahme einer auditiven Verarbeitungsstörung verwenden unter anderem Mismatch-Paradigmen. Es werden meist eine Reihe gleichartiger einzelner Töne oder komplexerer auditiver Stimuli vorgegeben, in deren Abfolge in zufälliger Reihenfolge abweichende Tonstimuli eingestreut werden. Die kortikale Reaktion auf diesen „Stimulus-Mismatch“ findet sich dann in der mismatch negativity (MMN). Die MMN ist eine elektrophysiologische Komponente akustisch evozierter Potentiale (NÄÄTÄNEN 1992). Die MMN wird ausgelöst, wenn die durch eine Serie von Standardreizen gebildete Regularität durch gelegentlich auftretende abweichende Reize verletzt wird (SCHRÖGER und WOLFF 1998), die sich in einem oder mehreren physikalischen Parametern wie Länge, Frequenz oder Lautstärke unterscheiden (NÄÄTÄNEN 1992).

Der Vorteil der MMN ist, dass sie unabhängig von zugewendeter Aufmerksamkeit auf die Stimuli evoziert werden kann. Sie bildet somit eine präattentive, hoch automatisierte Antwort auf akustische Stimuli ab.

NAGARAJAN et al. (1999) zeigten bei einer MEG-Studie, dass LRS-Probanden bei der Darbietung von Tonstimuli unterschiedlicher Frequenz mit einem Interstimulusintervall (ISI) unterhalb von 500 ms eine deutliche Abschwächung der Aktivierung von Arealen des auditiven Kortex aufweisen. Zudem wies die Versuchsgruppe bei geringeren zeitlichen Abständen der Stimuli eine höhere Fehlerquote bei der Unterscheidung der Stimuli auf.

Verschiedenste Untersuchungen (SCHULTE-KÖRNE et al. 2001a) zeigten, dass sich die LRS-Probanden bei der Verarbeitung von reinen Tonhöhenunterschieden unter Verwendung von Sinustönen nicht von den gesunden Kontrollprobanden unterschieden. Bei Studien, die als Stimulusmaterial sich unterscheidende Ton-

folgen verwendeten (GRIMM und SCHRÖGER 2007; SCHULTE-KÖRNE et al. 1999a) zeigten die Legasthener jedoch von der Kontrollgruppe abweichende Ergebnisse. Ebenso bei der Verarbeitung von schnell aufeinander folgenden Tönen, v.a. bei kleinen Interstimulusintervallen (NAGARAJAN et al. 2000) ergaben sich Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Neben diesen basalen Stimuli werden häufig auch sprachliche Stimuli (Phonempaare) verwendet.

SCHULTE-KÖRNE et al. (1999b) konnten keine signifikanten Unterschiede der MMN für Sinustöne mit einem Standardton von 1000 Hz und einem Deviant mit 1050 Hz ($p=.55$) zwischen den Legasthenikern und der Kontrollgruppe finden, jedoch für die MMN des Phonempaares /ba/ (als Standard) und /da/ (als Deviant) ergab sich ein signifikanter Unterschied ($p=.007$) zwischen den beiden Gruppen.

In einer fMRT-Studie fanden SHAYWITZ et al. (1998) bei der Kontrollgruppe mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad der Aufgaben (Mustervergleich [/V/ vs. /V/], orthographische Verarbeitung [BbBB vs. BbbB], Buchstaben-Reim [„T“ vs. „G“]) eine zunehmende Aktivierung im Temporallappen. Bei den LRS-Probanden wurde die zusätzliche temporale Aktivität nicht beobachtet. Diese zeigten zudem eine Überaktivierung von Arealen im Frontalhirn - was möglicherweise als Kompensationsmechanismus zu interpretieren ist.

Die Befundlage hinsichtlich der Annahme eines Defizits der Diskrimination von sprachlichen, aber auch nicht-sprachlichen Stimuli ist sehr heterogen. Während u.a. BALDEWEG et al. (1999) ein solches Defizit experimentell nachwiesen, konnten andere Gruppen dieses Defizit nicht bestätigen.

SCHULTE-KÖRNE et al. (1998b) untersuchten mittels eines MMN-Paradigmas die Diskriminationsfähigkeit von sprachlichen und nicht-sprachlichen Stimuli bei Probanden mit LRS und Kontrollprobanden. Es zeigte sich, dass sich die MMNs auf die Tonstimuli zwischen den Gruppen nicht unterschieden, wohl aber, wenn es sich um sprachrelevante Verarbeitung von auditiv dargebotenen Phonemen handelte.

Die Autoren interpretieren dies dahingehend, dass sich in diesen Befunden ein spezifisches Defizit des phonologischen Systems zeigt, und nicht wie nach der sensorischen Defizithypothese angenommen, ein generelles basales Defizit bei der Verarbeitung akustischer Stimuli.

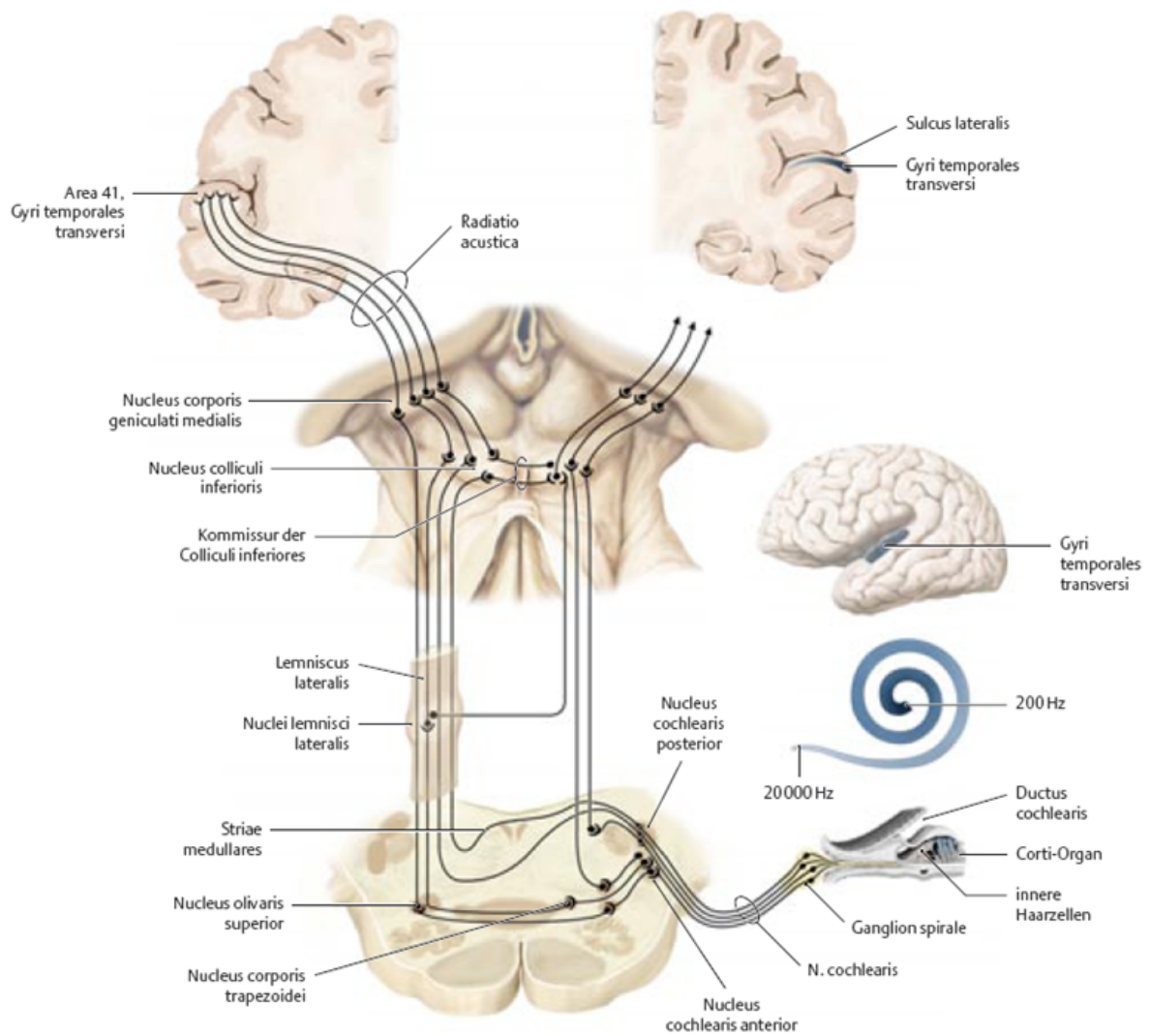


Abb. 3: Schematischer Aufbau der Hörbahn (aus: SCHÜNKE et al. 2006)

1.1.2.4 Störung der phonologischen Bewusstheit

Phonologische Bewusstheit bezeichnet zum einen die Fähigkeit, lautliche Strukturen von Sprache und Schrift zu erkennen, also das Bewusstsein zu haben, dass alle Wörter aus kleineren Untereinheiten (Phonemen) aufgebaut sind (SCHNEIDER et al. 2000), und zum anderen mit der lautlichen Sprache zu operieren.

Auffälligkeiten im Rahmen der phonologischen Bewusstheit lassen sich ohne elektrophysiologische Methoden zeigen. RAMUS (2003) konnte zeigen, dass LRS-Probanden bei der Zuordnung von vorgegeben Begriffen zu Bildern, bei der Bildung von Schüttelreimen und bei der Non-Wort-Wiederholung (BRUNSWICK et al. 1999) eine deutlich erhöhte Fehlerzahl aufwiesen und zudem für das Lösen der Aufgaben mehr Zeit benötigten als die Kontrollgruppe.

1.1.2.5 Stufenmodell der Entstehung einer LRS

Es wird vermutet, dass die Ursache einer gestörten phonologischen Bewusstheit im auditiven System anzusiedeln ist. SCHULTE-KÖRNE et al. (1999b) haben gemäß dieser Annahme ein Stufenmodell aufgestellt, das vier aufeinander aufbauende Ebenen umfasst, die jeweils mit unterschiedlichen diagnostischen Mitteln betrachtet werden können. So geht die Arbeitsgruppe davon aus, dass eine Störung bei der Verarbeitung auditiver Stimuli die Entwicklung einer phonologischen Bewusstheit behindert.

Tab. 1: Stufenmodell der verschiedenen überprüfbaren Ebenen der LRS-Symptomatik basierend auf einer auditiven Störung (nach: SCHULTE-KÖRNE et al. 1999b)

	Verarbeitungsebene	Paradigma und Prüfmethode
Level 1	Präattentive und automatische Verarbeitung von auditiven Stimuli	Passives oddball Paradigma, mismatch negativity
Level 2	Bewusste Verarbeitung von auditiven Stimuli	Lückenerkennung, Ton- und Sprachdiskrimination
Level 3	Bewusste, phonologische Verarbeitung	Phonologische Bewusstheit: Phonemzählung
Level 4	Lesen und Schreiben	Lese-/Rechtschreibtest

1.2 Ziele der durchgeführten Studie

Als Grund für die Entstehung einer Lese-Rechtschreibstörung werden durch viele Studien multifaktorielle Ursachen angeführt. Neben Untersuchungen auf Verhaltensebene mit auditorischen Diskriminationstests, gibt es einige Untersuchungen die mittels EEG zum einen die ursächlichen Defizite bei der auditiven Verarbeitung auf unbewusster Ebene beleuchten, zum anderen Studien, die mit Hilfe der MEG oder anderer bildgebenden Verfahren wie der MRT diese anatomisch genauer zu lokalisieren. Zudem werden visuelle Defizite diskutiert und auch Untersuchungen zur Genetik und der Möglichkeit der Vererbung der LRS durchgeführt.

Viele der vorliegenden Studien untersuchen die elektrophysiologische Ebene an kleinen, teilweise inhomogenen Stichproben und vergleichen nicht, inwieweit die Daten auf Verhaltensebene und die klinischen Untersuchungen zusammenhängen – ob also Kinder mit einer stärker ausgeprägten LRS-Symptomatik auch eine entsprechend verminderte MMN aufweisen.

Ziel ist es anhand von Kriterien eine große homogene Gruppe, aus diesem Grunde werden auch nur rechtshändige Jungen in die Studie eingeschlossen, zu rekrutieren und an dieser die LRS auf Verhaltens- und elektrophysiologischer Ebene zu beleuchten.

Diese Studie soll umfassend die Auswirkungen eines Defizits der basalen auditiven Verarbeitung auf mehreren Ebenen untersuchen und zeigen, wie die Daten auf Verhaltensebene sich zu den elektrophysiologischen Ergebnissen Verhalten.

Die Verhaltensebene soll mit Hilfe von einem Lese-Rechtschreibtest (SLRT) die Symptome der LRS mit erhöhter Fehleranzahl beim Lesen und Schreiben, als auch einer deutlich verringerten Lesegeschwindigkeit aufzeigen.

Die phonologische Bewusstheit, die neben dem phonologischen Rekodieren beim lexikalischen Zugang und dem phonetischen Rekodieren, um Informationen im Arbeitsgedächtnis zu halten, die Fähigkeit zur phonologischen Verarbeitung bildet (WAGNER und TORGESEN 1987) soll anhand des BAKO untersucht werden.

Es sollen aus einem großen, homogenen Kollektiv Jungen mit minderen Lese-Rechtschreibleistungen in Kombination mit einer gestörten phonologischen Bewusstheit rekrutiert werden. Ein Gruppenvergleich mit einer unauffälligen Kontrollgruppe soll die Unterschiede auf Verhaltens- und elektrophysiologischer Ebene aufzeigen. Zudem sollen die Verhaltensdaten mit den elektrophysiologischen Daten verglichen werden.

Die Untersuchung soll zudem Aufschluss darüber geben, ob es sich um ein sprachspezifisches oder ein generelles auditives Verarbeitungsdefizit handelt. Aus diesem Grund erfolgt die EEG-Messung zum einen mit sprachlichen Stimuli, zum anderen mit Sinustonstimuli.

Die verwendeten Tests und deren Ergebnisse entsprechen qualitativ den Stufen des Schemas nach SCHULTE-KÖRNE et al. (1999b) (siehe Tab. 1). So werden die Lese-Rechtschreibleistung entsprechend der Ebene 4, wie die phonologische Verarbeitung und die bewusste Verarbeitung von auditiven Stimuli und entsprechend der basalen Ebene die präattentive Verarbeitung mit dem EEG überprüft.

Es wird erwartet, dass es sich bei den Kindern um ein sprachspezifisches auditives Defizit handelt und zudem ein Zusammenhang zwischen dem basalen auditiven Verarbeitungsdefizit, der Leistung auf Ebene der phonologischen Bewusstheit und der Lese- und Rechtschreibleistung nachzuweisen ist.

2. Material und Methoden

2.1 Votum der Ethikkommission

Ein Ethikantrag (Nr. 38/2005) wurde der Ethikkommission der Universität Ulm vorgelegt und von dieser mit einem positiven Votum beschieden.

Die Erziehungsberechtigten unterzeichneten aufgrund des Alters der Probanden eine entsprechende Einwilligungserklärung zur Durchführung der Testverfahren und ggf. die separate Einwilligungserklärung zur Elektroenzephalographie.

2.2 Studienaufbau

Die durchgeführte Studie lässt sich in drei Teile gliedern. Die ersten beiden Teile der Studie wurden in den Räumen der jeweiligen Schule durchgeführt, der abschließende dritte Teil erfolgte im Forschungs-EEG der Sektion für Kognitive Elektrophysiologie an der Klinik für Psychiatrie und Psychiatrie III des Universitätsklinikums Ulm.

Nach Genehmigung der Studie durch das Oberschulamt, wurde für die ersten beiden Teile der Untersuchung eine Einwilligungserklärung bei den Eltern der Kinder vor Beginn der Untersuchung eingeholt. Für die abschließende EEG-Untersuchung mit Messung der mismatch negativity (MMN) erfolgte die Einholung einer gesonderten Einwilligung von den Eltern der betroffenen Jungen.

Der erste Teil der Studie umfasste als Intelligenztest den Culture fair Intelligence-Test – Scale 1 (CFT-1) und zur Erhebung des Lese- und Schreibniveaus der Probanden diente der Salzburger Lese- und Rechtschreibtest (SLRT), welche im folgenden noch weiter erörtert werden. Diesen beiden Tests wurden alle Studienteilnehmer (n=272) unterzogen.

Nach Auswertung des CFT-1 mussten 18 Kinder aufgrund eines $IQ < 85$ von der Studie ausgeschlossen werden, da Lese-Rechtschreibstörungen nur für ein normales Intelligenzniveau definiert sind.

Im Anschluss an die Auswertung wurden 84 Schüler aufgrund des erzielten Ergebnisses im SLRT in eine vorläufige Versuchs- und Kontrollgruppe unterteilt. Der Versuchsgruppe (n=50) wurden diejenigen Kinder zugeteilt, die im Lese- und Rechtschreibteil des SLRT eine Leistung kleiner einem Prozentrang 50 ($< PR 50$)

erzielt hatten. Die Kontrollgruppe (n=34) schloss diejenigen Jungen ein, die im Rechtschreibteil einen Wert > PR 80 und im Leseteil einen Wert > PR 50 erreichten. Diejenigen, die weder der Versuchs- noch Kontrollgruppe zugeteilt wurden nahmen an keinem weiteren Test teil.

Im zweiten Teil wurde der Test „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“ zur Überprüfung der phonologischen Bewusstheit mit jedem der Kinder aus Versuchs- und Kontrollgruppe durchgeführt.

Die neuen Einteilungsgrenzen nach den im Test „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“ (BAKO) erzielten Ergebnissen wurden mit < PR 18 für die Versuchs- und mit > PR 75 für die Kontrollgruppe festgelegt, um so einen möglichst großen Leistungsunterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der Bearbeitung von phonologischen Aufgaben zu erzielen. Dies basiert auf der Annahme, dass ein phonologisches Defizit auf einem Defizit bei der phonematischen Lautverarbeitung aufbaut und somit Kinder mit minderen Lese-Rechtschreibleistungen gefunden werden konnten, deren Defizite vor allem im phonematischen und phonologischen Bereich liegen und nicht etwa im visuellen Bereich. Dies war wichtig da das Ziel dieser Studie in der Untersuchung von auditiven Störungen lag.

In Hinblick auf die nachfolgende EEG-Untersuchung ergaben sich somit eine Versuchsgruppe mit 22 Jungen und eine Kontrollgruppe von 16 Jungen. Letztendlich wurden insgesamt 38 Kinder im EEG untersucht.

Der dritte Teil beinhaltet die elektrophysiologische EEG-Untersuchung mit Messung der mismatch negativity (MMN) unter Verwendung von akustischen sprachlichen und nicht-sprachlichen Stimuli, um darzulegen, ob es sich bei Kindern mit schwachen Lese-Rechtschreibleistungen, verbunden mit einer gestörten phonologischen Bewusstheit um ein generelles auditives Defizit oder um ein spezifisches Defizit im Rahmen der Sprachverarbeitung handelt.

2.3 Probandenkollektiv

Die Untersuchung wurde an 272 Schülern der 3. Klassestufe (Alter 8;0-10;2), von denen uns die Einverständniserklärung der Eltern vorlag, aus 23 verschiedenen Grundschulen im Schulamtsbezirk Schwäbisch-Gmünd durchgeführt.

Um an der Studie teilzunehmen, mussten die Probanden folgende Einschlusskriterien erfüllen:

- Jungen
- Rechtshänder
- Deutsch als Muttersprache

als Ausschlusskriterien galten:

- die Wiederholung einer Klassenstufe
- eine neurologische Erkrankung in der Eigenanamnese

Diese Kriterien wurden gewählt, um für die abschließende EEG-Untersuchung möglichst homogene Gruppen zu erreichen.

Tab. 2: Beschreibung des Probandenkollektivs innerhalb der Versuchs- und Kontrollgruppe der abschließenden EEG-Untersuchung.

	Versuchsgruppe (n=22)	Kontrollgruppe (n=16)	p
Alter [Monaten] <i>M (SD)</i>	109.68 (4.60)	109.81 (4.42)	.930
Intelligenzquotient [Punkte] <i>M (SD)</i>	102.27 (13.64)	107.69 (8.78)	.17
BAKO [richtige Antworten] <i>M (SD)</i>	31.00 (6.53)	63.25 (2.41)	<.001

M: Mittelwert, SD: Standardabweichung, n: Anzahl, p: Statistische Signifikanz, BAKO: Test „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“

3.4 Studienplan

Die Probanden und deren Eltern wurden durch ein Informations-Schreiben vom Ablauf der Studie unterrichtet, nachdem die Studie durch das zuständige Staatliche Schulamt genehmigt wurde.

Auf eine Freiwilligkeit zur Studienteilnahme wurde ausdrücklich hingewiesen. Nachdem die Eltern der Studienteilnahme ihrer Kinder mittels der beigelegten Einverständniserklärung zugestimmt hatten, wurden der Intelligenztest (CFT-1),

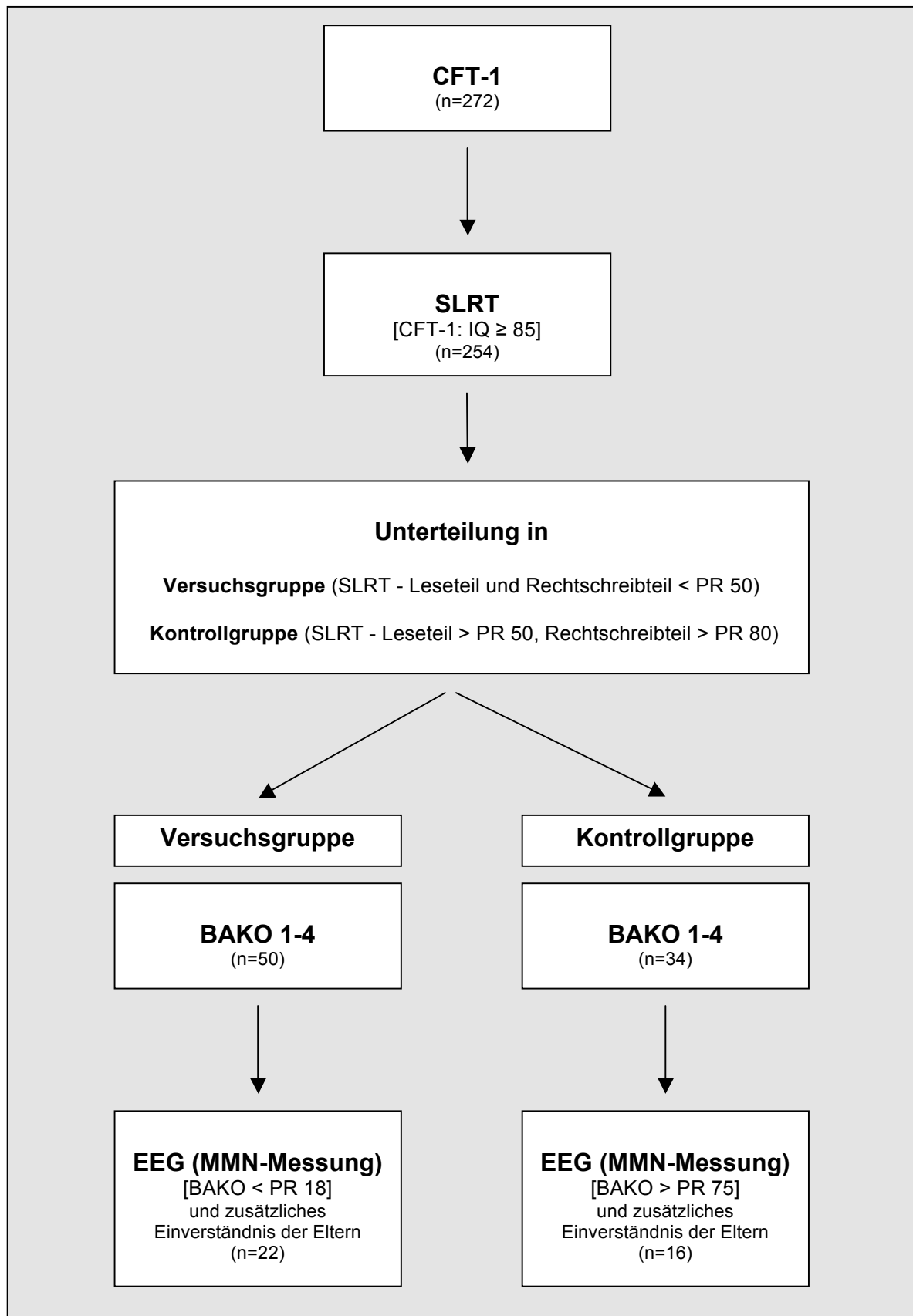
der Lese-Rechtschreibtest (SLRT) und nach Auswertung der beiden genannten Tests zum weiteren Screening auf ein möglicherweise vorliegendes phonologisches Defizit, gegebenenfalls der Test zur Überprüfung der phonologischen Bewusstheit (BAKO) durchgeführt.

Nur Schüler mit einem normalen IQ über 85 Pkt. wurden in die Auswertung der Gesamtstichprobe mit aufgenommen. Probanden mit unterdurchschnittlichen Ergebnissen im SLRT (Leseteil < PR 50 und Rechtschreibteil < PR 50) wurden zur Versuchsgruppe eingeteilt, Kinder mit überdurchschnittlichen Leistungen (Leseteil > PR 50 und Rechtschreibteil > PR 80) wurden zur Kontrollgruppe gezählt. Mit beiden Gruppen wurde im Anschluss der BAKO durchgeführt.

Nach Auswertung der Daten wurden die Eltern schriftlich in Form einer detaillierten Auflistung der Leistungen ihrer Kinder über die Ergebnisse in den vorangegangenen Tests informiert.

Die letztendliche Einteilung für die Versuchs- und Kontrollgruppe im Rahmen der anschließenden EEG-Messung erfolgte nach den Ergebnissen des BAKO unter Berücksichtigung der in den anderen Tests erreichten Ergebnisse. Die Probanden der Versuchsgruppe mussten zusätzlich zu den vorher genannten Kriterien im BAKO Ergebnisse < PR 18 und die der Kontrollgruppe > PR 75 erzielt haben. Die Einteilung nach den BAKO-Ergebnissen erreicht, dass unter den Kindern mit einer schwachen Lese-Rechtschreibleistung diejenigen herausgefiltert werden, bei denen die phonologische Bewusstheit gestört ist, was nach dem Stufenmodell von Schulte-Körne die vorletzte Stufe ist, die zu einer verminderten Lese-Rechtschreibleistung führt. Da die phonologische Bewusstheit auf der Fähigkeit einer auditiven Diskriminationsleistung aufbaut, sollten also im Umkehrschluss Kinder mit einer gestörten phonologischen Bewusstheit eine verminderte auditive Diskriminationsleistung aufweisen. Die Überprüfung der auditiven Diskrimination ist Grundlage der abschließenden EEG-Untersuchung.

Die Eltern der Probanden, welche die jeweiligen Kriterien für Versuchs- und Kontrollgruppe erfüllten, wurden erneut schriftlich um ein Einverständnis für die abschließende EEG-Messung gebeten. Die Messung im EEG-Labor der Sektion für Kognitive Elektrophysiologie an der Klinik für Psychiatrie und Psychiatrie III des Universitätsklinikums Ulm erfolgte in einer Einzelsituation.



CFT-1: Culture Faire Intelligence Test - Scale 1, SLRT: Salzburger Lese-Rechtschreibtest, IQ: Intelligenzquotient, PR: Prozentrang, BAKO 1-4: Test „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“, EEG: Elektroenzephalographie, MMN: mismatch negativity, n: Anzahl.

Abb. 4: Studienplan

2.5 Beschreibung der diagnostischen Testverfahren

2.5.1 Intelligenztest CFT-1

Ein Intelligenztest wurde zu Beginn der Studie durchgeführt, da die LRS nur bei Vorliegen eines normalen bzw. überdurchschnittlichen Intelligenzquotienten definiert ist. Da sich in vielen nicht-sprachfreien Verfahren zur Überprüfung der Intelligenz die Lese- und Rechtschreibfähigkeit der Probanden als Störvariable niederschlägt, wurde auf den „Culture Faire Intelligence Test - Scale 1“ (CFT-1) zurückgegriffen, der lediglich den non-verbalen Intelligenzquotienten abbildet.

Dem CFT-1 liegt die Intelligenztheorie von CATTEL (1971) zugrunde. Der CFT-1 untergliedert sich in 5 Untertests, die Substitutions-, Labyrinth-, Klassifikations-, Ähnlichkeits- und Matrizenaufgaben beinhalten. Anhand der Ergebnisse lässt sich die Grundintelligenz des Kindes bestimmen, d.h. die Fähigkeit Regeln zu erkennen, Merkmale zu identifizieren und rasch wahrzunehmen.

Er wurde als Gruppentest durchgeführt, wobei auf eine maximale Größe der Testgruppe von 20 Kindern geachtet wurde und jeweils 10 Kindern ein Testbetreuer zugeordnet war.

2.5.2 Salzburger Lese- und Rechtschreibtest (SLRT)

Zur Diagnose einer LRS muss ein standardisierter Lese-Rechtschreibtest durchgeführt werden. Es gibt viele verschiedene Tests, die hierfür in Frage kommen würden. Für diese Untersuchung wurde der SLRT gewählt, da er ein in Deutschland nicht allzu verbreiteter Test ist und wir ausschließen wollten, dass die Ergebnisse aufgrund einer Retest-Situation bei einigen Kindern verfälscht werden. Ein weiterer Vorteil des SLRT ist, dass er gerade im unteren Bereich der Rechtschreibleistung sehr gut differenziert.

Der Test ist derart ausgelegt, dass vor allem Unterschiede im unteren Leistungsbereich diagnostiziert und differenziert werden können. Da die Leistungsanforderungen für Kinder mit normalem Lernfortschritt relativ gering sind, werden nur Kinder mit Leistungsschwächen niedrige Testwerte erreichen.

Leseteil des SLRT

Der Leseteil des SLRT überprüft die Lesefertigkeit des Kindes anhand fünf verschiedener Aufgaben. Hierzu gehören Aufgaben, bei denen die Kinder häufige Wörter, zusammengesetzte Wörter, einen kurzen Text und zudem wortähnliche bzw. wortunähnliche Pseudowörter laut vorlesen müssen.

Die abhängigen Variablen waren zum einen die benötigte Zeit, zum anderen die Fehler, wobei diese nur gewertet wurden, wenn sie vom Kind nicht selbständig korrigiert wurden. Der Prozentrang wurde aufgrund der Lesezeit ermittelt. Die Fehler wurden zum einen als Absolutwert, zum anderen in Relation zum dem, von den Testautoren angegebenen, kritischen Wert gesetzt. Die gemachten Lesefehler spiegeln sich aufgrund der Möglichkeit der Selbstkorrektur der Kinder jedoch indirekt auch in der Lesezeit wider, daher wurde diese für die Einteilung in Versuchs- und Kontrollgruppe genutzt.

Es wurde bewusst darauf verzichtet, das Textverständnis zu überprüfen, da die entscheidende Beeinträchtigung bei lese-/rechtschreibschwachen Kindern die Wortlesefertigkeit ist; das beeinträchtigte Leseverständnis ist als Folge des langsamen, mühevollen und teilweise fehlerhaften Wortlesens anzusehen.

Die Durchführung erfolgte mit jedem der Kinder einzeln in einen separaten Raum. Sie wurden aufgefordert so schnell wie möglich, jedoch möglichst ohne Fehler, den Text bzw. die verschiedenen Wortfolgen laut vorzulesen.

Rechtschreibteil des SLRT

Der Rechtschreibteil des SLRT wurde wiederum als Gruppentest in Form eines Lückendiktates durchgeführt. Hierbei wurden den Kindern 49 Wörter zuerst einzeln, dann im Zusammenhang des Satzes und wiederum einzeln vorgelesen. Die Fehler wurden in drei Kategorien aufgeteilt: orthographische (OF) und nicht-lauttreue Fehler (NF) sowie Fehler der Groß- und Kleinschreibung (GF). Aus den orthographischen Fehlern wurde der Prozentrang abgeleitet, die nicht-lauttreuen Fehler und die der Groß-/Kleinschreibung wurden jeweils in Relation zum kritischen Wert gesetzt bzw. als Absolutwert ausgewertet.

2.5.3 Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen (BAKO)

Der BAKO dient der Überprüfung der phonologischen Bewusstheit. Der Test wurde ausgewählt, um Erkenntnisse zu gewinnen, inwieweit Kinder mit unterdurchschnittlichen Leistungen im Bereich des Lesens und Schreibens auch Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Aufgaben haben, welche die phonologische Bewusstheit überprüfen.

Er gliedert sich in sieben Subtests mit Aufgabenstellungen der Pseudowortsegmentierung, Vokalersetzung, Restwortbestimmung, Phonemvertauschung, Lautkategorisierung, Vokallängenbestimmung und der Wortumkehr. Aus den Ergebnissen der einzelnen Untertests wurde wiederum der Prozentrang ermittelt.

Der BAKO wurde mit jedem der Kinder einzeln durchgeführt. Den Schülern wurde hierbei jedes Wort bzw. Pseudowort von einer Audio-CD vorgespielt. Ihnen lag zur Bearbeitung der Aufgaben lediglich ihr eigener Höreindruck des gesprochenen Wortes vor; sie hatten keinerlei Hilfestellung durch Vorgabe des Wortes in Druckform.

Darstellung der einzelnen Untertests des BAKO

Pseudowortsegmentierung

Das Segmentieren und Nachsprechen der Einzellaute von einem vorgesprochenen Wort kann als Kernkompetenz der phonologischen Bewusstheit angesehen werden und wurde erstmals in einem Test von GOLDSTEIN (1974) im englischen Sprachraum angewandt. Im BAKO werden die Kinder aufgefordert das ihnen vorgegebene Pseudowort mit Hilfe von Spielsteinen in die Einzellaute zu zerlegen. Durch Konsonantenhäufungen wird der Schwierigkeitsgrad zum Ende dieses Untertests erhöht.

Bsp.: skop - [s] [k] [o] [p]
askletno - [a] [s] [k] [l] [e] [t] [n] [o]

Vokalersetzung

Hierbei haben die Kinder die Aufgabe alle in einem Wort vorkommenden [a] durch ein [i] zu ersetzen, wobei die übrigen Vokale unverändert bleiben sollen und im Anschluss soll das neu entstandene Wort wiedergegeben werden.

Bsp.: Mittag	-	„Mitt-i-g“
Marmelade	-	„M-i-rmel-i-de“

Restwortbestimmung

In diesem Subtest, der dem Bereich der Phonemanalyse zuzuordnen ist, wird verlangt, dass jeweils der Anlaut des Wortes entfernt und das Restwort bestimmt werden soll. Das Entfernen des ersten Konsonanten aus einem Konsonantencluster ist die schwierigste Aufgabe unter den Phonem-entfernungsaufgaben (BRUCK 1992).

Bsp.: Trick	-	„rick“
Egelup	-	„gelup“

Phonemvertauschung

Die beiden ersten Laute eines vorgesprochenen Wortes sollen vertauscht werden. Dabei stellt die Aufgabe durch die korrekte Segmentierung des Wortanfangs und die Verschmelzung der vertauschten Buchstabenfolge mit dem Wortrest hohe Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis. Wobei vor allem Wortanfänge mit einer Vokal-Konsonant-Kombination den Kindern Schwierigkeiten bereiten (SCHNEIDER 1997).

Bsp.: Masse	-	„amsse“
Iftak	-	„fitak“

Lautkategorisierung

Die Kinder sollen aus mehreren Wörtern jenes herausfinden, das sich aufgrund seines Anfangs- bzw. Endlautes von den übrigen unterscheidet. Diese Aufgabenstellung wurde erstmals im englischen Sprachraum in Studien 1985 eingesetzt (BRADLEY und BRYANT 1991). Neben der Analyse von Anfangs- und Endlaut ist es hier erforderlich, ähnliche Laute zu differenzieren.

Die jeweiligen Lösungen sind im Nachfolgenden durch Fettdruck markiert.

Bsp.: **Kopf** – Turm – tief – Trick
Haum – laum – **faun** – gaum

Vokallängenbestimmung

Es werden mehrere Vierergruppen von Wörtern vorgegeben, von denen die Kinder das Wort nennen sollen, welches sich aufgrund seiner Vokallänge von den anderen unterscheidet.

Die jeweiligen Lösungen sind im Nachfolgenden durch Fettdruck markiert.

Bsp.: maar – raas – **dack** – laat
wuul – suck – tupp – pumm

Wortumkehr

Jedes genannte Wort soll in umgekehrte Reihenfolge (also „rückwärts“) wiedergegeben werden.

Bsp.: ral - „lar“
 eman - “Name”

2.6 Beschreibung der EEG-Untersuchung mit Messung der mismatch negativity (MMN) und des verwendeten Stimulationsmaterials

2.6.1 Die akustischen Stimuli

Als akustische Stimuli zur Erzeugung der MMN während der EEG-Untersuchung wurden zum einen sprachliche Stimuli, zum anderen reine Sinustöne verwendet.

Bei den sprachlichen Stimuli handelte es sich um das Phonempaar /ba/ vs. /da/, das von einer weiblichen Stimme gesprochen im Tonstudio aufgezeichnet wurde. Mittels der Bearbeitungssoftware *Adobe Audition* wurden die Stimuli auf eine einheitliche Lautstärke und Länge von 250 ms inklusive je 3 ms „raise and fall“ gebracht.

Bei den Tonstimuli handelte es sich um Sinustöne mit Frequenzen von 500 Hz und 750 Hz und einer Länge von 75 ms inklusive je 3 ms „raise and fall“.

2.6.2 EEG-Aufzeichnung

Die Ableitung erfolgte über 39 Ag/AgCl-Elektroden, gemäß einem erweiterten 10/20-System (JASPER 1958), inklusive zweier Ohrelektroden, einer Nasionelektrode und dreier Elektroden zur Registrierung der Augenbewegungen, wobei am linken Auge sowohl die Registrierung des vertikalen (VEOG) und des horizontalen (HEOG) Elektrookulogramm stattfand, am rechten Auge das VEOG aufgezeichnet wurde.

Als Referenzelektrode während der Ableitung diente die linke Ohrelektrode. Als Erdungselektrode diente die Elektrodenposition FPz.

Die Positionierung der Elektroden erfolgte, indem die Elektrodenposition Cz durch Bestimmung des Schnittpunktes der Verbindungslinien zwischen den anatomischen Landmarken Nasion und Inion, sowie rechtem und linkem präaurikulären Punkt, die jeweils über den Vertex gemessen wurden.

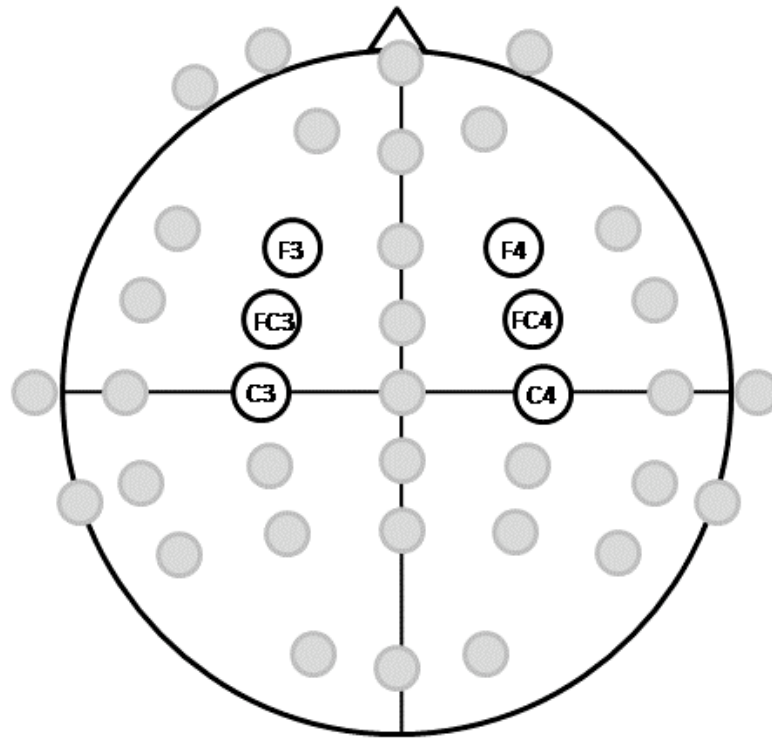


Abb. 5: Elektrodenpositionen nach dem erweiterten 10/20-System bei einer Ableitung mit 39 Elektroden. Gekennzeichnet sind die im Rahmen der statistischen Auswertung einbezogenen Elektrodenpositionen.

Nach dem Anpassen der EEG-Haube entsprechend dem Kopfumfang des Kindes wurden die einzelnen Elektrodenpunkte zunächst großzügig mit 70%-igem Alkohol gereinigt und mit der Schleifpaste von kleinen Hautschuppen und Ähnlichem befreit, um den elektrischen Hautwiderstand zu verringern und somit die Leitfähigkeit während der Ableitung zu verbessern. Im Anschluss wurden die Kontaktstellen mit Elektrodengel aufgefüllt und die Elektroden an den jeweiligen Positionen der Haube aufgesteckt.

Nach Verbinden mit dem Aufzeichnungsrechner erfolgte die Impedanzmessung und gegebenenfalls eine Korrektur der Elektroden, so dass Widerstandswerte von $< 10 \text{ k}\Omega$ erzielt wurden.

2.6.3 EEG-Experiment

Während der EEG-Untersuchung wurde den Kindern der Film „Der kleine Eisbär“ (ohne Ton) gezeigt, da die MMN-Messung unter einer Ablenkungsbedingung stattfinden sollte, d.h. die Kinder sollten keinerlei Aufmerksamkeit auf die über Kopfhörer präsentierten Stimuli richten.

Die akustischen Stimuli wurden den Kindern mit der Präsentationssoftware *ERTS* mit einem Interstimulus-Intervall von 600 ms über Kopfhörer dargeboten.

Im verwendeten Versuchsaufbau entsprach bei den folgenden Stimuluspaaren /ba/ vs. /da/ und /500 Hz/ vs. /750 Hz/ jeweils der erste dem „standard“ Stimulus, der 400 mal innerhalb eines Blockes präsentiert wurde und der zweite dem abweichenden Stimulus, der in zufälligen Abständen 100 mal zwischen den „standard“ Stimuli zu hören war, jedoch zwei abweichende Stimuli mindestens von einem „standard“ Stimulus getrennt waren.

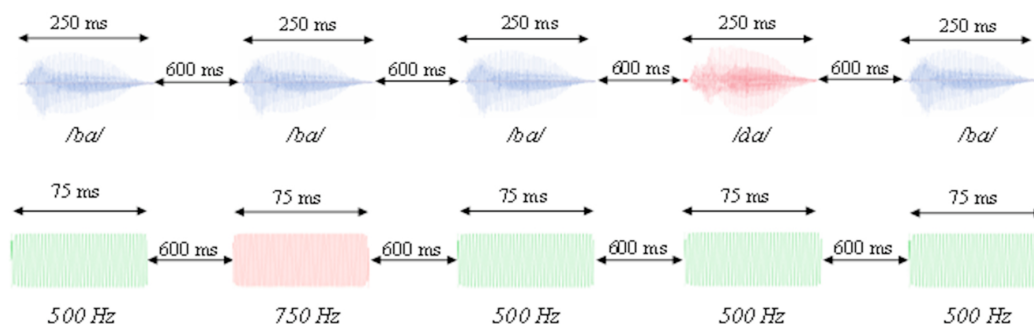


Abb. 6: Schematische Darstellung der Stimulusdarbietung für die Sprachlaute (oben) und für die Töne (unten)

2.6.4 Ablauf der EEG-Sitzung

Zunächst wurde den Kindern der gesamte Ablauf erläutert und alle relevanten Geräte und Örtlichkeiten gezeigt. Anschließend wurden die Kinder mit den Hörprüfungen nach Weber und Rinne untersucht, um eine periphere Schwerhörigkeit im Sinne einer Leitungsstörung bzw. Innenohrschwerhörigkeit auszuschließen.

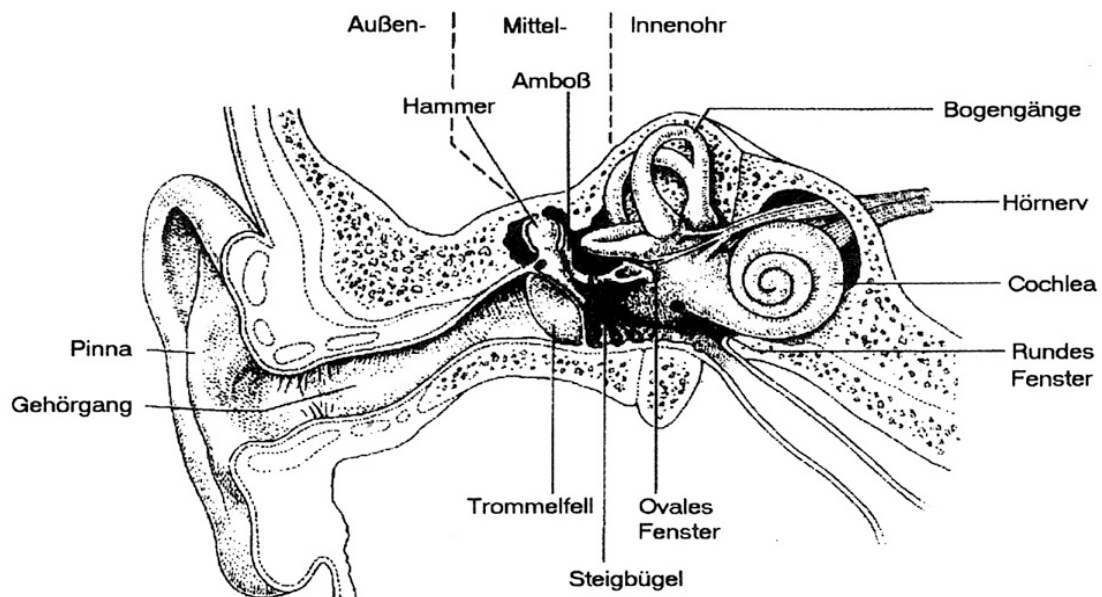


Abb. 7: Aufbau des peripheren Hörsystems (aus: GUSKI 2006)

Überprüfung einer peripheren Hörstörung

Unter Zuhilfenahme einer Stimmgabel (440 Hz) werden die Luft- und die Knochenleitung überprüft. Die Luftleitung wird durch Vorhalten der Stimmgabel vor die Ohrmuschel getestet, die Knochenleitung durch Aufsetzen der Stimmgabel auf das Mastoid.

Mit dem *Test nach Rinne* werden beide Ohren einzeln geprüft. Nach Anschlagen der Stimmgabel wird diese auf das Mastoid des zu testenden Ohres aufgesetzt (Abb. 8a) nach Erlöschen der Tonwahrnehmung beim Probanden erfolgt direktes Vorhalten der Stimmgabel vor das Ohr (Abb. 8b). Im Normalfall ist die Luftleitung etwa 25 dB lauter als die Knochenleitung, so dass nach dem Vorhalten der Ton wieder zu hören sein sollte.

Der *Weber-Test* vergleicht beide Ohren. Nach dem Anschlagen wird die Stimmgabel auf die Schädelmitte aufgesetzt (Abb. 8c) und es wird geprüft, ob der Ton durch die Knochenleitung übertragen in beiden Ohren gleich laut wahrgenommen wird.

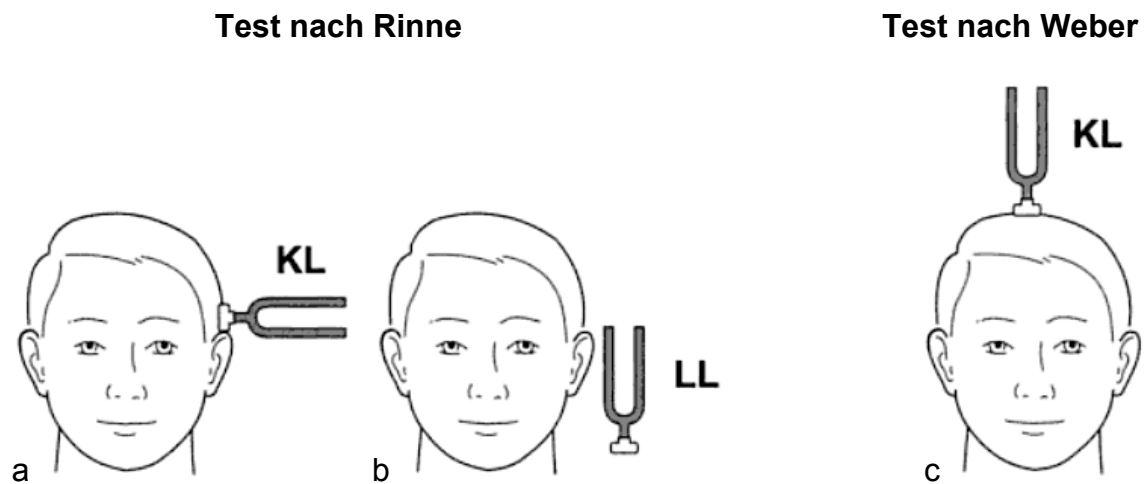


Abb. 8: Durchführung der Stimmgabelversuche nach Rinne und Weber. KL: Knochenleitung, LL: Luftleitung. (modifiziert aus: MROWINSKI et al. 2005)

Für die weitere Studie kamen nur Kinder in Frage, die im Versuch nach Weber eine mediane Tonwahrnehmung hatten und bei denen der Versuch Rinne positiv ausfiel.

Im Weiteren erfolgte das Anbringen der EEG-Elektroden.

In der EEG-Kabine wurden die Elektroden über die Headboxen mit dem Aufzeichnungsrechner verbunden und auf Ihre Impedanz hin überprüft und gegebenenfalls korrigiert.

Die Untersuchung gliederte sich in unterschiedliche Blöcke á 500 Stimuli, welche jeweils ein Stimuluspaar enthielten, so dass zwischen den Untersuchungsabschnitten immer eine Pause entstand, deren Länge die Kinder selbst bestimmen konnten.

Die Kinder wurden angehalten sich so wenig wie möglich während der Aufzeichnung zu bewegen und selten zu blinzeln. Zudem wurden ihnen vermittelt, keine Aufmerksamkeit auf die Tonstimuli zu richten, sondern sich auf das Geschehen im Film zu konzentrieren. In den Pausen zwischen den Aufzeichnungsblöcken wurden sie aufgefordert sich zu bewegen, um den darauffolgenden EEG-Aufzeichnungsabschnitt mit möglichst wenig Bewegungsartefakten durchführen zu können.

2.7 Auswertung der erhobenen Daten

2.7.1 Auswertung des CFT-1

Mit Hilfe eines computerbasierten Auswertungsprogramms wurde der Intelligenzquotient anhand der erzielten Ergebnisse in den einzelnen Subtests und des Alters des Kindes ermittelt.

2.7.2 Auswertung des SLRT

Beim SLRT werden zum einen die Ergebnisse nach einem Prozentrang angegeben, zum anderen ergibt sich ein Kritischer Wert. Beim diesem handelt es sich um eine absolute Grenze, die von den Testautoren aufgrund der Normierung vorgegeben wurde, bei dem hinsichtlich der Fehleranzahl eine Auffälligkeit besteht.

Die Auswertung des Leseteils des SLRT erfolgte unter Berücksichtigung der für die Untertests benötigten Lesezeit, aus der sich der Prozentrang gemäß der Normierung von 1997 ergab. Die Lesefehler wurden in Relation zum angegebenen kritischen Wert gesetzt.

Im Rechtschreibteil wurde zwischen orthographischen Fehlern, nicht-lauttreuen Fehlern und Fehlern der Groß-/Kleinschreibung unterschieden. Wobei die beiden letzteren in Relation zum kritischen Wert angegeben werden, die orthographischen Fehler wurden als Prozentrang angegeben.

2.7.3 Auswertung des BAKO 1-4

Beim BAKO 1-4 wurde der erzielte Punktwert für jeden einzelnen Untertest, sowie die erreichten Gesamtpunkte in den Prozentrang nach der angegebenen Normierung umgerechnet.

2.7.4 Vorverarbeitungsschritte der EEG-Rohdaten

Die EEG-Rohdaten wurden mit Hilfe von *Brain Vision Analyzer* aufgearbeitet. Alle folgenden Schritte wurden mit den in der Software verfügbaren Modulen durchgeführt.

Um Muskelartefakte und andere hochfrequente Störsignale zu eliminieren, wurden die Rohdaten mit einem high-pass Filter von 0,1 Hz und einem low-pass Filter von 16 Hz bereinigt. Da die MMN typischerweise Ihre Hauptaktivität in einem Frequenzspektrum von 1-6 Hz hat, sollte diese bei den von uns verwendeten Filtereinstellungen unverfälscht bleiben.

Anschließend wurden die Aufzeichnungsblöcke mittels der von *ERTS* übermittelten Zeitmarken (Trigger), die zu Beginn eines jeden Stimulus gesetzt wurden, in die einzelnen Segmente unterteilt, so dass nun bei den Sprachstimuli (SS) Segmente mit einer Länge von 850 ms vorlagen, bei den Tonstimuli (TS) mit einer Länge von 675 ms. Die Gesamtlänge der Segmente setzt sich aus Stimulusdauer (SS: 250 ms; TS: 75 ms) und dem interstimulus-Intervall von jeweils 600 ms zusammen.

Die durch Augenbewegungen entstandenen Artefakte, die sich als Spannungsschwankungen in den aufgezeichneten Augenkanälen niederschlagen, wurden mittels des in *Brain Vision Analyzer* implementierten Zurückweisungsprozedur automatisch von der Auswertung ausgeschlossen,. Bei Überschreitung eines festgelegten Grenzwertes ($\pm 40 \mu\text{V}$) in dem aufgezeichneten Segment, gehen alle Kanäle nicht in die weitere Auswertung mit ein. Dies erfolgte sowohl für das aufgezeichnete VEOG, als auch für das HEOG.

Eine weitere Artefaktzurückweisung betrachtete alle Kanäle auf Spannungsschwankungen, die den festgelegten Grenzwert ($\pm 70 \mu\text{V}$) überschritten, woraufhin lediglich in diesem Aufzeichnungskanal der entsprechende Abschnitt nicht weiter in die Auswertung mit einging.

Im Anschluss folgte eine Baselinekorrektur, die anhand des Mittelwertes, des über eine Zeitdauer von 150 ms vor Stimulusonset aufgezeichneten Datenmaterials, das Segment in der Amplitude korrigiert. Nun folgte die Umrechnung der Referenzelektrode auf die Nasion-Elektrode.

Aus den verbleibenden Segmenten wurden für jeden einzelnen Probanden die individuellen EKPs für die jeweiligen Standard- und Deviant-Stimuli berechnet und im Anschluss die Grand Averages für die Stimuli über alle Probanden getrennt für die Versuchs- und Kontrollgruppe.

Die Daten der individuellen EKPs für die Elektroden F3, FC3, C3, F4, FC4 und C4 wurden zur statistischen Auswertung in definierten Zeitfenstern exportiert.

2.7.5 Statistische Auswertung

Diagnostische Tests

Für CFT-1, SLRT und BAKO erfolgte die Auswertung unter Betrachtung des erzielten IQ, der im Leseteil des SLRT benötigten Zeit und der gemachten Fehler und der Anzahl der Rechtschreibfehler der einzelnen Kategorien. Zudem gingen die Ergebnisse der einzelnen Untertest aus dem BAKO 1-4 mit in die Auswertung ein. Die Daten wurden in das Statistikprogramm *STATISTICA* eingelesen und hinsichtlich signifikanter Gruppenunterschiede, Korrelationen und Interaktionen einzelner Tests ausgewertet.

Neurophysiologische Daten

Es erfolgte die Exportierung der durch die EEG-Aufzeichnung und mittels *BRAIN VISION ANALYSER* in EKPs und MMN aufgearbeiteten Rohdaten in *STATISTICA*. Die EEG-Daten wurden im Zeitintervall 150-600 ms nach Stimulusonset für die sprachlichen Stimuli und 100-550 ms für die Tonstimuli ausgewertet, jeweils untergliedert in 3 Abschnitte von je 150 ms. So wurden mittels einer ANOVA mit Messwiederholungen die MMN-Daten auf Gruppenunterschiede zwischen Versuch- und Kontrollpersonen untersucht, wobei als abhängige Variablen die einzelnen Aufzeichnungskanäle der MMN und als prädiktiver Faktor die Gruppenzugehörigkeit mit eingingen. Als Inner-Gruppen-Faktoren wurden beide Hemisphären, die nach Positionierung in frontalen frontozentrale und zentrale unterteilten Elektroden und die „standard vs. deviant“-Bedingung bei den akustischen Stimuli gewählt.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Gesamtstichprobe

Im Nachfolgenden werden die Ergebnisse der Gesamtstichprobe dargestellt, wobei sich die Gesamtstichprobe für die Ergebnisse beim CFT-1 aus allen getesteten Probanden zusammensetzt, welche die Einschlusskriterien erfüllt haben ($n=272$), bei den Ergebnissen des SLRT aus den Probanden mit $IQ > 85$ ($n=254$).

3.1.1 Ergebnisse des CFT-1

Die Leistungen der Kinder im CFT-1 zeigen sich als Normalverteilung ($\min=70$; $\max=142$; $MW=104$). Aufgrund eines erzielten Ergebnisses im CFT-1 unterhalb der unteren Grenze des Normbereiches von $IQ < 85$ wurden 18 Probanden von der Studiauswertung ausgeschlossen.

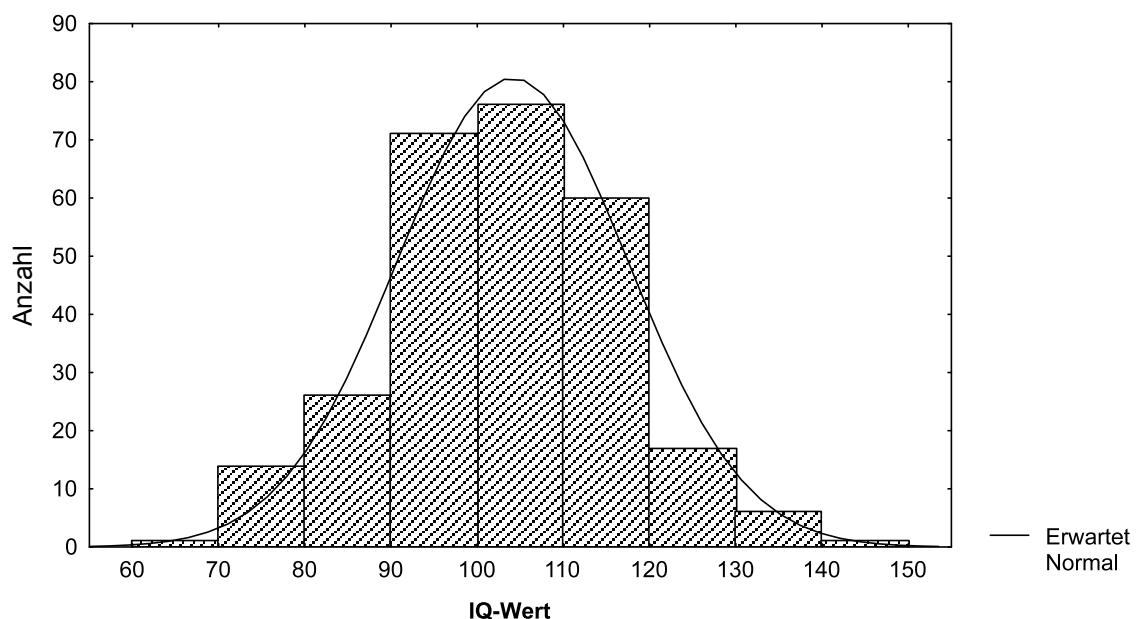
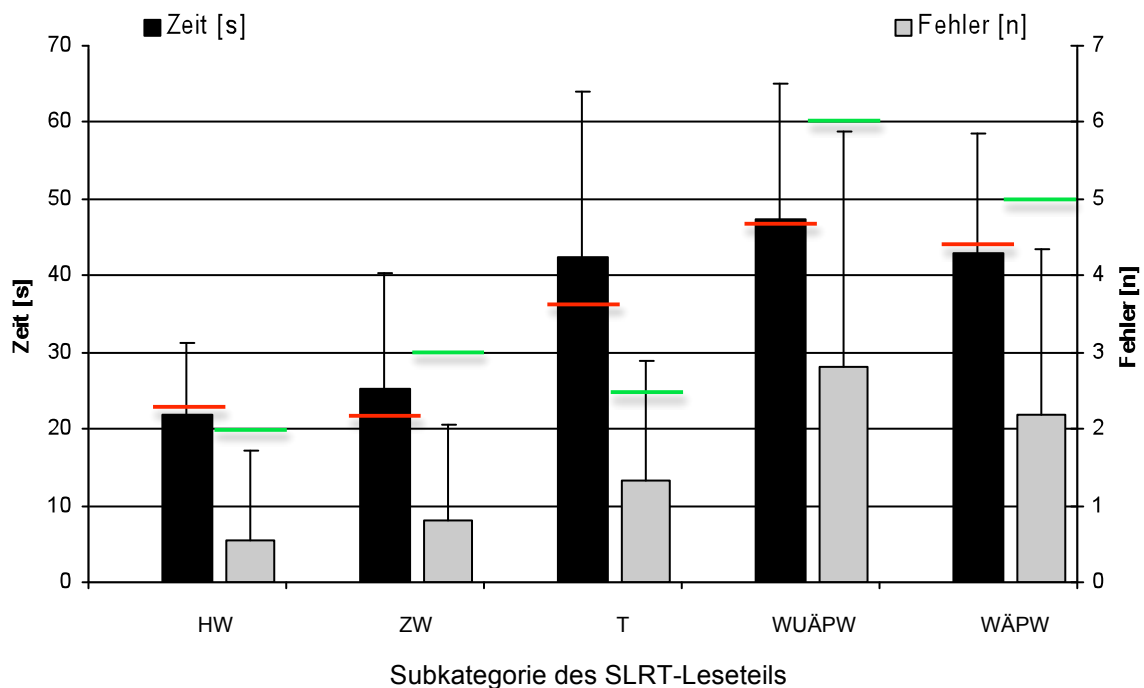


Abb. 9: Verteilung des Intelligenzquotienten (IQ) der Gesamtstichprobe ($n=272$) ermittelt durch den Culture Faire Intelligence Test – Scale 1 (CFT-1).

3.1.2 Ergebnisse des Salzburger Lese-/Rechtschreibtest (SLRT)

Betrachtet man die Probanden der Gesamtstichprobe, die einen non-verbalen $IQ > 85$ haben, ($n=254$) sieht man, dass die Probanden im Mittel im Vergleich zu der Normierungsgrundlage der Autoren in den einzelnen Subtests wie nachfolgend abschneiden, die eingezeichneten roten Linien entsprechen dem PR 50 in den einzelnen Subtests bezüglich der Lesezeiten. Die grünen Linien geben den kritischen Wert hinsichtlich der Lesefehler an.



HW: Häufige Wörter, ZW: Zusammengesetzte Wörter, T: Text, WUÄPW: wortunähnliche Pseudowörter, WÄPW: wortähnliche Pseudowörter

Abb. 10: Graphische Darstellung von Mittelwerten und Standardabweichungen der Lesezeiten (in Sekunden) und Anzahl der Lesefehler der Gesamtstichprobe ($n=254$). Unterteilung in die einzelnen Subtests des Leseteils des Salzburger Lese-Rechtschreibtests (SLRT). Als farbige Linien dargestellt sind die Test-Normwerte für die Lesezeiten (rot) und die Lesefehler (grün).

Vergleicht man die Summe der Lesenzeiten mit den orthographischen und nicht-lauttreuen Fehlern aus dem Rechtschreibteil des SLRT, für welche man im Gegensatz zu den Fehlern der Groß- und Kleinschreibung ursächlich ein akustisch-phonematisches bzw. phonologisches Defizit ansehen könnte, so ergibt sich eine signifikante Korrelation ($r=.644$; $p<.05$). Es zeigt sich also ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Lese- und Rechtschreibleistung der Probanden.

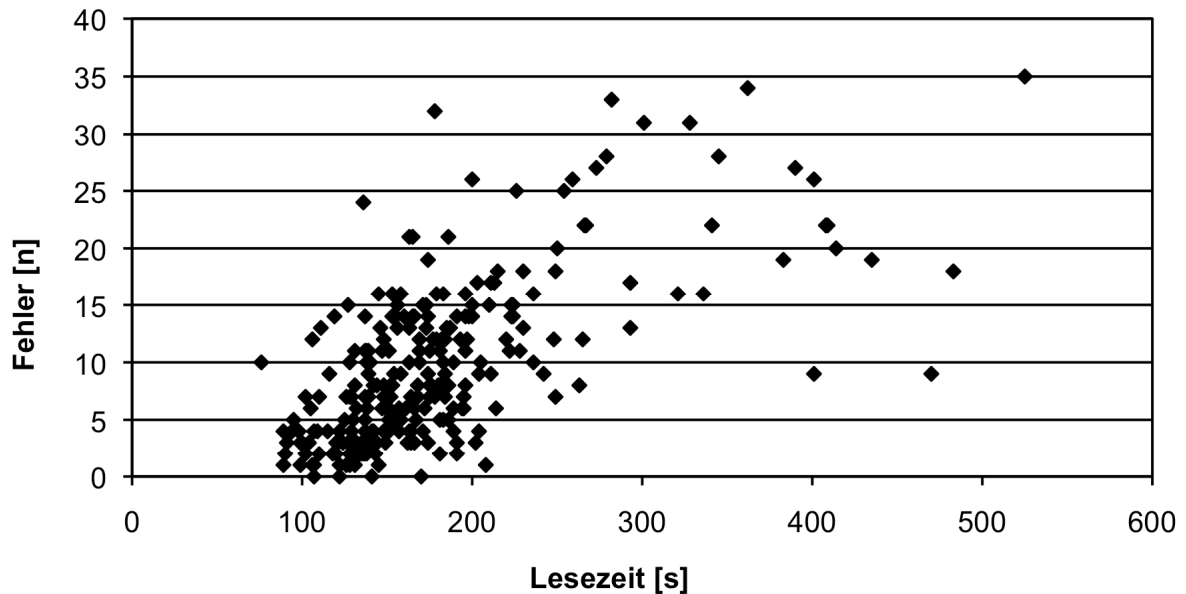


Abb. 11: Korrelation der Gesamtlesezeit (in Sekunden) des Leseteils des Salzburger Lese-Rechtschreibtest mit der Summe der orthographischen und nicht-lauttreuen Rechtschreibfehler ($n=254$; $r=0,644$; $p<.05$)

3.1.3 Vergleich der Ergebnisse des BAKO mit den Ergebnissen des Salzburger Lese-/Rechtschreibtest (SLRT)

Aufgrund der erreichten Leistung im SLRT wurde bei 84 Probanden der BAKO durchgeführt. Aufgrund der nicht vorhandenen Normalverteilung der Daten wurde eine Spearman-Rangkorrelation durchgeführt.

Es zeigen sich in allen Subanalysen mit Lesezeit und -fehlern des SLRT-Leseteils, allen Fehlerkategorien des Rechtschreibteils des SLRT, wie auch der Gesamtpunktzahl des Testes zur Überprüfung der phonologischen Fähigkeiten (BAKO) signifikante Korrelationen ($p<.01$). Die Subtests des SLRT korrelieren aufgrund der Testkonstruktion positiv miteinander, der Zusammenhang mit dem BAKO fällt aufgrund der geringeren erreichten Punktzahl der Kinder mit schwachen Lese-/Rechtschreibleistungen und somit verbundener verlängerter Lesezeit und erhöhter Fehlerzahl negativ aus.

So korrelieren die Gesamtrechtschreibfehler ($r=-0,746$, $p<.01$), wie auch die Lesefehler ($r=-0,714$, $p<.01$) und die benötigte Lesezeit ($r=-0,543$, $p<.01$) aus dem Leseteil aus dem SLRT negativ mit den BAKO-Ergebnissen. Die Daten der einzelnen Subtests des SLRT hingegen positiv miteinander.

Tab. 3: Korrelationsmatrix ($p < .01$): Zusammenhang von Lesefehlern und Lesezeiten, sowie Rechtschreibfehlern im Salzburger Lese-Rechtschreibtest (SLRT) und der erreichten Gesamtpunktzahl im Test „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“ (BAKO). Spearman-Rangkorrelation ($n=84$).

	Leseteil des SLRT		Rechtschreibteil des SLRT				BAKO
	Zeit	Fehler	OF	NF	GF	Gesamt	Gesamt
Zeit		0,499	0,544	0,373	0,298	0,514	-0,543
Fehler	0,499		0,773	0,634	0,515	0,793	-0,714
OF	0,544	0,773		0,601	0,504	0,958	-0,730
NF	0,373	0,634	0,601		0,362	0,660	-0,567
GF	0,298	0,515	0,504	0,362		0,694	-0,453
Gesamt	0,514	0,793	0,958	0,660	0,694		-0,746
Gesamt	-0,543	-0,714	-0,730	-0,567	-0,453	-0,746	

OF: orthographische Fehler, NF: nicht-lauttreue Fehler, GF: Fehler der Groß-/Kleinschreibung

Innerhalb des SLRT zeigen sich signifikante Korrelationen zur Gesamtrechtschreibfehlerzahl mit der Gesamtlesezeit ($r=0,514$, $p < .01$) und den Gesamtlesefehlern ($r=0,793$, $p < .01$).

3.2 Ergebnisse der Versuchs- und Kontrollgruppe

Die Strichprobe ($IQ > 85$) wurde anhand der erzielten Ergebnisse in den verwendeten Tests in Versuchs- und Kontrollgruppe eingeteilt. Die Versuchsgruppe musste hierfür im SLRT sowohl im Lese- als auch im Rechtschreibteil unter Prozentrang (PR) 50 liegen und im BAKO $< PR 18$, die Kontrollgruppe im Leseteil des SLRT $> PR 50$, im Rechtschreibteil $> PR 80$ und das Gesamtergebnis im BAKO musste $> PR 75$ liegen.

Tab. 4: Mittelwerte für Kontroll- und Versuchsgruppe in Bezug auf Alter, Intelligenzquotient und Phonematischer Leistung im Test „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“ (BAKO).

	Kontrollgruppe		Versuchsgruppe		F	p
Alter in Monaten M (SD)	109,81	(4,42)	109,68	(4,60)	$<0,01$	.93
IQ M (SD)	107,69	(8,78)	102,27	(13,64)	2,41	.17
BAKO M (SD)	63,25	(2,41)	31,00	(6,53)	352,80	$<.001$

M: Mittelwert, SD: Standardabweichung, IQ: Intelligenzquotient, p: Statistische Signifikanz, F: Testwert.

Betrachtet man nun die Ergebnisse der Versuchs- und der Kontrollgruppe, so werden die Unterschiede der Gruppen sowohl in ihrer Lesegeschwindigkeit, als auch in der Varianz ihrer Ergebnisse deutlich.

3.2.1 Ergebnisse des Salzburger Lese-/Rechtschreibtest (SLRT)

Der SLRT ist in einen Lese- und einen Rechtschreibteil untergliedert. Nachfolgend werden getrennt die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Ergebnisse der Versuchs- und Kontrollgruppe aufgezeigt.

3.2.1.1 Ergebnisse im Leseteil des SLRT

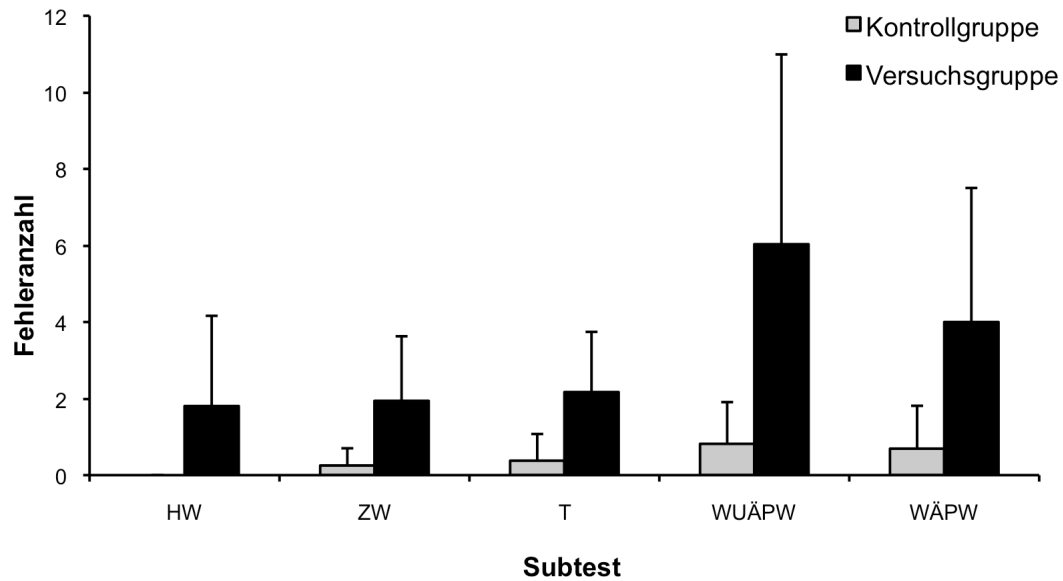
Die Leistungen der Defizit- und Kontrollgruppe unterscheiden sich signifikant aufgrund der Gruppeneinteilung in allen Testteilen sowohl in der Lesezeit als auch der Fehleranzahl (siehe nachfolgende Tabelle). Die defizitären Kinder zeigen sowohl bei den Leseteilen mit „echten“ Wörtern (häufige Wörter, zusammengesetzte Wörter und dem fortlaufenden Text) signifikant schlechtere Leistungen, wie auch bei den Subtests, welche Pseudowörter zur Überprüfung der Lesefähigkeit nutzen.

Tab. 5: Mittelwerttabelle der gemachten Fehler und der benötigten Zeit für Kontroll- und Versuchsgruppe in den einzelnen Subtests des Leseteils des Salzburger Lese-Rechtschreibtests (SLRT).

Leseteil	Kontrollgruppe	Versuchsgruppe	Signifikanzniveau
<i>Fehler [n]</i>			<i>p</i>
HW M (SD)	0,00 (0,00)	1,82 (2,34)	<.001
ZW M (SD)	0,25 (0,45)	1,95 (1,68)	<.001
T M (SD)	0,38 (0,72)	2,18 (1,56)	<.001
WUÄPW M (SD)	0,81 (1,11)	6,05 (4,95)	<.001
WÄPW M (SD)	0,69 (1,14)	4,00 (3,51)	<.001
<i>Zeiten [s]</i>			
HW M (SD)	17,13 (3,14)	35,95 (11,24)	<.001
ZW M (SD)	14,69 (3,63)	41,14 (16,16)	<.001
T M (SD)	27,44 (7,54)	66,36 (24,31)	<.001
WUÄPW M (SD)	34,81 (5,82)	62,23 (17,32)	<.001
WÄPW M (SD)	33,13 (6,51)	58,41 (14,39)	<.001

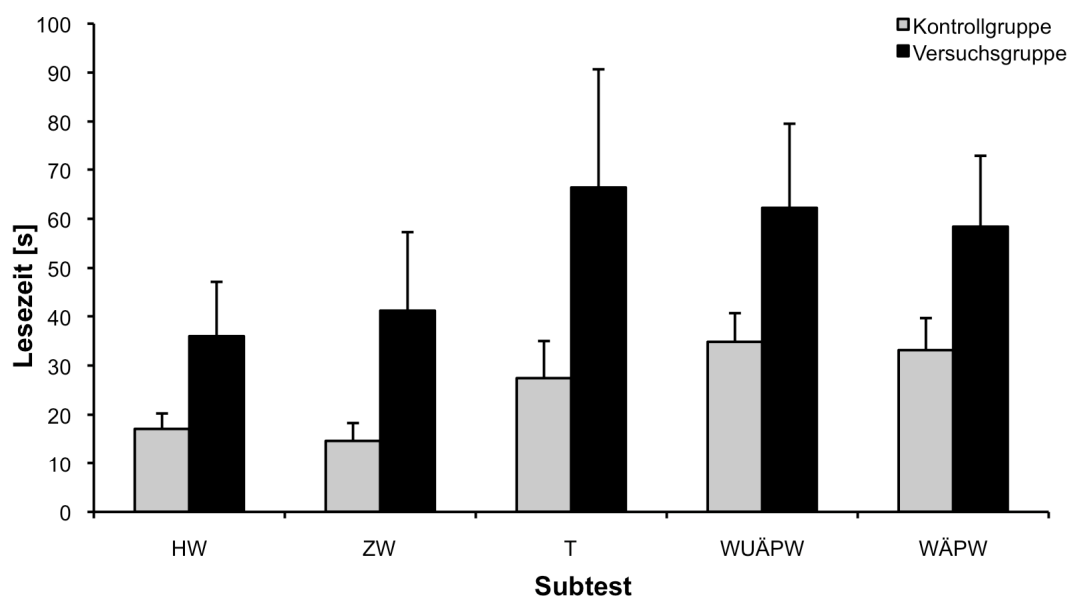
M: Mittelwert, SD: Standardabweichung, n: Anzahl, HW: häufige Wörter, ZW: zusammengesetzte Wörter, T: Text, WUÄPW: wortunähnliche Pseudowörter, WÄPW: wortähnliche Pseudowörter.

Betrachtet man die Lesezeiten, welche die Probanden für „echte“ und für Pseudowörter benötigen, so ergibt sich hierbei ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($r=0,924$; $p<.05$), gleiches gilt für die gemachten Lesefehler ($r=0,777$; $p<.05$). Es zeigt sich also, dass die Defizitgruppe gleichermaßen beim Lesen von echten Wörtern und Pseudowörtern Schwierigkeiten hat.



HW: häufige Wörter, ZW: zusammengesetzte Wörter, T: Text, WUÄPW: wortunähnliche Pseudowörter, WÄPW: wortähnliche Pseudowörter

Abb. 12: Graphische Darstellung der signifikanten unterschiedlichen Mittelwerte ($p < .001$) und der Standardabweichungen der Lesefehler von Kontroll- und Versuchsgruppe ($n=38$) in den einzelnen Subtests des Leseteils des Salzburger Lese-Rechtschreibtests (SLRT).



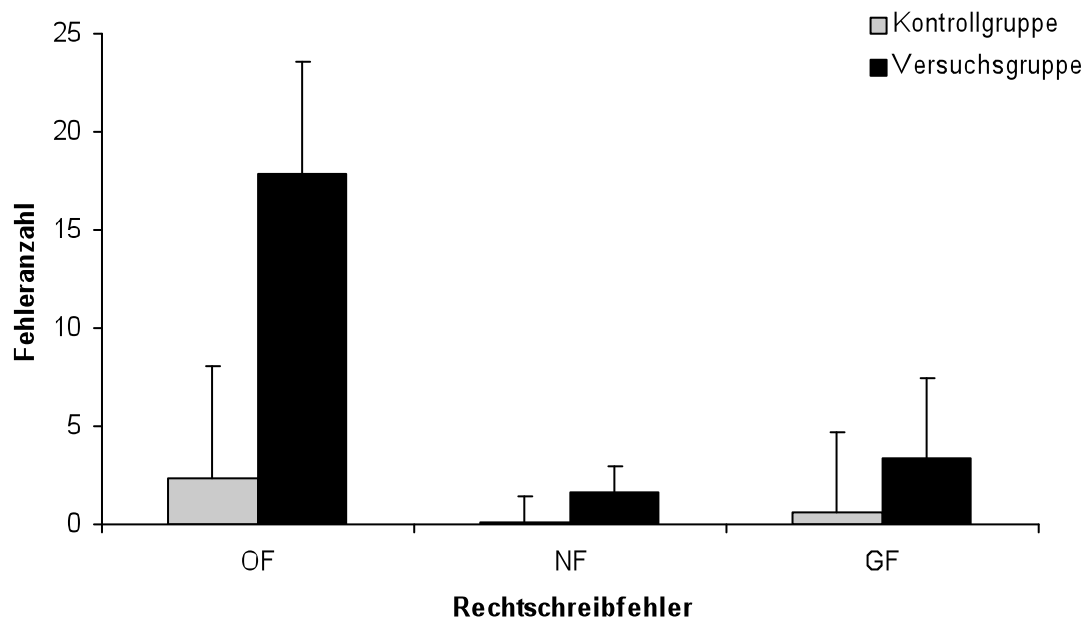
HW: häufige Wörter, ZW: zusammengesetzte Wörter, T: Text, WUÄPW: wortunähnliche Pseudowörter, WÄPW: wortähnliche Pseudowörter

Abb. 13: Graphische Darstellung der signifikant unterschiedlichen Mittelwerte ($p < .001$) und der Standardabweichungen der Lesezeiten (in Sekunden) von Kontroll- und Versuchsgruppe ($n=38$) in den einzelnen Subtests des Leseteils des Salzburger Lese-Rechtschreibtests (SLRT).

3.2.1.2 Ergebnisse im Rechtschreibteil des SLRT

Die Auswertung des Rechtschreibteils des SLRT erfolgte nach den Vorgaben der Testautoren mit der Untergliederung in orthographische, nicht-lauttreue Fehler und Fehler der Groß- und Kleinschreibung.

Die Jungen der Defizitgruppe schneiden ebenso in den Fehlern mit phonematischem Hintergrund ($p < .001$) (orthographische, nicht-lauttreue Fehler), als auch in den Fehlern der Groß- und Kleinschreibung ($p = .01$) signifikant schlechter ab als die Kontrollprobanden.



OF: Orthographische Fehler, NF: nicht-lauttreue Fehler, GF: Fehler der Groß-/Kleinschreibung

Abb. 14: Graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl der Rechtschreibfehler von Kontroll- und Versuchsgruppe ($n=38$) in den Fehlersubkategorien des Rechtschreibteils des Salzburger Lese-Rechtschreibtests (SLRT).

3.2.2 Ergebnisse des BAKO

Die Ergebnisse des BAKO-Tests, welcher auf die phonologische Bewusstheit der Testpersonen abzielt, zeigen eindeutig die Schwierigkeiten, welche die Probanden mit einer LRS aufgrund eines phonematischen Defizits haben. Die Defizitgruppe zeigt in allen Subtests ein signifikant schlechteres Ergebnis als die Kontrollgruppe ($p < .001$).

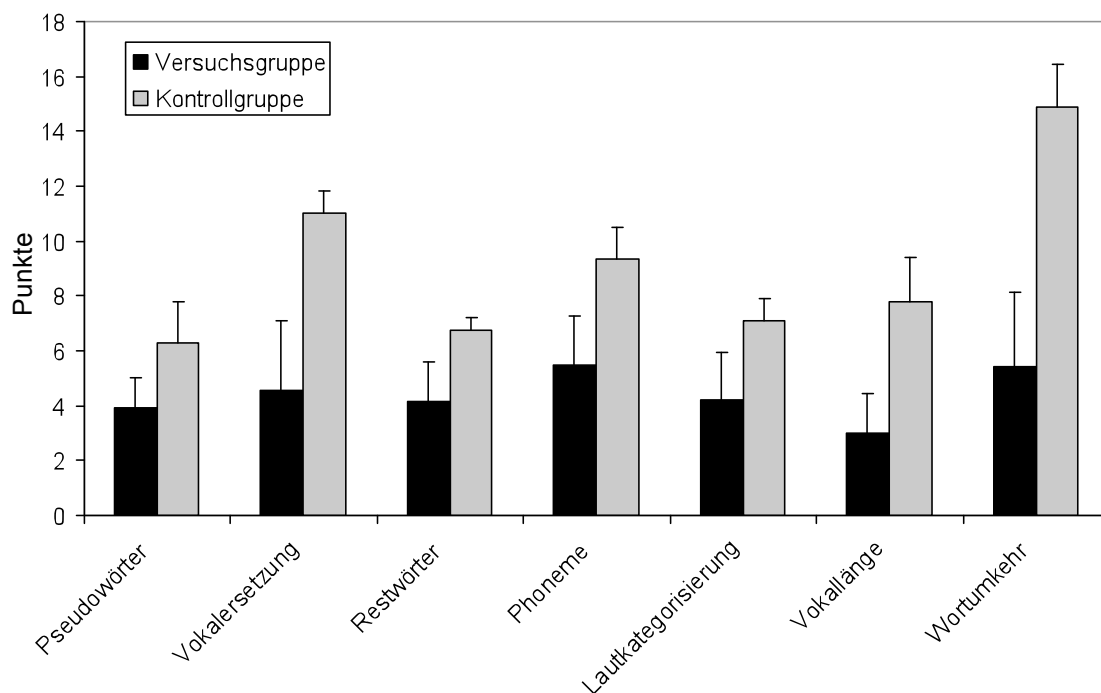


Abb. 15: Graphische Darstellung der signifikant unterschiedlichen Mittelwerte ($p < .001$) mit Standardabweichungen in Bezug auf die erreichten Punkte von Kontroll- und Versuchsgruppe ($n=38$). Unterteilt in die einzelnen Kategorien des Tests „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“ (BAKO).

3.2.3 Ergebnisse der EEG-Untersuchung mit Messung der MMN

Ausgewertet wurden zum einen die Rohdaten in Form von akustisch evozierten Potentialen (AEP), ausgelöst durch die Einzelstimuli, zum anderen die Kontroll- und Versuchsgruppe hinsichtlich der Differenzkurven - die sich aus dem AEP_{Deviant} abzüglich des AEP_{Standard} berechnet.

3.2.3.1 Ergebnisse des Sinustonpaares

Im Rahmen der statistischen Analyse wurden die akustisch evozierten Potentiale in drei Intervalle unterteilt, um den zeitlichen Verlauf besser beurteilen und ein Zeitfenster für das Maximum der MMN angeben zu können. Die Zeitintervalle wurden festgesetzt für Zeitintervall 1 (100-250 ms), Zeitintervall 2 (250-400 ms) und Zeitintervall 3 (400-550 ms) jeweils bezogen auf die Zeitspanne nach Stimulusonset. Als Standardstimulus diente ein Sinuston mit einer Frequenz von 500 Hz, als devianter Stimulus ein Sinuston mit 750 Hz. Die jeweils ausgelösten AEPs sind in Abb. 16 dargestellt. Die statistische Auswertung erfolgte mittels einer ANOVA mit Messwiederholungen.

Die sechs ausgewerteten Elektrodenpositionen sind F3, FC3, C3, F4, FC4 und C4. Die multivariante statische Analyse ergab in keinem der drei ausgewerteten Intervalle signifikante Unterschiede bei den mittels der Tonstimuli ausgelösten, gemessenen Antworten zwischen der Kontroll- und der Versuchsgruppe (Abb. 17 und Abb. 18): Intervall 1 (100-250 ms) $p=.556$, Intervall 2 (250-400 ms) $p=.667$ und Intervall 3 (400-550 ms) $p=.947$.

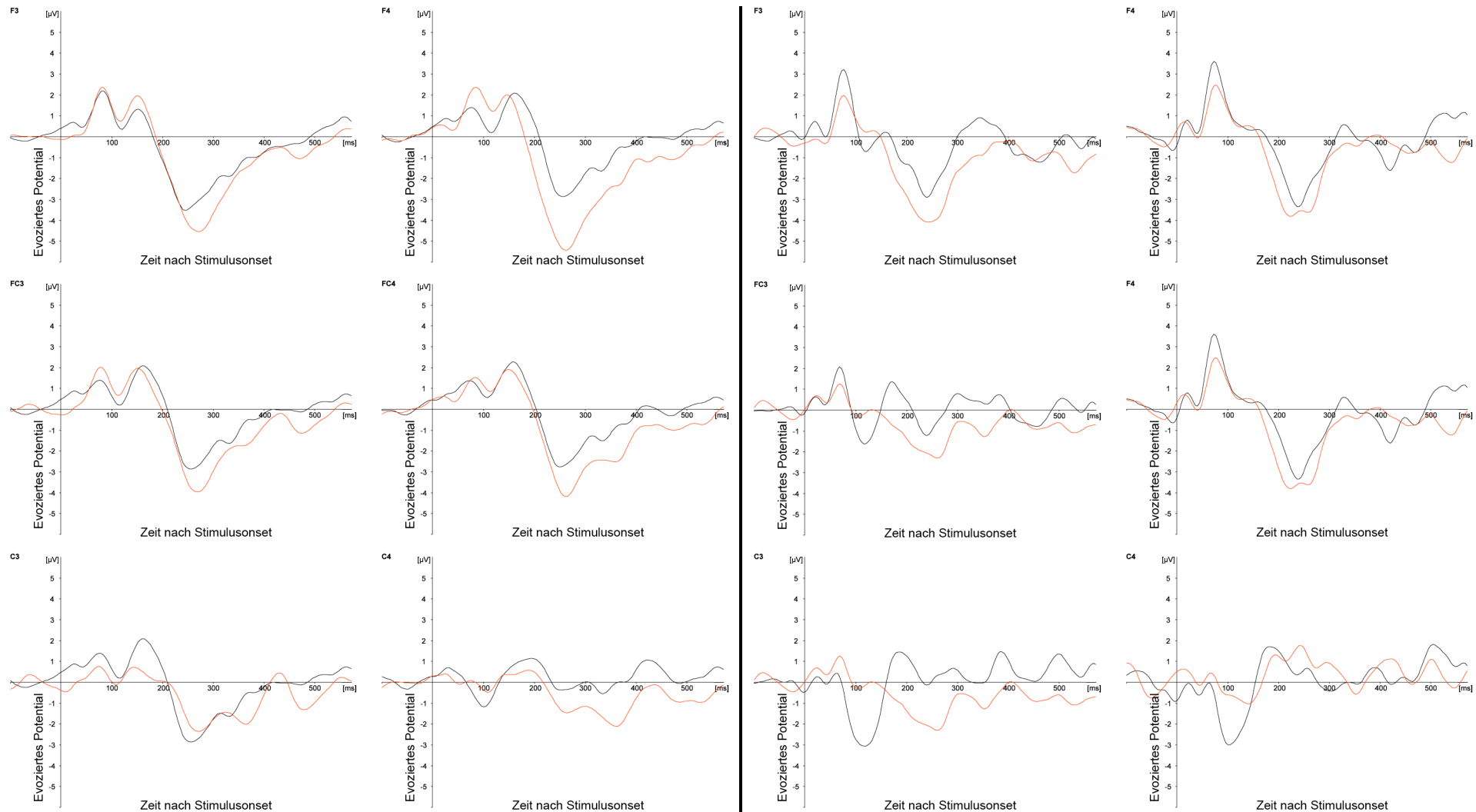


Abb. 16: Akustisch evozierte Potentiale der Kontrollgruppe (—) und der Versuchsgruppe (—) ausgelöst durch das Tonstimuluspaar /500 Hz/ (in Abb. links) und /750 Hz/ (in Abb. rechts) an den Elektrodenpositionen F3/F4, FC3/FC4 und C3/C4.

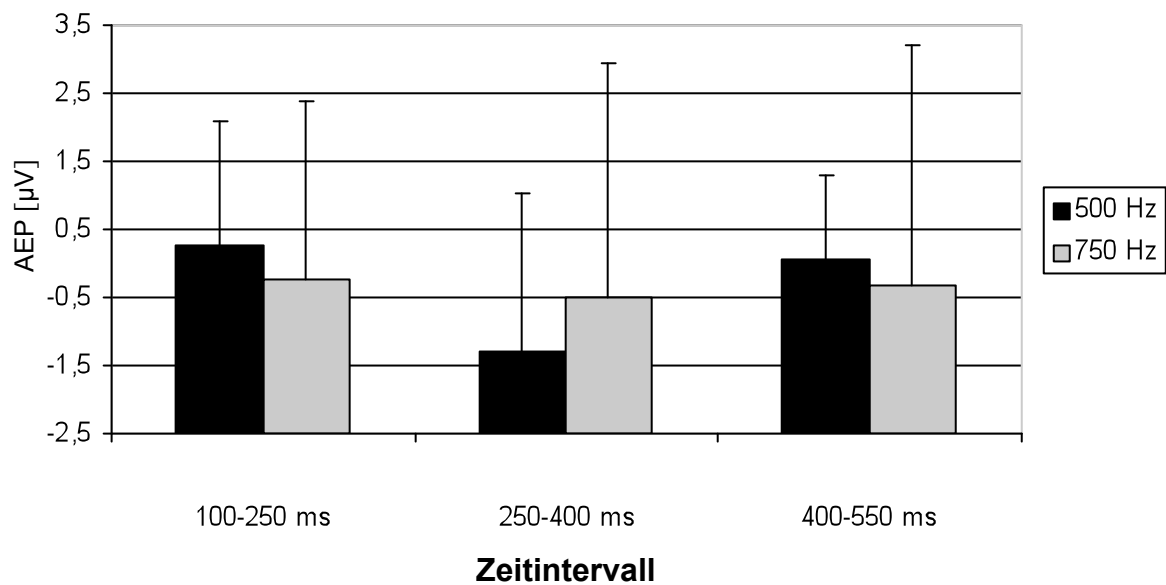


Abb. 17: Graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der akustisch evozierten Potentiale (AEP) ausgelöst durch das Stimuluspaar /500 Hz/ vs. /750 Hz/ für die Kontrollgruppe über alle ausgewerteten Zeitintervalle.

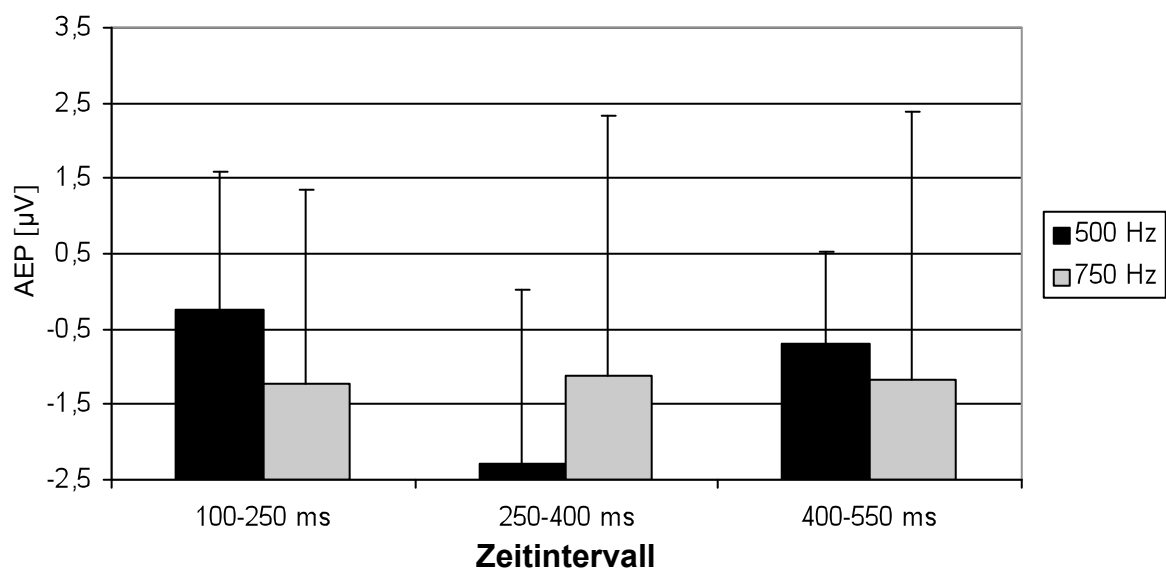


Abb. 18: Graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der akustisch evozierten Potentiale (AEP) ausgelöst durch das Stimuluspaar /500 Hz/ vs. /750 Hz/ für die Versuchsgruppe über alle ausgewerteten Zeitintervalle.

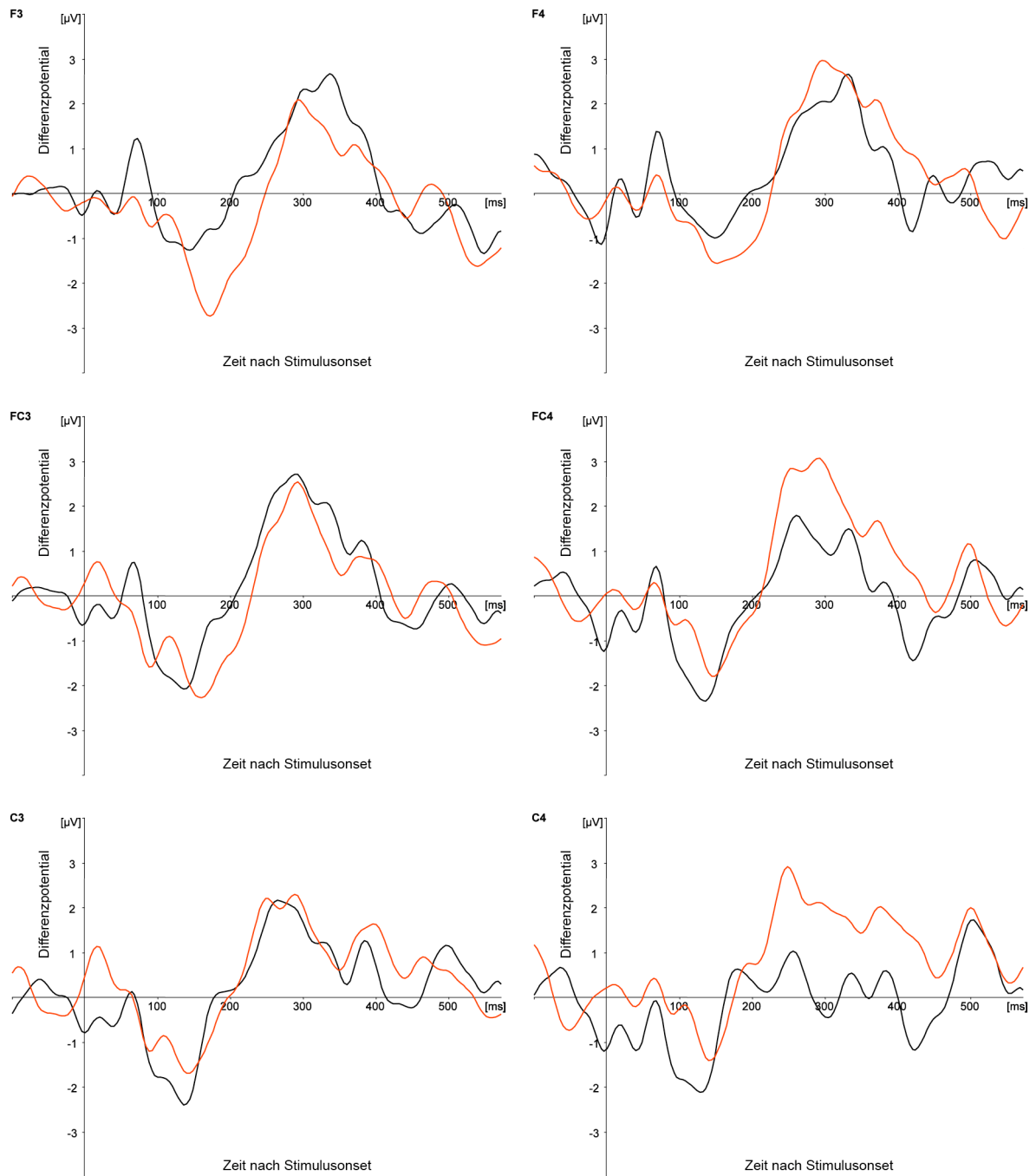


Abb. 19: Differenzkurven an den Elektrodenpositionen (F3/F4, FC3/FC4, C3/C4) der Kontrollgruppe (—) und der Versuchsgruppe (—) ausgelöst durch das Tonstimuluspaar /500 Hz/ und /750 Hz/.

3.2.3.2 Ergebnisse der Sprachstimuluspaares /ba/ vs. /da/

Im Rahmen der statistischen Analyse wurden die akustisch evozierten Potentiale in 3 Intervalle unterteilt, um den zeitlichen Verlauf besser beurteilen und ein Zeitfenster für das Maximum der MMN angeben zu können. Die Zeitintervalle wurden festgesetzt für Zeitintervall 1 (150-300 ms), Zeitintervall 2 (300-450 ms) und Zeitintervall 3 (450-600 ms) jeweils bezogen auf die Zeitspanne nach Stimulusonset.

Die jeweils ausgelösten AEPs sind in Abb. 23 dargestellt, die sich ergebenden Differenzkurven zeigt die Abbildung 24. Die ANOVA mit Messwiederholungen ergab dabei nachfolgende Ergebnisse:

Ergebnisse im ersten Zeitintervall (150-300 ms):

Es ergeben sich signifikante Unterschiede für die Interaktionen Elektrode*Gruppe ($F(2,52)=4,306$, $p=.019$), Stimulus*Gruppe ($F(2,52)=6,500$, $p=.017$) und die Interaktion Elektrode*Stimulus*Gruppe ($F(2,52)=3,447$, $p=.039$).

Für die Interaktionen Elektrode*Gruppe und Stimulus*Gruppe ergeben sich im post hoc-Test (Bonferoni) keine signifikanten Unterschiede.

Die Interaktion Elektrode*Stimulus*Gruppe weist im post hoc-Test (Bonferoni) signifikante Unterschiede zwischen dem Standard- und dem abweichenden Stimulus in der Kontrollgruppe an FC3/FC4 ($p<.01$), sowie an den Elektrodenpositionen C3/C4 ($p<.001$) auf. Für die Defizitgruppe ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen dem devianten und dem Standardreiz an allen Elektrodenpositionen.

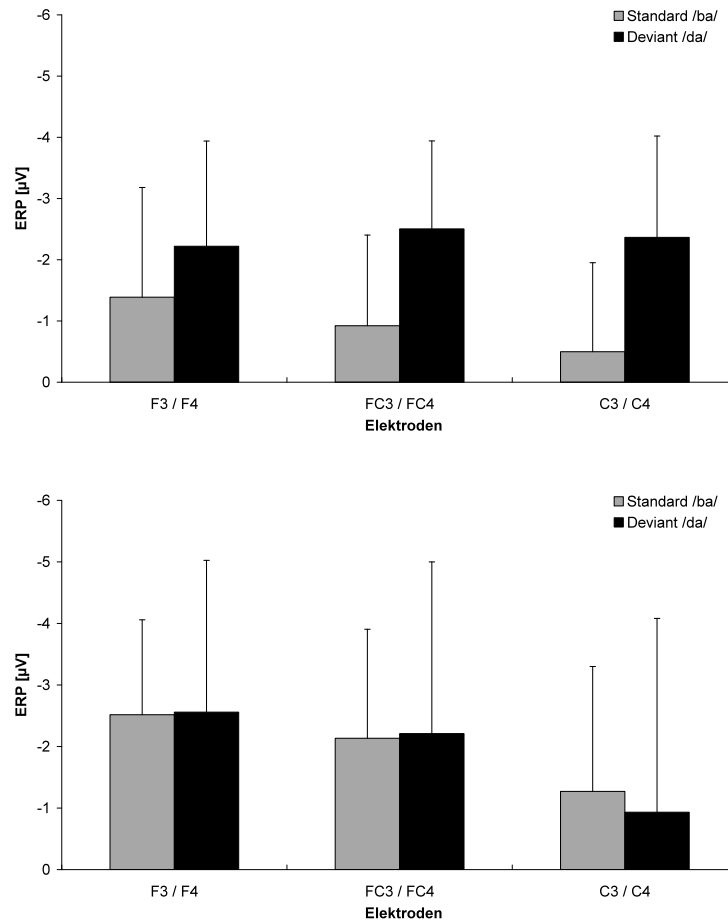


Abb. 20: Graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen für die mittleren ereigniskorrelierten Potentiale (ERP) im Zeitintervall 150-300 ms evoziert durch Stimuluspaar /ba/ - /da/. (Elektrode*Stimulus*Gruppe - $F(2, 52)=3,447$, $p=.039$) - Kontrollgruppe: Abb. oben, Versuchsgruppe: Abb. unten.

Ergebnisse im zweiten Zeitintervall (300-450 ms):

Die statistische Analyse ergibt signifikante Unterschiede für die Interaktionen Elektrode*Gruppe ($F(2,52)=3,912$, $p=.026$) und Elektrode*Stimulus*Gruppe ($F(2,52)=6,393$, $p=.003$).

Die post hoc-Analyse (Bonferoni) liefert für die Interaktion Elektrode*Gruppe keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, für die Interaktion Elektrode*Stimulus*Gruppe zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen dem Standard- und dem abweichenden Stimulus für die Kontrollgruppe an den Elektrodenpositionen F3/F4 ($p=.003$), FC3/FC4 ($p<.001$) und C3/C4 ($p<.001$). Für die Defizitgruppe ergeben sich keine signifikanten Unterschiede an allen Elektrodenpositionen zwischen den beiden Stimuli.

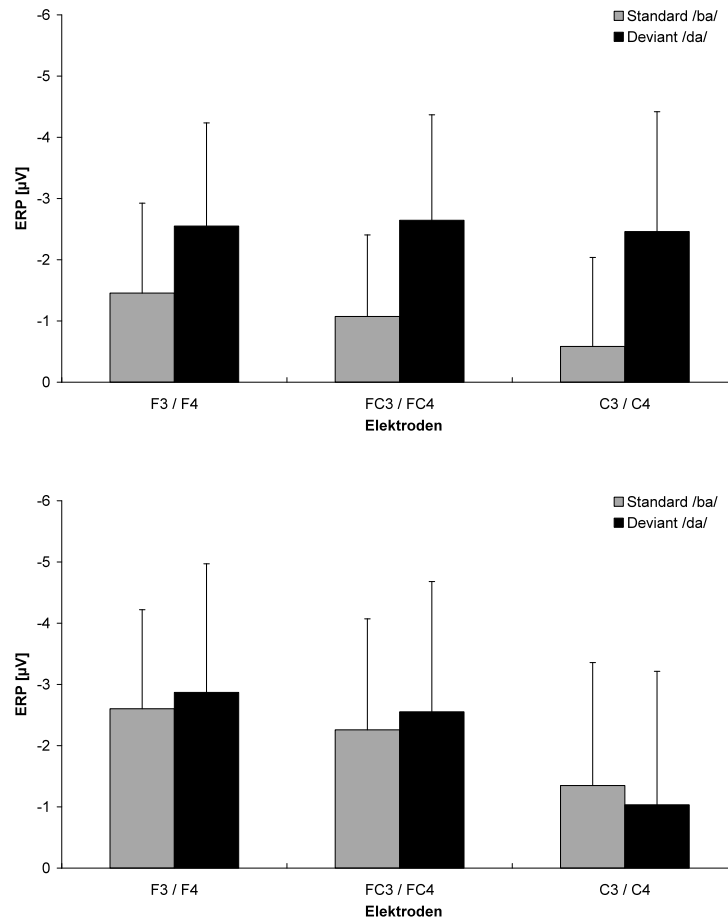


Abb. 21: Graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen für die mittleren ereigniskorrelierten Potentiale (ERP) im Zeitintervall 300-450 ms evoziert durch Stimuluspaar /ba/ - /da/. (Elektrode*Stimulus*Gruppe - $F(2, 52)=6,393$, $p=.003$) - Kontrollgruppe: Abb. oben, Versuchsgruppe: Abb. unten.

Ergebnisse im dritten Zeitintervall (450-600 ms):

Die beiden Gruppen unterscheiden sich für alle Interaktionen nicht signifikant.

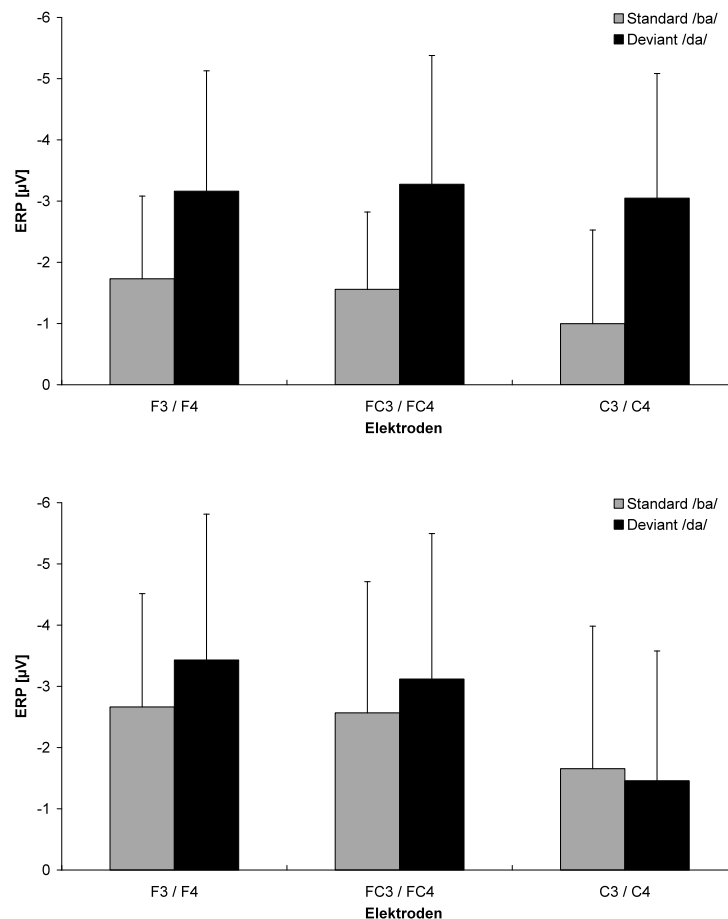


Abb. 22: Graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen für die mittleren ereigniskorrelierten Potentiale (ERP) im Zeitintervall 450-600 ms evoziert durch Stimuluspaar /ba/ - /da/ (Kontrollgruppe: Abb. oben Versuchsgruppe: Abb. unten).

Betrachtet man die Daten, so zeigt sich in der Kontrollgruppe ein Maximum der MMN über den zentralen Elektrodenpositionen C3/C4. Zudem zeigt sich, dass die Versuchsgruppe bei Betrachtung der durch beide Stimuli erzeugten AEPs auf dem Antwortniveau der Kontrollgruppe des devianten Stimulus liegt.

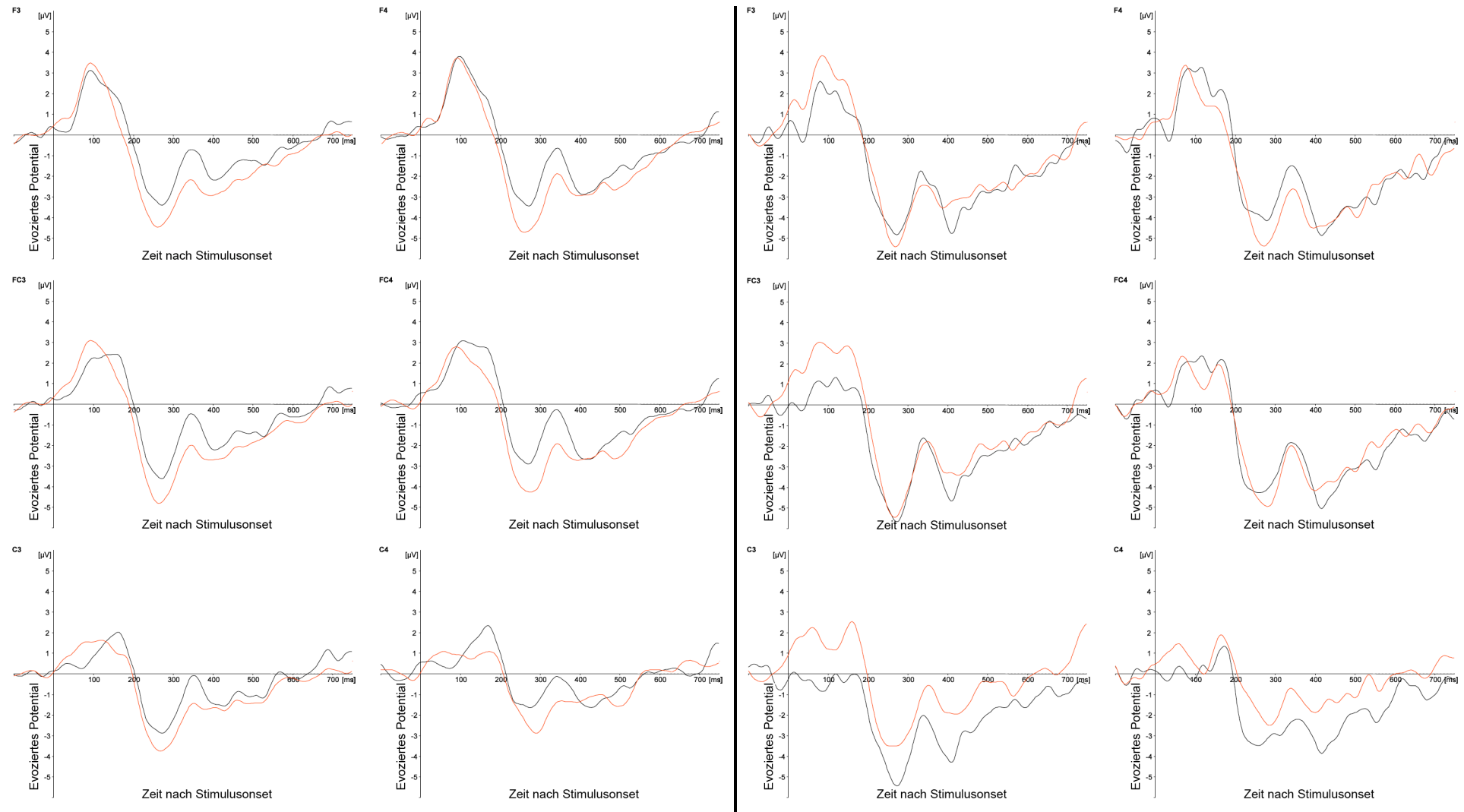


Abb. 23: Akustisch evozierte Potentiale der Kontrollgruppe (—) und der Versuchsgruppe (—) ausgelöst durch das Sprachstimuluspaar /ba/ (in Abb. links) und /da/ (in Abb. rechts) an den Elektrodenpositionen F3/F4, FC3/FC4 und C3/C4.

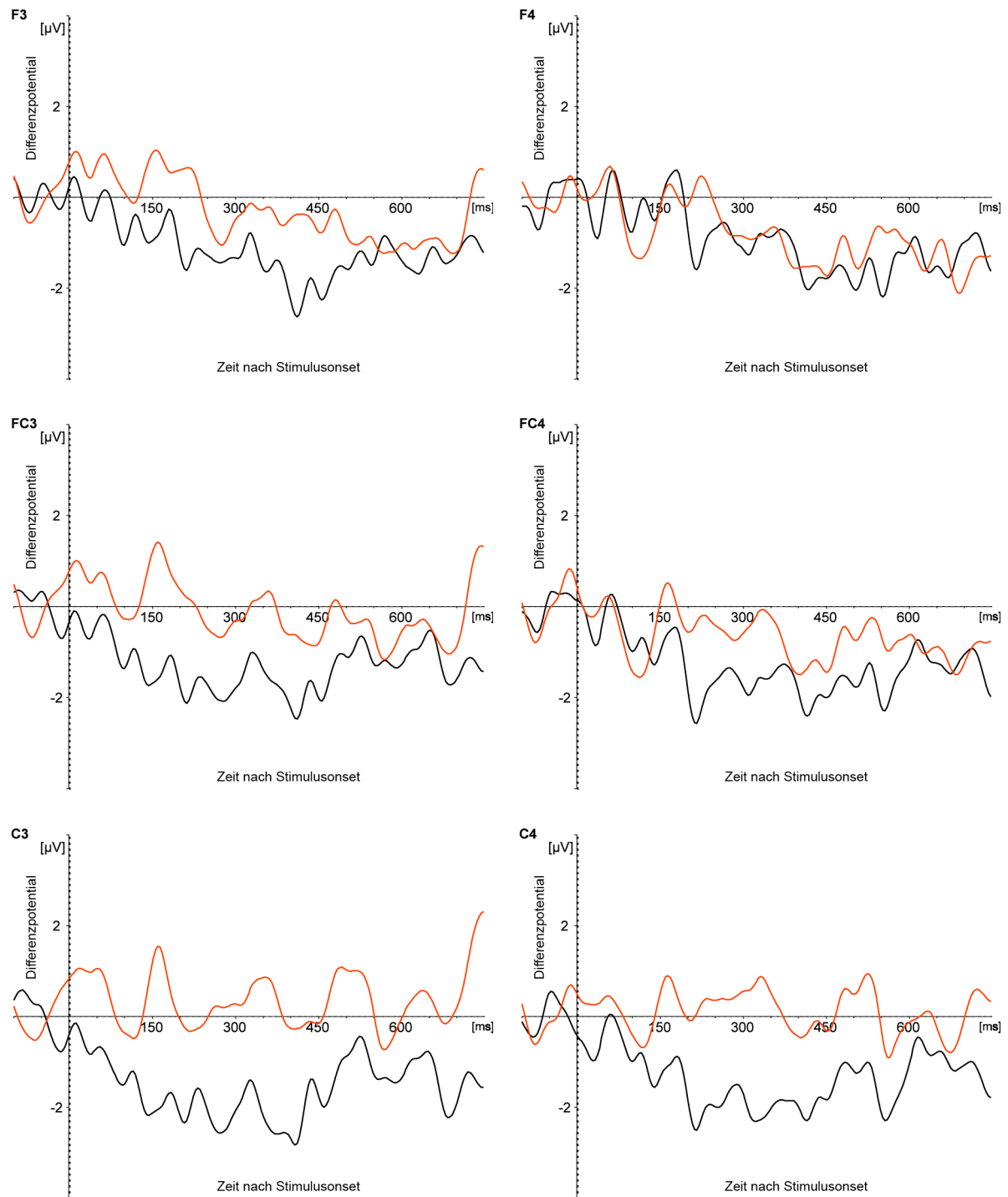


Abb. 24: Differenzkurven an den Elektrodenpositionen (F3/F4, FC3/FC4, C3/C4) der Kontrollgruppe (—) und der Versuchsgruppe (—) ausgelöst durch das Sprachstimuluspaar /ba/ vs. /da/.

3.2.4 Vergleich der EEG-Daten (Sprachstimuli) mit Ergebnissen der psychometrischen Testverfahren zur Lese- und Rechtschreibfähigkeit

Betrachtet man nun die Zeitintervalle, in denen sich die beiden Gruppen signifikant in ihrer MMN unterscheiden, hinsichtlich des Zusammenhanges zwischen den elektrophysiologischen Daten und den psychometrischen Ergebnissen im SLRT und BAKO, so zeigt sich in einigen der Untertests eine signifikante Korrelation.

Da sich die Daten durch die signifikante Unterscheidung der beiden Gruppen nicht normal verteilen, wurde das nicht-parametrische Verfahren der Spearman-Rangkorrelation für die Auswertung der nachfolgenden Daten verwendet.

Im Detail wird nur auf die MMN über den Elektrodenpositionen C3/C4 eingegangen, da sich hier in der Kontrollgruppe die größte MMN zeigte. Die Ergebnisse über allen Elektrodenpositionen können den Tabellen 23 bis 28 im Anhang entnommen werden.

Im Zeitintervall 150-300 ms ergeben sich hinsichtlich der gemachten Lesefehler signifikante Korrelationen für alle Untertests außer dem Text und den wortunähnlichen Pseudowörtern. Bei den Lesezeiten ergeben sich in allen Untertests signifikante Ergebnisse.

In Bezug auf die Lesefehler ergeben sich positive Korrelationen, da die Defizitgruppe eine weniger gute Leistung beim Lesen zeigt, hingegen eine geringere mismatch negativity aufweist. Für die Gesamtlesefehler ergibt sich eine signifikante Korrelation $r=0,456$, $p=.015$. Die Korrelationen der einzelnen Subtests sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Für die Gesamtlesezeit zeigt sich ebenfalls eine positive Korrelation $r=0,497$, $p=.007$, zudem ergeben sich für alle Subtests ebenso signifikante Korrelationen (Tab. 6).

Im Rechtschreibteil zeigen sich signifikante positive Korrelationen für die orthographischen ($r=0,503$, $p=.001$) sowie tendenziell für die nicht-lauttreuen Fehler ($r=0,348$, $p=.07$), hingegen nicht für die Fehler der Groß-/Kleinschreibung.

Tab. 6: Korrelationstabelle zwischen elektrophysiologischen Daten an den Elektrodenpositionen C3/C4 und Ergebnissen im Salzburger Lese-Rechtschreibtest (SLRT) für Versuchs- und Kontrollgruppe im Intervall 150-300 ms.

Lesefehler 150 – 300 ms	Gültige n	Spearman r	t(n-2)	p
HW	28	0,492	2,878	0,008
ZW	28	0,389	2,150	0,041
T	28	0,207	1,079	0,290
WUÄPW	28	0,538	3,254	0,003
WÄPW	28	0,321	1,726	0,096
Gesamt	28	0,456	2,609	0,015

Lesezeit 150 – 300 ms	Gültige n	Spearman r	t(n-2)	p
HW	28	0,553	3,384	0,002
ZW	28	0,402	2,236	0,034
T	28	0,518	3,086	0,005
WUÄPW	28	0,605	3,871	0,001
WÄPW	28	0,387	2,143	0,042
Gesamt	28	0,497	2,919	0,007

Rechtschreibfehler 150 – 300 ms	Gültige n	Spearman r	t(n-2)	p
orthographisch	28	0,582	3,652	0,001
nicht-lauttreu	28	0,348	1,890	0,070
Groß-/Kleinschreibung	28	-0,027	-0,140	0,890
Gesamt	28	0,503	2,971	0,006

HW: Häufige Wörter, ZW: zusammengesetzte Wörter, T: Text, WUÄPW: wortunähnliche Pseudowörter, WÄPW: wortähnliche Pseudowörter, n: Anzahl, r: Korrelationskoeffizient, t(n-2): t-Verteilung mit (n-2)-Freiheitsgraden, p: statistische Signifikanz.

Im Zeitintervall 300-450 ms ergibt sich ein nahezu identisches Ergebnis. Es ergeben sich keine signifikanten Ergebnisse hinsichtlich der gemachten Lesefehler in den Untertests Häufige Wörter und Zusammengesetzte Wörter.

So weisen die Gesamtlesefehler eine Korrelation ($r=0,475$, $p=.01$), sowie neben allen Subtests (Tab. 7) die Gesamtlesezeit ($r=0,482$, $p<.01$) eine signifikante, positiv gerichtete Korrelation auf.

Für den Rechtschreibteil des SLRT ergeben sich, wie schon im Zeitintervall 150-300 ms signifikante Korrelationen für orthographische ($r=0,435$, $p=.021$), nicht-lauttreue Fehler ($r=0,396$, $p=.037$) und die Gesamtfehlerzahl ($r=0,401$, $p=.034$), bei weiterhin fehlender Korrelation für die Fehler der Groß- und Kleinschreibung.

Es korrelieren also die Rechtschreibleistungen mit phonologischem Hintergrund, hingegen nicht die Regelfehler der Groß- und Kleinschreibung mit den EEG-Daten.

Tab. 7: Korrelationstabelle zwischen elektrophysiologischen Daten an den Elektrodenpositionen C3/C4 und Ergebnissen im Salzburger Lese-Rechtschreibtest (SLRT) für Versuchs- und Kontrollgruppe im Intervall 300-450 ms.

Lesefehler 300 – 450 ms	Gültige n	Spearman r	t(n-2)	p
HW	28	0,346	1,882	0,071
ZW	28	0,283	1,502	0,145
T	28	0,277	1,469	0,154
WUÄPW	28	0,416	2,331	0,028
WÄPW	28	0,360	1,966	0,060
Gesamt	28	0,475	2,751	0,011

Lesezeit 300 – 450 ms	Gültige n	Spearman r	t(n-2)	p
HW	28	0,477	2,765	0,010
ZW	28	0,388	2,149	0,041
T	28	0,460	2,641	0,014
WUÄPW	28	0,566	3,504	0,002
WÄPW	28	0,485	2,825	0,009
Gesamt	28	0,482	2,808	0,009

Rechtschreibfehler 300 – 450 ms	Gültige n	Spearman r	t(n-2)	p
orthographisch	28	0,435	2,463	0,021
nicht-lauttreu	28	0,396	2,198	0,037
Groß-/Kleinschreibung	28	0,208	1,084	0,288
Gesamt	28	0,401	2,235	0,034

HW: Häufige Wörter, ZW: zusammengesetzte Wörter, T: Text, WUÄPW: wortunähnliche Pseudowörter, WÄPW: wortähnliche Pseudowörter, n: Anzahl, r: Korrelationskoeffizient, t(n-2): t-Verteilung mit (n-2)-Freiheitsgraden, p: statistische Signifikanz.

3.2.5 Vergleich der EEG-Daten (Sprachstimuli) mit Ergebnissen dem psychometrischen Testverfahren zur Überprüfung der phonologischen Bewusstheit – „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“ (BAKO)

Bei der Betrachtung eines möglichen Zusammenhanges zwischen den elektrophysiologischen Daten und den Ergebnissen des BAKO ergeben sich nachfolgende Resultate.

Es zeigen sich in beiden Zeitintervallen, in denen sich Defizit- und Kontrollgruppe unterscheiden, signifikante Korrelationen. Zur Vereinfachung der Darstellung wurde die Korrelation zwischen der im Vorzeichen umgedrehten MMN und den erzielten BAKO-Punkten berechnet. Wiederum wurden die EEG-Daten der Elektrodenpositionen C3/C4 für die Auswertung herangezogen.

Im Einzelnen zeigen sich Korrelationen für die Aufgaben der Vokalersetzung, der Vokallänge, der Wortumkehr und der Restwortbestimmung, welche sich im zweiten Zeitintervall nicht mehr zeigt (siehe Tabellen 8 und 9).

Tab. 8: Korrelationstabelle zwischen elektrophysiologischen Daten an den Elektrodenpositionen C3/C4 und den Ergebnissen des Tests „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“ im Zeitintervall 150-300 ms.

	Gültige n	Spearman r	t(n-2)	p
Pseudowortsegmentierung	28	0,267	1,411	0,170
Vokalersetzung	28	0,482	2,803	0,009
Restwortbestimmung	28	0,406	2,264	0,032
Phonemvertauschung	28	0,320	1,721	0,097
Lautkategorisierung	28	0,307	1,647	0,112
Vokallänge	28	0,405	2,261	0,032
Wortumkehr	28	0,420	2,358	0,026
Gesamtpunkte	28	0,374	2,055	0,050

n: Anzahl, r: Korrelationskoeffizient, t(n-2): t-Verteilung mit (n-2)-Freiheitsgraden, p: statistische Signifikanz.

Tab. 9: Korrelationstabelle zwischen elektrophysiologischen Daten an den Elektrodenpositionen C3/C4 und den Ergebnissen des Tests „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“ im Zeitintervall 300-450 ms.

	Gültige n	Spearman r	t(n-2)	p
Pseudowortsegmentierung	28	0,176	0,914	0,369
Vokalersetzung	28	0,436	2,471	0,020
Restwortbestimmung	28	0,189	0,981	0,336
Phonemvertauschung	28	0,335	1,816	0,081
Lautkategorisierung	28	0,365	2,000	0,056
Vokallänge	28	0,488	2,848	0,008
Wortumkehr	28	0,433	2,452	0,021
Gesamtpunkte	28	0,382	2,109	0,045

n: Anzahl, r: Korrelationskoeffizient, t(n-2): t-Verteilung mit (n-2)-Freiheitsgraden, p: statistische Signifikanz.

Die erreichte Gesamtpunktzahl im BAKO zeigt im Vergleich mit der MMN im ersten Zeitintervall 150-300 ms ($r=0,374$, $p=.05$) und im zweiten Zeitintervall 300-450 ms ($r=0,382$, $p=.045$) einen signifikanten Zusammenhang mit den elektrophysiologischen Daten der EEG-Messung hinsichtlich der verwendeten Sprachstimuli.

4. Diskussion

Die vorliegende Untersuchung hatte zum Ziel anhand eines Screenings in der dritten Klassenstufe an 23 Grundschulen des Schulamtsbezirkes Schwäbisch-Gmünd Jungen mit Defiziten im Bereich des Lesens und der Rechtschreibung zu erkennen und auf deren phonologische Fähigkeiten zu testen. An einem Kollektiv wurden abschließend die elektrophysiologischen Korrelate der LRS unter Verwendung des EEGs mit Bestimmung der mismatch negativity mit einer Kontrollgruppe verglichen. Es sollte gezeigt werden, dass Kinder mit Defiziten im Bereich des Lesens und Schreibens, welche eine gestörte phonologische Bewusstheit aufweisen, primär ein basales auditives Wahrnehmungsdefizit haben, das auf sprachlicher Ebene nachzuweisen ist. Dies sollte anhand einer reduzierten mismatch negativity bei der Verwendung von Sprachstimuli gezeigt werden.

Die phonologische Bewusstheit, die bewusste phonologische Verarbeitung von Lauten, bildet die dritte Stufe im Modell der überprüfbaren Ebenen der LRS-Symptomatik (SCHULTE-KÖRNE et al. 1999b). Der Aufbau der Studie erfolgte in umgekehrter Reihenfolge des o.g. Stufenmodells, nachdem die auf einer basalen auditiven Verarbeitungsstörung basierenden schlechteren Lese-Rechtschreibleistungen zunächst mittels dem SLRT festgestellt, die phonologische Ebene durch den BAKO und zuletzt die präattentive und automatische Verarbeitung von auditiven Stimuli mittels EEG unter Verwendung der MMN untersucht wurden.

Hierfür wurden insgesamt 272 rechtshändige Jungen mittels des CFT-1 und des SLRT untersucht. Nach einer Vorselektion erfolgte an 84 Jungen die Überprüfung auf deren phonologische Fähigkeiten (BAKO). Hiernach wurden für die abschließende EEG-Untersuchung, welche die unbewusste Lautverarbeitung untersuchte, die Jungen anhand ihrer Ergebnisse in die Kontroll- bzw. Versuchsgruppe eingeteilt. Um bei der EEG-Messung mit Bestimmung der MMN mittels Sprachlauten möglichst aussagekräftige Daten zu bekommen, wurde bei den Untersuchungsgruppen besonderer Wert auf die phonologische Bewusstheit gelegt, welche mit dem BAKO-Test überprüft wurde.

Im Nachfolgenden soll zunächst auf die einzelnen Testebenen eingegangen werden, bevor die Ergebnisse der durchgeführten Studie abschließend und zusammenfassend diskutiert werden.

4.1 CFT-1

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Gruppen mit und ohne LRS, gemäß den Einschlusskriterien, hinsichtlich ihres nonverbalen IQs nicht signifikant unterscheiden. Die Ergebnisse der Probanden liegen nach der Definition im Studienaufbau über einem IQ 85. Die Werte aller Probanden liegen im durchschnittlichen Bereich ($IQ > 100$).

4.2 SLRT

Der SLRT wurde unter der Vielzahl von Tests ausgewählt, da er einen Lese- mit einem Rechtschreibtest vereint. Es liegen detaillierte Normierungen für die einzelnen Klassenstufen vor. Zudem unterteilt er die Leseleistung mit seinen Subtests in verschiedene Schwierigkeitslevel und überprüft zudem noch Non-Wörter. Entsprechend den diagnostischen Kriterien erfolgte die Einteilung der Gruppen nach den Leistungen beim Lesen und Rechtschreiben, so dass sich beide Gruppen signifikant unterscheiden.

Während ein Zusammenhang zwischen Lesezeit und gemachten Lesefehlern auf die benötigte Korrekturzeit der Kindern zurückgeführt werden könnte, so ist die Untersuchung auf einen Zusammenhang zwischen Lesezeit und der Rechtschreibleistung deutlich interessanter.

Die Korrelation zwischen Lese- und Rechtschreibleistung zeigt einen signifikanten Zusammenhang ($r = .644$; $p < .05$) für alle Probanden, die aufgrund ihres normwertigen IQs in die Studie eingeschlossen wurden. Dieser Zusammenhang zwischen der Lese- und der Rechtschreibleistung ist insbesondere typisch für Kinder mit LRS. Im Erwachsenenalter hingegen zeigen Betroffene bei konstant schlechter Rechtschreibleistung (KLICPERA et al. 1993; ESSER und SCHMIDT 1993) eine relative Verbesserung der Leseleistung bis auf ein mittleres Niveau, so dass mit zunehmendem Alter die Auffälligkeiten in Bezug auf die Lesefähigkeit in den Hintergrund treten, die verminderte Rechtschreibleistung jedoch weiterhin besteht.

4.2.1 Leseteil des SLRT

Aufgrund der Gruppeneinteilung zeigen sich signifikante Unterschiede sowohl für die Lesezeiten, als auch für die gemachten Lesefehler. WIMMER (1996) beschreibt, dass sich im Gegensatz zum englischen Sprachraum die Leseleistung bei der Verwendung von Non- bzw. Pseudowörtern bei LRS-Betroffenen vor allem in der Lesezeit, weniger in den beim Lesen gemachten Fehlern widerspiegelt.

PAULESU et al. (2000) konnten zeigen, dass italienische Studenten schneller Wörter und Non-Wörter lesen konnten als englische Studenten, so dass die Graphem-Phonem-Zuordnung entscheidenden Einfluss auf die unterschiedlichen Lesestrategien hat und somit Daten aus dem englischen Sprachraum nicht ein-zu-eins auf den deutschen Sprachraum übertragen werden können, da die deutsche Sprache im Vergleich zum Englischen eine deutlich höhere Graphem-Phonem-Kongruenz besitzt.

Diese Studie bestätigt nicht die von WIMMER (1996) aufgestellte These, da sich unsere beiden Gruppen sowohl in der Lesezeit, als auch in der Fehleranzahl im Leseteils des SLRT unterscheiden und dies unabhängig davon, ob es sich dabei um Non- bzw. Pseudowörter oder echtes Wortmaterial handelte. Die Zeiten wie auch die Fehler zeigen einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen den „normalen“ Wörtern und den Pseudowörtern, so dass aufgrund dieser Daten kein Unterschied gezeigt werden kann.

4.2.2 Rechtschreibteil des SLRT

Die Auswertung des Rechtschreibteils des SLRT erfolgt anhand der Untergliederung der Testautoren in orthographische bzw. nichtlauttreue Fehler und solche in der Groß-/Kleinschreibung. Die signifikanten Unterschiede zeigen sich vor allem in den orthographischen Fehlern, jedoch weisen die Probanden der Versuchsgruppe auch signifikant schlechtere Ergebnisse in der Groß-/Kleinschreibung auf, was nicht allein auf ein phonologisches Defizit als Ursache der LRS hindeutet, sondern zudem Regelschwierigkeiten bestehen müssen. Diese Regelschwierigkeiten legen einige Autoren als Grundlage für ein mögliches Therapieprogramm zugrunde. (MÜLLER 1969; REITH und WEBER 1973; SCHEERER-NEUMANN 1981; SCHULTE-KÖRNE et al. 1996, 1997, 1998a).

Die elektrophysiologischen Daten sowie die der psychometrischen Tests belegen jedoch eindeutig die Bedeutung der phonologischen Ebene.

4.3 Die Phonologische Bewusstheit überprüft mit dem BAKO

Der BAKO erfasst das Ausmaß der phonologischen Bewusstheit der Testpersonen. Die Daten zeigen aufgrund der Gruppeneinteilung signifikante Unterschiede in allen Subtests des BAKO zwischen der Defizit- und der Kontrollgruppe. Aufgrund der Studienlage gilt die Annahme eines phonologischen Defizits als Ursache für die LRS als weitgehend akzeptiert (FRITH et al. 1995; SNOWLING 1981 und 1991; TEMPLE 2002; SHAYWITZ et al. 2001). Lediglich einige ältere Studien finden kein phonologisches Verarbeitungsdefizit bei LRS-Untersuchungen (SZESZULSKI und MANIS 1987; VELLUTINO und SCANLON 1987). Besonders bei Aufgaben, die auf phonologische Verarbeitungsprozesse abzielen wie Reimen, Silbenzählen, Nonwörterlesen scheinen Probanden mit LRS Probleme zu haben (TEMPLE 2002). In Studien konnte gezeigt werden, dass Kinder mit schlechten phonologischen Leistungen im Kindergarten eine schlechtere Leseleistung im Grundschulalter erreichen, als Kinder, die bereits im Vorschulalter über gute phonologische Fähigkeiten verfügten (MARX et al. 1993; SCHNEIDER und NÄSLUND 1993; WIMMER et al. 1994; SCHNEIDER et al. 1999).

SCHULTE-KÖRNE (1999b) konnte zeigen, dass die phonologische Bewusstheit bei Schülern und Erwachsenen die Lese- und Rechtschreibleistung beeinflusst.

Diese These kann aufgrund der erhobenen Daten gestützt werden, da sich signifikante Korrelationen zwischen den SLRT- und den BAKO-Ergebnissen zeigen, vergleicht man alle 84 durchgeführten BAKO-Tests mit den jeweiligen SLRT-Ergebnissen.

Bei der Betrachtung der Defizit- und Kontrollgruppe der abschließenden EEG-Untersuchung ergeben sich in allen Subtests des BAKO schlechtere Leistungen der defizitären Probanden im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Das Verhältnis zwischen Leseleistung und phonologischen Fähigkeiten scheint zudem sehr stabil zu sein, so wurde in Untersuchungen auch bei Erwachsenen mit einer LRS weiterhin eine gering ausgeprägte phonologische Bewusstheit festgestellt (MARCEL 1980; BYRNE und LEDEZ 1983; LIBERMAN et al. 1985).

Es wird davon ausgegangen, dass eine Graphem-Phonem-Korrespondenz zum Leseerwerb vorhanden sein muss, so dass, wenn Phoneme nur ungenügend gespeichert oder defizitär verarbeitet werden, als Konsequenz auch nur eine geringe Lese-Rechtschreibleistung erzielt werden kann (RAMUS 2001; RAMUS 2003).

GEORGIEWA et al. (2001) konnten in einer Studie, in der sie Kinder mit einer Lese-Rechtschreibschwäche und unauffällige Kontrollprobanden untersuchten, beim Leiselesen von echten Wörtern und Non-Wörtern, unter Verwendung von evozierten Potentialen und fMRT, signifikante Unterschiede bei der phonologischen Verarbeitung zwischen den beiden Gruppen zeigen. Diese resultierten aus einer Hyperaktivierung des linken unteren frontalen Gyrus der LRS-Probanden.

In einer Metaanalyse über 34 Trainingstudien zur phonologischen Verarbeitung konnten BUS und IJZENDOORN (1999) eindrucksvoll zeigen, dass ein Training der phonologischen Bewusstheit sowohl zu einer signifikanten Verbesserung bei der Bewältigung von phonologischen Aufgaben, als auch bei der Leseleistung führt. Der präventive Einsatz eines phonologischen Trainings ist unbestritten, wohingegen SCHULTE-KÖRNE et al. (2001b) die Wirksamkeit eines solchen Trainings im Grundschulalter bezweifeln, ebenso konnten WIMMER und HARTL (1991) mit einem phonologisch orientiertem Förderprogramm an Kindern der zweiten Klassenstufe keinen Therapieeffekt finden.

4.4 Elektrophysiologische Daten

4.4.1 MMN bei Sinustönen und Sprachreizen

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen lediglich für das verwendete Sprachstimulusmaterial signifikante Unterschiede zwischen der Defizit- und der Kontrollgruppe, jedoch nicht für das Sinustonmaterial. Man kann also davon ausgehen, dass es sich um ein sprachspezifisches Defizit der auditiven Verarbeitung handelt.

Die MMN ist eine auditorische, ereigniskorrelierte Komponente, welche ihr Maximum im Bereich von 100 - 150 ms nach Stimulusonset erreicht (BERTOLI et al. 2001; KUJALA et al. 2001), jedoch ist diese auch abhängig vom Alter der Probanden, so dass einige Untersuchungen zeigen konnten, dass die MMN bei Kindern durchaus deutlich später als beim Erwachsenen auftreten kann. Studien wiesen ein Maximum der MMN bei Kindern im Bereich von 300 - 450 ms auf (KRAUS et al. 1996; SCHULTE-KÖRNE et al. 1998b).

Dies kann durch die erhobenen Daten bestätigt werden, da das Maximum der MMN im zweiten ausgewerteten Zeitintervall (300-450 ms) gefunden wurde.

Die aus MMN-Studien vorliegenden Ergebnisse sind sehr inhomogen (BISHOP 2007). Es kristallisieren sich zwei Theorien heraus, die eine legt einer LRS ein generelles auditives Verarbeitungsdefizit zu Grunde, die andere beschreibt ein sprachspezifisches Defizit. Was schlussendlich ursächlich für die Entstehung einer LRS ist, kann zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht endgültig geklärt werden.

Einige Studien konnten jedoch einen Unterschied zwischen LRS-Probanden und der Kontrollgruppe nicht nur für Sprachstimuli, sondern auch für Tonstimuli zeigen. So zeigte DE WEIRDT (1988), dass Kinder mit einer reduzierten Leseleistung signifikant schlechtere Ergebnisse zeigten bei der Unterscheidung, ob zwei 130 ms lange Sinustöne gleich oder verschieden waren. Ein ähnliches Ergebnis zeigten ANDERSEN et al. (1987).

In einer Studie konnten BALDEWEG et al. (1999) zeigen, dass auch Erwachsene mit Leseschwäche kleine Tonunterschiede nicht differenzieren konnten. In dieser Untersuchung zeigten die beiden Gruppen keinen signifikanten Unterschied bei der elektrophysiologischen Antwort auf die Tonstimuli.

Bei den in der durchgeführten Studie verwendeten Tonstimuli handelte es sich um Sinustöne mit 500 Hz als Standardstimulus, während der deviante Stimulus eine Frequenz von 750 Hz hatte. Möglicherweise ist der große Frequenzunterschied zwischen den beiden Tönen der Grund für den fehlenden Gruppenunterschied in der vorliegenden Studie. Der Unterschied beträgt immerhin 250 Hz, so dass eine etwaige kritische Schwelle der Frequenzunterscheidung bei reinen Sinustönen bei der LRS-Gruppe eventuell nicht erreicht wurde.

MENGLER et al. (2005) konnten in einer neueren Untersuchung bei LRS-Probanden eine erhöhte Schwelle zur Tondiskriminierung nachweisen. Sie benutzten hierzu einen 1000 Hz Sinuston und verglichen bei welcher Abweichung von diesem Standard die Kontroll- im Vergleich zur LRS-Gruppe einen Unterschied feststellen konnte. Sie konnten eine mit 58 Hz deutlich erhöhte Schwelle für die LRS-Probanden im Vergleich zur Kontrollgruppe mit 25 Hz aufzeigen.

Hingegen zeigten SCHULTE-KÖRNE et al. (1998b, 2001a), dass es sich sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen als Probanden um ein sprachspezifisches Defizit handelt, denn auch sie konnten für reine Sinustöne keinen signifikanten Unterschied zwischen den LRS-Probanden und der Kontrollgruppe bei der Verwendung von Stimuli mit 2200 Hz als Standard- und 2640 Hz als devianten Stimulus zeigen.

Auch wenn der absolute Frequenzunterschied mit 440 Hz noch größer als bei dem verwendeten Sinustonmaterial (500 vs. 750 Hz) in dieser Untersuchung ist, so ist die Auswirkung auf die Tonhöhe geringer. Eine Verdopplung der Frequenz führt zu einer Verdopplung der Tonhöhe. So ist also für das menschliche Gehör der subjektive Eindruck einer Frequenzänderung um 440 Hz bei einer Ausgangsfrequenz von 2200 Hz geringer, als eine Differenz von 250 Hz bei einer ursprünglichen Frequenz von 500 Hz.

Es kann sicherlich keine absolute Differenzschwelle angegeben werden, die ein mögliches Defizit aufzeigen kann, vielmehr muss, wenn überhaupt, von einer relativen Tonhöhenänderung ausgegangen werden.

In einer weiteren Untersuchung zum auditiven Verarbeitungsdefizit untersuchten SCHULTE-KÖRNE et al. (1999a) erwachsene Probanden mit Dyslexie und präsentierten ihnen, sich schnell ändernde Tonfolgemuster in fester Reihenfolge, die aus vier Tönen mit unterschiedlichen Frequenzen und unterschiedlicher Dauer bestanden. In der abweichenden Bedingung wurde die Tonlänge bei gleichbleibender Tonhöhe geändert. Hier zeigten auch bei diesen nicht-sprachlichen Reizen die Probanden mit Dyslexie im Vergleich zur Kontrollgruppe eine reduzierte MMN.

Für Änderungen der Zeitdauer eines Stimulus in der abweichenden Bedingung fanden BALDEWEG et al. (1999) in ihrer Untersuchung kein Korrelat. Die Kontroll- und LRS-Gruppe wiesen keine signifikanten Unterschiede auf. Hingegen konnten sie bei Tönen mit einer Länge von 50 ms eine verminderte MMN für die Probanden mit einer LRS nachweisen, wenn sich die Tonhöhe in der abweichenden Bedingung unterschied. Der Unterschied zur Kontrollgruppe wurde umso größer, je geringer der Frequenzunterschied zwischen Standard- und abweichendem Ton war. Der Effekt zeigte sich also lediglich bei Aufgaben der

Frequenzdiskriminierung, jedoch nicht bei Aufgaben, welche das zeitliche Auflösungsvermögen der Probanden überprüfte.

In einer Trainingsstudie mit einem nicht-sprachlichen Training konnten KUJALA et al. (2001) bei Verwendung von Sinustonstimuli einen Trainingseffekt für die MMN zeigen. In der Studie wurden Kinder mit schweren Leseproblemen für sieben Wochen einem nicht-sprachlichem Training unterzogen. Vor und nach der Trainingsphase wurden eine EEG-Messung zur Bestimmung der MMN und verschiedene Verhaltenstests durchgeführt. Die Probanden konnten während des Trainings den Schwierigkeitsgrad der Übungsaufgaben selbständig steuern. Zur Messung der MMN wurde ein Tonpaar mit 500 Hz und 750 Hz als Standardreiz und als abweichender Reiz eine Tonfolge in geänderter Reihenfolge präsentiert. Nach dem Training war die MMN nur für die Trainingsgruppe erhöht. Zudem verbesserte sich die Trainingsgruppe auch im Lesen. Die elektrophysiologischen Ergebnisse und psychometrischen Testverfahren korrelierten signifikant, so dass auf ein generelles auditorisches Verarbeitungsdefizit geschlossen wurde. Jedoch konnten die Ergebnisse dieser Studie mit einer Verbesserung der Leseleistung durch ein derart kurzes Training nicht für den deutschen Sprachraum nachvollzogen werden (BITZ et al. 2005).

In einer Übersichtsarbeit beschreibt BISHOP (2007) 26 Studien, in denen Probanden mit einer Lese-Rechtschreibschwäche oder sprachspezifischen Defiziten, die mit EEG unter Verwendung der MMN untersucht wurden. Auch wenn die MMN als relativ objektive Komponente der akustisch evozierten Potentiale auch für Untersuchungen mit Probanden mit einer verminderten Aufmerksamkeit oder Motivation geeignet ist, so ist die Datenlage sehr inhomogen. Häufig wird bei Präsentation von schnell aufeinanderfolgenden auch nicht-sprachlichen Stimuli, eine reduzierte MMN für die Betroffenen beschrieben.

In der aktuell durchgeführten Studie konnte mit der MMN lediglich ein signifikanter Unterschied für das verwendete sprachliche Stimulusmaterial nachgewiesen werden.

Dass es sich um ein sprachspezifisches Defizit handelt, bestätigen die Ergebnisse von SERNICLAES et al. (2001), die gezeigt haben, indem sie den Kindern zum einen Sinustöne, zum anderen Sprachstimuli präsentierten. Die Kinder mit LRS schnitten bei den sprachlichen Stimuli schlechter ab, erzielten hingegen bei den Tonstimuli bessere Ergebnisse als die Kinder der Kontrollgruppe.

Abschließend kann zum aktuellen Zeitpunkt aufgrund der Studienlage nicht differenziert werden, ob es sich tatsächlich um ein sprachspezifisches Defizit oder ein generelles auditives Verarbeitungsdefizit handelt, da aufgrund von Untersuchungsbedingungen, unterschiedlichen Probandenkollektiven und verwendeten Stimuli, die dokumentierten Ergebnisse sehr inhomogen sind. Interessant diesbezüglich sind sicherlich Untersuchungen, die verschiedene Verfahren wie EEG und MRT kombinieren oder MEG-Studien, um zum einen die hohe zeitliche Auflösung des einen Verfahrens mit der Bildgebung des anderen zu kombinieren und komplexere Fragestellungen sicherlich mittels MRT klarer darzulegen sind.

4.4.2 Vergleich der elektrophysiologischen Daten mit den psychometrischen Daten aus den einzelnen Testverfahren

Nach meinem Wissensstand hat keine der bisher durchgeführten Untersuchungen, in denen Kinder aufgrund einer vorliegenden LRS auf ein elektrophysiologisches Korrelat unter Verwendung von Sprachstimuli hin untersucht wurden, einen Zusammenhang zwischen den vorab erhobenen Daten bezüglich der Lese-Rechtschreibleistung, den phonologischen Fähigkeiten und den EEG-Daten dargelegt. Das beruht sicherlich auf der Tatsache, dass auf schon vordiagnostizierte Kinder zurückgegriffen wurde und somit keine einheitlichen Daten der Lese-/Rechtschreibleistung bzw. Ergebnissen der phonologischen Bewusstheit vorlagen.

Aufgrund des durchgeführten Screenings war es nun retrospektiv möglich, diese Daten miteinander zu vergleichen. Anhand der verwendeten Testverfahren wurde versucht, eine Gruppe mit möglichst isoliertem auditivem Defizit in Kombination mit einer verminderten phonologischen Bewusstheit herauszufinden und mit einer unauffälligen Kontrollgruppe zu vergleichen.

Bei der anschließenden Betrachtung der erhobenen Daten ergeben sich signifikante Korrelationen für den SLRT im ersten Zeitintervall in Bezug auf die Gesamtlesezeit, die Gesamtlesefehler und die Rechtschreibfehler, untergliedert in orthographische und nicht-lauttreue Fehler. Erwartungsgemäß ergibt sich keine signifikante Korrelation für die Fehler der Groß-/Kleinschreibung, da hier Regelfehler und weniger Fehler, welche auf ein auditives Defizit zurückzuführen sind, ausschlaggebend sind. Im Zeitintervall 300-450 ms nach Stimulusonset ergeben sich ähnliche Ergebnisse.

Interessanterweise, werden aber im Rahmen der Therapie einer LRS neben dem Training basaler kognitiver Funktionen, dem Re-Programmieren neurologischer Defizite (z.B. Hörtraining) auch Regeltrainings angewendet (DUMONT, 1990), so dass davon ausgegangen werden muss, dass diese nicht das zu Grunde liegende Defizit im Fokus haben, sondern lediglich symptomatisch die LRS versuchen zu kompensieren.

Die Korrelationen zeigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen einem auditiven Defizit bei der zentralen präattentiven Verarbeitung einfacher akustischer Sprachstimuli und der daraus resultierenden Lese-/Rechtschreibleistung.

Bei der Betrachtung der EEG-Ergebnisse im Vergleich zu den phonologischen Aufgaben des BAKO, zeigen sich neben dem signifikanten Ergebnis in Bezug auf die erreichte Gesamtpunktzahl, signifikante Zusammenhänge bei den Aufgaben wie der Vokalersetzung, der Vokallängenbestimmung und der Restwortbestimmung, jedoch nicht für die Pseudowortsegmentierung, Phonemvertauschungsaufgaben sowie die Lautkategorisierung.

Bei den Aufgaben, die einen signifikanten Zusammenhang aufweisen, handelt es sich um Aufgaben auf ganz basaler Ebene der phonologischen Verarbeitung. Es sind die Aufgaben des BAKO, welche lediglich eine ganz einfache Aufgabenstellung wie die Vokalersetzung beinhalten, in der jedes in einem Wort vorkommende „a“ in ein „i“ umgewandelt und das sich daraus ergebende Wort wiedergegeben werden muss, Aufgaben der Restwortbestimmung in denen das Wort jeweils ohne sein Anfangsphonem gebildet werden muss, ein Wort, welches aufgrund seiner Vokallänge aus einer Reihe von vier Worten heraus sticht, gefunden werden muss und die Wortumkehr.

Es sind also Aufgaben die primär auf ein kategoriales Wahrnehmungsdefizit zurückzuführen sind. Einige Autoren sind der Meinung, dass einer LRS ein Defizit bei der Sprachwahrnehmung zugrunde liegt und die zuverlässige Unterscheidung von Phonemen vermindert ist (JOANISSE et al. 2000; MODY et al. 1997).

Dies würde die gewonnen EEG-Daten stützen, da die defizitäre Gruppe lediglich bei den sprachlichen Stimuli eine signifikant geringere MMN aufweist als die unauffälligen Kontrollprobanden.

Die Ergebnisse könnten derart interpretiert werden, dass die Leistungen in den oben genannten Subtests des BAKO mit der MMN korrelieren, da diese direkt auf einer gestörten Phonem-Wahrnehmung beruhen.

Die Ansprüche an die phonologische Rekodierungsfähigkeit sind geringer als bei den Aufgaben, die neben der phonologischen Ebene auch hohe Anforderungen an das deklarative Gedächtnis stellen.

Hierzu zählen Subtests des BAKO wie die Pseudowortsegmentierung, bei der das vorgegebene Non-Wort in seine einzelnen Phoneme zerlegt werden muss. Die eine Komponente fordert auf sprachlicher Ebene die Fähigkeit zur Untergliederung der einzelnen Worte, die andere stellt Anforderungen an die Gedächtnisleistung, sich ein Non-Wort während der Aufgabenstellung merken zu können.

Ebenso bei den Phonemvertauschungsaufgaben müssen Wörter analysiert und nach Vertauschung des Anfangsphonemes wiedergegeben werden. Bei Aufgaben der Lautkategorisierung, in denen ein Wort aufgrund seines Aufbaues in einer Reihe von vier Wörtern eine Sonderrolle spielt, wird aufgrund der Wortanzahl neben der phonologischen Fähigkeit des Probanden vor allem das Arbeitsgedächtnis beansprucht.

Diese Aufgabe lassen sich also nicht lediglich direkt auf ein basales Wahrnehmungsdefizit zurückführen, sondern es handelt sich um deutlich komplexere Aufgabenstellungen. Es sind Aufgaben, die zwar die phonologische Verarbeitungsfähigkeit des Probanden prüfen, jedoch auf höherer Stufe, welche sicherlich abhängig ist von der basalen auditiven Wahrnehmung, jedoch ebenso von vielen anderen Einflussfaktoren wie der phonologischen De- und Rekodierungsfähigkeit und somit nicht mit den gewonnenen elektro-physiologischen Daten korrelieren.

5. Zusammenfassung

Die durchgeführte Studie untersuchte an einem großen Kollektiv von 272 rechtshändigen Jungen, das Vorkommen von Defiziten im Bereich des Lesens und der Rechtschreibung. An einer Subgruppe von Probanden mit signifikant schlechteren Leistungen beim Lösen von phonologischen Aufgaben wurden zudem Unterschiede zu den Kontrollprobanden bei der präattentiven auditiven Stimulus-Verarbeitung, welche mittels Elektroenzephalographie und Bestimmung der mismatch negativity für sprachliche und nicht-sprachliche Stimuli untersucht. Es konnte kein Nachweis für das Vorliegen einer etwaigen generellen Störung der auditiven Verarbeitung erbracht werden, so dass die erhobenen Daten auf ein sprachspezifisches Defizit hindeuten.

Zum einen konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen der phonologischen Leistung und dem Lese-Rechtschreibniveau aufgezeigt werden, zum anderen zeigte der Vergleich der psychometrischen Testergebnisse mit den elektrophysiologischen Daten einen signifikanten Zusammenhang der basalen, präattentiven auditiven Verarbeitung von Sprachlauten, der Lese-Rechtschreibleistung und den phonologischen Leistungen in einzelnen Subtests des BAKO (Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen). Es kann also davon ausgegangen werden, dass bei einem Großteil der leserechtschreibschwachen Kinder ein sprachspezifisches Wahrnehmungsdefizit zugrunde liegt.

Diesen Punkt gilt es weiterhin zu klären und ist Grundlage der aktuellen Forschung, so dass weitere Studien, in denen verschiedene Untersuchungsmethoden kombiniert werden, sicherlich Aufschluss darüber liefern werden.

Für die Praxis gilt, es sollte bereits frühzeitig interveniert werden. Es ist gesichert, dass bei Kindern, die im Vorschulalter mindere Leistungen bei phonologischen Aufgaben erzielen, die Leseleistung im Grundschulalter durch ein spezifisch phonologisches Training verbessert werden kann. Durch ein solches Training kann die phonologische Bewusstheit gestärkt und somit die für das Rechtschreiben wichtige phonologische De- und Rekodierungsfähigkeit trainiert werden. Der Einfluss derartiger Frühinterventionen auch auf die elektrophysiologischen Korrelate der Lese-Rechtschreibstörung ist Gegenstand der aktuellen Forschung.

6. Literaturverzeichnis

1. Andersen A, Johansen PA, Lavendt I, Gronborg A: Frequency discrimination and dyslexia: A pilot study. *Skolespsykologi* 24: 161–170 (1987)
2. Baldeweg T, Richardson A, Watkins S, Foale C, Gruzelier J: Impaired auditory frequency discrimination in dyslexia detected with mismatch evoked potentials. *Annal Neurol* 45: 495–503 (1999)
3. Berger H: Über das Elektroenkephalogram des Menschen. *Arch Psychiat Nervenkr* 87: 527-570 (1929)
4. Berlitz P: Evozierte Potentiale. In: Berlitz P (Hrsg.) *Basiswissen Neurologie*, 5. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg New York, S. 19-21 (2007)
5. Bertoli S, Heimberg S, Smurzynski J, Probst R: Mismatch negativity and psychoacoustic measures of gap detection in normally hearing subjects. *Psychophysiology* 38: 334–342 (2001)
6. Bishop DV: Using mismatch negativity to study central auditory processing in developmental language and literacy impairments: where are we, and where should we be going? *Psychol Bull* 133: 652-672 (2007)
7. Bitz U, Gust K, Vogt K, Steinbrink C, Hille K: Auswirkungen des AUDILEX-Trainingsprogramms auf die Lese-/Rechtschreibleistung von Grundschulern der 2. Klasse. *Nervenheilkunde* 24: 184-190 (2005)
8. Bruck M: Persistence of dyslexics' phonological awareness deficits. *Dev Psychol* 28: 847-886 (1992)
9. Brunswick N, Mc Crory E, Price CJ, Frith CD, Frith U: Explicit and implicit processing of words and pseudowords by adult developmental dyslexic – A search for Wernicke's Wortschatz? *Brain* 122: 1901-1917 (1999)

10. Bradley L, Bryant PE: Phonological Skills Before and After Learning to Read. In: Brady SA, Shankweiler D (Hrsg.) Phonological Processes in Literacy: A Tribute to Isabel Y. Liberman, 1. Auflage, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, S. 37-45 (1991)
11. Bus AG, Ijzendoorn MH: Phonological awareness and early reading: A meta-analysis of experimental training studies. *J Educ Psychol* 91: 403-414 (1999)
12. Byrne B, Ledez J: Phonological awareness in reading disabled adults. *Aust J Psych* 35: 185-197 (1983)
13. Cardon LR, Smith SD, Fulker DW, Kimberling WJ, Pennington B: Quantitative Trait Locus for Reading Disability on Chromosome 6. *Science* 266: 276-279 (1994)
14. Cardon LR, Smith SD, Fulker DW, Kimberling WJ, Pennington B: Quantitative Trait Locus for Reading Disability: correction. *Science* 268: 1533 (1995)
15. Cattell RB: Abilities: Their structure, growth, and action. Houghton Mifflin, Boston, MA, S. 74-98 (1971)
16. Coulson S, King JW, Kutas M: Expect the Unexpected: Event-related Brain Response to Morphosyntactic Violations. *Lang Cogn Process* 13: 21-58 (1998)
17. De Weirtdt W: Speech perception and frequency discrimination in good and poor readers. *Appl Psycholinguist* 9: 163–183 (1988)
18. Dumont JJ, Oud J, van Mameren-Schoehuizen G, Jakobs M, van Herpen M, van Bekerom F: Effectiveness of dyslexia treatment. In: Pavlidis GT (Hrsg.) Perspectives on dyslexia, Volume 2, 1. Auflage, Wiley, Chichester, S. 293-325 (1990)
19. Elbert T: Neuromagnetism. In: Andrä W, Nowak H (Hrsg.) Magnetism in Medicine, 1. Auflage, Wiley, New York, NY, S. 190-262 (1998)

20. Esser G, Schmidt M: Die langfristige Entwicklung von Kindern mit Lese-Rechtschreibschwäche. *Z Klin Psychol Psychother* 22: 100-116 (1993)
21. EST! Medizintechnik AG: BERA-Messmodule evostar und evoselect. <http://www.est-med.com/ERA/Bilder/mmn.gif> (2004)
22. Galaburda AM, Sherman GF, Rosen GD, Aboitiz F, Geschwind N: Developmental Dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Ann Neurol* 18: 222-233 (1985)
23. Galaburda AM, Menard MT, Rosen GD: Evidence for aberrant auditory anatomy in developmental dyslexia. *Proc Natl Acad Sci USA* 91: 8010-8013 (1994)
24. Georgiewa P, Rzanny R, Gaser C, Herhard U-J, Vieweg U, Freesmeyer D, Mentzel H-J, Kaiser WA, Blanz B: Phonological processing in dyslexic children: a study combining imaging and event related potentials. *Neurosci Lett* 318: 5-8 (2002)
25. Giard MH, Perrin F, Pernier J: Scalp topographies dissociate attentional ERP components during auditory information processing. *Acta Otolaryngol Suppl* 491: 168-174 (1991)
26. Gibson CJ, Gruen JR: The human lexinome: genes of language and reading. *J Commun Disord* 41: 409-420 (2008)
27. Goldstein DM: Learning to read and developmental changes in covert speech and in word analysis and synthesis skill. Psychologische Dissertation, University of Connecticut, Storrs, CT (1974)
28. Grimm S, Schröger E: The processing of frequency deviations within sounds: evidence for the predictive nature of the mismatch negativity (MMN) system. *Restor Neurol Neurosci* 25: 241-249 (2007)

29. Guski R: Körperliche Ausstattung für das Hören, Abb.: 4-16. In: Guski R (Hrsg.) Wahrnehmen - ein Lehrbuch (Internetversion). http://eco.psy.ruhr-uni-bochum.de/download/GuskiLehrbuch/Kap_4_2.html (2006)
30. Habib M: The neurological basis of developmental dyslexia: An overview and working hypothesis. *Brain* 123: 2373-2399 (2000)
31. Jasper HH: The ten-twenty electrode placement system of the International Federation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 10: 418-424 (1958)
32. Joanisse MF, Manis FR, Keating P, Seidenberg MS: Language deficits in dyslexic children: speech perception, phonology and morphology. *J Exp Child Psychol* 70: 30-60 (2000)
33. Klicpera C, Schabmann A, Gasteiger-Klicpera B: Lesen- und Schreibenlernen während der Pflichtschulzeit: Eine Längsschnittuntersuchung über die Häufigkeit und Stabilität von Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten in einem Wiener Schulbezirk. *Z Kinder Jugendpsychiatr* 21: 214-255 (1993)
34. Kolb B, Wishaw IQ: Imaging the Brain's Activity: Event-Related Potentials. In: Kolb B, Wishaw IQ (Hrsg.) *Fundamentals of Human Neuropsychology*, 5. Auflage, Bedford, Freeman & Worth, New York, S. 155-157 (2003)
35. Kraus N, McGee TJ, Carell TD, Zecker SG, Nicol TG, Koch DB: Auditory neurophysiologic responses and discrimination deficits in children with learning problems. *Science* 273: 971-973 (1996)
36. Kujala T, Karma K, Ceponiene R, Belitz S, Turkkila P, Tervaniemi M, Näätänen R: Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *Proc Natl Acad Sci USA* 98: 10509-10514 (2001)
37. Lewis BA: Pedigree analysis of children with phonology disorders. *J Learn Disabil* 25: 586-597 (1992)

38. Liberman IY, Rubin H, Duques SL, Carlisle J: Linguistic abilities and spelling proficiency in kindergarteners and adult poor spellers. In: Gray D, Kavanaugh JF (Hrsg.) *Biobehavioral measures of dyslexia*, 1. Auflage, New York Press, Parkton, MD, S. 163-176 (1985)
39. Lütkenhöner B, Steinsträter O: High-precision study of the functional organization of the human auditory cortex. *Audiol Neurotol* 3: 191-213 (1998)
40. Marcel A: Phonological awareness and phonological representation: Investigation of a specific spelling problem. In: Frith U (Hrsg.) *Cognitive processes in spelling*, 1. Auflage, Academic Press, London, S. 373-403 (1980)
41. Marx H, Jansen H, Mannhaupt G, Skowronek H: Predictions of difficulties in reading and spelling on the basis of the Bielefeld screening. In: Grimm H, Skowronek H (Hrsg.) *Language acquisition problems and reading disorders: Aspects of diagnosis and intervention*, 1. Auflage, de Gruyter, Berlin, S. 219-241 (1993)
42. Mengler ED, Hogben JH, Michie P, Bishop DVM: Poor Frequency discrimination is Related to Oral Language Disorder in Children: A Psychoacoustic Study. *Dyslexia* 11: 155–173 (2005)
43. Mody M, Studdert-Kennedy M, Brady S: Speech perception deficits in poor readers: Auditory processing or phonological coding? *J Exp Child Psychol* 64: 199-231 (1997)
44. Motsch S, Mühlendyck H: Differenzierungen zwischen Legasthenie und okulär bedingten Lesestörungen. *Ophtalmologie* 98: 660-664 (2001)
45. Mrowinski D, Scholz G: Stimmgabel- und Hörweitenprüfung. In: Mrowinski D, Scholz G (Hrsg.) *Audiometrie. Eine Anleitung für die praktische Hörprüfung*, 3., aktualisierte und erweiterte Auflage, Thieme, Stuttgart New York, S. 17 (2005)

46. Müller R: Erfolgskontrolle eines gezielten Rechtschreibtrainings in homogenen Förderungsgruppen. In: Siersleben W (Hrsg.) Lernen heute, 1. Auflage, Beltz, Weinheim, S. 125-134 (1969)
47. Näätänen R: The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. Behav Brain Sci 13: 201-288 (1990)
48. Näätänen R: The Mismatch Negativity (MMN). In: Näätänen R (Hrsg.) Attention and Brain function, 1. Auflage, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, S. 136-199 (1992)
49. Näätänen R, Alho K: Mismatch negativity – a unique measure of sensory processing in audition. Int J Neurosci 80: 317-337 (1995)
50. Nagarajan S, Tallal P, Merzenich M: Cortical auditory signal processing in poor readers. Proc Natl Acad Sci USA 96: 6483-6488 (1999)
51. Ramus F: Outstanding questions about phonological processing in dyslexia. Dyslexia 7: 197-216 (2001)
52. Ramus F: Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensimotor dysfunction. Curr Opin Neurobiol 13: 212-218 (2003)
53. Reith D, Weber R: Ist die Rechtschreibschwäche überwindbar? Westermanns Pädagogische Beiträge 25: 493-498 (1973)
54. Rugg MD, Coles MGH: Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition. Oxford University Press, Oxford New York, S. 1-26 (1995)
55. Sams M, Kaukoranta E, Hamalainen M, Näätänen R: Cortical activity elicited by changes in auditory stimuli: different sources for the magnetic N100m and mismatch responses. Psychophysiology 28: 21-29 (1991)

-
56. Scheerer-Neumann G: The utilization of intraword structure in poor readers: Experimental evidence and a training program. *Psychol Res* 43: 155-178 (1981)
57. Schneider W, Näslund J: The impact of early metalinguistic competences and memory capacities on reading and spelling in elementary school: Results of the Munic Longitudinal Study on the Genesis of Individual Competencies (LOGIC). *Eur J Psychol Educ* 8: 273-288 (1993)
58. Schneider W: Rechtschreiben und Rechtschreibschwierigkeiten. In: Weinert FE (Hrsg.) *Enzyklopädie der Psychologie: Pädagogische Psychologie, Band 3: Psychologie des Unterrichts und der Schule*, 1. Auflage, Hogrefe, Göttingen, S. 327-363 (1997)
59. Schneider W, Ennemoser M, Roth E, Küspert P: Kindergarten prevention of dyslexia: does training in phonological awareness work for everybody? *J Learn Disabil* 32: 429-436 (1999)
60. Schneider W, Roth E, Ennemoser M: Training phonological skills and letter knowledge in children at risk for dyslexia: a comparison of three kindergarten intervention programs. *J Educ Psychol* 92: 284-295 (2000)
61. Schröger E, Wolff C: Attentional orienting and reorienting is indicated by human event-related brain potentials. *Neuroreport* 9: 3355-3358 (1998)
62. Schulte-Körne G, Deimel W, Müller K, Gutenbrunner C, Remschmidt H: Familial aggregation of spelling disability. *J Child Psychol Psychiatry* 37: 817-822 (1996)
63. Schulte-Körne G, Schäfer J, Deimel W, Remschmidt H: Das Marburger Eltern-Kind-Rechtschreibtraining. *Z Kinder Jugendpsychiatr* 25: 151-159 (1997)

64. Schulte-Körne G, Deimel W, Remschmidt H: Das Marburger Eltern-Kind-Rechtschreibtraining - Verlaufsuntersuchung nach 2 Jahren. *Z Kinder Jugendpsychiatr* 26: 167-173 (1998a)
65. Schulte-Körne G, Deimel W, Bartling J, Remschmidt H: Auditory processing and dyslexia: evidence for a specific speech processing deficit. *Neuroreport* 9: 337-340 (1998b)
66. Schulte-Körne G, Deimel W, Bartling J, Remschmidt H: Pre-attentive processing of auditory patterns in dyslexic human subjects. *Neurosci Lett* 276: 41-44 (1999a)
67. Schulte-Körne G, Deimel W, Bartling J, Remschmidt H: The role of phonological awareness, speech perception, and auditory temporal processing for dyslexia. *Eur Child Adolesc Psychiatry*. 8 Suppl 3: 28-34 (1999b)
68. Schulte-Körne G: Annotation: Genetics of Reading and Spelling Disorder. *J Child Psychol Psychiatry* 42: 985-997 (2001)
69. Schulte-Körne G, Deimel W, Bartling J, Remschmidt H: Speech perception deficit in dyslexic adults as measured by mismatch negativity. *Int J Psychophysiol* 40: 77-87 (2001a)
70. Schulte-Körne G, Deimel W, Hülsmann J, Seidler T, Remschmidt H: Das Marburger Rechtschreib-Training - Ergebnisse einer Kurzzeit-Intervention. *Z Kinder Jugendpsychiatr Psychother* 29: 7-15 (2001b)
71. Schünke M, Schulte E, Schumacher U: Funktionelle Systeme und klinische Bezüge: Die Hörbahn. In: Schünke M, Schulte E, Schumacher U (Hrsg.) *Prometheus. Kopf und Neuroanatomie*, 1. Auflage, Thieme, Stuttgart, S. 366 (2006)

-
72. Serniclaes W, Sprenger-Charolles L, Carré R, Demonet JF: Perceptual discrimination of speech sounds in developmental dyslexia. *J Speech Lang Hear Res* 44: 384-399 (2001)
73. Shaywitz SE, Shaywitz BA, Fletcher JM, Escobar MD: Prevalence of reading disability in boys and girls. Results of the Connecticut Longitudinal Study. *J Am Med Assoc* 264: 998-1002 (1990)
74. Shaywitz SE, Shaywitz BA, Pugh KR, Fulbright RK, Constable RT, Mencl WE, Shankweiler DP, Liberman AM, Skudlarski P, Fletcher JM, Katz L, Marchione KE, Lacadie C, Gatenby C, Gore JC: Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proc Natl Acad Sci USA* 95: 2636–2641 (1998)
75. Shaywitz BA, Shaywitz SE, Pugh KR, Fulbright RK, Mencl WE, Constable RT, Skudlarski P, Fletcher JM, Lyon GR, Gore JC: The neurobiology of dyslexia. *Clin Neurosci Res* 1: 291-299 (2001)
76. Snowling MJ: Phonemic Deficits in Developmental Dyslexia. *Psychol Res* 43: 219-234 (1981)
77. Snowling MJ: Developmental reading disorders. *J Child Psychol Psychiatry* 32: 49-77 (1991)
78. Stein JF, Talcott J: Impaired Neuronal Timing in Developmental Dyslexia - The Magnocellular Hypothesis. *Dyslexia* 5: 59–77 (1999)
79. Stein JF, Richardson AJ, Fowler MS: Monocular occlusion can improve binocular control and reading in dyslexics. *Brain* 123: 164-170 (2000)
80. Stein J: The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia* 7: 12-36 (2001)

81. Szeszulski PA, Manis FR: A comparison of word recognition processes in dyslexic and normal readers at two reading-age levels. *J Exp Child Psychol* 44: 465-474 (1987)
82. Tallal P: Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain Lang* 9: 182-198 (1980)
83. Tallal P, Miller S, Fitch RH: Neurobiological basis of speech: a case for the preeminence of temporal processing. *Ann NY Acad Sci* 682: 27-47 (1993)
84. Temple E, Tallal P, Merzenich M: Disruption of the neural response to rapid acoustic stimuli in dyslexia: Evidence from functional MRI. *Proc Natl Acad Sci USA* 97: 13907-13912 (2000)
85. Temple E: Brain mechanisms in normal and dyslexic readers. *Curr Opin Neurobiol* 12: 178-183 (2002)
86. Vellutino FR, Scanlon DM: Phonological coding, phonological awareness, and reading ability: Evidence from a longitudinal and experimental study. *Merrill Palmer Q* 33: 321-364 (1987)
87. Wagner R, Torgesen J: The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychol Bull* 101: 192-212 (1987)
88. Warnke A, Amorosa H, v. Aster M, Oehler K-U, Strehlow U, Niebergall G, Schulte-Körne G, Plume E: Umschriebene Entwicklungsstörungen schulischer Fertigkeiten. In: Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie u.a. (Hrsg.) Leitlinien zur Diagnostik und Therapie von psychischen Störungen im Säuglings-, Kindes- und Jugendalter, 3. überarbeitete Auflage, Deutscher Ärzte Verlag, Köln, S. 207-224 (2007)
89. Warnke A: Umschriebene Entwicklungsstörungen (Teilleistungsstörungen). In: Remschmidt H (Hrsg.) Kinder- und Jugendpsychiatrie. Eine praktische Einführung, 5. Auflage, Thieme, Stuttgart New York, S. 142-155 (2008)

-
90. Wimmer H, Hartl M: Erprobung einer phonologisch multisensorischen Förderung bei jungen Schülern mit Lese-Rechtschreibschwierigkeiten. *Heilpädagog Forsch* 17: 74-91 (1991)
 91. Wimmer H, Landerl K, Schneider W: The role of rhyme awareness in learning to read a regular orthography. *Brit J Dev Psychol* 12: 469-484 (1994)
 92. Wimmer H: The nonword reading deficit in developmental dyslexia: evidence from children learning to read German. *J Exp Child Psychol* 61: 80-90 (1996)
 93. Woods DL: Auditory selective attention in middle-aged and elderly subjects: an event related brain potential study. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 84: 456-468 (1992)

Anhang

Tab. 10: Mittelwerte für Kontroll- und Versuchsgruppe der einzelnen Fehlerarten des Rechtschreibteils des Salzburger Lese-Rechtschreibtests

Fehler [n]	Kontrollgruppe	Versuchsgruppe	p
OF M (SD)	2,31 (1,35)	17,82 (5,74)	<.001
NF M (SD)	0,13 (0,34)	1,64 (1,33)	<.001
GF M (SD)	0,63 (0,81)	3,41 (4,08)	.01

M: Mittelwert, SD: Standardabweichung, p: statistische Signifikanz
orthographische Fehler (OF), nicht-lauttreue Fehler (NF), Fehler der Groß-/Kleinschreibung (GF)

Tab. 11: Mittelwerte für Kontroll- und Versuchsgruppe der einzelnen Subtests und der Gesamtpunkte des Tests „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“

Kategorie [Pkt.]	Kontrollgruppe	Versuchsgruppe	p
Pseudowörter M (SD)	6,31 (1,45)	3,91 (1,11)	<.001
Vokalersetzung M (SD)	11,00 (0,82)	4,55 (2,56)	<.001
Restwörter M (SD)	6,75 (0,45)	4,18 (1,44)	<.001
Phonemvertauschung M (SD)	9,38 (1,15)	5,45 (1,82)	<.001
Lautkategorisierung M (SD)	7,13 (0,81)	4,23 (1,72)	<.001
Vokallänge M (SD)	7,81 (1,60)	3,00 (1,45)	<.001
Wortumkehr M (SD)	14,88 (1,54)	5,41 (2,70)	<.001
Gesamt M (SD)	63,25 (2,41)	31,00 (6,53)	<.001

M: Mittelwert, SD: Standardabweichung, p: statistische Signifikanz

Tab. 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der mittleren ereigniskorrelierten Potentiale im Intervall 100-250 ms nach Stimulusonset für das Stimuluspaar /500 Hz/ vs. /750 Hz/

Elektrodenposition	Stimulus	Kontrollgruppe	Versuchsgruppe
F3 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	-0,20 (0,97)	-0,52 (1,15)
	/750 Hz/	-0,79 (1,72)	-2,13 (1,83)
FC3 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	0,56 (1,11)	0,01 (1,48)
	/750 Hz/	0,19 (1,99)	-1,51 (1,98)
C3 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	0,17 (0,94)	-0,13 (1,69)
	/750 Hz/	-0,02 (2,10)	-0,79 (2,37)
F4 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	-0,15 (0,78)	-0,80 (1,16)
	/750 Hz/	-0,72 (1,92)	-1,98 (2,47)
FC4 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	0,70 (1,03)	-0,04 (1,90)
	/750 Hz/	-0,22 (1,79)	-0,89 (2,32)
C4 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	0,50 (1,22)	0,04 (2,00)
	/750 Hz/	0,19 (1,63)	-0,10 (1,67)

M: Mittelwert, SD: Standardabweichung

Tab. 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der mittleren ereigniskorrelierten Potentiale im Intervall 250-400 ms nach Stimulusonset für das Stimuluspaar /500 Hz/ vs. /750 Hz/

Elektrodenposition	Stimulus	Kontrollgruppe	Versuchsgruppe
F3 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	-1,77 (1,12)	-2,58 (2,06)
	/750 Hz/	-0,29 (2,53)	-1,74 (2,82)
FC3 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	-1,43 (1,51)	-2,30 (1,74)
	/750 Hz/	-0,21 (2,93)	-1,39 (2,60)
C3 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	-0,86 (1,71)	-1,75 (1,50)
	/750 Hz/	-0,30 (2,83)	-0,58 (2,50)
F4 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	-2,21 (1,28)	-3,12 (1,77)
	/750 Hz/	-1,03 (2,71)	-1,82 (2,12)
FC4 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	-1,34 (1,70)	-2,58 (1,78)
	/750 Hz/	-1,04 (2,75)	-1,32 (2,35)
C4 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	-0,11 (1,79)	-1,42 (1,49)
	/750 Hz/	-0,18 (2,73)	0,14 (2,29)

M: Mittelwert, SD: Standardabweichung

Tab. 14: Mittelwerte und Standardabweichungen der mittleren ereigniskorrelierten Potentiale im Intervall 400-550 ms nach Stimulusonset für das Stimuluspaar /500 Hz/ vs. /750 Hz/

Elektrodenposition	Stimulus	Kontrollgruppe	Versuchsgruppe
F3 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	0,02 (1,01)	-0,60 (1,21)
	/750 Hz/	-0,86 (2,40)	-1,56 (2,41)
FC3 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	0,06 (0,82)	-0,65 (1,21)
	/750 Hz/	-0,48 (2,56)	-1,62 (3,11)
C3 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	0,07 (0,72)	-0,67 (1,20)
	/750 Hz/	0,09 (2,39)	-0,79 (3,18)
F4 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	-0,26 (0,81)	-0,80 (0,82)
	/750 Hz/	-0,54 (2,62)	-1,56 (2,83)
FC4 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	0,10 (0,81)	-0,80 (0,87)
	/750 Hz/	-0,68 (2,33)	-1,50 (3,08)
C4 M (SD) [μ V]	/500 Hz/	0,43 (0,85)	-0,64 (0,76)
	/750 Hz/	0,49 (2,15)	0,03 (2,64)

M: Mittelwert, SD: Standardabweichung

Tab. 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der mittleren ereigniskorrelierten Potentiale im Intervall 150-300 ms nach Stimulusonset für das Stimuluspaar /ba/ vs. /da/

Elektrodenposition	Stimulus	Kontrollgruppe	Versuchsgruppe
F3 M (SD) [μ V]	/ba/	-1,42 (2,21)	-2,51 (1,77)
	/da/	-2,53 (2,48)	-2,43 (2,49)
FC3 M (SD) [μ V]	/ba/	-1,21 (1,84)	-2,32 (1,84)
	/da/	-2,92 (1,90)	-2,18 (3,24)
C3 M (SD) [μ V]	/ba/	-0,92 (1,67)	-1,68 (2,06)
	/da/	-3,00 (1,79)	-1,39 (3,54)
F4 M (SD) [μ V]	/ba/	-1,36 (1,67)	-2,52 (1,51)
	/da/	-1,91 (1,53)	-2,69 (2,68)
FC4 M (SD) [μ V]	/ba/	-0,63 (1,39)	-1,95 (1,87)
	/da/	-2,09 (1,40)	-2,24 (2,68)
C4 M (SD) [μ V]	/ba/	-0,07 (1,46)	-0,86 (2,24)
	/da/	-1,73 (1,80)	-0,47 (2,94)

M: Mittelwert, SD: Standardabweichung

Tab. 16: Mittelwerte und Standardabweichungen der mittleren ereigniskorrelierten Potentiale im Intervall 300-450 ms nach Stimulusonset für das Stimuluspaar /ba/ vs. /da/

Elektrodenposition	Stimulus	Kontrollgruppe	Versuchsgruppe
F3 M (SD) [μ V]	/ba/	-1,55 (1,71)	-2,68 (1,94)
	/da/	-3,19 (2,61)	-3,05 (2,61)
FC3 M (SD) [μ V]	/ba/	-1,52 (1,57)	-2,57 (1,91)
	/da/	-3,20 (2,68)	-2,87 (2,53)
C3 M (SD) [μ V]	/ba/	-1,09 (1,70)	-1,84 (2,07)
	/da/	-3,19 (2,48)	-1,59 (2,19)
F4 M (SD) [μ V]	/ba/	-1,91 (1,25)	-2,65 (1,96)
	/da/	-3,14 (1,74)	-3,81 (2,55)
FC4 M (SD) [μ V]	/ba/	-1,60 (1,17)	-2,56 (2,58)
	/da/	-3,35 (2,05)	-3,37 (2,52)
C4 M (SD) [μ V]	/ba/	-0,90 (1,60)	-1,47 (2,81)
	/da/	-2,91 (2,06)	-1,32 (2,36)

M: Mittelwert, SD: Standardabweichung

Tab. 17: Mittelwerte und Standardabweichungen der mittleren ereigniskorrelierten Potentiale im Intervall 450-600 ms nach Stimulusonset für das Stimuluspaar /ba/ vs. /da/

Elektrodenposition	Stimulus	Kontrollgruppe		Versuchsgruppe	
F3 M (SD) [μ V]	/ba/	-1,08	(1,48)	-1,60	(1,33)
	/da/	-2,50	(2,29)	-2,48	(1,65)
FC3 M (SD) [μ V]	/ba/	-1,09	(1,26)	-1,52	(1,25)
	/da/	-2,30	(2,72)	-2,00	(2,01)
C3 M (SD) [μ V]	/ba/	-0,66	(1,45)	-0,97	(1,34)
	/da/	-1,86	(3,17)	-0,64	(2,51)
F4 M (SD) [μ V]	/ba/	-1,46	(1,10)	-1,95	(1,00)
	/da/	-3,08	(1,74)	-2,99	(2,39)
FC4 M (SD) [μ V]	/ba/	-1,24	(0,89)	-1,77	(1,31)
	/da/	-2,89	(1,89)	-2,46	(2,51)
C4 M (SD) [μ V]	/ba/	-0,51	(1,27)	-0,71	(1,48)
	/da/	-1,98	(2,10)	-0,60	(2,78)

M: Mittelwert, SD: Standardabweichung

Tab. 18: Ergebnisse der Varianzanalyse für das Tonstimuluspaar /500 Hz/ vs. /750 Hz/ im Zeitintervall 100-250 ms nach Stimulusonset

Effekt	df	F	p
<i>Zwischensubjekteffekt</i>			
GRP	1	2,71	.115
Fehler	20		
<i>Innersubjekteffekte</i>			
HEM	1	0,78	.387
HEM*GRP	1	0,22	.646
Fehler	20		
ELE	2	23,73***	.000
ELE*GRP	2	1,77	.184
Fehler	40		
STIM	1	3,14	.092
STIM*GRP	1	0,36	.556
Fehler	20		
HEM*ELE	2	1,45	.247
HEM*ELE*GRP	2	0,78	.465
Fehler	40		
HEM*STIM	1	0,14	.716
HEM*STIM*GRP	1	0,75	.397
Fehler	20		
ELE*STIM	2	4,63*	.016
ELE*STIM*GRP	2	0,98	.386
Fehler	40		
HEM*ELE*STIM	2	0,20	.820
HEM*ELE*STIM*GRP	2	1,05	.358
Fehler	40		

df: Freiheitsgrade, F: Testwert, p: statistische Signifikanz

ELE: Elektrodenposition, GRP: Gruppe, HEM: Hemisphäre, STIM: Stimuluspaar

Tab. 19: Ergebnisse der Varianzanalyse für das Tonstimuluspaar /500 Hz/ vs. /750 Hz/ im Zeitintervall 250-400 ms nach Stimulusonset

Effekt	df	F	p
<i>Zwischensubjekteffekt</i>			
GRP	1	1,44	.244
Fehler	20		
<i>Innersubjekteffekte</i>			
HEM	1	0,13	.720
HEM*GRP	1	0,32	.578
Fehler	20		
ELE	2	15,99***	.000
ELE*GRP	2	0,61	.548
Fehler	40		
STIM	1	4,69*	.043
STIM*GRP	1	0,19	.667
Fehler	20		
HEM*ELE	2	11,63***	.000
HEM*ELE*GRP	2	0,13	.874
Fehler	40		
HEM*STIM	1	0,05	.831
HEM*STIM*GRP	1	1,09	.308
Fehler	20		
ELE*STIM	2	1,07	.352
ELE*STIM*GRP	2	3,05	.058
Fehler	40		
HEM*ELE*STIM	2	0,78	.464
HEM*ELE*STIM*GRP	2	0,35	.707
Fehler	40		

df: Freiheitsgrade, F: Testwert, p: statistische Signifikanz

ELE: Elektrodenposition, GRP: Gruppe, HEM: Hemisphäre, STIM: Stimuluspaar

Tab. 20: Ergebnisse der Varianzanalyse für das Tonstimuluspaar /500 Hz/ vs. /750 Hz/ im Zeitintervall 400-550 ms nach Stimulusonset

Effekt	df	F	p
<i>Zwischensubjekteffekt</i>			
GRP	1	2,59	.123
Fehler	20		
<i>Innersubjekteffekte</i>			
HEM	1	0,20	.663
HEM*GRP	1	0,00	.995
Fehler	20		
ELE	2	13,22***	.000
ELE*GRP	2	0,21	.813
Fehler	40		
STIM	1	0,65	.429
STIM*GRP	1	0,00	.946
Fehler	20		
HEM*ELE	2	3,71*	.033
HEM*ELE*GRP	2	0,13	.877
Fehler	40		
HEM*STIM	1	0,29	.597
HEM*STIM*GRP	1	0,08	.783
Fehler	20		
ELE*STIM	2	11,80***	.000
ELE*STIM*GRP	2	0,84	.441
Fehler	40		
HEM*ELE*STIM	2	0,84	.439
HEM*ELE*STIM*GRP	2	1,48	.239
Fehler	40		

df: Freiheitsgrade, F: Testwert, p: statistische Signifikanz

ELE: Elektrodenposition, GRP: Gruppe, HEM: Hemisphäre, STIM: Stimuluspaar

Tab. 21: Ergebnisse der Varianzanalyse für das Sprachstimuluspaar /ba/ vs. /da/ im Zeitintervall 150-300 ms nach Stimulusonset

Effekt	df	F	p
<i>Zwischensubjekteffekt</i>			
GRP	1	0,20	.662
Fehler	26		
<i>Innersubjekteffekte</i>			
HEM	1	4,68*	.040
HEM*GRP	1	0,75	.395
Fehler	26		
ELE	2	12,50***	.000
ELE*GRP	2	4,31*	.019
Fehler	52		
STIM	1	5,29*	.030
STIM*GRP	1	6,50*	.017
Fehler	26		
HEM*ELE	2	7,95**	.001
HEM*ELE*GRP	2	0,39	.680
Fehler	52		
HEM*STIM	1	0,23	.636
HEM*STIM*GRP	1	1,79	.193
Fehler	26		
ELE*STIM	2	1,22	.304
ELE*STIM*GRP	2	3,45*	.039
Fehler	52		
HEM*ELE*STIM	2	0,82	.445
HEM*ELE*STIM*GRP	2	0,41	.665
Fehler	52		

df: Freiheitsgrade, F: Testwert, p: statistische Signifikanz

ELE: Elektrodenposition, GRP: Gruppe, HEM: Hemisphäre, STIM: Stimuluspaar

Tab. 22: Ergebnisse der Varianzanalyse für das Sprachstimuluspaar /ba/ vs. /da/ im Zeitintervall 300-450 ms nach Stimulusonset

Effekt	df	F	p
<i>Zwischensubjekteffekt</i>			
GRP	1	0,09	.763
Fehler	26		
<i>Innersubjekteffekte</i>			
HEM	1	0,05	.832
HEM*GRP	1	0,03	.867
Fehler	26		
ELE	2	12,99***	.000
ELE*GRP	2	3,91*	.026
Fehler	52		
STIM	1	9,53**	.005
STIM*GRP	1	3,96	.057
Fehler	26		
HEM*ELE	2	6,66**	.003
HEM*ELE*GRP	2	0,47	.626
Fehler	52		
HEM*STIM	1	0,24	.627
HEM*STIM*GRP	1	0,87	.358
Fehler	26		
ELE*STIM	2	0,48	.619
ELE*STIM*GRP	2	6,39**	.003
Fehler	52		
HEM*ELE*STIM	2	0,53	.591
HEM*ELE*STIM*GRP	2	1,83	.171
Fehler	52		

df: Freiheitsgrade, F: Testwert, p: statistische Signifikanz

ELE: Elektrodenposition, GRP: Gruppe, HEM: Hemisphäre, STIM: Stimuluspaar

Tab. 23: Ergebnisse der Varianzanalyse für das Sprachstimuluspaar /ba/ vs. /da/ im Zeitintervall 450-600 ms nach Stimulusonset

	df	F	p
<i>Zwischensubjekteffekt</i>			
GRP	1	0,03	.854
Fehler	26		
<i>Innersubjekteffekte</i>			
HEM	1	1,71	.202
HEM*GRP	1	0,03	.853
Fehler	26		
ELE	2	24,70***	.000
ELE*GRP	2	2,58	.085
Fehler	52		
STIM	1	5,09*	.033
STIM*GRP	1	1,41	.246
Fehler	26		
HEM*ELE	2	11,98***	.000
HEM*ELE*GRP	2	0,13	.876
Fehler	52		
HEM*STIM	1	0,50	.485
HEM*STIM*GRP	1	0,02	.886
Fehler	26		
ELE*STIM	2	3,84*	.028
ELE*STIM*GRP	2	2,07	.137
Fehler	52		
HEM*ELE*STIM	2	0,14	.868
HEM*ELE*STIM*GRP	2	0,09	.915
Fehler	52		

df: Freiheitsgrade, F: Testwert, p: statistische Signifikanz

ELE: Elektrodenposition, GRP: Gruppe, HEM: Hemisphäre, STIM: Stimuluspaar

Tab. 24: Korrelationstabelle der Ergebnisse im Salzburger Lese-Rechtschreibtest zur mismatch negativity ausgelöst durch das Sprachstimuluspaar /ba/ vs. /da/ an den einzelnen Elektrodenpositionen im Zeitintervall 150-300 ms nach Stimulusonset.

	Gültige n	Spearman r	t(n-2)	p
Leseteil des SLRT				
HWF & F 3/4	28	0,032	0,165	0,870
HWF & FC 3/4	28	0,364	1,994	0,057
HWF & C 3/4	28	0,492	2,878	0,008
HWZ & F 3/4	28	0,078	0,401	0,692
HWZ & FC 3/4	28	0,437	2,475	0,020
HWZ & C 3/4	28	0,553	3,384	0,002
ZWF & F 3/4	28	-0,153	-0,787	0,438
ZWF & FC 3/4	28	0,122	0,629	0,535
ZWF & C 3/4	28	0,389	2,150	0,041
ZWZ & F 3/4	28	-0,183	-0,951	0,351
ZWZ & FC 3/4	28	0,209	1,088	0,286
ZWZ & C 3/4	28	0,402	2,236	0,034
TLF & F 3/4	28	0,064	0,328	0,745
TLF & FC 3/4	28	0,095	0,486	0,631
TLF & C 3/4	28	0,207	1,079	0,290
TLZ & F 3/4	28	-0,107	-0,550	0,587
TLZ & FC 3/4	28	0,293	1,561	0,131
TLZ & C 3/4	28	0,518	3,086	0,005
WUF & F 3/4	28	0,048	0,247	0,807
WUF & FC 3/4	28	0,352	1,918	0,066
WUF & C 3/4	28	0,538	3,254	0,003
WUZ & F 3/4	28	-0,053	-0,270	0,789
WUZ & FC 3/4	28	0,379	2,086	0,047
WUZ & C 3/4	28	0,605	3,871	0,001
WAF & F 3/4	28	-0,165	-0,852	0,402
WAF & FC 3/4	28	0,045	0,232	0,819
WAF & C 3/4	28	0,321	1,726	0,096
WAZ & F 3/4	28	-0,170	-0,880	0,387
WAZ & FC 3/4	28	0,191	0,993	0,330
WAZ & C 3/4	28	0,387	2,143	0,042
Rechtschreibteil des SLRT				
OF & F 3/4	28	0,141	0,726	0,474
OF & FC 3/4	28	0,485	2,831	0,009
OF & C 3/4	28	0,582	3,652	0,001
NF & F 3/4	28	-0,118	-0,604	0,551
NF & FC 3/4	28	0,218	1,138	0,265
NF & C 3/4	28	0,348	1,890	0,070
GF & F 3/4	28	-0,296	-1,580	0,126
GF & FC 3/4	28	-0,139	-0,715	0,481
GF & C 3/4	28	-0,027	-0,140	0,890
Gesamtscores des SLRT				
GLF & F 3/4	28	-0,021	-0,106	0,916
GLF & FC 3/4	28	0,241	1,266	0,217
GLF & C 3/4	28	0,456	2,609	0,015
GLZT & F 3/4	28	-0,120	-0,614	0,544
GLZT & FC 3/4	28	0,288	1,532	0,138
GLZT & C 3/4	28	0,497	2,919	0,007
GESF & F 3/4	28	0,023	0,119	0,906
GESF & FC 3/4	28	0,388	2,147	0,041
GESF & C 3/4	28	0,503	2,971	0,006

HWF/HWZ: Fehler/Zeit in Häufige Wörter, ZWF/ZWZ: Fehler/Zeit in Zusammengesetzte Wörter, TLF/TLZ: Fehler/Zeit in Text, WUF/WUZ: Fehler/Zeit in wortunähnliche Pseudowörter, WAF/WAZ: Fehler/Zeit in wortähnliche Pseudowörter, OF: orthographische Fehler, NF: nicht-lauttreue Fehler, GF: Fehler der Groß-/Kleinschreibung, GLF: Gesamtlesefehler, GLZT: Gesamtlesezeit, GESF: Gesamt Rechtschreibfehler, F 3/4: Frontale Elektrodenpositionen, FC 3/4: Frontozentrale Elektrodenpositionen, C 3/4: Zentrale Elektrodenpositionen. SLRT: Salzburger Lese-Rechtschreibtest, n: Anzahl, r: Korrelationskoeffizient, t(n-2): t-Verteilung mit (n-2)-Freiheitsgraden, p: statistische Signifikanz.

Tab. 25: Korrelationstabelle der Ergebnisse im Salzburger Lese-Rechtschreibtest zur mismatch negativity ausgelöst durch das Sprachstimuluspaar /ba/ vs. /da/ an den einzelnen Elektrodenpositionen im Zeitintervall 300-450 ms nach Stimulusonset.

	Gültige n	Spearman r	t(n-2)	p
Leseteil des SLRT				
HWF & F 3/4	28	0,310	1,660	0,109
HWF & FC 3/4	28	0,339	1,838	0,078
HWF & C 3/4	28	0,346	1,882	0,071
HWZ & F 3/4	28	0,313	1,683	0,104
HWZ & FC 3/4	28	0,382	2,108	0,045
HWZ & C 3/4	28	0,477	2,765	0,010
ZWF & F 3/4	28	0,260	1,373	0,181
ZWF & FC 3/4	28	0,221	1,155	0,258
ZWF & C 3/4	28	0,283	1,502	0,145
ZWZ & F 3/4	28	0,187	0,971	0,340
ZWZ & FC 3/4	28	0,256	1,353	0,188
ZWZ & C 3/4	28	0,388	2,149	0,041
TLF & F 3/4	28	0,283	1,503	0,145
TLF & FC 3/4	28	0,169	0,875	0,389
TLF & C 3/4	28	0,277	1,469	0,154
TLZ & F 3/4	28	0,200	1,038	0,309
TLZ & FC 3/4	28	0,312	1,672	0,106
TLZ & C 3/4	28	0,460	2,641	0,014
WUF & F 3/4	28	0,382	2,108	0,045
WUF & FC 3/4	28	0,441	2,506	0,019
WUF & C 3/4	28	0,416	2,331	0,028
WUZ & F 3/4	28	0,349	1,901	0,068
WUZ & FC 3/4	28	0,461	2,650	0,014
WUZ & C 3/4	28	0,566	3,504	0,002
WAF & F 3/4	28	0,247	1,300	0,205
WAF & FC 3/4	28	0,272	1,442	0,161
WAF & C 3/4	28	0,360	1,966	0,060
WAZ & F 3/4	28	0,220	1,151	0,260
WAZ & FC 3/4	28	0,323	1,739	0,094
WAZ & C 3/4	28	0,485	2,825	0,009
Rechtschreibteil des SLRT				
OF & F 3/4	28	0,292	1,559	0,131
OF & FC 3/4	28	0,345	1,872	0,072
OF & C 3/4	28	0,435	2,463	0,021
NF & F 3/4	28	0,169	0,873	0,391
NF & FC 3/4	28	0,260	1,373	0,182
NF & C 3/4	28	0,396	2,198	0,037
GF & F 3/4	28	0,067	0,345	0,733
GF & FC 3/4	28	0,160	0,826	0,416
GF & C 3/4	28	0,208	1,084	0,288
Gesamtscores des SLRT				
GLF & F 3/4	28	0,387	2,143	0,042
GLF & FC 3/4	28	0,411	2,298	0,030
GLF & C 3/4	28	0,475	2,751	0,011
GLZT & F 3/4	28	0,224	1,170	0,253
GLZT & FC 3/4	28	0,330	1,780	0,087
GLZT & C 3/4	28	0,482	2,808	0,009
GESF & F 3/4	28	0,212	1,104	0,280
GESF & FC 3/4	28	0,296	1,580	0,126
GESF & C 3/4	28	0,401	2,235	0,034

HWF/HWZ: Fehler/Zeit in Häufige Wörter, ZWF/ZWZ: Fehler/Zeit in Zusammengesetzte Wörter, TLF/TLZ: Fehler/Zeit in Text, WUF/WUZ: Fehler/Zeit in wortunähnliche Pseudowörter, WAF/WAZ: Fehler/Zeit in wortähnliche Pseudowörter, OF: orthographische Fehler, NF: nicht-lauttreue Fehler, GF: Fehler der Groß-/Kleinschreibung, GLF: Gesamtlesefehler, GLZT: Gesamtlesezeit, GESF: Gesamt Rechtschreibfehler, F 3/4: Frontale Elektrodenpositionen, FC 3/4: Frontozentrale Elektrodenpositionen, C 3/4: Zentrale Elektrodenpositionen. SLRT: Salzburger Lese-Rechtschreibtest, n: Anzahl, r: Korrelationskoeffizient, t(n-2): t-Verteilung mit (n-2)-Freiheitsgraden, p: statistische Signifikanz.

Tab. 26: Korrelationstabelle der Ergebnisse im Salzburger Lese-Rechtschreibtest zur mismatch negativity ausgelöst durch das Sprachstimuluspaar /ba/ vs. /da/ an den einzelnen Elektrodenpositionen im Zeitintervall 450-600 ms nach Stimulusonset.

	Gültige n	Spearman r	t(n-2)	p
Leseteil des SLRT				
HWF & F 3/4	28	0,029	0,145	0,885
HWF & FC 3/4	28	0,213	1,113	0,276
HWF & C 3/4	28	0,342	1,859	0,074
HWZ & F 3/4	28	-0,036	-0,186	0,854
HWZ & FC 3/4	28	0,092	0,473	0,640
HWZ & C 3/4	28	0,270	1,429	0,165
ZWF & F 3/4	28	-0,200	-1,042	0,307
ZWF & FC 3/4	28	-0,204	-1,060	0,299
ZWF & C 3/4	28	-0,077	-0,396	0,695
ZWZ & F 3/4	28	-0,205	-1,069	0,295
ZWZ & FC 3/4	28	-0,046	-0,236	0,815
ZWZ & C 3/4	28	0,112	0,575	0,570
TLF & F 3/4	28	0,064	0,325	0,748
TLF & FC 3/4	28	-0,046	-0,233	0,818
TLF & C 3/4	28	0,037	0,189	0,852
TLZ & F 3/4	28	-0,113	-0,581	0,566
TLZ & FC 3/4	28	0,033	0,166	0,869
TLZ & C 3/4	28	0,245	1,289	0,209
WUF & F 3/4	28	0,095	0,487	0,630
WUF & FC 3/4	28	0,131	0,673	0,507
WUF & C 3/4	28	0,325	1,754	0,091
WUZ & F 3/4	28	-0,026	-0,131	0,897
WUZ & FC 3/4	28	0,084	0,430	0,670
WUZ & C 3/4	28	0,313	1,683	0,104
WAF & F 3/4	28	-0,022	-0,111	0,913
WAF & FC 3/4	28	-0,014	-0,072	0,943
WAF & C 3/4	28	0,260	1,370	0,182
WAZ & F 3/4	28	-0,155	-0,799	0,432
WAZ & FC 3/4	28	-0,041	-0,208	0,837
WAZ & C 3/4	28	0,185	0,958	0,347
Rechtschreibteil des SLRT				
OF & F 3/4	28	0,074	0,379	0,708
OF & FC 3/4	28	0,149	0,771	0,448
OF & C 3/4	28	0,348	1,891	0,070
NF & F 3/4	28	-0,103	-0,530	0,601
NF & FC 3/4	28	0,036	0,186	0,854
NF & C 3/4	28	0,215	1,122	0,272
GF & F 3/4	28	-0,448	-2,558	0,017
GF & FC 3/4	28	-0,482	-2,802	0,009
GF & C 3/4	28	-0,290	-1,543	0,135
Gesamtscores des SLRT				
GLF & F 3/4	28	-0,005	-0,025	0,980
GLF & FC 3/4	28	0,026	0,134	0,894
GLF & C 3/4	28	0,253	1,335	0,193
GLZT & F 3/4	28	-0,154	-0,797	0,433
GLZT & FC 3/4	28	-0,012	-0,060	0,953
GLZT & C 3/4	28	0,209	1,092	0,285
GESF & F 3/4	28	-0,045	-0,230	0,820
GESF & FC 3/4	28	0,028	0,144	0,886
GESF & C 3/4	28	0,237	1,243	0,225

HWF/HWZ: Fehler/Zeit in Häufige Wörter, ZWF/ZWZ: Fehler/Zeit in Zusammengesetzte Wörter, TLF/TLZ: Fehler/Zeit in Text, WUF/WUZ: Fehler/Zeit in wortunähnliche Pseudowörter, WAF/WAZ: Fehler/Zeit in wortähnliche Pseudowörter, OF: orthographische Fehler, NF: nicht-lauttreue Fehler, GF: Fehler der Groß-/Kleinschreibung, GLF: Gesamtlesefehler, GLZT: Gesamtlesezeit, GESF: Gesamt Rechtschreibfehler, F 3/4: Frontale Elektrodenpositionen, FC 3/4: Frontozentrale Elektrodenpositionen, C 3/4: Zentrale Elektrodenpositionen. SLRT: Salzburger Lese-Rechtschreibtest, n: Anzahl, r: Korrelationskoeffizient, t(n-2): t-Verteilung mit (n-2)-Freiheitsgraden, p: statistische Signifikanz.

Tab. 27: Korrelationstabelle der Ergebnisse im Test „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“ zur mismatch negativity ausgelöst durch das Sprachstimuluspaar /ba/ vs. /da/ an den einzelnen Elektrodenpositionen im Zeitintervall 150-300 ms nach Stimulusonset.

	Gültige	Spearman		
	n	r	t(n-2)	p
BAKOPW & F 3/4	28	0,084	0,431	0,670
BAKOPW & FC 3/4	28	-0,159	-0,823	0,418
BAKOPW & C 3/4	28	-0,267	-1,411	0,170
BAKOVO & F 3/4	28	-0,012	-0,061	0,952
BAKOVO & FC 3/4	28	-0,360	-1,966	0,060
BAKOVO & C 3/4	28	-0,482	-2,803	0,009
BAKORW & F 3/4	28	-0,092	-0,471	0,641
BAKORW & FC 3/4	28	-0,285	-1,518	0,141
BAKORW & C 3/4	28	-0,406	-2,264	0,032
BAKOPH & F 3/4	28	-0,173	-0,896	0,378
BAKOPH & FC 3/4	28	-0,205	-1,067	0,296
BAKOPH & C 3/4	28	-0,320	-1,721	0,097
BAKOLA & F 3/4	28	-0,055	-0,282	0,781
BAKOLA & FC 3/4	28	-0,285	-1,517	0,141
BAKOLA & C 3/4	28	-0,307	-1,647	0,112
BAKOVL & F 3/4	28	-0,001	-0,006	0,996
BAKOVL & FC 3/4	28	-0,269	-1,427	0,166
BAKOVL & C 3/4	28	-0,405	-2,261	0,032
BAKOUM & F 3/4	28	0,062	0,315	0,756
BAKOUM & FC 3/4	28	-0,240	-1,263	0,218
BAKOUM & C 3/4	28	-0,420	-2,358	0,026
BAKGES & F 3/4	28	-0,060	-0,307	0,761
BAKGES & FC 3/4	28	-0,280	-1,487	0,149
BAKGES & C 3/4	28	-0,374	-2,055	0,050

BAKO: Test „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“, BAKOPW: „Pseudowörter“ aus BAKO, BAKOVO: „Vokalersetzung“ aus BAKO, BAKORW: „Restwortbestimmung“ aus BAKO, BAKOPH: „Phonemersetzung“ aus BAKO, BAKOLA: „Lautkategorisierung“ aus BAKO, BAKOVL: „Vokallängenbestimmung“ aus BAKO, BAKOUM: „Wortumkehr“ aus BAKO, BAKGES: Gesamtpunktzahl des BAKO, F 3/4: Frontale Elektrodenpositionen, FC 3/4: Frontozentrale Elektrodenpositionen, C 3/4: Zentrale Elektrodenpositionen, n: Anzahl, r: Korrelationskoeffizient, t(n-2): t-Verteilung mit (n-2)-Freiheitsgraden, p: statistische Signifikanz.

Tab. 28: Korrelationstabelle der Ergebnisse im Test „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“ zur mismatch negativity ausgelöst durch das Sprachstimuluspaar /ba/ vs. /da/ an den einzelnen Elektrodenpositionen im Zeitintervall 300-450 ms nach Stimulusonset.

		Gültige	Spearman		
		n	r	t(n-2)	p
BAKOPW	& F 3/4	28	-0,045	-0,230	0,820
BAKOPW	& FC 3/4	28	-0,036	-0,184	0,855
BAKOPW	& C 3/4	28	-0,176	-0,914	0,369
BAKOVO	& F 3/4	28	-0,209	-1,088	0,287
BAKOVO	& FC 3/4	28	-0,340	-1,844	0,077
BAKOVO	& C 3/4	28	-0,436	-2,471	0,020
BAKORW	& F 3/4	28	-0,014	-0,074	0,942
BAKORW	& FC 3/4	28	-0,024	-0,122	0,904
BAKORW	& C 3/4	28	-0,189	-0,981	0,336
BAKOPH	& F 3/4	28	-0,155	-0,799	0,431
BAKOPH	& FC 3/4	28	-0,156	-0,804	0,429
BAKOPH	& C 3/4	28	-0,335	-1,816	0,081
BAKOLA	& F 3/4	28	-0,048	-0,246	0,808
BAKOLA	& FC 3/4	28	-0,248	-1,304	0,204
BAKOLA	& C 3/4	28	-0,365	-2,000	0,056
BAKOVL	& F 3/4	28	-0,313	-1,682	0,105
BAKOVL	& FC 3/4	28	-0,374	-2,054	0,050
BAKOVL	& C 3/4	28	-0,488	-2,848	0,008
BAKOUM	& F 3/4	28	-0,107	-0,551	0,586
BAKOUM	& FC 3/4	28	-0,229	-1,198	0,242
BAKOUM	& C 3/4	28	-0,433	-2,452	0,021
BAKGES	& F 3/4	28	-0,143	-0,739	0,467
BAKGES	& FC 3/4	28	-0,216	-1,130	0,269
BAKGES	& C 3/4	28	-0,382	-2,109	0,045

BAKO: Test „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“, BAKOPW: „Pseudowörter“ aus BAKO, BAKOVO: „Vokalersetzung“ aus BAKO, BAKORW: „Restwortbestimmung“ aus BAKO, BAKOPH: „Phonemersetzung“ aus BAKO, BAKOLA: „Lautkategorisierung“ aus BAKO, BAKOVL: „Vokallängenbestimmung“ aus BAKO, BAKOUM: „Wortumkehr“ aus BAKO, BAKGES: Gesamtpunktzahl des BAKO, F 3/4: Frontale Elektrodenpositionen, FC 3/4: Frontozentrale Elektrodenpositionen, C 3/4: Zentrale Elektrodenpositionen, n: Anzahl, r: Korrelationskoeffizient, t(n-2): t-Verteilung mit (n-2)-Freiheitsgraden, p: statistische Signifikanz.

Tab. 29: Korrelationstabelle der Ergebnisse im Test „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“ zur mismatch negativity ausgelöst durch das Sprachstimuluspaar /ba/ vs. /da/ an den einzelnen Elektrodenpositionen im Zeitintervall 450-600 ms nach Stimulusonset.

		Gültige	Spearman		
		n	r	t(n-2)	p
BAKOPW	& F 3/4	28	0,034	0,174	0,863
BAKOPW	& FC 3/4	28	-0,074	-0,380	0,707
BAKOPW	& C 3/4	28	-0,161	-0,831	0,414
BAKOVO	& F 3/4	28	-0,042	-0,216	0,831
BAKOVO	& FC 3/4	28	-0,062	-0,317	0,754
BAKOVO	& C 3/4	28	-0,265	-1,402	0,173
BAKORW	& F 3/4	28	0,021	0,109	0,914
BAKORW	& FC 3/4	28	0,076	0,391	0,699
BAKORW	& C 3/4	28	-0,046	-0,236	0,815
BAKOPH	& F 3/4	28	0,008	0,042	0,967
BAKOPH	& FC 3/4	28	0,189	0,981	0,336
BAKOPH	& C 3/4	28	0,010	0,049	0,961
BAKOLA	& F 3/4	28	0,130	0,670	0,509
BAKOLA	& FC 3/4	28	-0,003	-0,014	0,989
BAKOLA	& C 3/4	28	-0,161	-0,830	0,414
BAKOVL	& F 3/4	28	0,021	0,110	0,914
BAKOVL	& FC 3/4	28	0,027	0,138	0,892
BAKOVL	& C 3/4	28	-0,172	-0,891	0,381
BAKOUM	& F 3/4	28	0,214	1,115	0,275
BAKOUM	& FC 3/4	28	0,155	0,802	0,430
BAKOUM	& C 3/4	28	-0,114	-0,584	0,564
BAKGES	& F 3/4	28	0,070	0,357	0,724
BAKGES	& FC 3/4	28	0,094	0,479	0,636
BAKGES	& C 3/4	28	-0,123	-0,631	0,533

BAKO: Test „Basiskompetenzen für Lese-Rechtschreibleistungen“, BAKOPW: „Pseudowörter“ aus BAKO, BAKOVO: „Vokalersetzung“ aus BAKO, BAKORW: „Restwortbestimmung“ aus BAKO, BAKOPH: „Phonemersetzung“ aus BAKO, BAKOLA: „Lautkategorisierung“ aus BAKO, BAKOVL: „Vokallängenbestimmung“ aus BAKO, BAKOUM: „Wortumkehr“ aus BAKO, BAKGES: Gesamtpunktzahl des BAKO, F 3/4: Frontale Elektrodenpositionen, FC 3/4: Frontozentrale Elektrodenpositionen, C 3/4: Zentrale Elektrodenpositionen, n: Anzahl, r: Korrelationskoeffizient, t(n-2): t-Verteilung mit (n-2)-Freiheitsgraden, p: statistische Signifikanz.

Danksagungen

Zunächst möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Dr. Manfred Spitzer bedanken, der mir diese Arbeit ermöglicht hat. Einer Arbeit, die aufgrund der zeitintensiven Vorbereitungen mit Besuchen bei Schulleitern, Vorträgen an Schulen und Gesprächen mit den Eltern, den Auswertung der Daten auch persönliche Opfer gefordert hat. Einer Arbeit, die einem aber auch viel Freiraum gegeben hat, sich in die Materie einzuarbeiten und sich mit dieser auseinander zu setzen. Trotz seiner intensiven Bemühungen mich der Psychiatrie näher zu bringen, so hat es doch „nur zum Urologen“ gereicht.

Mein ganz besonderer Dank gilt PD Dr. Dipl.-Psych. Markus Kiefer, der mich während der gesamten Arbeit unterstützt hat und für Fragen und mit seiner Hilfe jederzeit zur Verfügung stand. Danke für die viele Zeit, die Du investiert hast während der Konzeption der Studie, der Auswertung der Daten und auch schlussendlich der Korrektur dieser Arbeit.

Danke auch an meinen Mitstreiter Ulrich Bitz für die gute Zusammenarbeit, der sich zur gleichen Zeit mit den Erstklässlern und deren Hirnströmen beschäftigt hat.

Sowie Corinna Schwedler, die uns ihre Stimme für die Stimuli geliehen hat, die wir uns Tag für Tag während der EEG-Aufzeichnungen anhören durften.

Meinen Dank möchte ich auch an die beiden EEG-Assistentinnen Frau Günter und Frau Zischler richten, die uns in die Handhabung mit der Ausrüstung eingeführt haben und immer da waren, wenn man sie gebraucht hat.

Danke auch an das gesamte Team des ZNL in Ulm, das die vielen Stunden an dieser Arbeit in den Räumen der alten Kienlesbergkaserne nicht nur erträglich, sondern auch erfreulich gemacht haben.

Ein besonderer Dank sei an die Kinder, deren Eltern, sowie an alle Lehrer und Schulleiter der mitwirkenden Schulen gerichtet, ohne deren Unterstützung diese Studie nicht durchführbar gewesen wäre.

Abschließend ein von Herzen kommendes Dankeschön an meine Eltern, die mir mein Studium überhaupt ermöglicht haben und mich auch weiterhin unterstützen.

Allen anderen, die wie immer bei derartigen Aufzählungen vergessen werden, ein nicht minderes Danke.