



seit 1558

---

**Untersuchung zur phonologischen Defizithypothese  
bei der Lese-Rechtschreibstörung:  
eine EKP-Studie**

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades

doctor philosophiae (Dr. phil.)

vorgelegt dem Rat der Fakultät für Sozial- und Verhaltenswissenschaften  
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Dipl.-Psych. Carolin Grünling  
geboren am 7. Februar 1973 in Böblingen

**Gutachter**

- 1. Prof. Dr. Eckart R. Straube**
- 2. Prof. Dr. Bernhard Blanz**

**Tag des Kolloquiums: 11.11.2002**

## **Danksagung**

Bedanken möchte ich mich ganz herzlich bei Prof. Dr. B. Blanz für die konstruktive Zusammenarbeit im Projektteam, gewinnbringende Anmerkungen und die Begutachtung dieser Arbeit. Ebenso gilt mein Dank Prof. Dr. E. R. Straube, der wohlwollend die Betreuung und Begutachtung dieser Arbeit übernommen hat und sie durch wertvolle Hinweise unterstützt hat.

Mein besonderer Dank gilt Frau Hartmann und unserer studentischen Hilfskraft Evelyn Rothe, ohne die die Vorbereitung und Durchführung der EEG-Messungen nicht zu realisieren gewesen wäre.

Herzlichen Dank auch an meine Kollegen Marc Ligges ;o), Heike Hellrung, Ulli Möller, Carola Ortman und Petra Georgiewa. Ohne die Zusammenarbeit mit Euch hätte das Ganze nur halb so viel Spaß gemacht! Dank auch meiner altbewährten Diplomarbeitstreiterin Silke Krieschel fürs Korrekturlesen und wertvolle Anmerkungen.

Last not least den allerherzlichsten Dank an Marc Ligges und meine Eltern Christa und Bernhard Grünling: Eure offenen Ohren und Eure warme Unterstützung haben mir stets dann weitergeholfen, wenn die Wogen mal ein bisschen höher schlugen.

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>THEORETISCHE GRUNDLAGEN .....</b>	<b>1</b>
2.1	Der ungestörte Leseprozess .....	2
2.1.1	Modelle des ungestörten Leseprozesses.....	2
2.1.1.1	Neurologisch-biologische Modelle .....	2
2.1.1.2	Kognitive Modelle.....	3
2.1.2	Abschließende Bewertung der verschiedenen Modelle .....	7
2.1.3	Die Rolle der Phonologie beim Lesen .....	8
2.1.4	Phonologische Bewusstheit als zentrale Voraussetzung für den Schriftspracherwerb .....	9
2.2	Die Lese-Rechtschreibstörung .....	11
2.2.1	Verhaltensebene: verschiedene Definitionsansätze der LRS .....	11
2.2.2	Kognitive Ebene: das phonologische Defizit als Ursachenmodell der LRS .....	15
2.2.2.1	Phonologisches Defizit eingeordnet in die Lesemodelle .....	17
2.2.3	Biologische Ebene: sensorische, basale und genetische Ursachenmodelle zur LRS .....	19
2.2.3.1	Sensorische Störungen.....	19
2.2.3.2	Genetische Erklärungsansätze zur LRS .....	23
2.2.4	Elektrophysiologische Befunde des ungestörten sowie gestörten Leseprozesses.....	23
2.2.4.1	Abbildung von ungestörten Sprachprozessen .....	23
2.2.4.2	Zeitstrahl der Wortverarbeitung.....	32
2.2.4.3	Elektrophysiologische Befunde zum phonologischen Defizit .....	34
2.2.4.4	Fazit zur N400.....	37
2.3	Einordnung der Fragestellungen der vorliegenden Untersuchung in Vorarbeiten der hiesigen Arbeitsgruppe.....	38
<b>3</b>	<b>FRAGESTELLUNGEN .....</b>	<b>40</b>
3.1	Wie spiegeln sich die unterschiedlichen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung in den Daten wider? .....	40
3.2	Phonologisches Defizit bei der LRS .....	41
3.3	Fragestellung zu adressierter vs. assemblierte Lesestrategie .....	41
3.3.1	Ist eine derartige Differenzierung überhaupt möglich? .....	41
3.3.2	Prägen sich die Gruppenunterschiede zwischen LRS- und Kontrollprobanden auf diesen Lesestrecken unterschiedlich stark aus? .....	42
3.4	Entwicklung von Lesefertigkeiten .....	43
3.4.1	Verändern sich Lesestrategien in Abhängigkeit von der Lesepraxis? .....	43
3.4.2	Stellt sich das phonologische Defizit über die Altersstufen hinweg anders dar? .....	44

<b>4</b>	<b>METHODE</b>	<b>45</b>
4.1	Beschreibung der diagnostischen Sitzung und der Stichprobenzusammensetzung	45
4.1.1	Diagnostische Sitzung	45
4.1.1.1	Beschreibung der Testbatterie	45
4.1.1.2	Beschreibung des Leseexperimentes im Rahmen der diagnostischen Sitzung	46
4.1.2	Beschreibung der Stichprobenzusammensetzung	47
4.2	Beschreibung des Stimulationsmaterials sowie des Ablaufes der neurophysiologischen EEG-Untersuchung	48
4.2.1	Stimulationsmaterial	48
4.2.2	EEG-Experiment	50
4.2.2.1	Aufbau der Einzeltrials	51
4.2.2.2	Messvorbereitung und technische Aufnahmeeinstellungen	51
4.2.2.3	Ablauf der EEG-Messung	53
4.3	Voraussetzungen der statistischen Hypothesenprüfung	54
4.3.1	Normalverteilttheit der Daten	56
4.3.2	Normalverteilttheit der Fehler	56
4.3.3	Homogenität der Fehlervarianzen	56
4.4	Statistische Datenauswertung	57
4.4.1	Prüfung der Voraussetzungen	57
4.4.1.1	Normalverteilttheit der Daten	57
4.4.1.2	Homogenität der Fehlervarianzen	57
4.4.1.3	Homogenität der Fehler-Kovarianz-Matrix	57
4.4.2	Statistische Auswertung der Diagnostikdaten	57
4.4.3	Statistische Auswertung der neuropsychologischen Leistungsdaten	58
4.4.3.1	Neuropsychologie: statistische Analysen der Fragestellungen aus Abschnitt 3.1 (unterschiedliche Stufen der Wortverarbeitung), Abschnitt 3.2 (phonologisches Defizit) und Abschnitt 3.3 (Entwicklung von Lesefertigkeiten)	58
4.4.3.2	Neuropsychologie: statistische Analysen der Fragestellungen aus Abschnitt 3.3 (adressierte vs. assemblierte Lesestrecken)	58
4.4.4	Statistische Auswertung der neurophysiologischen Daten	59
4.4.4.1	Vorverarbeitungsschritte der EEG-Daten	59
4.4.4.2	Vorüberlegungen zur statistischen Analyse der EKP-Daten	60
4.4.4.3	Neurophysiologie: statistische Analysen der Fragestellungen aus Abschnitt 3.1 (unterschiedliche Stufen der Wortverarbeitung), Abschnitt 3.2 (phonologisches Defizit) und Abschnitt 3.3 (Entwicklung von Lesefertigkeiten)	62
4.4.4.4	Neurophysiologie: statistische Analysen der Fragestellungen aus Abschnitt 3.3 (adressierte vs. assemblierte Lesestrecken)	62
<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>65</b>
5.1	Stichprobenbeschreibung	65

## Inhaltsverzeichnis

---

5.1.1	Ergebnisse Alter, nonverbale Leistung und Aufmerksamkeit.....	65
5.1.2	Ergebnisse Lese-Rechtschreibleistung .....	65
5.2	Neuropsychologische Ergebnisse .....	67
5.2.1	Ergebnisse der ERTS-Daten zur Fragestellungen aus Abschnitt 3.1, 3.2 sowie 3.4.....	67
5.2.2	Ergebnisse der Wortlistendaten zur Fragestellungen aus Abschnitt 3.2 und 3.4 .....	70
5.2.3	Ergebnisse zur Fragestellung aus Abschnitt 3.3.....	71
5.3	Neurophysiologische Ergebnisse .....	73
5.3.1	Beschreibung der visuellen Inspektion der EKP-Formen in den Grandaveragen.....	73
5.3.2	Ergebnisse der EKP-Daten zu den Fragestellungen aus Abschnitt 3.1, 3.2 und 3.4.....	73
5.3.3	Ergebnisse zur Fragestellung aus Abschnitt 3.3.....	80
<b>6</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>84</b>
6.1	Diskussion der testdiagnostischen Leistungen .....	84
6.1.1	Alter, nonverbale Leistung und Aufmerksamkeit.....	84
6.1.2	Lese-Rechtschreibleistung .....	84
6.2	Interpretation zur Fragestellung aus Abschnitt 3.1: unterschiedliche Stufen der Wortverarbeitung.....	85
6.2.1	ERTS-Daten .....	86
6.2.2	EKP-Daten.....	87
6.2.2.1	antN400 .....	87
6.2.2.2	Frühe Komponenten (N100-P200, P100-N100o).....	90
6.2.2.3	P300 .....	92
6.3	Interpretation zur Fragestellung aus Abschnitt 3.2: Phonologisches Defizit .....	93
6.3.1	ERTS .....	93
6.3.2	Wortlisten.....	94
6.3.3	EKPs.....	95
6.3.3.1	antN400 .....	95
6.3.3.2	N100-P200.....	98
6.3.3.3	P100-N100o.....	98
6.3.3.4	P300 .....	99
6.4	Interpretation zur Fragestellung aus Abschnitt 3.3: adressierte vs. assemblierte Lesestrecken.....	100
6.4.1	Leistungsdaten .....	100
6.4.2	EKPs.....	102
6.5	Interpretation zur Fragestellung aus Abschnitt 3.4: Entwicklung von Lesefertigkeiten ..	103
6.5.1	Leistungsdaten .....	103
6.5.2	EKPs.....	104
6.6	Zusammenfassende Diskussion .....	104
6.7	Kritik an der angewandten Methode.....	110

## **Inhaltsverzeichnis**

---

6.7.1	Paradigma .....	110
6.7.2	Versuchsaufbau.....	112
6.7.3	Reliabilität von biologischen Daten .....	113
6.8	Ansätze für weiterführende empirische Studien.....	114
6.8.1	Methodische Weiterentwicklungen.....	114
6.8.2	Paradigmatische Weiterentwicklungen .....	115
6.8.3	Frühförderstudien .....	116
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>118</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>120</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>128</b>

# 1 Einleitung

Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Lese-Rechtschreibstörung (LRS) hat in den letzten Jahren stetig zugenommen. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von Erklärungsansätzen, die das Störungsbild aus psychologischer, medizinischer (häufig neurologischer), pädagogischer oder linguistischer Sichtweise beleuchten. Dabei reicht die Diskussion der Ursachenmodelle von defizitären grundlegenden kognitiven Fähigkeiten (top-down) bis hin zu basalen zentralnervösen Verarbeitungsdefiziten (bottom-up). Neben der Beschreibung defizitärer Leistungen auf der Verhaltensebene hat sich ein Großteil der Forschung in den letzten 15 bis 20 Jahren darauf verlagert, biologische Marker bzw. biologisch fundierte Grundlagen für diese Störung aufzudecken.

Die LRS-Forschung hat dabei nachhaltig von den stetig zunehmenden Erkenntnissen über ungestörte Sprachprozesse sowie den normgerechten Schriftspracherwerb profitiert. Das Wissen um Voraussetzungen und regelhafte Prozesse des ungestörten Schriftspracherwerbs hat es ermöglicht, kritische Entwicklungsphasen, essentielle kognitive Fähigkeiten sowie „biologische“ Verarbeitungsstrukturen zu identifizieren, deren Beeinträchtigung zu nachhaltigen Störungen des Schriftspracherwerbs und der regelhaften Beherrschung der Schriftsprache führen können. In den folgenden Abschnitten soll deswegen zunächst ein Überblick über die Bestandteile der ungestörten Sprachverarbeitung sowie den regelhaften Schriftspracherwerb gegeben werden. Vor diesem Hintergrund folgen dann Definition, Ursachenmodelle und empirische Befunde zur LRS.

## 2 Theoretische Grundlagen

Linguisten beschreiben Sprache als ein sehr komplexes System, das sich aus vielen verschiedenen Einheiten zusammensetzt. Sprachverarbeitung beinhaltet semantische (Bedeutung der Sprache), syntaktische (grammatikalische Struktur der Sprache), phonologische (Klangstruktur der Sprache) und pragmatische Prozesse („Umgang“ mit Sprache; vgl. SNOWLING & HULME, 1993). Der Erwerb und die Anwendung ungestörter Sprachverarbeitungsprozesse setzt dabei die erfolgreiche Interaktion dieser Systemebenen voraus. In der modernen Sprachwissenschaft werden neben diesen kognitiven linguistischen Modellvorstellungen neurowissenschaftliche Methoden eingesetzt, um die neuronalen Aktivitäten, die die Umsetzung der kognitiven Prozesse widerspiegeln, zu erforschen und zu beschreiben. Zunächst sollen nun unterschiedliche Modelle zum unge-

störten Leseprozess insbesondere die Rolle von phonologischen<sup>1</sup> Verarbeitungsprozessen beschrieben werden. Anschließend folgt die Beschreibung der Rolle der Phonologie beim Lesen und dem Schriftspracherwerb.

## 2.1 Der ungestörte Leseprozess

### 2.1.1 Modelle des ungestörten Leseprozesses

Modelle über Ablauf und Bestandteile des ungestörten Leseprozesses wurden bereits sehr früh entwickelt, um theoretische Vorstellungen über kognitive und biologische/neurologische Prozesse des Lesens darstellen zu können. Die meisten Modelle versuchen, den Leseprozess in eine Reihe von abhängigen oder unabhängigen Fähigkeiten zu zergliedern. Über die Beobachtung des Lesers erhofft man sich anhand der Lesemodelle die Ableitung von Aussagen, über welche Wege und unter Einsatz welcher Prozesse der Leser Schriftmaterial entschlüsselt.

#### 2.1.1.1 Neurologisch-biologische Modelle

##### *Geschwind-Modell*

Es ist wohl eines der bekanntesten neurologischen Modelle über die Verarbeitung geschriebener Sprache und war jahrzehntelang forschungsleitend. Das Modell beschreibt die bottom-up Verarbeitung des geschriebenen Wortes angefangen bei den primären visuellen Arealen, über Strukturen wie den Gyrus Angularis, hin zu Wernicke und Broca. Als neurobiologisches Modell gilt es heute als überholt. Zum einen weiß man mittlerweile, dass die Bereiche des Kortexes, die an der Sprachverarbeitung beteiligt sind, weit über die Grenzen der Areale hinausgehen, wie sie im Modell beschrieben werden. Zudem ist es ein serielles Modell, in dem die Prozesse in einer linearen Folge hintereinander ablaufen sollen. Der Nachteil von Modellen dieser Art ist, dass sie nicht in der Lage sind, die enorme Vielfalt der Sprachprozesse wiederzugeben, da die Sprachverarbeitung sowohl serielle wie parallele Prozesse umfasst. Zudem macht das Modell keine Aussage darüber, wie top-down Prozesse, also Kognitionen, Einfluss auf Sprachverarbeitungsprozesse nehmen (Vergleiche dazu POSNER & RAICHLE, 1994).

Obwohl die grobe Verarbeitungsrichtung von posterioren zu anterioren Kortexarealen sicherlich nicht von der Hand zu weisen ist, gehen neuere neurobiologische Sprachmodelle davon aus, dass die einzelnen sprachverarbeitenden Strukturen über zahlreiche Querverbindungen miteinander in Kontakt stehen, so dass die Verarbeitung der Sprachstimuli parallel auf mehreren Ebenen erfolgt.

---

<sup>1</sup> Der Begriff „Phonologie“ ist in der Literatur ein sehr weit gefasster Begriff. Anstatt phonologisch müsste man eigentlich eher phonemisch sagen, da meistens auf die Phoneme eines Wortes Bezug genommen wird. Phonologisch hat sich aber als ein sehr häufig gebrauchter Begriff durchgesetzt. Die Definitionen der verschiedenen linguistischen Begriffe kann dem Glossar im Anhang entnommen werden.

Aktuelle Modelle vertreten daher Parallelverarbeitungs- oder Netzwerkanahmen (Vgl. dazu PINEL, 1997 und ZIGMOND, BLOOM, LANDIS, ROBERTS UND SQUIRE, 1999).

### 2.1.1.2 Kognitive Modelle

Viele der modernen Modelle über den Leseprozess gehen davon aus, dass normales ungestörtes Lesen auf unterschiedlichen Verarbeitungswegen erfolgen kann. Innerhalb der kognitiven Modelle kann man zwischen Modellen unterscheiden, die Annahmen über zwei funktionell verschiedene Lesewege machen und solchen, die den Leseprozess über einen einzigen Mechanismus erklären.

#### *Dual-Route-Modell*

Gemäß dem Dual-Route-Modell findet Worterkennung über zwei separate aber parallel arbeitende Verarbeitungsprozesse statt. In Abhängigkeit vom Wortmaterial erfolgt der Leseprozess dabei entweder über einen direkten, lexikalischen Weg oder über einen indirekten, nichtlexikalischen Weg (COLTHEART, 1978; PERFETTI, 2000; ZIGMOND et al., 1999; PINEL, 1997). Beim *direkten Weg* wird eine direkte Verbindung zwischen grafischem Input und der Repräsentation, die wir über das spezifische Wort in unserem mentalen Wortschatz oder „mentalen Lexikon“<sup>2</sup> abgespeichert haben, aktiviert. Diese Strecke wird deshalb auch als „*adressiert*“ bezeichnet, da auf diesem Wege die „Adresse“ des Wortes im Lexikon direkt angesteuert und abgerufen wird. Die Flüssigkeit geübten Lesens soll im wesentlichen auf der Effizienz dieser Verarbeitungsstrecke basieren, da die Aussprache eines Wortes direkt über die orthographische Wortform abgerufen werden kann. Von dieser Strecke nimmt man an, dass sie einen semantischen Abrufprozess darstellt, bei dem eine direkte Verbindung zwischen Orthographie und Semantik besteht, ohne Vermittlung über phonologische Rekodierungsprozesse. Wenn überhaupt, wird die Phonologie lediglich postlexikalisch über die semantische Repräsentation mit einbezogen. Auf einem *indirekten, sublexikalischen und Phonologie moduliertem Weg* kommen langsamere, kontrolliert ablaufende Leseprozesse zum Einsatz. Dabei werden die Wörter über sukzessive Graphem-Phonem-Zuordnung (siehe Glossar im Anhang) erlesen. Diese Strecke wird deswegen als phonologische oder „*assemblierte*“ (engl.: to assemble = zusammensetzen) Strecke bezeichnet, da das Wissen um Ausspracheregeln und die Fähigkeit, die Phoneme zu einem Gesamtwortklang zusammenzusetzen, eine wesentliche Rolle spielen.

---

<sup>2</sup> Unter dem Begriff des „mentalen Lexikons“ versteht man eine Art Netzwerk, in dem alle dem Individuum bekannten Wörter abgespeichert sind. Innerhalb dieses Netzwerkes sind zudem weitere Informationen wie der phonologische und orthographische Code der Wörter sowie ihre semantischen Bezüge abgespeichert.

Zu berücksichtigen ist, dass dieses Modell bzw. die Anwendung der beiden Lesestrecken stark vom jeweiligen Sprachraum abhängig sind. Es ist anzunehmen, dass eine orthographisch sehr regelmäßige Sprache wie das Deutsche wahrscheinlich die assemblierte Strecke deutlich mehr nutzen kann, als eine Sprache wie das Englische, in der es häufig sehr inkonsistente Beziehungen zwischen Graphemen und Phonemen gibt. Im Englischen tritt häufig der Fall auf, dass orthographisch ähnliche Wörter keine phonologische Ähnlichkeit aufweisen. Im Englischen ist in den meisten Fällen (zumindest theoretisch) ein direkter Leseweg ausreichend. Generell kann jedes orthographisch-phonologisch reguläre Wort, so es dem Leser bekannt ist, über den adressierten Weg erlesen werden, indem schlicht die „Adresse“ für die spezifische Buchstabenkombination im Lexikon „nachgeschlagen“ wird. Auch für orthographisch-phonologisch unregelmäßige Wörter trifft dies zu, da in diesem Fall die assemblierte Lesestrecke so gut wie nie zum Erfolg führt. Über die konstanten Graphem-Phonem-Konversionsregeln kann kein passender Eintrag gefunden werden, womit der einzige Weg, diese phonologisch unregelmäßigen Wörter korrekt zu erlesen darin besteht, über den direkten Weg die korrekte Aussprache aus dem Lexikon abzurufen.

Diese Problematik gibt es im Deutschen so gut wie nicht. Im Deutschen bestehen fast alle Wörter aus regelhaften Schrift-Klang-Kombinationen. Deutsche Wörter, auch unbekanntes Wortmaterial, können recht einfach erlesen werden, indem Buchstabe für Buchstabe in Phoneme umgewandelt werden, diese Phoneme zusammengefügt werden und dann diese „assemblierte Phonologie“ mit einem passenden Lexikoneintrag verglichen wird.

Der Fall, bei dem im Englischen die assemblierte Strecke zwingend erforderlich ist, ist das Erlesen von Nonwörtern und unbekanntem Wortmaterial. Für solche Wörter existiert kein Lexikoneintrag, der adressiert abgerufen werden könnte. Der assemblierte Weg wird dann genutzt, um über die Generalisierungen von Wissen über bekannte Graphem-Phonem-Kombinationen ein phonologisches Abbild zu schaffen, das vor dem Hintergrund des vorhandenen Wissens die größtmögliche Wahrscheinlichkeit birgt, die korrekte Klangstruktur des Wortes wiederzugeben.

### ***Perfetti-Modell***

Ein weiteres aber neueres kognitives Lesemodell wird von PERFETTI (2000) beschrieben. Für die LRS-Forschung ist es deswegen von Interesse, da innerhalb des einen Modells verschiedene ätiologische Ansätze der LRS erklärt werden können (s. Abschnitt 2.1.1.2). PERFETTI betont dabei, dass noch immer nicht empirisch abgesichert sein, ob die im Modell beschriebenen Prozesse funktionell unabhängig sind oder wie sie miteinander interagieren. Der Übersicht halber habe der Autor die Prozesse jedoch zum Großteil seriell dargestellt. Außerdem betont PERFETTI dabei aus-

drücklich, dass die Konfiguration seines Modells mit Kästen und Pfeilen (teilweise auch bidirektional) keine Aussage über eine kognitive Architektur sein sollen. Auch Annahmen über Feedbackschleifen und Verknüpfungen zwischen den einzelnen Elementen sind spekulativ. Das Modell soll vielmehr einen Überblick darüber geben, welche Informationsquellen und Prozesse vom Leser genutzt werden, um die Schriftsprache zu verarbeiten und zu verstehen.

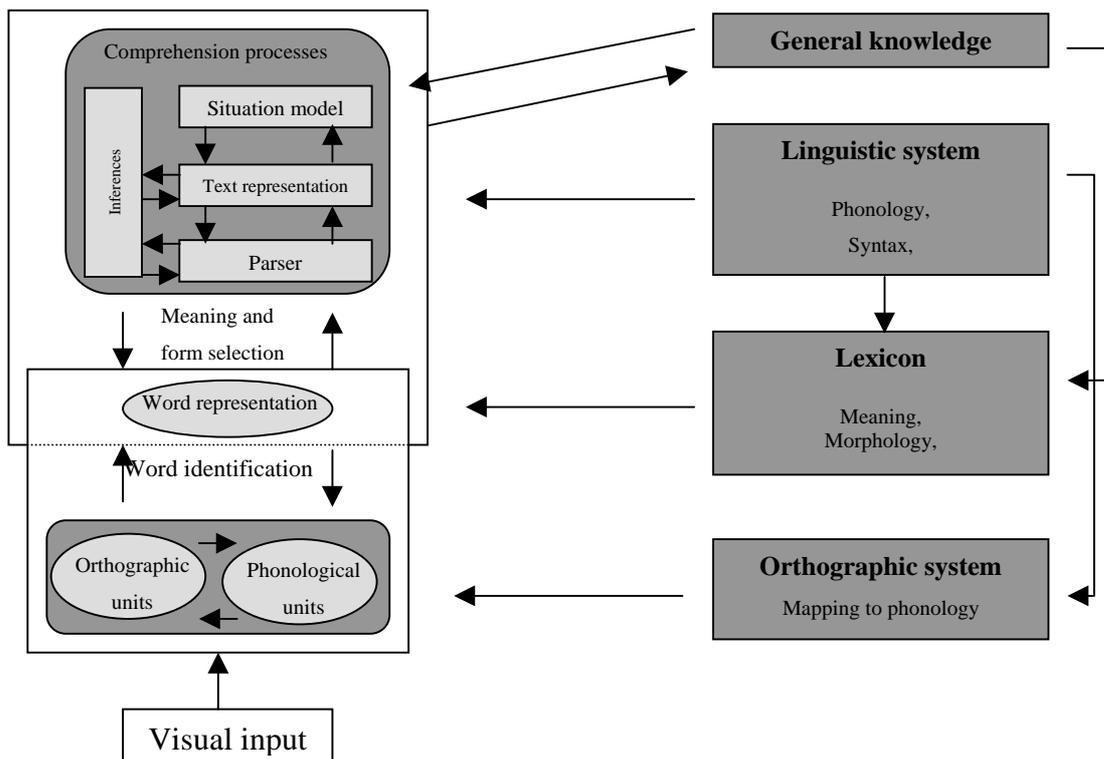


Abb. 1: Modell zum ungestörten Leseprozess nach PERFETTI (2000, in BROWN & HAGOORT)

PERFETTIS Modell beschreibt den Leseprozess insofern, dass die Einheiten des Schreibsystems in mentale Repräsentationen umgewandelt werden. Dies soll über zwei Hauptkomponenten vermittelt werden: zum einen über die *visuelle Worterkennung*, die als Dreh- und Angelpunkte des Leseprozesses beschrieben wird. Dieser Identifikationsprozess läuft dabei über verschiedene Stationen ab. Zunächst wird der visuelle Input (Buchstabenketten) über die basale Wahrnehmung von Linien, Winkeln etc. vermittelt. Das Wissen über die typischen Anordnungen der Linien führt zum Erkennen von Buchstaben. Wenn die Buchstaben identifiziert worden sind, beginnt der eigentliche Leseprozess, indem die einzelnen Buchstaben zu graphemischen (orthographischen) Einheiten gruppiert werden, aus denen Wörter aufgebaut sind. Diese Einheiten werden dann aktiviert. Für den weiteren Verarbeitungsprozess wird das mentale Lexikon genutzt, in dem der Leser mentale Repräsentationen der Wortformen und Wortbedeutungen abgespeichert hat. Ein erfolgreicher Leseprozess kommt dann zustande, wenn der visuelle Input einer Buchstabenkette zur

Aktivierung von einer oder mehreren Wortformen im Lexikon führt, aus denen dann das zum visuellen Input gehörende Wort korrekt identifiziert wird. Begleitend zu diesen Prozessen, die auf der visuellen Wortform basieren, werden phonologische Prozesse aktiv. Phonologische Einheiten werden zu den jeweiligen graphemischen Einheiten aktiviert. Als zweite Hauptkomponente, die den Leseprozess beeinflusst, beschreibt Perfetti die *Prozesse, die die einzelnen Wortrepräsentationen zu Sätzen zusammenfügt* („parsing“), um so zu einem Verständnis des gesamten Textes zu gelangen. Insgesamt basiert der Leseprozess gemäß dem Modell von Perfetti nicht nur auf linguistischen Prozessen. Allgemeine und spezifische Wissensressourcen sind ein wesentlicher Bestandteil, die in den Leseprozess vermittelnd eingreifen.

### ***Konnektionistische Modelle***

Es gibt jedoch auch Lesemodelle, die eine andere konzeptuelle Ansicht über den Leseprozess vertreten, sogenannte *Interaktive oder Konnektionistische Lesemodelle*. Oft werden sie auch als „Parallel Distributed Processing (PDP) Networks“ bezeichnet (PERFETTI, 2000; SNOWLING, 2000; PENNINGTON, 1999; GRIGORENKO, 2001). Der Vorteil dieser Modelle ist, dass sie Erklärungsansätze für Spracherwerb, Sprachproduktion, Gedächtnis- sowie Leseprozesse in einem Ansatz integrieren. Der Leseprozess läuft in diesen Modellen über einen einzigen, automatisierten und phonologisch basierten Verarbeitungsschritt ab (GRIGORENKO, 2001). Nach diesen Modellen sind Wörter nicht als dauerhafte Repräsentation in einem Lexikon abgespeichert, sondern werden über wiederkehrende und häufig auftretende Aktivierungsmuster innerhalb eines Netzwerkes kodiert. Diese Modelle sind als lernfähige Netzwerke zu verstehen. Der Lernprozess des Wortlesens wird dabei über Feedbackprozesse vermittelt. Aufgrund der unterschiedlichen Wortfrequenzen werden dem Lesemodell die verschiedenen Wörter unterschiedlich häufig dargeboten. Bei jeder erneuten Konfrontation mit einem Wort ist das Modell dann besser in der Lage, die korrekte Aussprache abzurufen. Neue Wörter sowie Nonwörter werden über ein und denselben Mechanismus erlesen. Das Modell erlernt die Aussprache eines neuen Wortes, indem ähnlich klingende, bereits bekannte Wörter aktiviert werden und deren Aussprachemuster modifiziert werden.

Zu diesen Modellen zählt das Modell von SEIDENBERG UND MCCLELLAND (1989), das als computerbasiertes Modell entwickelt wurde. Ähnlich wie Kinder ein funktionierendes Lesesystem aufbauen, lernt dieses Sprachprogramm, wie Buchstabenketten Phonemsequenzen zugeordnet werden können. Für jedes Wort wird so ein wortspezifisches Aktivierungsmuster abgelegt. Der zentrale Aspekt dieses Konnektionistischen Modells ist, dass es aus einem „dreischichtigen“ Netzwerk mit einer „input“, „output“ sowie einer „hidden“ Ebene besteht. Auf der input-Ebene

werden Grapheme, auf der output-Ebene Phoneme und in der hidden oder mittleren Ebene die Verknüpfungsregeln zwischen Graphemen und Phonemen gespeichert. Zwischen diesen Graphem- und Phonem-Elementen werden allmählich Verbindungen aufgebaut, so wie Kinder beim Lesenlernen die Zusammenhänge zwischen Buchstabenketten als geschriebenen Input und Phonemsequenzen als gesprochenen Output erlernen. Das Lesenlernen funktioniert also gemäß diesem Modell über einfache assoziative Mechanismen. Je häufiger das Graphem-Phonem-Muster eines Wortes aktiviert wird, desto mehr Gewicht erhalten die Verbindungen (Assoziationen) zwischen den jeweiligen Graphem-Phonem-Einheiten.

Zusammengefasst bedeutet dies, dass das Wissen, das ein Konnektionistisches Modell über die Verknüpfungen zwischen Graphemen und Phonemen erwirbt, durch die Gewichtung dieser Verbindungen abgespeichert wird. Dieses Wissen kann dann zum Erlesen von unbekanntem Wortmaterial herangezogen werden. Laut diesem Lesemodell werden die Input-Muster der geschriebenen Wörter mit den Output-Mustern der gesprochenen Sprache immer enger verknüpft (assoziiert), bis es dem geübten Leser gelingt, diese Assoziationen soweit zu generalisieren, dass auch unbekanntes Wortmaterial erlesen werden kann. Vor diesem Hintergrund kommen Modelle dieses Typs mit nur einem einzigen Leseweg aus.

### 2.1.2 Abschließende Bewertung der verschiedenen Modelle

Früher wie heute gilt für die Lesemodelle, dass ihre Aussagekraft sicherlich begrenzt ist. Die ganze Vielfalt aller dem Lesen inhärenten Prozesse lassen sich damit nicht darstellen, da sie an vielen Stellen die Realität stark vereinfacht wiedergeben. Individuelle Abweichungen oder die Komplexität der realen Prozesse lassen sich damit nicht wirklich abbilden. Diesen Modellen kommt aber ein wichtiger forschungsleitender und forschungsüberprüfender Charakter zu. Man kann die verschiedenen Modelle somit weniger nach ihrer empirischen Korrektheit hin bewerten, da sich die Modelle generell schwer überprüfen lassen. Ihre Bedeutung liegt vielmehr in ihrem heuristischen Wert. Die verschiedenen Modelle stellen Sprachprozesse (insbesondere den Leseprozess) über unterschiedliche Mechanismen und Bestandteile dar. Dabei scheinen die Netzwerkmodelle für neurologische Lesemodelle gewinnbringender zu sein, da hier besser Überlegungen zu neuronalen Netzwerken abgeleitet werden können. Allgemein gilt jedoch aufgrund der ungenügenden Datenbasis, dass weder das eine noch das andere Modell favorisiert werden kann. Die Modelle müssen sicherlich noch an mehreren Stellen „fein abgestimmt“ werden, um ihre Fähigkeit zur Erklärung von Sprachprozessen zu verbessern.

### 2.1.3 Die Rolle der Phonologie beim Lesen

Die meisten psycholinguistischen Modelle unterscheiden zwischen mindestens drei Prozessen, die beim Lesen von normalen Wörtern aktiviert werden: orthographische, phonologische und semantische Prozesse der Wortverarbeitung (NIZNIKIEWICZ & SQUIRES, 1996; KHATEB et al., 1999). Generell herrscht jedoch noch keine Einigkeit darüber, in welcher zeitlichen Abfolge die Prozesse auftreten, ob sie voneinander unabhängig sind oder miteinander interagieren. Vor allem herrscht noch keine Einigkeit darüber, ob die Phonologie prälexikalisch oder postlexikalisch re-kodiert wird.

Man kann dabei zwischen zwei theoretischen Ansätzen differenzieren:

1. Phonologie fungiert als Mediator zwischen Orthographie und Semantik und ist somit ein essentieller Bestandteil *jedes* Lesevorganges, ohne deren Vermittlung die Verbindung zwischen orthographischem Abbild und Semantik nicht hergestellt werden kann. Dies wird auch als „*Mediatorhypothese*“ bezeichnet (NIZNIKIEWICZ & SQUIRES, 1996).

2. Oder: Phonologie ist kein notwendiger Bestandteil des Leseprozesses. Es gibt einen direkten Weg von dem orthographischen Abbild eines Wortes zu seinem lexikalischen Eintrag im mentalen Lexikon, um die Wortbedeutung abzurufen. Phonologie wird nur selektiv und wahrscheinlich „postlexikalisch“ eingesetzt. Wenn nötig, wird die Phonologie erst zu einem späteren Zeitpunkt integriert. Dies wird auch als „*Delayed-Phonology-Hypothese*“ bezeichnet (SEIDENBERG, 1985).

Im *Dual-Route-Modell* tritt Phonologie streng genommen nur innerhalb der assemblierten Strecke auf. In diesem Sinne wäre Phonologie ein optionaler Bestandteil bei der Worterkennung. Das Dual-Route-Modell nimmt vor allem für geübte Leser diese postlexikalische Funktion der Phonologie an. So konnte gezeigt werden, dass Kinder umso weniger auf phonologische und dafür mehr auf orthographische Information zurückgreifen, je geübter sie im Lesen werden (NIZNIKIEWICZ & SQUIRES, 1996). Bei den *Konnectionistischen Modellen* besteht die Annahme, dass Phonologie permanent am Leseprozess beteiligt ist, immer dann, wenn die Verbindungen zwischen grafischem Input und phonologischen Einheiten aktiviert werden. Das *PERFETTI-Modell* löst diese Problematik, in dem es beide Verarbeitungsmöglichkeiten integriert. Sowohl ist es möglich, dass ein Wort direkt im Lexikon identifiziert wird, nur über seine graphemische Repräsentation. Genauso kann auch die Phonologie als Mediator eingesetzt werden, indem die graphemischen Einheiten in phonologische Einheiten gewandelt werden, über die dann im Lexikon die semantische Bedeutung abgerufen werden kann. Semantische Prozesse können gemäß diesem Modell zu einem sehr frühen Zeitpunkt aktiv werden und wechselseitig phonologische und graphemische Prozesse beeinflussen. Die empirische Überprüfung beider Ansätze (*Delayed-*

*Phonology- vs. Mediatorhypothese*) hat bislang jedoch noch kein einheitliches Bild hinsichtlich der Rolle der Phonologie erbracht.

#### **2.1.4 Phonologische Bewusstheit als zentrale Voraussetzung für den Schriftspracherwerb**

Von besonderem Interesse ist in der Sprachforschung, ob und wie weit sich auf den verschiedenen Prozessebenen Fertigkeiten ansiedeln, die als Voraussetzungen für den ungestörten Schriftspracherwerb zu werten sind. Die Frage dabei ist, *wie* Kinder Lesen lernen bzw. welche Fähigkeiten sie wie integrieren müssen, um zu ungestörten Lese- und Rechtschreibfähigkeiten zu gelangen. Recht große Einigkeit herrscht bereits darüber, dass metasprachliche Fähigkeiten (also ein Sprachbewusstsein) gerade auf der phonologischen Ebene einen entscheidenden Einfluss auf die ungestörte Lese- und Schreibentwicklung nehmen (LÖFFLER, 2000). Dieses *phonologische Bewusstsein oder phonologische Bewusstheit* bezeichnet danach die Fähigkeit, die lautlichen Strukturen von Sprache und Schrift zu erkennen (also das Bewusstsein zu haben, dass alle Wörter aus Phonemen aufgebaut sind) und mit der lautlichen Sprache zu operieren (SCHULTE-KÖRNE, 1999, S. 14). Hierbei ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Phonologische Bewusstheit ein Überbegriff für verschiedene lautanalytische Prozesse (Reimen, Lautanalysen etc.) ist. Die Operationalisierung der phonologischen Bewusstheit erfolgt in der Literatur meist über die Manipulation von verschiedenen Sprach- bzw. Lauteinheiten.

Die Befundlage zu der Frage, inwieweit die phonologische Bewusstheit einen Prädiktor für die späteren Lese-Rechtschreibleistungen darstellt, variiert. Die Studien untersuchen meist den Zusammenhang von Beübung der phonologischen Bewusstheit *vor* dem eigentlichen Schriftspracherwerb und späteren Lese- und Rechtschreibleistungen. 1988 konnten LUNDBERG, FROST UND PETERSEN eindrucksvoll die Auswirkung der Beübung der phonologischen Bewusstheit demonstrieren: die Trainingsgruppe war der Kontrollgruppe zu jeder Zeit der follow-up-Untersuchungen signifikant in ihren Lese- und Rechtschreibleistungen überlegen. Die Autoren sehen die phonologische Bewusstheit aufgrund ihrer Studienergebnisse als einen wesentlichen Prädiktor für die späteren Lese- und Rechtschreibleistungen an. SCHNEIDER, KÜSPERT, ROTH, VISÉ UND MARX (1997) führten ebenfalls im Kindergarten ein Trainingsprogramm durch. Sie betonen vor allem den Einfluss von Übungen zur Phonemanalyse und -synthese auf eine positive Entwicklung der Lese- und Rechtschreibfähigkeit. MARX, JANSEN, MANNHAUPT UND SKOWRONEK (1993) beschreiben in ihrer Bielefelder Längsschnittstudie, dass Kinder ohne Schriftspracherfahrungen bereits über ein basales phonologisches Bewusstsein verfügen (Reim-

fähigkeit, Silbensegmentation). Die Autoren schließen aber aus ihren Befunden, dass das phonologische Bewusstsein auch in einem interaktiven Prozess vom Erwerb der Schriftsprache profitiert und sich dadurch verbessert. Für eine detailliertere Diskussion über die Phonologische Bewusstheit sei auf LÖFFLER (2000) sowie SCHULTE-KÖRNE (1999) verwiesen.

Die zentrale Rolle der phonologischen Bewusstheit für den Prozess des Lesenlernens spiegelt sich auch in Prozessmodellen zum Schriftspracherwerb wider. FRITH (1985) beschreibt den Erwerb der Schriftsprache im Rahmen eines Stufenprozesses: laut FRITH stellt die erste Phase des Schriftspracherwerbs das Erkennen bzw. Erlesen ganzer Wörter dar. In dieser *logographischen* Phase werden Wörter aufgrund ihrer herausragenden optischen Merkmale erlesen (einzelne Wörter, die als symbolische ganze Einheit abgespeichert sind, können verschriftet werden). Dieser Phase folgt die sogenannte *alphabetische* Phase, auf der die Graphem-Phonem-Korrespondenzregel erworben wird. Durch das Erlernen von festen Zuordnungsregeln von Bild zum Klang ist es dem ungeübten Leser erstmals möglich, unbekanntes Wortmaterial zu erlesen. Wenn sich diese Zuordnungsregeln gefestigt haben, findet ein Übergang zur *orthographischen* Phase statt, auf deren Ebene Rechtschreibregeln verinnerlicht werden.

Der zentrale Mechanismus der phonologischen Bewusstheit für den Schriftspracherwerb dürfte vor dem dargestellten Hintergrund darin liegen, dass es *die* Fähigkeit ist, die den Erwerb der Graphem-Phonem-Korrespondenzregel wesentlich beeinflussen dürfte. Dieses Regelwissen erlaubt einem ungeübten Leser das Erlesen von unbekanntem Wortmaterial und ist deswegen ein zentrales Konstrukt für den Aufbau des mentalen Lexikons. Kommt es auf dieser Ebene zu Störungen, sind Störungen des Schriftspracherwerbs sehr wahrscheinlich. Zusammenfassend kann man aus den dargestellten Befunden schließen, dass die phonologische Bewusstheit zum einen Voraussetzung für das Lesenlernen ist, und im Zuge des Lesenlernens die phonologische Bewusstheit weiter entwickelt wird. Innerhalb der phonologischen Bewusstheit scheinen es dabei vor allem die lautanalytischen Fähigkeiten zu sein, die den Schriftspracherwerb deutlich beeinflussen (SCHULTE-KÖRNE, 1999).

## 2.2 Die Lese-Rechtschreibstörung

Problematisch bei der Lese-Rechtschreibstörung ist, dass sie definitorisch nur sehr schwer durch ein einheitliches Konzept beschrieben werden kann. Die verschiedenen Berufsgruppen betonen unterschiedliche Schwerpunkte und versuchen das Störungsbild innerhalb ihres Erklärungsansatzes zu erfassen (medizinischer vs. pädagogischer und linguistischer Ansatz).

Vor diesem Hintergrund orientiert sich der Aufbau des Überblickes über die LRS an dem Modell von FRITH (1997). FRITH versucht mit ihrem Modell einen Ansatz zu schaffen, bei dem die LRS als ein Störungsbild verstanden wird, das eine Beschreibung auf mehreren Stufen erfordert. Laut FRITH muss man die LRS vor dem Hintergrund von kausalen Zusammenhängen zwischen Gehirn über Kognitionen zur Verhaltensebene verstehen.

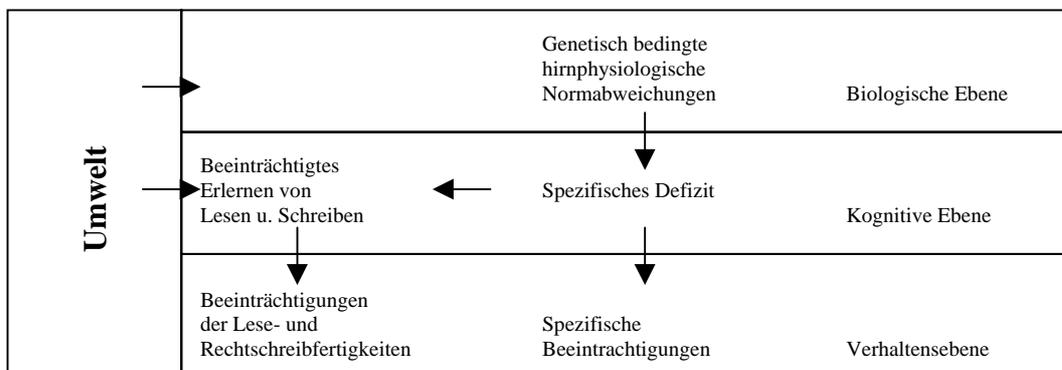


Abb. 2: Mehr-Ebenen-Ursachenmodell der LRS nach FRITH (1997, in HULME & SNOWLING)

### 2.2.1 Verhaltensebene: verschiedene Definitionsansätze der LRS

Generell besteht nach wie vor Uneinigkeit darüber, wie die LRS definitorisch zu erfassen ist. Der größte Streitpunkt besteht dabei darin, ob die LRS in Abhängigkeit von der kognitiven Leistungsfähigkeit definiert werden kann. Das Vorgehen, die LRS über die absolute Diskrepanz zwischen kognitiver Leistung und Lese-Rechtschreibleistungen zu definieren, ist wiederholt auf Kritik gestoßen. Laut Aussage der Kritiker läuft man durch diesen Definitionsansatz Gefahr, nicht nur die Personen mit einer „echten“ LRS zu erfassen, sondern auch Personen, mit eher undifferenzierten Lese-Rechtschreibschwierigkeiten. Um zwischen Personen mit einer „echten“ LRS und der auf Neudeutsch genannten „Garden Variety“ von unspezifischen Lese-Rechtschreibschwierigkeiten differenzieren zu können, wurden regressionsanalytische Definitionsansätze eingeführt. Auf der Basis des Alters und des IQs wird über regressive Ansätze ein theoretisches Lesealter bestimmt. In dem Fall, dass die tatsächlich (in Lesetests) erbrachte Leseleistung unterhalb dieses Erwar-

tungswertes liegt, handelt es sich laut diesen Ansätzen um eine „echte“ LRS. SNOWLING (2000) verdeutlicht dieses Problem graphisch.

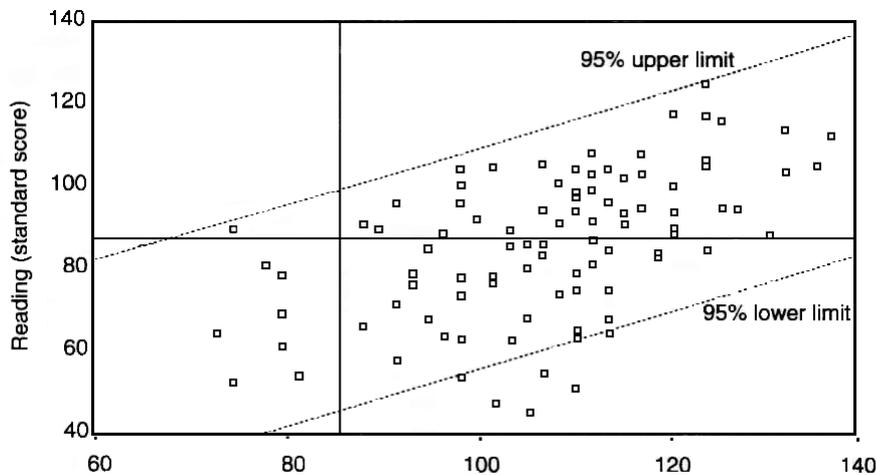


Abb. 3: Verteilung der Lesefertigkeiten in Abhängigkeit vom IQ nach SNOWLING (2000)

Gemäß dieser Abbildung haben *die* Kinder ein *spezifisches Leseproblem*, deren Leseleistungen unterhalb der unteren Diagonalen zu liegen kommen. Kinder, die eher *undifferenzierte Lesestörungen* aufweisen, liegen in dieser Grafik zwar zwischen den beiden Diagonalen, aber unter der horizontalen Linie, die den Cut-off-Wert für eine Standardabweichung angibt sowie links von der vertikalen Linie, die die Grenze zur Normalbegabung angibt.

Hinsichtlich dieser Fragestellung untersuchten SHAYWITZ, FLETCHER, HOLAHAN UND SHAYWITZ (1992), ob die Differenzierung zwischen spezifischen und allgemeinen Lesestörungen gerechtfertigt ist. Sie untersuchten, worin sich die Kinder mit spezifischen von Kindern mit allgemeinen Lesestörungen unterscheiden. Keine der Variablen wie motorische Entwicklung, Händigkeit, Sprachfähigkeiten oder visuelle Wahrnehmung zeigten entscheidende Unterschiede auf. Der einzige Punkt, in dem sich die Gruppen verlässlich unterschieden war der IQ. Diese Unterscheidung ist jedoch insofern zirkulär, da gerade diese Variable als Gruppenkriterium genutzt worden war.

Neben dieser Studie gibt es noch andere, die die Abhängigkeit der Lese-Rechtschreibstörung von der Intelligenz in Frage stellen: FLETCHER et al. (1994) und STANOVICH (1988). Die Forderung, die aus diesen Studien abgeleitet werden kann, ist die, die LRS mehr über ätiologische Aspekte, wie einem Defizit der phonologischen Bewusstheit, zu definieren. Ein solcher Definitionsansatz wurde von der International Dyslexia Association (1994) erstellt (zitiert nach SNOWLING, 2000, S. 24-25):

„Dyslexia is one of several distinct learning disabilities. It is a specific language-based disorder of constitutional origin characterised by difficulties in single word decoding, usually reflecting insufficient phonological processing abilities. These difficulties in single-word decoding are often unex-

pected in relation to age or other cognitive abilities; they are not the result of generalised developmental disability or sensory impairment. Dyslexia is manifested by a variable difficulty with different forms of language, including, in addition to a problem with reading, a conspicuous problem with acquiring proficiency in writing and spelling.“

Diese Form der Definition hat den Vorteil, dass ätiologische Aspekte (phonologische Defizite) betont werden und dass das Leseproblem an *Dekodierfähigkeiten* und nicht am generellen Leseverständnis festgemacht wird. Zudem wird zusätzlich zum Lesen auch die Schreibproblematik betont. Nachteilig ist dennoch immer noch, dass die Formulierung an sich sehr schwammig ist und für die klinische Praxis schwer in konkret zu untersuchende Kriterien umgesetzt werden kann.

Obwohl gerade beschrieben wurde, dass viel Kritik an den verschiedenen Definitionsansätzen geübt wurde und wird, wird die LRS in den meisten empirischen Studien dennoch über eine Form von Diskrepanzkriterium definiert. In der Regel wird bei solche Versuchspersonen eine LRS diagnostiziert, die eine durchschnittliche Intelligenz ( $IQ > 85$ ) sowie eine unterdurchschnittliche Leseleistung (kleiner als das 25. Perzentil im Altersvergleich in den Normen des Lesetests) aufweisen. Trotz der oben beschriebenen Kritik, dass man hinsichtlich der Leseschwierigkeiten eigentlich nicht zwischen Personen mit LRS und schlechten Lesern mit niedrigem IQ unterscheiden kann, macht es Sinn, in wissenschaftliche Untersuchungen nur normalbegabte Versuchspersonen aufzunehmen. Damit beugt man vor, dass andere Leistungsparameter, die im Rahmen der Studie untersucht werden, durch unterschiedliche kognitive Leistungsfähigkeiten konfundiert werden. Das gängige diagnostische Vorgehen umfasst in den meisten Studien eine nonverbale Leistungsdiagnostik. Des weiteren werden Lese-Rechtschreibtests zur Einschätzung des Lese- und Rechtschreibniveaus eingesetzt. Eine umfassende Diagnostik sollte zudem auch eine ärztliche Untersuchung mit einschließen, um Sinnesbehinderungen oder neurologische Erkrankungen abzuklären und auszuschließen. Eine ausführliche Anamnese (Eigen- und Familienanamnese) dient dazu, das Ausmaß der Beeinträchtigung besser einschätzen zu können. Viele der aktuellen LRS-Studien stützen sich auf Diagnose- und Klassifikationssysteme wie das ICD-10 (DILLING, MOMBOUR, SCHMIDT UND SCHULTE-MARKWORT, 1993) und das DSM-IV (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 1993), die die Störung folgendermaßen beschreiben:

Beide Manuale fordern, dass eine klinisch eindeutige Beeinträchtigung spezieller schulischer Fertigkeiten vorliegen muss (ICD-10) bzw. dass die Störung deutlich die schulischen Leistungen oder Aktivitäten des alltäglichen Lebens, bei denen störungsspezifische Leistungen erforderlich sind, behindert (DSM-IV, Diagnostisches Kriterium B). Sowohl ICD-10 als auch DSM-IV fordern, dass die Störung nicht einfach Folge eines Mangels an Gelegenheit zu lernen ist, und nicht

durch eine erworbene Hirnschädigung oder Krankheit verursacht wird. Sie ist nicht direkte Folge anderer Krankheiten (wie Intelligenzminderung, grobe neurologische Defizite, unkorrigierte Seh- oder Hörstörung oder emotionale Störungen), aber sie kann zusammen mit diesen auftreten. Im DSM-IV wird das zusätzliche Vorliegen sensorischer Defizite dahingehend spezifiziert, dass die Schwierigkeiten beim zusätzlichen Bestehen von sensorischen Defiziten größer sein müssen, als die, die gewöhnlich mit diesem Defizit verbunden sind (DSM-IV, Diagnostisches Kriterium C). Im Gegensatz zum DSM-IV formuliert das ICD-10 als zwingend erforderliches Kriterium, dass der normale Erwerb von Lese-Rechtschreibfertigkeiten von Anfang an beeinträchtigt ist. Beide Manuale gehen davon aus, dass die Störung bzw. Teile davon bis ins Erwachsenenalter hinein weiterbestehen können. Die Operationalisierung der Störung machen beide Manuale an Abweichungen zum standardisiert erfassten IQ fest. Das ICD-10 fordert in seinen Forschungsleitlinien (DILLING, MOMBOUR, SCHMIDT UND SCHULTE-MARKWORT, 2000) dabei explizit, dass die Lese- oder Rechtschreibfertigkeit mindestens zwei Standardabweichungen unterhalb des Niveaus liegt, das aufgrund des chronologischen Alters und der allgemeinen Intelligenz zu erwarten wäre. Das DSM-IV ist hier vager. Die Formulierung lautet: dass „die Leistungen ... wesentlich unter den Leistungen liegen, die aufgrund der Altersstufe, der Schulbildung und des Intelligenzniveaus zu erwarten wäre.“ (DSM-IV, S. 81). Dabei bleibt es gemäß dem DSM-IV dem Diagnostiker überlassen, anhand welcher statistischer Verfahren das Urteil einer statistisch signifikanten Abweichung getroffen wird. Die Einteilung des Störungsbildes hinsichtlich einer Lese- und/oder Lese-Rechtschreibstörung unterscheidet sich in den beiden Manualen nur minimal. Das DSM-IV vergibt zwar getrennte Diagnosen für die Lese- bzw. Rechtschreibstörung, fordert aber explizit dazu auf, beim gleichzeitigen Bestehen von Lese-Rechtschreibproblemen beide Diagnosen zu vergeben. Das ICD-10 definiert im Vergleich dazu eine kombinierte Lese-Rechtschreibstörung, deren diagnostischer Schwerpunkt auf der Lesestörung liegt. Für den Fall, dass alleinig Rechtschreibprobleme bestehen, sieht das ICD-10 die Kodierung einer isolierten Rechtschreibstörung vor.

Die Prävalenzrate der LRS schwankt zwischen den einzelnen Literaturquellen, da sie von folgenden Punkten abhängig ist: Sprachraum, Definitionskriterium (Cut-off-Wert, der als Indikator für die LRS genommen wird), Ort der Untersuchung (ländlich vs. städtisch), testdiagnostischen Verfahren (Problem der unterschiedlichen Normen), Verlauf über das Alter (SHAYWITZ et al., 1992: je nachdem, in welcher Klasse die LRS diagnostiziert wurde, variierte die Prävalenzrate). Im deutschen Sprachraum kann man von einer Prävalenz von ca. 5% ausgehen (GRIGORENKO, 2001). Zur ausführlichen Beschreibung des klinischen Bildes mit Lese- und Rechtschreibverhalten sei auf REMSCHMIDT (2000) und HABIB (2000) verwiesen.

### 2.2.2 Kognitive Ebene: das phonologische Defizit als Ursachenmodell der LRS

Das von PERFETTI (2000) beschriebene Modell zum ungestörten Leseprozess kann zur Erklärung herangezogen werden, dass Störungen auf mehreren Ebenen zu Beeinträchtigungen des Leseprozesses führen können:

- Probleme bei der Verarbeitung des visuellen Inputs
- Beeinträchtigung lexikalischer Prozesse durch einen sehr geringen Wortschatz oder Probleme beim Auffinden der Wortbedeutungen
- Beeinträchtigung phonologischer Verarbeitungsschritte, wodurch die Worterkennung und das Wortgedächtnis beeinträchtigt sein könnte
- Auf der Verständnisebene könnten Probleme bei der syntaktischen Verarbeitung auftreten, das Textverständnis könnte durch unzureichendes konzeptuelles Wissen beeinträchtigt sein
- Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses könnte zu gering sein

All diese Probleme würden dazu führen, dass der Leser den zu lesenden Text nicht ausreichend abbilden kann. Zwischen dieser Vielzahl von Erklärungsansätzen für die LRS herrscht noch immer kein Konsens darüber, was als Hauptursache der LRS angesehen wird (LÖFFLER, 2000). Sie reichen von einer Störung in der Körperwahrnehmung, über Defizite bei den sensomotorischen Voraussetzungen des Schriftspracherwerbs bis hin zu sehr basalen kognitiven Verarbeitungsdefiziten bei der Wahrnehmung und Verarbeitung von visuellen und akustischen Reizen. Die meisten gehen aber von einer sprachspezifischen Problematik bzw. unzureichenden sprachlichen Voraussetzungen aus. Dabei ist es der kognitive Ansatz eines zugrundeliegenden phonologischen Defizits, der die meisten Befürworter zu haben scheint (SNOWLING, 2000; HABIB, 2000; KOSSOW, 1991; STANOVICH, 1998; GRIGORENKO, 2001; FRITH, 1998; PENNINGTON, 1999; ROTH, 2002).

Das Defizit besteht in der mangelnden Fähigkeit, die Klangbestandteile der gesprochenen Sprache auf einer abstrakten Ebene zu manipulieren, also einem Defizit der phonologischen Bewusstheit. Da Kinder mit LRS oft nicht in der Lage sind, Wörter in kleinere Einheiten wie Silben oder Phoneme zu zerlegen oder Probanden mit LRS Schwierigkeiten bei der Verarbeitung von sich akustisch nur wenig unterscheidenden Phonemen haben, besteht die Annahme, dass das Defizit bereits auf Phonem-Ebene angesiedelt ist (HABIB, 2000). Folge dieses Defizits ist, dass die für das Lesenlernen essentiellen phonologischen Fähigkeiten wie das Erkennen der phonetischen Struktur von Wörtern nicht zur Verfügung stehen. Im klinischen Eindruck kann sich das phonologische Defizit auf mehreren Ebenen äußern (SNOWLING, 2001): Beeinträchtigungen des verbalen Kurzzeitgedächtnisses, Benennen und Wiederholen von Nonwörtern, „word retrieval“ und „rapid naming“.

Die Befundlage deutet auf folgenden Zusammenhang hin: Kinder, die mit einem verringerten phonologischen Bewusstsein den Schriftspracherwerb antreten, lernen dadurch schlechter Lesen und Schreiben. Im Gegenzug hat dann auch die Phonologische Bewusstheit keine Chance, sich zu verbessern und auszureifen. SCHULTE-KÖRNE (1999) untersuchte den Zusammenhang zwischen phonologischer Bewusstheit (phonologisches Dekodieren von Nonwörtern) und der Rechtschreibfähigkeit. Es zeigte sich, dass diese Fähigkeit in engem korrelativen Zusammenhang mit den Leistungen im Rechtschreiben und Lesen steht. Die Schlussfolgerung des Autors geht dahin, dass Personen mit LRS ein deutliches und offensichtlich entwicklungsstabiles (diese Schwierigkeiten sind auch noch im Erwachsenenalter zu verzeichnen) Defizit im Bereich der phonologischen Bewusstheit aufweisen.

FRITH (1997) stellt in einem phonologischen Defizitmodell den Zusammenhang der drei unterschiedlichen Ebenen dar. Durch Normabweichungen auf der biologischen Ebene kommt es zur Ausprägung des phonologischen Defizits auf der kognitiven Ebene, das sich auf der Verhaltensebene in verschiedenen Defiziten äußern kann (Defizit beim Lesenlernen, schlechte Leistungen bei Aufgaben zur Erfassung der phonologischen Bewusstheit, Langsame Benennungsraten, Beeinträchtigungen des verbalen Kurzzeitgedächtnisses).

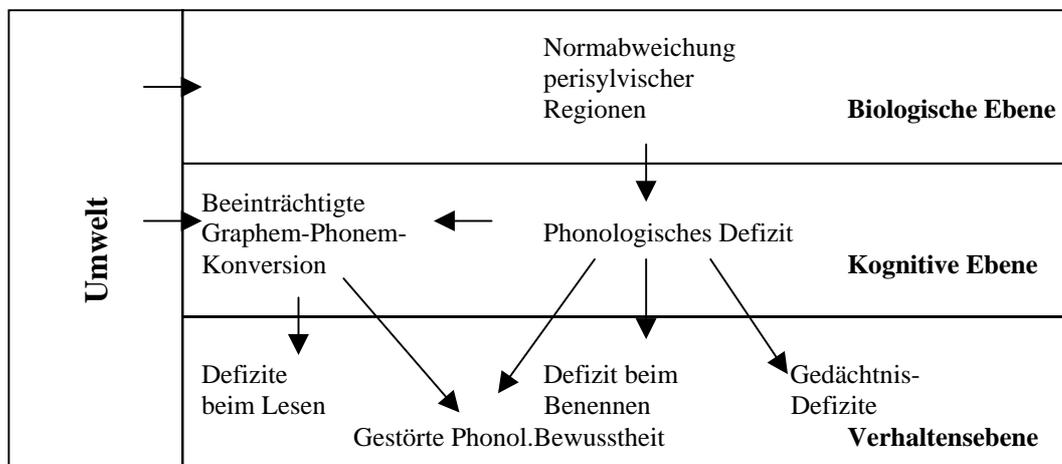


Abb. 4: Auswirkungen des phonologischen Defizits auf mehreren Ebenen (nach FRITH, 1997, in HULME & SNOWLING)

Die Annahme, dass das phonologische Defizit eine der Hauptursachen der LRS sein könnte, hat sich hinsichtlich folgender Punkte bestätigt:

- Phonologische Schwächen bestehen bereits vor dem Leseerwerb (SNOWLING, 2001; GALLAGHER, 2000). Früh entdeckte Defizite auf der Ebene der phonologischen Bewusstheit stehen in engem Zusammenhang mit späteren Probleme beim Lesen und Schreiben.

- Studien belegen die Unabhängigkeit der LRS von der allgemeinen Intelligenz (SHAYWITZ et al., 1992; ROTH, 2002).
- Die phonologischen Defizite persistieren über die Zeit (PAULESU et al., 1997; SCHULTE-KÖRNE, 1999; SHAYWITZ et al., 1998). Diese Studien belegen einheitlich, dass auch im Erwachsenenalter das phonologische Rekodierungsproblem weiter zu beobachten ist.
- Phonologische Defizite sollten universell, unabhängig von der Sprache auftreten (WIMMER, 1996; FRITH, 1998; LANDERL, WIMMER UND FRITH, 1997; GRIGORENKO, 2001). GRIGORENKO (2001) fasst die Befundlage der LRS-Studien in verschiedenen Sprachräumen derart zusammen, dass es einen in vielen Sprachen gleich wirkenden Mechanismus zu geben scheint, der ursächlich für die Leseschwierigkeiten beschrieben werden kann. Er soll auf der Ebene der metalinguistischen Fähigkeiten liegen (Wörter in Klänge zerlegen, Phoneme mit Graphemen verbinden, Automatisierung dieser Fertigkeiten). Das Erscheinungsbild der Leseprobleme variiere jedoch dahingehend, welche phonologischen Fähigkeiten im jeweiligen Sprachraum erforderlich sind.
- empirische Studien beschreiben die neuronale Basis phonologischer Leistungsdefizite innerhalb der sprachverarbeitenden Areale im Gehirn (PAULESU et al., 1997; SHAYWITZ et al., 1998; TEMPLE et al., 2000).

### **2.2.2.1 Phonologisches Defizit eingeordnet in die Lesemodelle**

#### ***Dual-Route-Modell***

Aus der Sicht des Dual-Route-Modells wirkt sich ein phonologisches Defizit vor allem auf dem indirekten Leseweg aus (WIMMER, 1996). Die Hauptannahme der phonologischen Defizithypothese ist, dass durch das phonologische Defizit das Erlernen der Graphem-Phonem-Korrespondenzregel beeinträchtigt ist. Diese Beeinträchtigung wirkt sich dann aus, wenn beim Erlesen unbekanntem Wortmaterials die Grapheme eines Wortes gemäß der assemblierten Lesestrecke in die jeweiligen Phoneme übersetzt werden müssen. Durch die Störung der assemblierten Lesestrecke treten somit u.a. immense Schwierigkeiten beim korrekten Erlesen von unbekanntem Wortmaterial auf. Somit wäre aus Sicht des Dual-Route-Lesemodells vor allem eine Störung beim Erlesen von unbekanntem Wortmaterial ein Hinweis dafür, dass phonologische Defizite vorliegen. Befunde von WIMMER (1996) belegen, dass die Klärung dieser Frage immer berücksichtigen muss, in welchem Sprachraum dieses Phänomen untersucht wird. Vor dem Hintergrund, dass sich die deutsche und die englische Sprache hinsichtlich ihrer Stringenz bei der Graphem-Phonem-Zuordnung unterscheiden, ist die Frage, ob ein Nonwortlese-Defizit bei der LRS im deutschen Sprachraum genauso aussagekräftig ist, bzw. genauso beobachtet werden

kann. Zwar ist es so, dass deutschsprachige Kinder (4. Klässler) im Vergleich zu englischsprachigen Kindern weit weniger Fehler beim Nonwortlesen machen [englischer Sprachraum: 40-60% Fehler, deutscher Sprachraum je nach Alter: 17 (1. Klasse), 8 oder 0% Fehler (4. Klasse)], dennoch weisen die deutschsprachigen Kinder im Vergleich zu Kontrollkindern signifikant schlechtere Leistungen vor allem hinsichtlich des Lesetempos auf. Es wird deswegen angenommen, dass in beiden Sprachräumen ein phonologisches Defizit vorliegt, dass sich dieses aber aufgrund der unterschiedlichen Graphem-Phonem-Stringenz unterschiedlich äußert (die englischen Kinder machen mehr Fehler, die deutschen Kinder machen weniger Fehler, brauchen dafür aber mehr Zeit). Es scheint so zu sein, dass die deutschsprachigen Kinder mit LRS es durch die Graphem-Phonem-Stringenz leichter haben diese Konversionsregeln zu erlernen, jedoch (obwohl sie die Konversionsregeln relativ gut beherrschen) dennoch mehr Fehler machen und langsamer lesen als ihre Kontrollgruppe.

Vor dem Hintergrund des Lesemodells bedeutet dies, dass die deutschsprachigen Kinder weniger Probleme (aber dennoch immer noch Probleme im Vergleich zu deutschen Kontrollkindern) auf der Ebene des indirekten Leseweges haben als die englischsprachigen Kinder. Diese Unterschiede zwischen dem deutschen und dem englischen Sprachraum bestätigen auch FRITH (1998) und LANDERL et al. (1997). Deutsche Kinder mit LRS erzielen generell bessere Leseleistungen als englischsprachige Kinder mit LRS, dennoch findet sich in beiden Sprachräumen ein phonologisches Defizit. GRIGORENKO (2001, S. 96) bestätigt diese Annahme. PENNINGTON (1999) zweifelt hingegen an, dass das Dual-Route-Modell überhaupt geeignet ist, um als Erklärungsmodell für die LRS zu dienen. Seines Erachtens nach werden phonologische Prozesse zu jeder Zeit in den Leseprozess integriert. Er zweifelt die Existenz des direkten Weges an. Eine Sichtweise, wie sie auch bei den Konnektionistischen Lesemodellen vertreten wird.

### ***Konnektionistisches Modell***

Aus der Sicht von den Entwicklungsmodellen (FRITH, 1985, vgl. Abschnitt 2.1.4) basiert das Problem der Personen mit LRS darauf, dass sie aufgrund ihrer eingeschränkten phonologischen Fähigkeiten nicht in der Lage sind, die Graphem-Phonem-Korrespondenzregel zu erlernen. Sie sind nicht in der Lage, diese abstrakten Beziehungen abzubilden und auf unbekanntes Wortmaterial zu generalisieren (SNOWLING, 2000). Aus der Sicht der Konnektionistischen Modelle lässt sich vor diesem Hintergrund die LRS wie folgt erklären. Kinder, die über gut ausgereifte phonologische Repräsentationen verfügen, können ein großes Netzwerk aus Verbindungen zwischen Graphemen und Phonemen aufbauen und somit unbekanntes Wortmaterial über Generalisierung der im Netzwerk abgespeicherten Assoziationen erlesen. Kinder mit LRS hingegen, die Probleme

auf der Ebene dieser phonologischen Repräsentationen haben, treten den Schriftspracherwerb bereits mit unzureichend ausgeprägten Assoziationsnetzwerken an, demzufolge sie nicht den „sich selbst lehrenden“ Generalisierungsmechanismus entwickeln können, der ihre evidenten Schwierigkeiten bei der Dekodierung von nie zuvor gelesenen Wortmaterial überbrücken könnte. Ein verblüffender Befund hinsichtlich dieser These lieferte unfreiwillig die Entwicklung des Sprachmodells von SEIDENBERG UND MCCLELLAND (1989): das erste Modell, das von den Autoren entwickelt wurde, war zwar in der Lage, normale Wörter recht gut zu erlesen, beim Erlesen von unbekanntem Wortmaterial, wie z.B. Nonwörtern, erreichte es jedoch nur eine Trefferquote von 70-75 %. Im Grunde hat diese Modell also unbeabsichtigt das Erscheinungsbild der LRS wiedergegeben: relativ gute Fähigkeiten beim Erlesen von bekanntem Wortmaterial aber große Schwierigkeiten bei unbekanntem Wortmaterial. Dieses Modell wurde folgendermaßen weiterentwickelt. Das Repräsentationsschema des alten Modells kodierte Grapheme und Phoneme in Dreiereinheiten. Beispiel: das Modell erlernt das Phonem /p/ in *pat*, konnte aber sein Wissen durch die Art der Abspeicherung nicht nutzen, um das /p/ in *cap* zu erlesen. Die Aussprache dieses /p/s musste es komplett neu erlernen. Das neue Modell hingegen repräsentiert jedes Graphem und Phonem einzeln, und kann so neue Wörter ohne Probleme erlesen. Im Prinzip hat man hier ungewollt im Sprachmodell das Basisproblem der LRS nachgebaut. Vor dem Hintergrund des Konnektionistischen Lesemodells kommt die LRS also dadurch zustande, dass durch das phonologische Defizit Schwierigkeiten dabei auftreten, die Verbindungen zwischen den orthographischen und den phonologischen Repräsentanten aufzubauen. Aufgrund der fehlenden Schrift-Laut-Assoziationen kann dadurch kein Generalisierungsmechanismus entwickelt werden, über die unbekanntes Wortmaterial erlesen werden könnte, womit sich das phonologische Defizit also gerade beim Erlesen von sehr seltenen oder unbekanntem Wortmaterial auswirken sollte.

### **2.2.3 Biologische Ebene: sensorische, basale und genetische Ursachenmodelle zur LRS**

#### **2.2.3.1 Sensorische Störungen**

Dass die LRS Ausdruck eines sensorischen Defizits auf Ebene der basalen visuellen oder akustischen Wahrnehmung sein soll, wurde bereits sehr früh diskutiert. Trotz reger empirischer Forschung ist die Befundlage noch sehr heterogen.

##### ***Visuelle Ebene:***

Hierzu wurde in den letzten Jahren vor allem der Theorie eines visuellen Verarbeitungsdefizits auf der Ebene des Magnozellulären-Zellensystems des visuellen Systems diskutiert und untersucht. Die Annahme ist, dass Personen mit LRS Probleme mit Verarbeitungsprozessen haben, die

die visuelle Analyse (Kontrastsensitivität) und/oder die zeitliche Integration von visuo-räumlicher Information betreffen (Persistenz der visuellen Information).

Das magnozelluläre Zellsystem ist zum einen, gemeinsam mit dem parvozellulären Zellsystem, an der Steuerung der Blickbewegungen während des Leseprozesses beteiligt. Während das Parvozelluläre System wesentlich die Fixationen zur Enkodierung des Buchstabenmaterials steuert und durch seine Aktivierung Blicksprünge zu den nächsten Textstellen unterdrückt, ist das Magnozelluläre System dafür verantwortlich, die anhaltende Aktivität des parvozellulären Systems zu unterdrücken und so die Überlagerung der visuellen Information (visuelle Persistenz) zu verhindern. Zum anderen ist das magnozelluläre System an der Verarbeitung von Reizen mit hoher zeitlicher Auflösung (also sich schnell verändernden Reizen, sogenannte „transient changing stimuli“), niedrigen Kontrasten und niedriger räumlicher Frequenz beteiligt. Eine Störung auf der Ebene des magnozellulären Systems sollte sich dann wie folgt auf den Leseprozess auswirken. Während des Lesens muss Information aus peripherer und zentraler Sicht kombiniert werden. Während die Reize innerhalb der zentralen Wahrnehmung sich durch eine hohe räumliche Frequenz auszeichnen, liegen bei den Reizen, die in der Peripherie des Sehbereiches wahrgenommen werden, nur niedrige räumliche Frequenz vor. Eine mögliche Beeinträchtigung durch das Defizit des magnozellulären Zellsystems könnte folglich die Beeinträchtigung der peripheren Wahrnehmung und daraus folgend die Beeinträchtigung der Gesamtwahrnehmung aus Kombination von zentraler und peripherer Wahrnehmung sein. Ein Defekt hinsichtlich der Fixationsunterdrückung sollte sich auf den Leseprozess insofern auswirken, dass die visuelle Verarbeitung eines Wortes durch die Persistenz der Reizinformation der vorangehenden Stimuli behindert würde, und sich die Wahrnehmungseindrücke so überlagern (SNOWLING, 2000; HABIB, 2000).

Dass der LRS ein Kontrastwahrnehmungsdefizit zugrunde liegen könnte, wurde in zahlreichen Studien beschrieben (LIVINGSTONE, ROSEN, DRISLANE UND GALABURDA, 1991; EDEN, VANMETER, RUMSEY, MAISOG, WOODS UND ZEFFIRO, 1996). Die dort dargestellten Beobachtungen zeigen, dass Probanden mit LRS Probleme haben, schnelle kontrastreiche visuelle Reize zu verarbeiten. Dieses Defizit findet sich aber nicht, wenn Reize mit hohen Kontrasten dargeboten werden. In einer neueren Arbeit von SCHULTE-KÖRNE, BARTLING, DEIMEL UND REMSCHMIDT (1999) fanden sich jedoch keine Belege dafür, dass bei der Verarbeitung von Reizen mit niedrigen Kontrasten und niedriger räumlicher Frequenz ein spezifisches Defizit bei Probanden mit LRS zu entdecken war. Dies konnte auch in einer aktuellen Studie von BARTLING, SCHULTE-KÖRNE, DEIMEL UND REMSCHMIDT (2002) bestätigt werden. Zudem müsste laut der Theorie des

magnozellulären Defizits die Beeinträchtigungen beim Textlesen größer sein als bei Wortlesen, was aber laut SNOWLING (2000) so nicht festzustellen ist. Neueste Befunde wie von BRANDEIS (2002) deuten darauf hin, dass diese Diskussion noch nicht als abgeschlossen angesehen werden kann. Befunde dieses Autors deuten eher auf die Koexistenz von phonologischen und visuellen Störungen bei der LRS bereits im Kindesalter hin. Weitere umfassende empirische Studien sind hier noch von Nöten, um endgültige Klarheit hinsichtlich dieser Fragen zu schaffen.

### ***Auditorische Störung:***

Ein weiteres Ursachenmodell der LRS ist die Annahme eines sensorischen Defizits auf akustischer Ebene, also einer basalen Dysfunktion im Rahmen des primären auditorischen Systems. Annahmen hinsichtlich der auditiven Verarbeitung wurden meist anhand sogenannter Mismatch-Negativity-Paradigmen untersucht. Im Rahmen solcher Untersuchungen werden meist eine Reihe gleichartiger einzelner Töne 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). Der Vorteil der MMN ist, dass sie unabhängig von zugewandeter Aufmerksamkeit auf die Stimuli evoziert werden kann. Sie bildet somit eine hochautomatisierte Antwort auf akustische Stimuli ab.

Ähnlich wie bei den Befunden zu einem sensorischen Defizit auf visueller Ebene, stellt sich auch hinsichtlich eines basalen auditiven Defizits die Befundlage sehr heterogen dar. Während u.a. BALDEWEG, RICHARDSON, WATKINS, FOALE UND GRUZELIER (1999) ein solches Defizit experimentell nachwiesen, konnten andere Gruppen dieses Defizit nicht bestätigen. SCHULTE-KÖRNE, DEIMEL, BARTLING UND REMSCHMIDT (1998) untersuchten mittels eines MMN-Paradigmas die Diskriminationsfähigkeit von sprachlichen und nichtsprachlichen 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 der auditiv dargebotenen Silben 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 basales Defizit bei der Verarbeitung akustischer Stimuli. Eine vergleichbare Befundlage berichten MODY, STUDDERT-KENNEDY, BRADY (1997). Sie verglichen ebenfalls Tonreize mit Sprachreizen und fanden lediglich für die Sprachreize ein derartiges Wahrnehmungsdefizit. Die Autoren schlussfolgern deswegen ebenfalls, dass es sich nicht um ein basales Reizverarbeitungsdefizit handelt, sondern um Beeinträchtigungen von kognitiv höher angesiedelten phonologischen Prozessen.

### *Zeitliches Verarbeitungsdefizit*

Im Gegensatz zu den Annahmen der phonologischen Defizithypothese gibt es auch Störungsmodelle, die ein sehr basales Defizit hinsichtlich der zeitlichen Verarbeitung von rasch aufeinander folgenden Reizen annehmen. Dieses Modell wurde ausführlich von der Arbeitsgruppe um TALLAL (1980) beschrieben. Ihre Störungsannahme ist, dass Sprachwahrnehmung die zeitliche Auflösung von sich schnell verändernden akustischen Stimuli erfordert, vor allem der Wahrnehmung von Stop-Konsonanten, die wesentlich zur Untergliederung des akustischen Sprachstromes beitragen. Wenn nun auf der Ebene dieser Wahrnehmungsfähigkeit ein Defizit vorliegt, wird sich dies auf einem sehr basalen Niveau auf die allgemeine Sprachwahrnehmung auswirken. Dieses Sprachwahrnehmungsdefizit gefährdet dann die Entwicklung der phonologischen Repräsentationen, woraus sich die Leseschwierigkeiten ergeben sollen. Auch hinsichtlich dieser Annahme liegt eine eher unklare Befundlage vor.

SCHULTE-KÖRNE, DEIMEL, BARTLING, UND REMSCHMIDT (1999) zeigten, dass sich die Verarbeitung von auditiven nicht-sprachbezogenen Stimuli bei Probanden mit LRS von Kontrollprobanden unterscheidet. Aufbauend auf ihren Befunden von SCHULTE-KÖRNE et al. (1998), bei denen sie zeigen konnten, dass sich die auditive Verarbeitung von Tönen, die sich in ihrer Tonfrequenz unterscheiden, zwischen Probanden mit LRS und Kontrollprobanden nicht unterscheidet, bauten sie die Stimuli nun folgendermaßen auf. Sie erstellten *Tonfolgen*, die miteinander abgeglichen werden mussten. Die Tonfolgen unterschieden sich jedoch nicht in ihrer Tonfrequenz, sondern auch in der Dauer der einzelnen Töne (1. Tonfolge: 720 Hz-mittellang, 815 Hz-lang, 1040 Hz-kurz, 815 Hz-mittellang vs. 2. Tonfolge: 720 Hz-mittellang, 815 Hz-mittellang, 1040 Hz-kurz, 815 Hz-lang). Vor dem Hintergrund dieser auditorisch komplexeren Muster, deren Differenzierung die Fähigkeit erfordert die zeitliche Information über die Tondauer zu nutzen, zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen Probanden mit LRS und Kontrollprobanden. KUJALA, MYLLYVIITA, TERVANIEMI, ALHO, KALLIO UND NAATANEN (2000) beschreiben ähnliche Befunde wie SCHULTE-KÖRNE et al. (1999). Sie differenzieren die Unterschiede dahingehend, dass sich die Probanden mit LRS vor allem bei solchen Klangkombinationen von den Kontrollprobanden unterscheiden, die von ihrer Beschaffenheit ähnlich der von Phonemen sind. Dies soll nach Überzeugung der Autoren der Hauptmechanismus sein, warum die Silbenverarbeitung bei den Probanden mit LRS gestört ist. HEIM, FREEMAN, EULITZ UND ELBERT (2001) führten ebenfalls eine Studie zur Abklärung des zeitlichen Verarbeitungsdefizits sowie zur Abklärung, ob dieses Defizit „pansensorisch“ sowohl auf akustischer wie auch visueller Ebene zu finden ist, durch. Hierzu gaben sie zum einen auditive Stimuli in Form von Konsonant-Vokal-Gruppen (/ba/ und /da/)

vor, wobei diese Silben einmal mit kurzen sowie mit langen Formanten vorgegeben wurden. Das Vorliegen eines zeitlichen Verarbeitungsdefizits würde dabei durch Differenzierungsschwierigkeiten bei den kurzen, nicht aber den langen Formanten bestätigt werden. Würde es sich hingegen um ein sprachbezogenes Defizit handeln, müssten neben den kurzen auch die langen Formanten betroffen sein. Um abzuklären, ob sich das Defizit auch auf visueller Ebene bestätigen lässt, wurden Abfolgen von Lichtblitzen vorgegeben, die vom Probanden zu diskriminieren waren. Wie die Ergebnisse zeigen, konnte ein „pansensorisches“ Defizit nicht bestätigt werden (es lagen bei den Probanden mit LRS keine Beeinträchtigungen der zeitlichen visuellen Diskriminationsfähigkeit vor). Zudem ließ sich ein zeitliches auditives Verarbeitungsdefizit lediglich für eine Untergruppe der Probanden mit LRS nachweisen.

### **2.2.3.2 Genetische Erklärungsansätze zur LRS**

Vor dem Hintergrund, dass die Darstellung der gesamten theoretischen Hintergründe molekular-genetischer Untersuchungsmethoden zu umfassend wäre, soll hier lediglich eine sehr knappe Beschreibung von Befunden hinsichtlich genetischer Ursachenmodellen der LRS gegeben werden. Wiederholt wurden Genloki auf dem Chromosomen 15 und 6 als für die LRS störungsrelevante Gene identifiziert (SCHULTE-KÖRNE, 1999; PENNINGTON, 1999; GRIGORENKO, 2001). Interessant hierbei ist, dass ein Genloki auf dem Chromosom 6 mit der phonologischen Bewusstheit in Zusammenhang gebracht wurde, während ein Genloki auf dem Chromosom 15 im Zusammenhang mit nicht phonologischen visuellen Wortverarbeitungsprozessen beschrieben wurde. (SCHULTE-KÖRNE, 1999; GRIGORENKO et al., 1997). Diese Differenzierung der verschiedenen Genorten könnte eine mögliche Erklärung für die Heterogenität der Befundlage zur LRS sein.

## **2.2.4 Elektrophysiologische Befunde des ungestörten sowie gestörten Leseprozesses**

### **2.2.4.1 Abbildung von ungestörten Sprachprozessen**

Ziel der neurobiologischen Forschung ist, die kognitiven Prozesse, die in den oben genannten Modellen postuliert wurden, in hirnfunktionellen Korrelaten abzubilden. Moderne Forschungsmethoden wie die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT), die Magnetencephalographie (MEG) sowie die Elektroencephalographie (EEG) haben einen Großteil dazu beigetragen, ein mittlerweile recht differenziertes Bild von Sprachverarbeitungsprozessen im gesunden Gehirn zu entwerfen. Innerhalb der verschiedenen Untersuchungsmethoden liegt der besondere Vorteil der Ereigniskorrelierten Potentiale (EKPs) darin, dass Sprachverarbeitung in Echtzeit abgebildet werden kann. Nicht nur das „Wo“, sondern auch das „Wann“ wird so untersuchbar. Hauptau-

genmerk dieses Abschnittes soll auf der Darstellung elektrophysiologischer Befunden zur phonologischen Sprachverarbeitung liegen.

Im Rahmen von visuellen EKP-Paradigmen treten (neben späten sprachassoziierten Komponenten) auch frühe Komponentenstrukturen auf, die typischerweise von visuellen Stimuli evoziert werden. Obwohl diese frühen Komponenten in der Regel mit reizspezifischer Verarbeitung assoziiert werden, gibt es auch empirische Hinweise dahingehend, dass diese frühe Komponenten bereits sensitiv für Sprachverarbeitungsprozesse sind. Nach ihrer topographischen Beschaffenheit kann man diese frühen Komponenten in zwei unterschiedlich lokalisiert Komponentenkomplexe unterteilen: einen eher posterior gelagerten Komponentenkomplex der P1-N1 sowie einem anterior angesiedelten N1-P2-Komplex. Dabei ist es vor allem der posteriore Komponentenkomplex, der häufig als sensitiv für Sprachprozesse beschrieben wird.

### ***Befunde zur P1, N1(okzipital), N1(frontal), P2***

Bei der *P1(00)* handelt es sich um eine Positivierung, die mit einer Peak-Latenz von ca. 100 ms über parieto-okzipitalen Elektrodenpositionen zu erfassen ist. Von vielen Studien wird diese Komponente als ein Ausdruck der Aktivierung extrastriärer visueller Areale beschrieben (GROSSI, COCH, COFFEY-CORINA, HOLCOMB UND NEVILLE, 2001; HILLYARD, TEDER-SALEJARVI UND MUNTE, 1998). Manche Studien sehen ihren Ursprung eher im fusiformen Gyrus (HEINZE et al., 1994). Hinsichtlich ihrer lateralen Ausprägung gibt es unterschiedliche Befunde: KHATEB et al. (1999) beschreiben die P1 als stärker linkslateralisierte Komponente, die sowohl bei phonologischer wie auch semantischer Verarbeitung auftritt. Die Linkslateralisierung soll dabei ein Abbild von frühen linkshemisphärischen Sprachverarbeitungsprozesse abbilden. Andere Studien wiederum beschreiben die P1 als stärker rechtslateralisiert (COMPTON, GROSSENBACHER, POSNER UND TUCKER, 1991; POSNER UND RAICHLE, 1994). Diese Autoren schreiben der P1 den generellen Analyseprozess von visuellen Merkmalen des Stimulusmaterials zu. Laut POSNER UND RAICHLE (1994) spiegelt erst ein späterer Komponentenanteil um 150 ms, der stärker linkslateralisiert ist, die Aktivität eines visuellen Wortformareals wider.

Die *N1* mit einer Peak-Latenz um 150 bis 230 ms tritt ebenfalls über okzipitalen Arealen auf. Funktionell wird dieser Komponente ähnlich wie die P1 mit Anteile an früher visueller Verarbeitung (GROSSI et al., 2001), sowie Analyseprozesse in der visuellen Wortformarea beschrieben. Sie soll einen starken Sprachverarbeitungsbezug haben: so kann diese Komponente zum einen durch den unterschiedlichen Gehalt des Sprachmaterials beeinflusst werden (Wörter vs. Nonwörter, COMPTON et al., 1991) sowie durch die Wortfrequenz (SERENO et al., 1998). Überein-

stimmend kann man aus diesen Befunden jedoch sicherlich ableiten, dass die visuelle Information über die Merkmale der Wörter bereits nach ca. 100 ms von posterioren Hirnarealen extrahiert werden. Zudem deuten die Befunde mehrerer Studien darauf hin, dass bereits in diesem Zeitbereich sprachspezifische Verarbeitungsprozesse initiiert werden.

Hinsichtlich des frontalen N1-P2-Komplexes gestaltet sich die Befundlage im Zusammenhang mit Sprachverarbeitung etwas spärlicher. Die N120 (eine Negativierung über anterioren Lokalisationen) soll mit frühen visuell-sensorischen Prozessen im Zusammenhang stehen (GROSSI et al., 2001). Die P200 wird als maximal über anterioren Bereichen beschrieben, ihre funktionelle Bedeutung und ihre neuronalen Generatoren sind jedoch noch weitestgehend unbekannt (GROSSI et al., 2001). DUNN, DUNN, LANGUIS UND ANDREWS (1998) beschreiben, dass die P2 in einem funktionellen Zusammenhang mit der Detektion von wortspezifischen Merkmalen und Enkodierungsprozessen steht. Auch KING UND KUTAS (1998) beschreiben eine wortspezifische Modulation der P200: ihren Befunden zufolge prägt sich die P200 auf so genannte „open-class-Wörter“ deutlich größer aus als auf Wörter der Kategorie „closed-class“.

### ***Befunde zur N200***

Die N200 in ihrer klassischen Eigenschaft, wie sie von NÄÄTÄNEN UND PICTON (1986) beschrieben wird, stellt eine automatische Reaktion auf einen Stimulus-Mismatch dar, der auch dann auftritt, wenn die Aufmerksamkeit der Versuchsperson nicht auf den Stimulus gelenkt ist. Darüber hinaus wird die N200 auch als EKP-Komponente beschrieben, die für phonologische Informationen und phonologischen Mismatch sensitiv ist. Die Amplitude der N200 ist dabei umso höher, je größer der Mismatch ist. Die N200 prägt sich über Pz maximal aus. VAN DEN BRINK, BROWN UND HAGOORT (2001) fanden in ihrer Studie mittels eines Paradigmas zur semantischen Verarbeitung von gehörter Sprache einen N200-Effekt. Er soll einen lexikalischen Suchprozess oder Auswahlprozess darstellen, der durch eine vorangehende phonologische Analyse initiiert wurde. NIZNIKIEWICZ UND SQUIRES (1996) beschreiben eine frühe negative Komponente (Peak ca. 200 ms nach Stimulusonset) bei ähnlich klingenden Wörtern (boar/bore) aber nicht bei orthographisch ähnlich aussehenden Wörtern (boar/boat). Die Autoren weisen der N200 die mögliche Bedeutung eines Indexes für die Aktivierung von sich widersprechenden Codes auf prälexikalischer Ebene zu. Arbeitsgruppen wie THIERRY, DOYON UND DEMONET (1998) oder CONNOLLY, SERVICE, D'ARCY, KUJALA UND ALHO (2001) bezeichnen die N2 auch als *phonological mismatch negativity* (PMN). Laut THIERRY et al. (1998) spiegelt der Peak der N200 die akustisch-phonetische Verarbeitung von Wortmaterial wider. Die PMN oder N2 soll dabei eine von der N400 unabhängige Komponente sein. Laut den Befunden dieser Autoren wird die PMN oder N2 beim Erlesen

von Nonwörtern dann evoziert, wenn es dem Probanden nicht gelingt, für ein spezifisches Nonwort einen lexikalischen Eintrag zu finden. CONNOLLY et al. (2001) gehen sogar soweit, die PMN als einen reinen Marker für phonologische Verarbeitung zu beschreiben. Die Autoren bezeichnen damit einen Effekt, der in einem Zeitfenster von 250 bis 350 ms mit einer fronto-centralen Verteilung auftritt. Die Autoren führten eine EKP-Studie mit akustischen Stimuli durch, um das neuronale System, das phonologischer Verarbeitung zugrunde liegt, genauer beschreiben zu können. Zu beobachten war, dass die PMN in gleichen Maßen von Wörtern und Nonwörtern hervorgerufen wurde. Gemäß den Autoren reflektiert die PMN einen Suchprozess im mentalen Lexikon basierend auf der zur Verfügung stehenden phonologischen Information. Zudem beschreiben sie die PMN im Zusammenhang mit subvokalen artikulatorischen Mechanismen sowie phonologischen Verarbeitungsprozessen.

### ***Befunde zur N400***

Die N400 (KUTAS & HILLYARD, 1980), die weitläufig mit semantischen Sprachverarbeitungsprozessen assoziiert wird, ist die wohl am stärksten untersuchte sprachbezogene Komponente. Bei der N400 handelt es sich um eine Negativierung zwischen 250-600 ms (Peak bei ca. 400 ms). Meist wird eine rechtshemisphärische parieto-okzipitale Verteilung beschrieben. Methodenkritisch weisen CURRAN, TUCKER, KUTAS UND POSNER (1993) jedoch darauf hin, dass man sich bei derartigen topographischen Beschreibungen immer des Referenzortes eingedenk sein muss. So beschreiben die Autoren, dass sich bei der Ableitung gegen verbundene Mastoide das Maximum der semantischen N400 centro-parietal und nicht parieto-okzipital ausprägt.

Die N400 wurde erstmals bei KUTAS UND HILLYARD (1980) im Zusammenhang mit semantischer Inkongruenz beschrieben. Jedoch ist generell bei jeder Wortdarbietung eine N400 zu beobachten. Sie tritt dabei unabhängig davon auf, welchen sensorischen Kanal das Reizmaterial anspricht: egal ob bei gehörter Sprache, Zeichensprache oder geschriebenem Text (wenn es sich um orthographisch reguläre Wörter handelt). Die Amplitude der N400 lässt sich dabei durch verschiedenste Aspekte wie Worthäufigkeit, Wortwiederholungen sowie durch orthographisches, phonologisches oder semantisches Priming beeinflussen. In Sätzen nimmt ihre Amplitude ab, je höher die Wahrscheinlichkeit des letzten Wortes des Satzes ist. Der kognitive Prozess beim Satzlesen soll eine Art Integrationsprozess eines Wortes in das durch die vorangegangenen Wörter aktivierte semantische Netzwerk darstellen.

Allerdings gibt es Latenz- und Topographie-Unterschiede bei der N400, je nachdem, welche Sinnesmodalität stimuliert wird. Die Latenz der visuellen N400 ist etwas länger und die Lokalisation ist stärker über rechts posterioren Arealen als die auditorische N400. CURRAN et al. (1993) be-

schreiben die Quelle der N400 recht konstant sowohl mit intrakraniellen Daten wie auch über MEG-Daten in linken temporalen Strukturen. Dass der N400 ein Dipol mit Sitz im linken Temporallappen zugeschrieben werden kann, beschreiben auch SIMOS, BASILE, UND PAPANICOLAOU (1997). Über die Funktion der N400 herrscht immer noch rege Diskussion: laut ANGRILLI, DOBEL, ROCKSTROH, STEGAGNO, UND ELBERT (2000) soll die N400 zu einer Familie von negativen Komponenten gehören, die dann auftritt, wenn man unvorhergesehene Fälle und Möglichkeiten neu evaluieren muss.

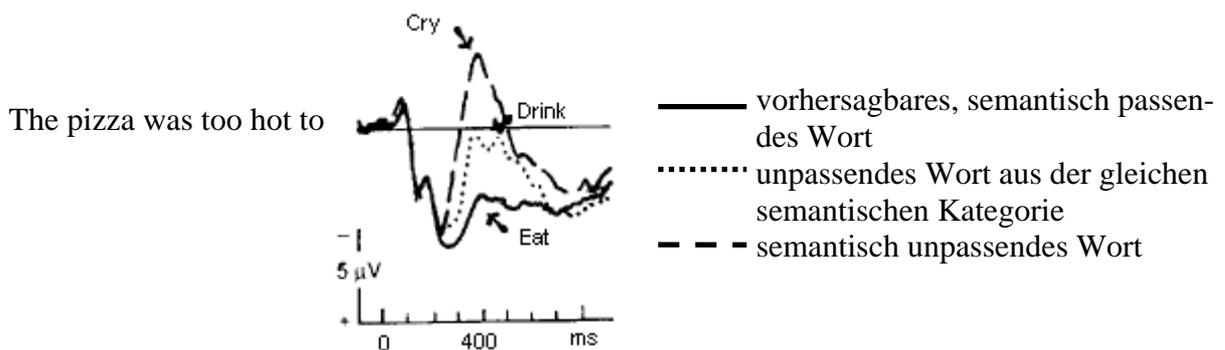


Abb. 5: nach KUTAS UND HILLYARD (1984, EKPs evoziert auf das letzte Wort eines Satzes, abgeleitet über Cz)

Neben Befunden hinsichtlich eines semantischen Bezuges der N400 gibt es mittlerweile auch eine Reihe von Studien, die untersucht haben, wie sich phonologische Verarbeitung im EKP (vor allem der N400) abbilden lässt. (ZIEGLER, BENRAISS UND BESSON, 1999; KRAMER & DONCHIN, 1987; MCPHERSON, ACKERMAN, HOLCOMB UND DYKMAN, 1998; RUGG, 1984b; RUGG, 1984a). Diese Studien sind meist als klassische Priming-Paradigmen konzipiert und vergleichen EKPs sowie Verhaltensdaten bei Aufgaben, die Reimentscheidungen hinsichtlich zweier Wörter oder Nonwort-Letter-Strings erfordern. Studien, die derartige Paradigmen vorgeben, beschreiben einheitlich einen N400-Priming-Effekt insofern, dass für nicht-reimende Wörter größere Amplitudenausprägungen zu verzeichnen sind als für sich reimenden Wörtern.

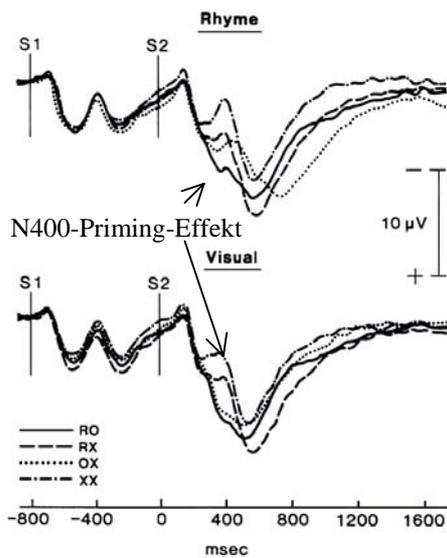
In einer ganzen Studienfolge beschreibt die Arbeitsgruppe um RUGG die N450 als phonologische Sprachverarbeitungskomponente. In der Studie von 1984a wurden eine orthographische (gleiche Schreibweise) sowie eine phonologische Priming-Aufgabe (Reimentscheidung) vorgegeben. Auffällig war, dass sich lediglich beim phonologischen Priming für den Fall des Stimulismismatches eine deutliche Negativierung ausprägte. Diese phonologische N400 war ab ca. 350 ms zu beobachten, peakte bei ca. 400 ms und wies eine eher centro-parietale Verteilung auf. RUGG (1984a) interpretierte diese Komponente als phonologischen Priming-Effekt. In einem zweiten Teil der

Studie von 1984a überprüfte RUGG, ob durch eine Verlängerung des Interstimulusintervalls (ISI) der Effekt eventuell nicht mehr zu beobachten wäre. Die Manipulation der N400 durch das phonologische Priming konnte aber auch bei einem ISI von 1,56 Sekunden beobachtet werden.

Diese Ergebnisse warfen die Frage auf, ob es sich bei diesem Phänomen um die gleiche Komponente der N400 handelte wie bei KUTAS UND HILLYARD (1980) beobachtet, da sowohl Latenz wie auch die Skalpverteilung sehr ähnlich war. Die bei RUGG (1984a) beobachtete Komponente sollte eigentlich das Ergebnis einer rein phonologischen Manipulation sein und keine semantischen Aspekte beinhalten. Jedoch kann eine Beteiligung semantischer Prozesse generell so nicht ausgeschlossen werden. Möglicherweise wurde durch die Aufgabenstellung (reimt sich der erste Stimulus mit dem zweiten) eine „Netzwerkaktivierung“ phonologisch ähnlicher Lexikoneinträge initiiert. Durch die Darbietung eines sich *nicht*-reimenden Stimulus kann keiner dieser geprimten Einträge genutzt werden. Analog zum semantischen Priming werden damit Erwartungshaltungen nicht erfüllt und das Stimulusmaterial muss reevaluiert werden. Wäre dies der Fall, würde in der Tat der experimentelle Befund von RUGG (1984a) sowie der von KUTAS UND HILLYARD (1980) auf den selben kognitiven Prozess, nämlich einen semantischen Mismatch-Prozess deuten.

Um dies zu klären, führte RUGG (1984b) eine weitere Studie durch. Er ging davon aus, dass für Nonwörter keine lexikalisch-semantischen Netzwerke vorhanden sein dürften. Somit dürfte sich auf einen Reim-Mismatch zwischen Nonwörtern der oben beschriebene N400-Befund nicht zeigen. Für den Fall, dass dennoch ein Priming-Befund zu verzeichnen sei, könne dies relativ stringent als das Abbild eines phonologischen Verarbeitungsprozesses interpretiert werden. Tatsächlich fand RUGG (1984b) einen N450-Effekt für reimende vs. nicht-reimende Wörter und Nonwörter. Wiederum mit einer Verstärkung des Effekts bei den nicht-reimenden Stimuluspaaren. Die Komponentenausprägung war dabei eindeutig asymmetrisch: am stärksten trat die Negativierung über Mittellinien sowie rechten Elektroden auf.

KRAMER UND DONCHIN (1987) führten in ihrer Arbeit die Untersuchung der Ausprägung der N400 in Abhängigkeit der Prime-Art fort, indem sie die phonologische und orthographische Ähnlichkeit der Stimuli variierten: sie verwendeten Wortpaare, die (1) sich reimten und orthographisch ähnlich waren, (2) sich reimten aber nicht in ihrer Orthographie vergleichbar waren, (3) sich nicht reimten aber gleich aussahen, (4) sich weder reimten noch gleich aussahen. Unterschiede wurden dabei innerhalb der P300 und der N400 beobachtet. Anzumerken ist dabei, dass die Autoren ihren Effekt zwar mit dem Label „N200“ belegen. Da der Peak dieser Amplitude jedoch bei 400 ms zu verzeichnen ist, scheint es gerechtfertigt, diesen Befund mit N400 zu benennen.



EKPs auf Targets in verschiedenen Priming-Bedingungen

1. RO: reimt / orthogr. gl. (match-patch)
2. RX: reimt / orthogr. nicht gl. (blare-stair)
3. OX: reimt nicht / orthogr. gl. (catch-watch)
4. XX: reimt nicht / orthogr. ngl. (shirt-witch)

Abb. 6: aus KRAMER UND DONCHIN (1987). N400-Priming-Effekte auf phonologische und orthographische Wortstimuli

Die Autoren beschreiben auf der Basis ihrer Befunde einen linearen Zusammenhang zwischen der Amplitudenstärke der N400 und dem Mismatch zwischen Prime und Target. Die größte Negativität trat bei den Wörtern auf, die sich nicht reimten oder sich von ihrem orthographischen Aufbau her nicht ähnlich waren. Die niedrigste Amplitude war bei den Wörtern zu verzeichnen, die sich sowohl reimten als auch ähnlich sahen. Vor dem Hintergrund, dass die Autoren beobachten konnten, dass die N400 sowohl durch Phonologie wie auch durch Orthographie moduliert wurden, stellten sie die Annahme auf, dass es sich bei dem N400-Priming-Effekt um ein durch Wortverarbeitung evoziertes Mismatch-Phänomen handeln sollte, das nicht nur auf semantische Manipulationen hin zu beobachten ist. RUGG UND BARETT (1987) untersuchten eine vergleichbare Reimaufgabe wie KRAMER UND DONCHIN (1987). Gemäß diesen Autoren können verschiedene EKPs auf orthographisches vs. phonologisches Priming hin beobachtet werden: der orthographische Priming-Effekt peakte etwas früher und war eher über rechten frontalen Elektroden zu beobachten, während sich der reimevozierte Priming-Effekt in einem späteren Peak und eher über parietalen Arealen zeigte.

Vor dem Hintergrund, dass die Studien, die bis hierhin zur N400 dargestellt wurden, Ergebnisse aus dem Erwachsenenalter beschreiben, nehmen die Studien von GROSSI et al. (2001) und COCH, MARON, WOLF UND HOLCOMB (2002) einen besonderen Stellenwert ein, da in diesen Studien auch Kinder und Jugendliche untersucht wurden. GROSSI et al. (2001) untersuchten dabei den altersspezifischen Entwicklungsverlauf von EKP-Komponenten, die gemäß den Annahmen der Autoren in funktionellem Zusammenhang mit visuell dargebotenen Reimaufgaben stehen. Ihr

Hauptaugenmerk lag dabei auf einer Komponente, die sie „Reimeffekt“ nennen. Der Reimeffekt von GROSSI et al. (2001) ist eine rechtsseitige temporo-parietale Negativierung, die um ca. 400-450 ms peakt. Die Amplitudenausprägung ist dabei größer für nicht-reimende als für reimende Stimuli. Die Autoren ordnen ihren Reimeffekt in die N400ähnliche-Komponentenfamilie ein, die sensitiv auf Kontextmanipulationen reagieren sollen. Der Reimeffekt soll dabei den kognitiven Prozess eines Vergleichs oder Abgleiches zwischen den Wortklängen innerhalb des phonologischen Speichers darstellen. Die Autoren gehen sogar soweit und stellen die These auf, das es sich beim Reimeffekt um einen Index für phonologische Bewusstheit handeln könnte.

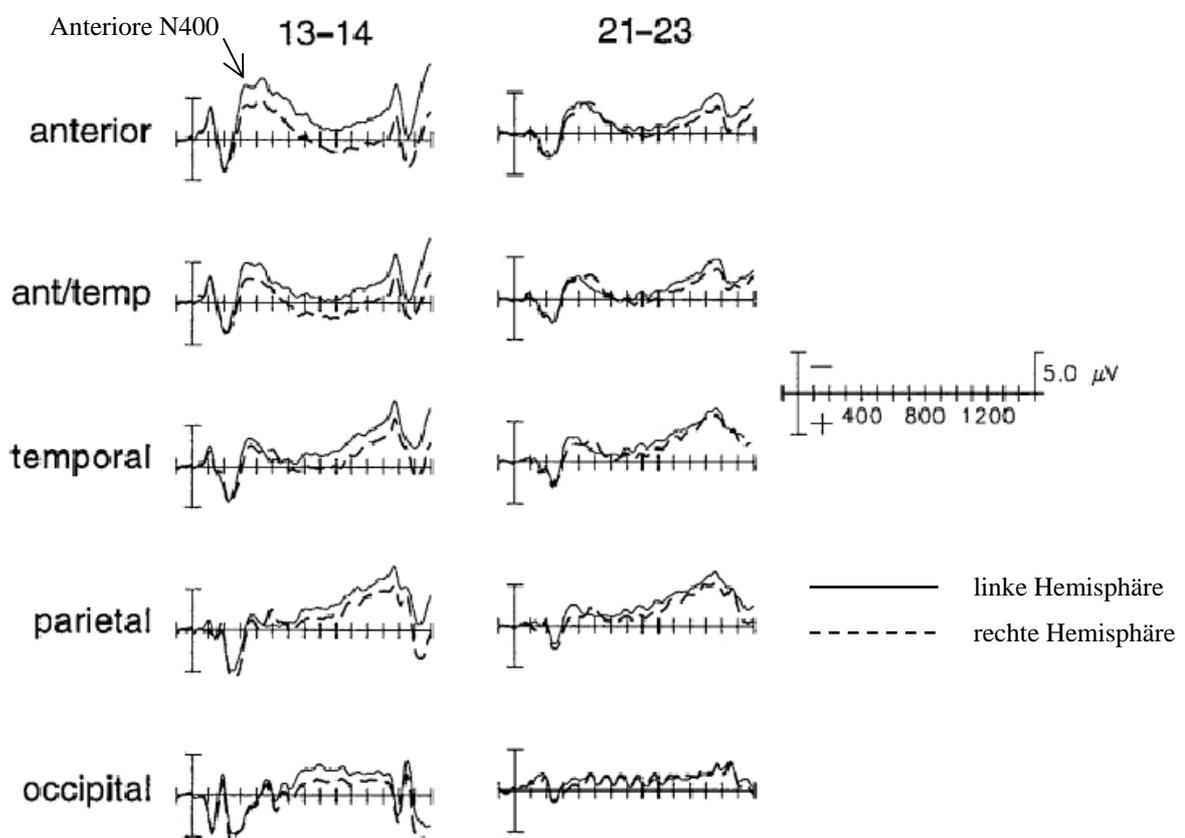


Abb. 7: aus GROSSI et al. (2001): EKPs abgeleitet auf Primes, Vergleich zweier Altersstichproben. Dazu korrelierten sie Verhaltensdaten (Reaktionszeit, Fehlerrate, Gedächtnisspanne, Lesefähigkeit und Schreibfähigkeit) mit den elektrophysiologischen Effekten. Besonders für den Zusammenhang zwischen Reimeffekt und Lese- und Rechtschreibfähigkeiten erwarteten die Autoren eine hohe Korrelation, da diese im Zusammenhang mit phonologischer Bewusstheit stehen sollen. Diese Erwartungen wurden jedoch nicht bestätigt. Es zeigten sich keinerlei signifikanten Zusammenhänge zwischen Reimeffekt und Leistungsdaten. Die Autoren diskutieren dies jedoch dahingehend, dass sich hinter dem elektrophysiologischen Effekt des Reimeffektes *nicht etwas*

*anderes als ein Reimeffekt verbirgt*, sondern, dass die testpsychologischen Maße, die zur Erfassung der phonologischen Bewusstheit eingesetzt worden waren, vielleicht doch nicht sensitiv genug zur Erfassung der phonologischen Bewusstheit waren. Zur Überprüfung ob die N400 ein wortspezifisches EKP ist, das nicht nur bei Priming-Aufgaben, sondern auch bei dem bloßen Lesen von Wortmaterial auftritt, leiteten die GROSSI et al. (2001) zusätzlich EKPs auf den ersten Reiz, also den Prime der Wortpaare ab. Innerhalb dieser EKPs beschreiben die Autoren eine anterior gelagerte N400, deren Amplitude einen systematischen Alterseffekt aufwies (Abnahme der Amplitude bei Zunahme des Alters). Ihre Verteilung wies eine deutliche Linkslateralisierung auf. Die Autoren interpretieren diese Komponente als einen Hinweis darauf, dass eine N400 generell auf jedes Wortmaterial hin evoziert wird, und dass die linkshemisphärisch lateralisierten Ausprägungen dieser Komponente auf Verarbeitungsprozesse der linken sprachbezogenen Hirnareale hindeuten. Die Abnahme der Amplituden interpretieren die Autoren, dass die durch die N400 repräsentierten Wortverarbeitungsprozesse mit zunehmendem Alter immer effizienter werden. Ähnliche Befunde hinsichtlich einer anterior gelagerten N400 bei passivem Wortlesen berichten COCH et al. (2002). Diese Studie ist zum einen für die vorliegende Arbeit von zentralem Interesse, da COCH et al. (2002) Kinder im Alter von 10 und 11 Jahren untersuchten, zum anderen wurde als Stimulationsmaterial verschiedene visuelle Wortstimuli (reale Wörter, Nonwörter, Buchstabenkombinationen und sogenannte „False Fonts“) dargeboten. Deutlich prägt sich auf die verschiedenen Wortstimuli eine anteriore N400 aus. Diese Studie ist somit ein erster Beleg dafür, dass auch die N400, auf passive Wortlesen evoziert, selektiv durch den unterschiedlichen orthographischen und phonologischen Wortgehalt modulierbar ist. Deutlich prägen sich hier Unterschiede zwischen den phonologiebehafteten Stimulationsbedingungen der realen Wörter und Nonwörter versus den Buchstabenketten aus, die keine phonologische Information beinhalten. Diese weisen eine geringere Ausprägung der N400 auf. Interessant ist hierbei zudem der Befund, dass sich auf die Zeichenketten ebenfalls eine N400 ausbildet. Die Autoren interpretieren dies in Zusammenschau mit dem okzipital gelagerten Befund einer P330. Die P330 soll die Aktivität von posterioren Hirnarealen abbilden, die eine Rolle beim Erkennen von Wortformen spielen sollen. Die stärker ausgeprägte P330 auf die False Fonts soll dabei die verstärkte Anstrengung (im Vergleich zu den anderen Wortstimuli) darstellen, die False-Font-Stimuli als eine Art Wortform wahrzunehmen. Neben diesen Befunden ist die Studie ein weiterer Beleg dafür, dass die N400 auch beim passiven Wortlesen und nicht nur beim Priming evoziert werden kann. Diese anteriore N400 wird von den Autoren dabei als zur N400-Familie gehörende Komponente beschrieben, die analog zu den durch Priming evozierten N400-Komponenten Abgleichs- und Suchprozesse im mentalen

Lexikon darstellen sollen. Die anteriore Verteilung der von COCH et al. (2002) beobachteten N400 vs. der eher parieto-okzipitalen N400 der Priming-Studien wie bei RUGG (1984a & 1984b) wird von den Autoren dahingehend interpretiert, dass die Verteilung der N400 von der jeweiligen Aufgabenanforderung abhängig ist. Für passives Wortlesen scheint sich die N400 eher anterior (wie auch bei GROSSI et al., 2001) und bei Priming-Aufgaben eher parieto-okzipital auszuprägen.

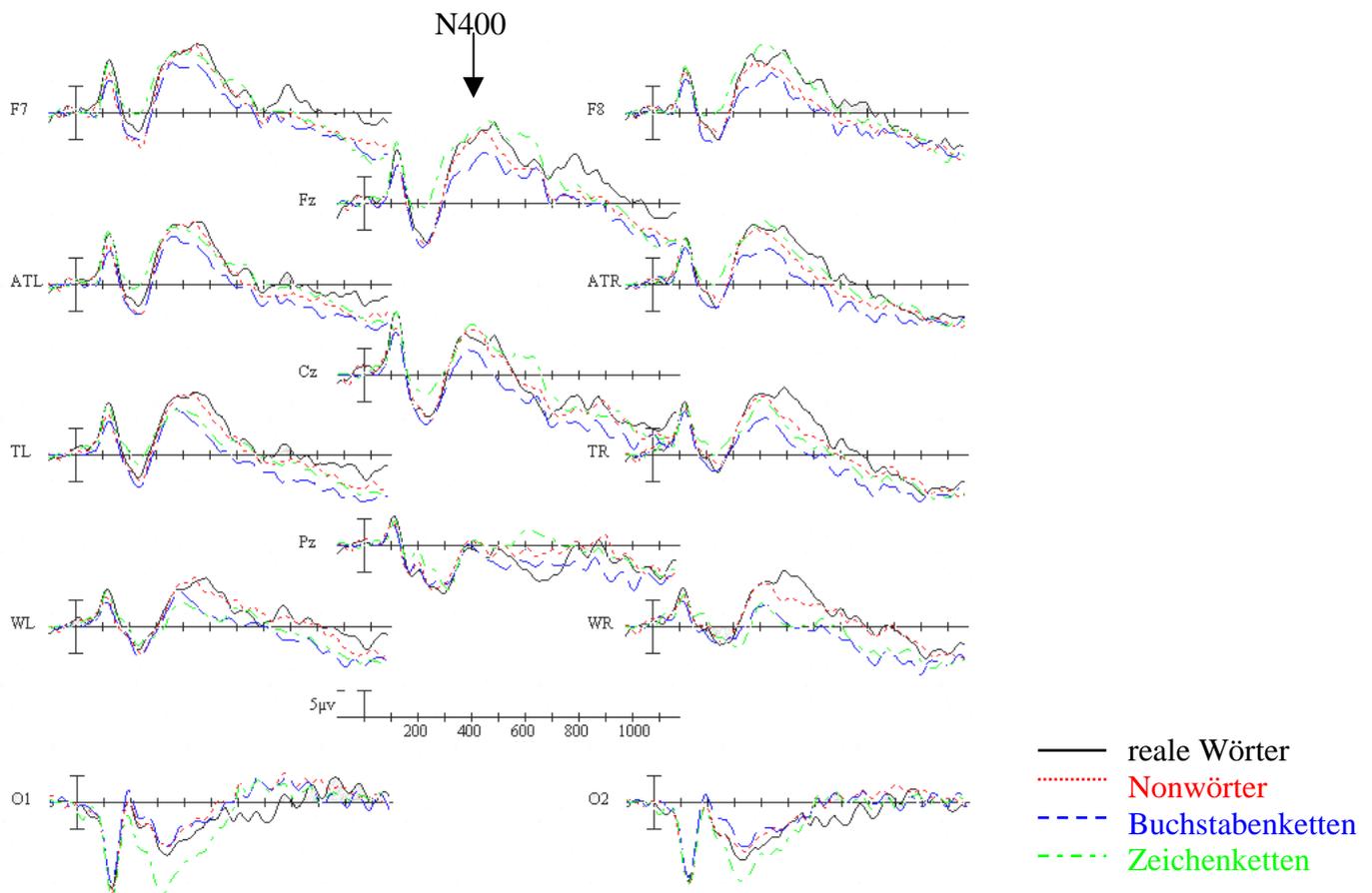


Abb. 8: aus COCH et al. (2002): EKPs von 10 und 11-jährigen Kindern auf unterschiedliches Wort- und Zeichenmaterial: reale Wörter, Nonwörter, Buchstabenketten und False Fonts

#### 2.2.4.2 Zeitstrahl der Wortverarbeitung

Mittlerweile gibt es sehr viele Befunde, die darauf hindeuten, dass Wortverarbeitungsprozesse bereits ab einem Zeitbereich von 100-200 ms post Stimulation EKP-Ausprägungen modulieren können (EULITZ, EULITZ, MAESS, COHEN, PANTEV UND EBERT, 2000; NOBRE & MCCARTHY, 1994; PULVERMÜLLER et al., 1996; SCHENDAN, GANIS UND KUTAS, 1998). SERENO et al. (1998) sowie POSNER, ABDULLAEV, MCCANDLISS UND SERENO (1999) fassen dies in einem Überblick im Sinne eines Zeitstrahls der Wortverarbeitung zusammen.

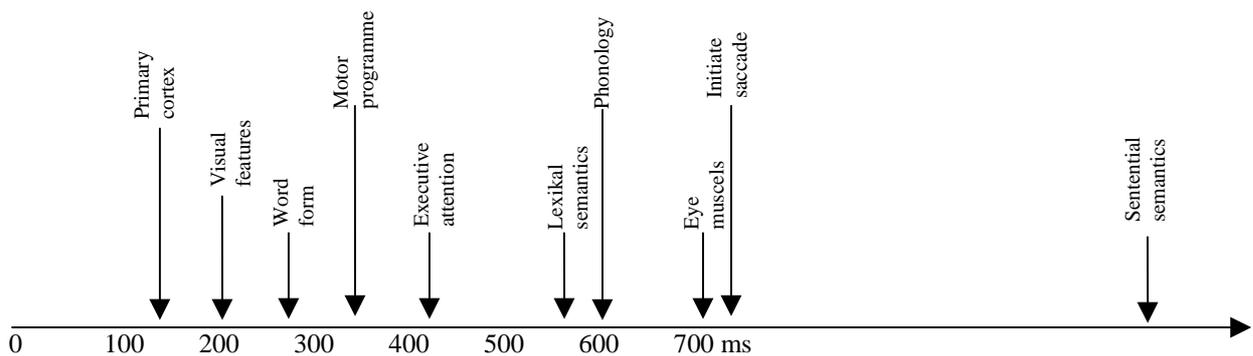


Abb. 9: Zeitstrahl der Wortverarbeitung (POSNER et al., 1999)

Die Autoren beschreiben danach den zeitlichen Ablauf der funktionellen Aktivierungen beim visuellen Wortlesen wie folgt: die visuelle Merkmalsanalyse geschieht ca. zwischen 50 - 100 ms. Die Wortform wird ungefähr bei 150 ms zusammengesetzt bzw. verarbeitet. Um die 180 ms werden frontale aufmerksamkeitsspezifische Areale aktiv und bei ca. 220 ms werden frontale semantische Areale aktiv. Regionen, die mit späteren phonologischen Prozessen in Zusammenhang stehen und die Wernicke-Region werden erst später aktiv.

Die Zusammenschau der oben beschriebenen EKP-Befunde zum ungestörten Leseprozess soll verdeutlichen, dass die zeitliche Verarbeitung von orthographischen und phonologischen Prozessen via EKPs erfassbar ist. Dabei kann man erste Stufen der Wortverarbeitung bereits in EKP-Komponenten um ca. 100 ms identifizieren. Dafür, dass zudem phonologische Verarbeitungsprozesse sogar noch vor den laut Posner et al. (1999) beschriebenen 600 ms einsetzen, sprechen die mittlerweile häufig replizierten phonologischen Priming-Effekte (RUGG, 1984a & 1984b; KRAMER & DONCHIN, 1987; GROSSI et al., 2001). Ein Problem bei der Untersuchung des Zeitverlaufes dieser Prozesse ist jedoch immer, welche Aufgaben von den verschiedenen empirischen Studien eingesetzt werden und wie die orthographischen, phonologischen sowie semantischen Eigenschaften der Wörter heraus gearbeitet werden. Eines der größten Probleme der neurobiologischen Sprachforschung ist dabei zudem, dass neurobiologische Reaktionen sehr kontextabhängig sind. Jede geringfügige Änderung des Stimulusmaterials oder des experimentellen Settings zieht Änderungen im neurophysiologischen Aktivierungsmuster nach sich, wie dies z.B. in der anterioren vs. parieto-okzipitalen Verteilung der N400 deutlich wurde. Übergeordnetes Ziel der Neurowissenschaften ist deswegen, trotz der experimentellen Vielfalt die Kernprozesse der Sprachverarbeitung herauszuarbeiten. Dennoch muss die Generalisierbarkeit von Aussagen aufgrund von biologischen Daten immer mit gebotener Vorsicht geschehen.

### 2.2.4.3 Elektrophysiologische Befunde zum phonologischen Defizit

Frühe EEG-Untersuchungen zur LRS (Ende der 70er) konzentrierten sich hauptsächlich auf die frühe sensorische Reizverarbeitung. Die Befundlage damals war sehr uneinheitlich: manche Studien beschrieben größere manche kleinere sensorisch evozierte Potentiale, so dass aus der Befundlage nicht klar hervorging, ob nun frühe Reizverarbeitungsdefizite vorliegen oder nicht (vergleiche hierzu TAYLOR & KEENAN, 1990). Ab der Mitte der 80er Jahre wurden EKP-Studien dann vermehrt dazu eingesetzt, um kognitive Unterschiede zwischen Probanden mit LRS und Kontrollprobanden aufzudecken. Das Problem bei der Darstellung eines Überblickes über diese Studien, ist die enorme Paradigmenvielfalt (Oddball, Mismatch, Priming) sowie die unterschiedlichen Stimulationsarten (visuell vs. auditorisch). In Abhängigkeit der Paradigmen variiert natürlich auch die Befundlage zu den als defizitär beschriebenen EKP-Komponenten. Bewusst wird im folgenden Überblick der Fokus auf N400-Befunde gesetzt und lediglich ein kurzer Abriss von Befunden zur P300 dargestellt.

#### ***Befunde zur N400:***

Leider gibt es nur sehr wenige EKP-Studien, die sich mit der gestörten Schriftsprachverarbeitung der LRS und phonologischen Verarbeitungsprozessen befassen. ACKERMAN, DYKMAN UND OGLESBY (1994) untersuchten vor dem Hintergrund der phonologischen Defizithypothese die elektrophysiologische Verarbeitung phonologischer Stimuli bei Probanden mit LRS im Vergleich zu zwei Kontrollgruppen: einer nach Lesealter gematchte Kontrollgruppe sowie einer Kontrollgruppe mit der Diagnose einer Aufmerksamkeitsdefizitstörung (ADS, zur besseren Einschätzung von eventuellen Aufmerksamkeitsunterschieden zwischen den Gruppen). Die Untersuchung wurde mittels einem visuellen Priming-Paradigma durchgeführt. Die Prime-Stimuli waren reale phonologisch reguläre Wörter, bei den Targets handelte es sich entweder um phonologisch reguläre sinnhafte Wörter oder phonologisch reguläre Nonwörter. Zu entscheiden galt, ob sich Prime und Target reimten. Postuliert wurde die Ausformung des Priming-Effektes vor allem in den späteren EKP-Komponenten sowie (bezogen auf die Frage der Gruppenunterschiede) eine Abschwächung des Priming-Effektes bei den Probanden mit LRS. Als gruppenunabhängige Effekte zeigte sich, dass eine negative Komponente, die von den Autoren als N450 bezeichnet wurde (gemäß RUGG, 1984a & 1984b) sensitiv für die Reimmanipulation war. Dieser Effekt prägte sich am stärksten über parietalen Elektroden aus. Jedoch fand sich kein Unterschied dahingehend, ob es sich bei den Targets um Wörter oder Nonwörter handelte. Hinsichtlich dieser N450 bestätigten sich zudem signifikante Gruppenunterschiede zwischen Probanden mit LRS und Kontrollprobanden.

Interessanter Weise fanden sich diese Unterschiede *nicht* in Fällen, in denen das Target ein nicht-reimendes Nonwort war. Die Autoren interpretieren die Minderausprägung des Reim-Priming-Effektes bei den Probanden mit LRS anhand eines phonologischen Defizits. Im Gegenzug zu der verringerten N450 fand sich bei den Probanden mit LRS jedoch eine vergrößerte P500, die die Autoren als gesteigerten Verarbeitungsaufwand der Probanden mit LRS bei der Stimulusverarbeitung beschreiben.

In der Studie von MCPHERSON, ACKERMAN, OGLESBY, UND DYKMAN (1996) sollten die oben geschilderten Befunde von ACKERMANN et al. (1994) überprüft werden. Als Weiterentwicklung leiteten sie die EKPs bei adoleszenten Probanden mit LRS auf sukzessiv dargebotenen Bilder ab, die dahingehend zu beurteilen waren, ob sich deren Namen reimten oder nicht. Die Gruppe der Probanden mit LRS wurde dabei unterteilt in Jugendliche mit besseren (Phonetiker) und schlechteren phonologischen Fähigkeiten (Dysphonetiker). Jedoch unterschieden sich die Gruppen nicht in ihren Fähigkeiten, Reime zu erkennen. Die Autoren umgingen so die Konfundierung der Daten durch die im vornherein schlechteren Leseleistungen und erfassten relativ ungestört die phonologische Verarbeitung. Das zugrundeliegende Ursachenmodell der LRS war ebenfalls die phonologische Defizithypothese. Hypothesiert wurde eine Verminderung des N400-Priming-Effektes (Ausprägung der N400 bei kongruenten Stimuluspaaren kleiner als bei inkongruenten) bei den Probanden mit LRS. Ein solcher Unterschied sollte die gestörte phonologische Verarbeitung widerspiegeln. Die Ergebnisse zeigten, dass die Phonetiker einen gut ausgeprägten Priming-Effekt über der linken Hemisphäre zeigten, während die Dysphonetiker keinen konstanten Priming-Effekt aufwiesen. Die Autoren interpretieren dies, dass es den phonologisch weniger beeinträchtigten Probanden mit LRS leichter falle, die phonologische Information im Arbeitsgedächtnis zu halten, während die phonologisch Minderbegabten diese Fähigkeit nicht haben, und als Konsequenz die Reime nicht so schnell und automatisiert bearbeiten werden können. Interessant an dieser Studie ist, dass sich der Priming-Effekt über der linken Hemisphäre ausprägte und nicht wie bei RUGG (1984a & 1984b) beschrieben über der rechten. Die Autoren beschreiben noch einen weiteren Befund hinsichtlich einer bei den Phonetikern okzipital stärker ausgeprägten N1. Sie diskutieren diesen Befund im Zusammenhang mit der Zuwendung von Aufmerksamkeitsressourcen auf den visuellen Verarbeitungsprozess, was wiederum die phonologische Verarbeitung erleichtere.

In einer dritten Studie dieser Arbeitsgruppe, untersuchten MCPHERSON et al. (1998) adoleszente Probanden mit LRS und Kontrollprobanden im Rahmen eines visuellen und auditorischen Reimparadigmas. Die Probanden mit LRS wurden wiederum wie schon in der Studie von MCPHERSON

et al. (1996) anhand ihrer Nonwortdekodierfähigkeiten in „Phonetiker“ und „Dysphonetiker“ unterteilt. Die Untersuchung beinhaltete ein Paradigma mit visuellen sowie auditorischen Reimaufgaben. In Erweiterung zu den in den früheren Studien angewandten Paradigmen, bestanden die Unterschiede zwischen den Primes und Targets nicht nur auf der phonologischen Ebene, sondern auch auf der orthographischen Ebene (50 % der Targets waren den Primes orthographisch ähnlich). Damit sollte untersucht werden, ob sich zum einen Befunde hinsichtlich unterschiedlicher Verarbeitungskomponenten von orthographischer und phonologischer Information an sich bestätigen ließe, zudem sollte dadurch überprüft werden, ob die Probanden mit LRS ein generelles phonologisches Defizit oder nicht vielleicht auch ein Defizit auf der Ebene der orthographischen Verarbeitung aufweisen. Die Ergebnisse hinsichtlich der auditorischen Stimulation sind als generell widersprüchlich und wenig aussagekräftig einzustufen. Auf der visuellen Ebene zeigte sich analog zu Befunden von KRAMER UND DONCHIN (1987) und RUGG (1984a & 1984b) ein frontaler N350-Effekt, der mit dem orthographischen Stimulusgehalt korrelieren soll und eine parietale N450, die mit phonologischen Prozessen korrelieren soll. Die normallesenden Kontrollen und die Phonetiker wiesen innerhalb dieser Komponenten sowohl orthographische wie auch phonologische Priming-Effekte auf. Ein Befund, der die These stützt, dass die frontalen und parietalen EKP-Effekte unterschiedlichen Verarbeitungsaspekten zugeordnet werden können, ist der, dass sich bei den Dysphonetikern ein starker frontaler orthographischer Priming-Effekt zeigt, hingegen aber kein links-posteriorer phonologischer Priming-Effekt zu verzeichnen ist.

In einer weiteren Arbeit innerhalb dieser Forschungsreihe untersuchten MCPHERSON UND ACKERMAN (1999) wiederum Probanden mit LRS, die sie in Phonetiker und Dysphonetiker unterteilten sowie Kontrollprobanden. Diesmal wurden jedoch nur auditorische Stimuli vorgegeben, die hinsichtlich ihrer Alliteration einzuschätzen waren. Über die auditorische Stimulation interferiert keinerlei visuelle Information mit dem phonologischen Gehalt des Stimulus. Zudem kann die Einschätzung hinsichtlich der phonologischen Beschaffenheit direkt aus dem Stimulusanfang (dem ersten Buchstaben des Reizes) abgeleitet werden, was ein Vorteil im Vergleich zu Reimaufgaben sein soll. Wiederum zeigte sich das gewohnte Bild: sowohl für die Kontrollgruppe und die Phonetiker zeigten sich hypothesenkonforme Priming-Effekte im Bereich der N400. Jedoch waren diesmal topographische Unterschiede zu verzeichnen: der Priming-Effekt der Phonetiker war auf eher temporo-centro-parietale Positionen beschränkt, während er bei den Kontrollprobanden deutlich weiter gestreut war. Bei den Dysphonetikern zeigte sich zwar in den erwarteten Zeitbereichen kein Priming-Effekt, dafür aber in späteren Zeitbereichen über posterioren Elektrodenpositionen.

***Exkurs zur P300:***

Wenn man diese Verringerungen der N400-Priming-Effekte hinsichtlich Gedächtnisprozessen interpretiert, darf man jedoch nicht P300-Befunde von Probanden mit LRS außer Acht lassen. Unter anderem deuten Vorarbeiten der hiesigen Arbeitsgruppe (GEORGIEWA et al., 2002) auf LRS-spezifische Defizite in diesem Zeitbereich hin. Neben diesem Befund gibt es weitere Studien, die eine Reduktion der P300 bei Probanden mit LRS beschreiben (z.B. TAYLOR & KEENAN, 1990). Diese Reduzierung der P300 wird über eine generelle Beeinträchtigung kognitiver Prozesse beim Lesen gedeutet, die Ursache und Erklärung an sich für die Minderausprägung der N400-Befunde sein könnte. Eine generell kognitiv weniger involvierte und weniger aufmerksame Person sollte erwartungsgemäß nicht normal-stark ausgeprägte Priming-Effekte zeigen. Dass Auffälligkeiten hinsichtlich der P300, insbesondere wenn sie bei Paradigmen zu verzeichnen sind, die keine typischen P300-Paradigmen darstellen, auch in Richtung von Sprachverarbeitungsprozessen interpretiert werden können, beschreiben COCH et al. (2002). Dies sollte gerade bei den für die LRS beschriebenen P300-Befunde immer berücksichtigt werden.

**2.2.4.4 Fazit zur N400**

Abschließend kann man sagen, dass die N400 inhaltlich mit Abgleich- und Suchprozessen im mentalen Lexikon in Zusammenhang gebracht wird und diesbezüglich sowohl für semantische, phonologische als auch orthographische Wortverarbeitung stehen soll. Phonologische Verarbeitungsprozesse wurden dabei besonders über den N400-Priming-Effekt evoziert. Darüber hinaus deuten aber auch Studien wie von COCH et al. (2002) darauf hin, dass auch durch passives Wortlesen (phonologiebehaftete) Wortverarbeitungsprozesse auf N400-Ebene abbildbar sind. Wie die Studie zeigen konnte, gibt es Unterschiede in der Ausprägung der N400, je nachdem, ob phonologiebehaftetes oder reines Buchstabenmaterial dargeboten wurde. Die Lokalisation der N400 ist dabei abhängig von der „Leseaufgabe“, die in der jeweiligen Studie umgesetzt wird: die durch Priming evozierte N400 weist eine eher centro-parietale, die durch passives Wortlesen evozierte N400 eine eher anteriore Verteilung auf. Zudem ist wie bei allen EKPs ein Alterseffekt dahingehend zu beobachten, dass sich die Amplitude der N400 mit zunehmendem Alter verringert. Die geringere Ausprägung der N400 bei Erwachsenen soll dabei laut GROSSI et al. (2001) auf automatisiertere Sprachverarbeitungsprozesse hindeuten.

Hinsichtlich der Untersuchung der LRS wird in der Studienreihe der Arbeitsgruppe um MCPHERSON (1994, 1996, 1998 & 1999) beschrieben, dass sich innerhalb des Zeitbereiches der N400 bei Probanden mit LRS defizitäre Verarbeitungsprozesse abzeichnen.

Der Überblick über die beschriebenen Studien zeigt hinsichtlich der Untersuchung der phonologischen Fähigkeiten von Probanden mit LRS anhand von EKPs durchgehend einen verringerten N400-Priming-Effekt bei phonologisch schwachen Probanden mit LRS. Interpretiert wird dies als Reduzierung neuronaler Kapazität und Aktivierungen während phonologischer Verarbeitungsprozesse. Wenn ein „gesunder“ Leser ein Urteil über die phonologische Ähnlichkeit eines Stimulus mit einem zweiten fällen soll, muss dazu die Prime-Information in einer Art phonologischer Speicher gehalten werden. Durch den anhand des Primes aktivierten phonologische Code, benötigt die Verarbeitung des (phonologisch ähnlichen) Targets weniger Aktivierungsaufwand. Deshalb leitet sich daraus die Annahme ab, dass Probanden mit LRS entweder nicht über ausreichende Kapazitäten für die Verarbeitung der phonologischen Information verfügen, oder dass sie die phonologischen Codes nicht effizient genug im phonologischen Gedächtnisspeicher halten können. Möglicherweise trifft auch beides gleichzeitig zu.

### **2.3 Einordnung der Fragestellungen der vorliegenden Untersuchung in Vorarbeiten der hiesigen Arbeitsgruppe**

Anhand der oben dargestellten empirischen Befunde wurde ein Überblick über die bislang mit Sprachverarbeitung assoziierten EKP-Komponenten gegeben. Besonderer Augenmerk lag dabei auf der Untersuchung phonologischer Wortverarbeitung anhand von EKPs. Neben frühen Komponenten des visuell evozierten Potentials, die bereits mit Wortverarbeitungsprozessen in Zusammenhang stehen sollen, steht vor allem die N400 bei der vorliegenden Studie im Zentrum des Interesses. Hinsichtlich dieses Zeitbereiches gibt es zahlreiche Hinweise darauf, dass sich defizitäre phonologische Verarbeitungsprozesse bei Probanden mit LRS in diesen Bereichen abbilden lassen. Neben zahlreichen internationalen Arbeitsgruppen, die LRS-spezifische Defizite mittels bildgebender Verfahren untersuchten, hat auch die hiesigen Arbeitsgruppe diesbezüglich bereits Untersuchungen durchgeführt und LRS-Defizite beschrieben (GEORGIEWA, RZANNY, HOPF, KNAB, GLAUCHE, KAISER UND BLANZ, 1999). Hierzu wurden in Vorgängerarbeiten auch bereits die Frage der Konvergenz von bildgebenden und elektrophysiologischen Befunden untersucht (GEORGIEWA ET AL., 2002). Anhand der vorliegenden Studie wurde der rote Faden dieser Vorarbeiten aufgegriffen und mit methodischen sowie technischen Weiterentwicklungen weiter verfolgt. Innovativ ist an der vorliegenden Studie, die biologischen Grundlagen der phonologischen Defizithypothese in der gleichen Stichprobe mittels zweier verschiedener Messmethoden (fMRI und EKPs) im Rahmen des selben Paradigmas zu untersuchen, um konvergierende Befunde aus Bildgebung und Elektrophysiologie zum ungestörten wie gestörten Sprachverarbeitungsprozess

zu erheben. Nach dem aktuellen Kenntnisstand ist dies die erste Studie, die ein solches Vorhaben realisiert. Die Abstufung der Stimulationsbedingungen wurde von SHAYWITZ et al. (1998) adaptiert und systematisch um weitere Stufen ergänzt, um abzuklären, ob die beiden Lesestrecken, die vom Dual-Route-Modell postuliert werden, durch das phonologische Defizit unterschiedlich stark beeinträchtigt sind. Dem elektrophysiologischen Teil der Untersuchung muss dabei explizit ein explorativer und hypothesengenerierender Charakter zugeschrieben werden, da aus methodischen Aspekten eine EEG-untypische Paradigmendarbietung gewählt wurde, um eine größtmögliche Konvergenz der Datenebenen zu gewährleisten. Vor dem Hintergrund, dass bekanntermaßen paradigmatische Abweichungen (Abweichung vom klassischen Priming-Paradigma) unweigerlich auch elektrophysiologische Änderungen nach sich ziehen, ist davon auszugehen, dass die Befunde nicht unmittelbar in die oben beschriebene Literaturlandschaft einzuordnen sind. Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit sind die elektrophysiologischen Fragestellungen des übergeordneten Studienkonzeptes. Die Befunde zur Bildgebung werden an anderer Stelle dargestellt (LIGGES, 2002).

### 3 Fragestellungen

Drei übergeordnete Fragestellungen sollen sowohl anhand neuropsychologischer (Verarbeitungsprozesse erfasst über Verhaltensdaten) wie auch neurophysiologischer (Verarbeitungsprozesse erfasst auf cerebraler Ebene) Daten geklärt werden. Für die verschiedenen Datenebenen wurden dabei folgende Bezeichnungen gewählt: mit dem Begriff *Leistungsdaten* wurden sämtliche neuropsychologischen Daten bezeichnet. Sie umfassen sowohl die Fehlerraten und Reaktionszeiten des Leseexperiments (hierfür wurde der Begriff *Wortlisten* gewählt), als auch die Fehlerraten und Reaktionszeiten, die während der elektrophysiologischen Messung miterhoben und als *ERTS-Daten* bezeichnet wurden. Unter dem Begriff *EKP* wurden Amplitudenausprägungen und Latenzzeiten der elektrophysiologischen Daten zusammengefasst.

Da ein Paradigma wie in der vorliegenden Studie im deutschen Sprachraum noch nicht vorgegeben wurde, soll zum einen untersucht werden, wie die verschiedenen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung die neuropsychologischen und neurophysiologischen Daten modulieren. Vor diesem Hintergrund soll dann das Vorliegen eines phonologischen Defizits bei der LRS geklärt werden. Da zudem Probanden aus zwei verschiedenen Altersstufen untersucht werden, sollen abschließend Fragen zur gestörten und ungestörten Leseentwicklung geklärt werden. Zum Verständnis der verschiedenen Stimulationsbedingungen sei auf Abschnitt 4.2.1 verwiesen.

#### 3.1 Wie spiegeln sich die unterschiedlichen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung in den Daten wider?

Von Interesse ist hierbei, wie die verschiedenen abhängigen Variablen (Reaktionszeiten, Fehlerraten sowie Amplituden und Latenzen der EKPs) durch die verschiedenen Stufen des Stimulationsmaterials moduliert werden.

##### ***Leistungsdaten:***

*ERTS:* In beiden Gruppen (LRS- und Kontrollgruppe) sollen Verarbeitungszeiten und Fehlerraten ausgehend von der Stufe des Musterabgleiches hin zu der Stufe des Nonwortreimens sukzessive ansteigen.

*EKPs:* Welche Komponenten lassen sich durch die verschiedenen Stufen des Paradigmas modulieren? Kann auch im deutschen Sprachraum eine ähnliche Modulation der N400 in Abhängigkeit von Mustermaterial hin zu phonologiebehaftetem Wortmaterial wie bei Coch et al. (2002) beobachtet werden?

## 3.2 Phonologisches Defizit bei der LRS

An welcher Verarbeitungsstörung können die Defizite von Probanden mit LRS festgemacht werden? Da das Hauptaugenmerk dabei auf der *Abklärung eines phonologischen Defizits* liegt, interessiert vor allem die Frage, ob es Gruppenunterschiede auf der Ebene der abhängigen Variablen gibt, durch die phonologische Verarbeitungsprozesse operationalisiert werden. Falls ein solches Defizit vorliegt, sollen sich somit signifikante Gruppenunterschiede vor allem in den Aufgaben aufzeigen, die zur Bearbeitung das lautliche Segmentieren oder das Hantieren mit lautlichen Einheiten des Wortmaterials erfordern und somit hohe Anforderungen an die phonologischen Fähigkeiten des Probanden stellen.

**Leistungsdaten:** Auf der Ebene der Leistungsdaten werden folgende Erwartungen für die Ergebnisse der Wortlisten und ERTS-Daten aufgestellt:

- *Wortlisten:* Probanden mit LRS machen bei den phonologisch anspruchsvollen Aufgaben wie Nonwortlesen und der Worttransformationsaufgabe mehr Fehler und / oder benötigen mehr Zeit als Kontrollprobanden.
- *ERTS:* Bis auf die Ruhebedingung (Musterabgleich) bewältigen die Probanden mit LRS die Aufgaben langsamer und mit mehr Fehlern als die Kontrollprobanden. Mit steigender phonologischer Anforderung über die verschiedenen Stufen der Wortverarbeitung werden die Leistungsunterschiede zwischen Probanden mit LRS und Kontrollprobanden größer.

**EKPs:** Von Interesse ist dabei, in welchen Zeitfenstern und bei welchen Komponenten sich phonologiebezogene Gruppenunterschiede zeigen. Bei der Bearbeitung von Stimuluspaaren, die einen phonologischen Inhalt haben, sollen signifikante Gruppenunterschiede in Amplitudenausprägung oder Latenz zwischen Probanden mit LRS und Kontrollprobanden auftreten. Hauptaugenmerk soll dabei gemäß den dargestellten empirischen Befunden auf der N400 liegen.

## 3.3 Fragestellung zu adressierter vs. assemblierte Lesestrategie

### 3.3.1 Ist eine derartige Differenzierung überhaupt möglich?

Lesemodelle aus dem englischen Sprachraum wie das Dual-Route-Modell von Coltheart (1978) stellen die Annahme auf, dass in Abhängigkeit vom zu erlesenden Wortmaterial verschiedene Lesestrategien (*adressiert vs. assembliert*) zum Einsatz kommen. Für derartige Modellannahmen ist jedoch noch nicht geklärt, ob dies für den deutschen Sprachraum ebenfalls zutrifft. Ob im deutschen Sprachraum zwischen verschiedenen Lesestrecken differenziert werden kann, soll über verschiedene Stufen der Wortverarbeitung (hochfrequentes Wortlesen, Nonwortlesen und Non-

wortreimen) überprüft werden. Zusätzlich kann so die Frage untersucht werden, ob ausgehend von den beschriebenen Lesemodellen die Rolle der Phonologie eher im Sinne der „Mediatorhypothese“ (NIZNIKIEWICZ & SQUIRES, 1996) oder im Sinne der „Delayed-Phonology-Hypothese“ (SEIDENBERG, 1985) zu interpretieren ist.

**Leistungsdaten:**

*Wortlisten:* Wenn man davon ausgeht, dass adressiertes Lesen ein stark automatisierter Prozess ist, sollen die Reaktionszeiten und/oder Fehlerraten auf der Ebene des Wortlesens geringer sein als beim Nonwortlesen.

*ERTS:* Reaktionszeiten und/oder Fehlerraten sollen auf der Ebene des Wortlesens geringer sein als beim Nonwortlesen und Nonwortreimen.

*EKPs:* Lassen sich auf cerebraler Ebene unterschiedliche Lesestrategien (automatisierter lexikalischer Abruf vs. Erlesen über lautliches Segmentieren) differenzieren? Potentiell könnte man in EKP-Daten auf zwei Wegen eine solche Differenzierung wiederfinden: werden auf das Wortlesen hin andere EKP-Komponentenstrukturen als beim Nonwortlesen und Nonwortreimen evoziert? Oder äußert sich die unterschiedliche Verarbeitungsweise über die Mehr- oder Minderausprägung innerhalb der selben sprachbezogenen Komponente, z.B. einer Variation der Amplitudenausprägung der N400 in Abhängigkeit von den Paradigmenstufen Wortlesen bis Nonwortreimen?

### 3.3.2 Prägen sich die Gruppenunterschiede zwischen LRS- und Kontrollprobanden auf diesen Lesestrecken unterschiedlich stark aus?

Die Befundlage hierzu ist gerade auf der Ebene hirnelektrischer Daten bis dato empirisch noch sehr unklar. Sollten die Daten der Kontrollgruppe auf eine Differenzierung zwischen den Verarbeitungsstrecken hindeuten, gilt es zu klären, ob dies ebenfalls für die Probanden mit LRS gilt, und ob spezifische Leistungsunterschiede auf einer der beiden Strecken zu erkennen sind. Beruht es auf Störungen lexikalisch bedingter Prozesse (*adressierte Strecke*) sollen sich die Unterschiede zwischen den Probanden mit LRS und den Kontrollprobanden vor allem auf der Stufe des Wortlesens zeigen. Handelt es sich hingegen um eine Störung des phonologischen Rekodierens (*assemblierte Phonologie*), sollen Gruppenunterschiede vor allem bei den Bedingungen Nonwortlesen und Nonwortreimen hervortreten.

**Leistungsdaten:**

*Wortlisten:* Besteht eine Störung der adressierten Phonologie soll sich dies beim Erlesen von hochfrequenten Wörtern manifestieren. Probanden mit LRS sollen mehr Zeit benötigen und/oder mehr Fehler machen als Kontrollprobanden. Besteht eine Störung der as-

semblierten Phonologie muss sich diese in Störungen beim Nonwortlesen zeigen, da hier für die Aufgabenlösung wichtig ist, die Wörter in ihre einzelnen phonemischen Bestandteile zu zerlegen. Probanden mit LRS sollen dann für diese Aufgaben mehr Zeit benötigen und/oder mehr Fehler machen als Kontrollprobanden.

*ERTS:* Analog zu den Wortlisten soll sich die adressierte Lesestrategie in der Bedingung des hochfrequenten Wortlesens widerspiegeln. Bearbeitungszeit und/oder Fehlerraten sollen sich hier zwischen den Störungsgruppen unterscheiden. Die Störung der assemblierten Phonologie soll sich hinsichtlich Zeit und/oder Fehler bei den Bedingungen Nonwortlesen und Nonwortreimen zeigen. Wenn man davon ausgeht, dass von phonologischer Seite betrachtet die Stufe des Nonwortreimens die höhere phonologische Anforderung darstellt, sollen die Unterschiede auf dieser Stufe noch stärker zu Tage treten.

*EKPs:* Bilden sich Gruppenunterschiede in den EKPs auf der Stufe des Wortlesens anders aus als auf den Stufen Nonwortlesen und / oder Nonwortreimen?

### 3.4 Entwicklung von Lesefertigkeiten

Diesbezüglich gilt es zu klären, ob mit zunehmender Lesepraxis eine Änderung der Lesestrategie einhergeht, und ob sich bezogen auf die LRS das phonologische Defizit über die Altersstufen hinweg anders darstellt.

#### 3.4.1 Verändern sich Lesestrategien in Abhängigkeit von der Lesepraxis?

*Leistungsdaten:* Mit zunehmendem Alter sollen sich Lesegenauigkeit und –geschwindigkeit in beiden Gruppen (LRS- und Kontrollgruppe) verbessern. Beim Lesen von Wörtern verringern sich mit zunehmendem Alter die Leistungsunterschiede zwischen Probanden mit LRS und der Kontrollgruppe. Bei Aufgaben mit erhöhter phonologischer Anforderung (Nonwortlesen, Nonwortreimen, Worttransformation) bleibt jedoch ein deutliches Leistungsdefizit der Probanden mit LRS bestehen.

*Wortlisten:* Erwachsene Probanden mit LRS sowie Kontrollprobanden sollen weniger Fehler machen und schneller lesen als die der jeweiligen Gruppe entsprechenden Jugendlichen.

*ERTS:* Erwachsene Probanden mit LRS sowie Kontrollprobanden sollen ab der Bedingung des Wortlesens weniger Fehler machen und schneller lesen als die der jeweiligen Gruppe entsprechenden Jugendlichen.

*EKPs:* Kann man diese Leseentwicklung auch auf Ebene der EKPs wiederfinden? Die untersuchten sprachevozierten Potentiale sollen sich dann zwischen Erwachsenen und den zu den jeweiligen Gruppen gehörenden Jugendlichen in Amplitude und/oder Latenz unterscheiden.

### **3.4.2 Stellt sich das phonologische Defizit über die Altersstufen hinweg anders dar?**

Von Interesse ist hier, ob Probanden mit LRS bezogen auf ihr phonologisches Defizit unterschiedliche Leistungsmerkmale in Abhängigkeit vom Alter aufweisen. Finden sich solche Entwicklungsmerkmale einer veränderten phonologischen Verarbeitung auch auf physiologischer/cerebraler Ebene in Form einer Minderausprägungen von Amplituden und/oder verringerten Latenzen?

## 4 Methode

### 4.1 Beschreibung der diagnostischen Sitzung und der Stichprobenzusammensetzung

#### 4.1.1 Diagnostische Sitzung

Beim Erstkontakt wurden alle Probanden mündlich und schriftlich über Inhalt und Ablauf der Studie aufgeklärt und darauf hingewiesen, dass sie die Teilnahme an der Studie zu jeder Zeit ohne Angabe von Gründen oder negative Folgen beenden können. Die Probanden bzw. die Erziehungsberechtigten unterzeichneten weiterhin vor der Teilnahme eine schriftliche Einverständniserklärung.

Zunächst fand ein ausführliches anamnestisches Gespräch statt. Während dieses Gesprächs wurden die allgemeinen Daten des Probanden erfasst, Informationen zur Manifestation und Verlauf der Probleme in Schule und privatem Bereich erhoben sowie die Fehlerschwerpunkte beim Lesen und Schreiben abgeklärt. Zudem wurden das momentane Notenprofil, Besonderheiten bei der Sprachentwicklung und der Beübungsstand des Kindes erfasst. Eventuelle Begleitstörungen, neurologische Auffälligkeiten sowie das Vorliegen einer Hör- oder Sehbeeinträchtigung wurden ebenfalls abgeklärt. Anschließend fand eine testdiagnostische Untersuchung statt, in deren Rahmen der nonverbale IQ, Lese- und Rechtschreibleistungen sowie die Konzentrationsfähigkeit anhand standardisierter Testverfahren erhoben wurden. Die Testergebnisse der Intelligenz-, Lese- und Rechtschreibdiagnostik wurden der Vergleichbarkeit wegen in IQ-Werte umgerechnet. Diese Daten dienten vornehmlich der Stichprobenbeschreibung. Zudem wurden im Rahmen der diagnostischen Sitzung neuropsychologische Daten zu Leistungen auf der Ebene der phonologischen Bewusstheit anhand eines kleinen Leseexperiments erhoben.

##### 4.1.1.1 Beschreibung der Testbatterie

Aufgrund dessen, dass sich die mangelnde Lese- und Rechtschreibfertigkeit in vielen nicht-sprachfreien Intelligenzverfahren als Störvariable niederschlägt, wurde das formallogische Denkvermögen über ein sprachfreies Verfahren, den Raven-Matrizen-Test, erfasst. Jeweils altersgerecht kamen von sieben bis 17,11 Jahre die Standard Progressive Matrices (SPM; RAVEN, 1996) und ab 18 Jahren die Advanced Progressive Matrices (APM; RAVEN, 1998) zum Einsatz. Als Aufgaben wurden Muster aus Strichzeichnungen oder Figuren vorgegeben, die nach einem bestimmten Prinzip aufgebaut waren. Ein Teil des Musters war ausgelassen. Die Aufgabe des Probanden bestand darin, ähnlich der Ergänzung eines Puzzles, aus mehreren vorgegebenen Lö-

sungsmöglichkeiten, das Muster nach dessen Aufbauprinzip zu ergänzen. Erfasst wurden induktives Denken, räumliche Wahrnehmung und Vorstellung.

Die Rechtschreibleistung wurde ebenfalls altersgerecht über verschiedenen Rechtschreibtests erfasst (WRT 2+ (BIRKEL, 1994a), WRT 3+ (BIRKEL, 1994b), WRT 4/5 (RATHENOW, 1980b), WRT6+ (RATHENOW, 1980a), RT (JÄGER, 1974), wobei es sich bei sämtlichen Verfahren um Tests in Form von Lückendiktaten handelte. Die Aufgabe des Probanden bestand dabei darin, aus dem Text, der Satzweise vorgelesen wurde, die kritischen Wörter zu identifizieren und in die Lücken einzusetzen. Die Bewertung der Rechtschreibleistung erfolgte anhand der Fehlerzahlen.

Die Leseleistung wurde anhand des Zürcher Lesetests (ZLT, GRISSEMAN, 1998) erfasst. Obwohl dieser Test lediglich bis zum Ende des ersten Quartals der 6. Klasse normiert ist, kam dieser Test bewusst zum Einsatz vor dem Hintergrund, dass dieser Test der einzige ist, der wenigstens bis zu diesem Altersbereich geht. Derzeit stehen keine standardisierten Verfahren zur Verfügung, die für einen höheren Altersbereich normiert sind. Im Rahmen des ZLT wurden altersangemessen verschiedene Wort- und Textleseaufgaben vorgegeben, bei denen Fehler und Lesezeit registriert wurden.

Zur Erfassung der Konzentrationsleistung wurde der Aufmerksamkeits-Belastungstest (d2, BRICKENKAMP, 1994) eingesetzt. Eine durchschnittliche Konzentrationsfähigkeit stellt zwar kein diagnostisches Kriterium für die LRS dar, jedoch kann so vermieden werden, dass die übrigen kognitiven Leistungen durch eine unterdurchschnittliche Aufmerksamkeitsfähigkeit konfundiert werden. Der d2 dient der Beurteilung der (kurzzeitigen) Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistung anhand von Tempo und Sorgfalt bei der Unterscheidung visuell ähnlicher Reize. Hierbei galt es, zeilenweise aus einer Menge von alternierenden „d“s und „p“s den Buchstaben d, der zusätzlich mit zwei Strichen versehen ist, anzustreichen. Pro Zeile stand dafür eine Bearbeitungszeit von 20 Sekunden zur Verfügung.

Die diagnostische Sitzung wurde mit 30 DM vergütet.

#### **4.1.1.2 Beschreibung des Leseexperimentes im Rahmen der diagnostischen Sitzung**

Im Rahmen der diagnostischen Sitzung wurde zudem ein Leseexperiment durchgeführt, um neuropsychologische Leistungsdaten zur phonologischen Dekodierfähigkeit und phonologischen Bewusstheit zu erfassen. Diese Erhebung erfolgte anhand nicht standardisierte Wort- und Nonwortlisten (SCHULTE-KÖRNE, 1995), die im Anhang abgebildet sind. Zur Untersuchung der phonologischen Dekodierfähigkeit wurden altersangepasste Listen von ein- und dreisilbigen Wörtern sowie ein- und dreisilbigen Nonwörtern vorgegeben, die vom Proband laut vorzulesen waren. Abhängige Variablen waren hierbei Fehler und Zeit, die zum Erlesen benötigt wurden. Die Fä-

higkeit zum Hantieren mit den lautlichen Bestandteilen wurde über ebenfalls altersangemessen abgestufte Listen mit Worttransformationsaufgaben erhoben. Hierbei galt es, ein Wort zunächst still zu erlesen, mental nach einer bestimmten Transformationsregel umzuformen und anschließend das Ergebnis laut auszusprechen. Hierbei wurden ebenfalls Fehler und Zeit registriert. Die Aufgaben Nonwörter lesen und Worttransformationsaufgabe dienten der Erfassung der phonologischen Bewusstheit und somit zur Operationalisierung des phonologischen Defizits auf neuropsychologischer Ebene.

### *Abhängige Variablen im Rahmen des Leseexperimentes*

Die Daten der testdiagnostischen Untersuchung sind weniger im Sinne von abhängigen Variablen zu verstehen. Vielmehr dienten sie hauptsächlich der Stichprobenbeschreibung, um auf statistischer Ebene das Vorliegen der diagnostischen Kriterien für die LRS beschreiben zu können (durchschnittlicher nonverbaler IQ, keine Divergenzen im nonverbalen IQ zwischen Kontrollgruppe und LRS-Gruppe, deutlich unterdurchschnittliche Lese- und Rechtschreibleistung, durchschnittliche Konzentrationsfähigkeit). Im Sinne von wirklichen abhängigen Variablen zur Operationalisierung des phonologischen Defizits sind die Leseleistungen (Fehler und Zeit) bei den Wort- und Nonwortlisten sowie der Worttransformationsaufgabe zu sehen.

#### **4.1.2 Beschreibung der Stichprobenszusammensetzung**

Untersucht wurde eine Gesamtstichprobe von 60 Probanden. Diese Stichprobe untergliederte sich in zwei Altersgruppen (Jugendliche und Erwachsene), die wiederum unterteilt wurde in Probanden mit LRS sowie Kontrollprobanden.

Tabelle 1: deskriptive Statistik der Stichprobendaten

Altersgruppe Störungsgruppe	Jugendliche		Erwachsene	
	LRS	KG	LRS	KG
N	15	15	15	15
Geschlechterverhältnis m:w	12:3	8:7	10:5	6:9
Ø Alter	13,81 (1,62)	13,53 (1,62)	26,41 (10,27)	25,92 (4,55)
Ø nonverbaler IQ	106,07 (15,48)	104,73 (14,26)	103,40 (13,76)	105,40 (13,88)
Ø Rechtschreibleistung	70,94 (14,72)	103,03 (12,53)	65,45 (12,02)	102,89 (12,94)
Ø Leseleistung / Fehler	81,87 (13,45)	102,25 (6,84)	97,72 (11,15)	110,25 (2,40)
Ø Leseleistung / Zeit	78,18 (10,29)	110,15 (4,23)	103,75 (9,78)	112,00 (0)
Ø Konzentrationsleistung	49,03 (28,23)	74,97 (19,06)	56,95 (29,34)	79,19 (22,04)

Werte in Klammern: Standardabweichungen; Ø: Mittelwert, Werte des nonverbalen IQs, der Rechtschreibleistung, der Leseleistung / Zeit und Fehler sind als IQ-Punkte dargestellt; das Geschlechterverhältnis ist in absoluten Zahlen wiedergegeben.

Bei der Stichprobenbesetzung wurde (so gut es in einem klinischen Setting möglich ist) darauf geachtet, die Probanden nach Alter und nonverbaler Intelligenzleistung zu matchen. Alle untersuchten Personen erfüllten das Einschlusskriterium von durchschnittlich ausgeprägten kognitiven Leistungsvoraussetzungen. Die Unterteilung in Probanden mit LRS / Kontrollproband erfolgte anhand des doppelten Diskrepanzkriteriums gemäß den Forschungsleitlinien des ICD-10 (DILLING et al., 2000). Für die Stichprobe der erwachsene Probanden mit LRS sei darauf verwiesen, dass zusätzlich zu den testdiagnostischen Kriterien auch das Vorliegen von massiven Lese- und Rechtschreibproblemen im Kindes- und Jugendalter verlangt wurde. Für die Kontrollprobanden wurde eine durchschnittliche Lese- und Rechtschreibleistung vorausgesetzt. Generelle Ausschlusskriterien waren unkorrigierte Beeinträchtigungen des Sehens und Hörens, Linkshändigkeit, psychiatrische Erkrankungen, neurologische Auffälligkeiten sowie eine bilinguale Erziehung. Der Übersicht halber sei die tabellarische Darstellung der deskriptiven Statistik der Stichprobendaten vorweggenommen (s. Tabelle 1).

## **4.2 Beschreibung des Stimulationsmaterials sowie des Ablaufes der neurophysiologischen EEG-Untersuchung**

### **4.2.1 Stimulationsmaterial**

Vorneweg ist zu bemerken, dass es sich bei dem vorliegenden Paradigma nicht um ein klassisches EEG-Paradigma handelte. Ziel der gesamten Studie, aus der diese Promotionsarbeit einen Teilaspekt behandelt, war die Zusammenführung von fMRT- und EEG-Daten. Generell gilt, dass sich die Anforderungen dieser beiden Untersuchungsmethoden an den paradigmatischen Aufbau (Präsentationsart und blockweise Messung im fMRT, etc.) unterscheiden. Um jedoch eine größtmögliche Übereinstimmung zwischen beiden Datensätze zu realisieren, wurde bewusst auf ein EEG-typisches Paradigma verzichtet.

Vor dem Hintergrund, dass das Hautaugenmerk dieser Arbeit auf der Überprüfung der phonologischen Defizithypothese der LRS lag, wurden die Aufgaben Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen in das Stimulationsmaterial aufgenommen, da in den oben beschriebenen empirischen Studien die Operationalisierung phonologischer Verarbeitungsprozesse meist über diese Aufgaben erfolgte. Der Hauptgedanke bei der Zusammensetzung des Stimulationsmaterials war, eine Art Stufenmodell zu gestalten, um nach einem pseudohierarchischen Prinzip phonologische Wortverarbeitungsprozesse in verschieden starkem Ausmaß anzuregen. Sollte bei den Probanden mit LRS ein phonologisches Defizit vorliegen, dann sollte sich dieses Defizit über die verschie-

denen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung hinweg immer deutlicher zeigen, da die Anforderung an phonologische Verarbeitungsprozesse von Aufgabe zu Aufgabe stetig zunimmt.

Als Baselinebedingung wurde ein Musterabgleich (A) eingeführt, der keinerlei orthographische, phonologische oder semantische Kodierung erfordern sollte. Bedingung A sollte somit mit den Bedingungen B-D einzig hinsichtlich der elementaren visuellen Verarbeitung übereinstimmen. Dabei handelte es sich um Ketten aus Schrägstrichen (Slashes).

Beim Buchstabenabgleich (B) waren Buchstabenketten, die lediglich Konsonanten beinhalteten und somit keine lesbaren Einheiten mit phonologischer Information darstellten, miteinander zu vergleichen. Neben der elementaren visuellen Verarbeitung sollten bei Bedingung B zusätzlich orthographische Prozesse angeregt werden.

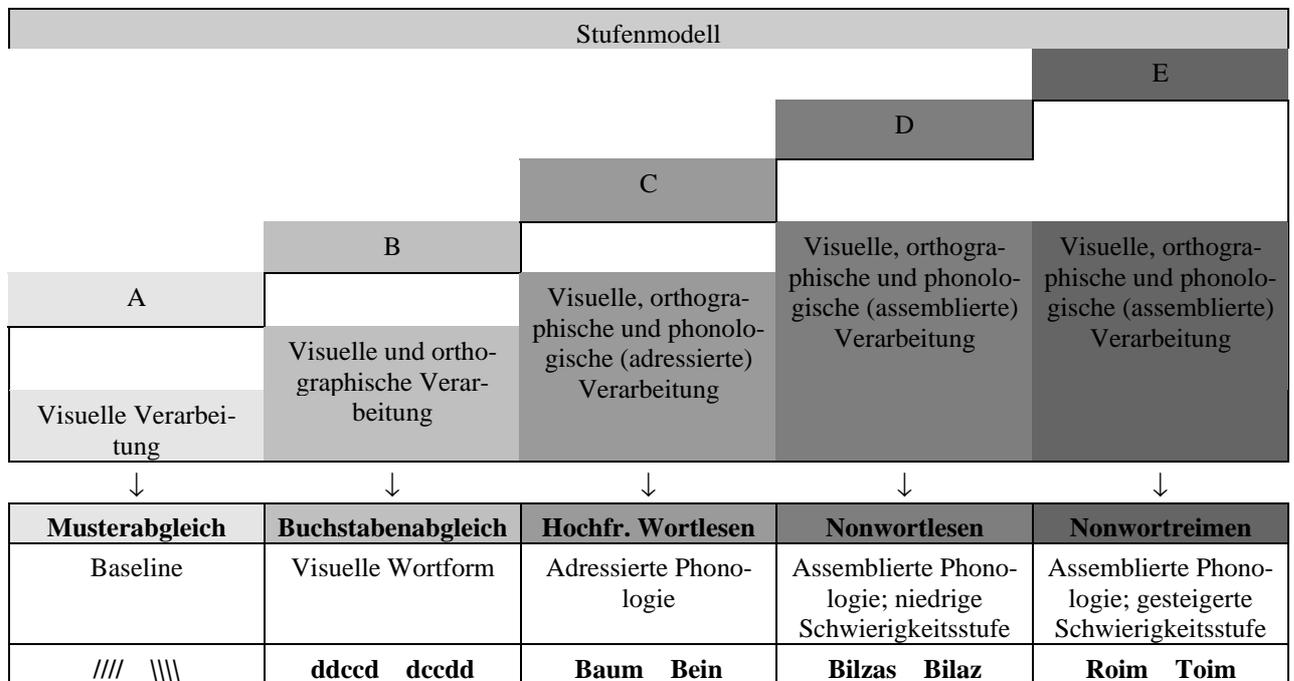


Abb. 10: Stufenmodell mit steigender phonologischer Anforderung

Ab der dritten Stufe sollten phonologische Kodierungsprozesse angeregt werden: über das Lesen hochfrequenter regulärer Wörter (C), die dem Sprachschatz der 3. Klasse entnommen wurden (ORTMANN, 1976; PREGEL & RICKHEIT, 1987) sollte zunächst ein stark automatisiertes Ganzwortlesen operationalisiert werden.

Auf der nächsten Stufe wurden Nonwörter vorgegeben. Das Nonwortlesen sollte im Vergleich zum Wortlesen eine höhere phonologische Anforderung darstellen, da Nonwörter im normalen Alltagssprachschatz nicht existieren und somit nicht über einen Eintrag im mentalen Lexikon

verfügen, der direkt angesteuert werden könnte. Dieses unbekannte Wortmaterial muss also generell über das Wissen von Silbenstrukturen und Buchstaben-Laut-Zuordnungen erlesen werden.

Als phonologisch anspruchsvollste Bedingung galt das Reimen von Nonwörtern, da neben dem „phonologischen“ Erlesen der Silben (also dem phonologischen Rekodieren des Wortmaterials) diese noch über den Abruf eines passenden phonologischen Codes aus dem mentalen Lexikon bzw. dem phonologischen Speicher auf ihren „Reimgehalt“ hin bewertet werden mussten.

Die Darbietung aller Aufgaben wurde in Form von Entscheidungsaufgaben konzipiert, um neben den EEG-Daten Leistungsdaten auf neuropsychologischer Ebene erfassen zu können. Die Darbietungsrate wurde durch die individuelle Bearbeitungsgeschwindigkeit gesteuert, um die Aufgabenschwierigkeit auszubalancieren.

Das Stimulationsmaterial wurde ausgehend von Wörtern aus dem Wortschatz der 3. Klasse (PREGEL & RICKHEIT, 1987) und Listen über die Wortfrequenzen (ORTMANN, 1976) erstellt. Die Bildung der Nonwörter erfolgte dadurch, dass zunächst als Basis normale Wörter genommen wurden. Dann wurden die Vokale ausgetauscht und solange weitere Buchstaben vertauscht, bis keine Assoziationen mehr zu realen Wörtern bestanden. Die komplette Liste der Stimuli kann im Anhang eingesehen werden.

Um abzuklären, wie lang die maximale Darbietungszeit der Stimuli während der neurophysiologischen Untersuchung sein musste, um zu Gewähr leisten, dass der Großteil der Aufgaben gleichermaßen von den unterschiedlichen Altersstufen bearbeitet werden konnte, wurde ein Vorexperiment durchgeführt. Die genauen Ergebnisse finden sich im Anhang. Untersucht wurden Kinder mit LRS und erwachsene Kontrollprobanden als Vertreter der langsamsten und schnellsten Lese-gruppe. Ausgehend von diesen Ergebnissen wurde die maximale Darbietungszeit auf 5 Sekunden begrenzt.

#### **4.2.2 EEG-Experiment**

An die diagnostische Sitzung schloss sich zeitnah eine ca. zweistündige neurophysiologische Untersuchung an. Im Rahmen dieser EEG-Sitzung wurden Ereigniskorrelierte Potentiale (*EKPs*) sowie neurophysiologische Leistungsdaten („*ERTS*-Daten“) erhoben. Das Paradigma wurde in Form eines Blockdesigns vorgegeben und in zwei Messabschnitte unterteilt. Im Rahmen des ersten Messabschnitts wurden den Probanden die Aufgabenstufen Musterabgleich, Wortlesen sowie Nonwortlesen, im zweiten Abschnitt Musterabgleich, Buchstabenabgleich sowie Nonwortreimen vorgegeben.

Innerhalb der beiden Versuchsabschnitte wurden die Blöcke der verschiedenen Aufgaben alternierend vorgegeben. Die Abfolge der Stimulationsblöcke kann Abbildung 13 entnommen werden. Die Abfolge der Stimulationsblöcke sowie die Darbietungsreihenfolge der Stimuli innerhalb der Blöcke war bis auf die Reihenfolge der Strichmuster über alle Versuchspersonen gleich. Die Darbietung der Strichmuster wurde jeweils pro Block via ERTS<sup>®</sup> neu randomisiert. Wieviele Stimuli insgesamt vorgegeben wurden kann Tabelle 2 entnommen werden. Analog zur diagnostischen Sitzung wurde die neurophysiologische Untersuchung ebenfalls mit 30 DM vergütet.

#### 4.2.2.1 Aufbau der Einzeltrials

Die einzelnen Trials wurden als Entscheidungsaufgabe konzipiert. Pro Aufgabe wurden nebeneinander zwei Stimuli in gelber Schrift auf dem Bildschirm (blauer Hintergrund) eingeblendet. Die Höhe der Buchstaben betrug 3 cm mit einer Breite von 12 bis 30 cm. Die Aufgabe der Versuchsperson bestand darin, zu entscheiden, ob es sich um gleiche bzw. nichtgleiche Stimuli handelte (Wahrscheinlichkeit jeweils 50%). Die Antwort der Versuchsperson erfolgt via Tastendruck (links für gleiche, rechts für ungleiche Stimuluspaare). Nach dem Tastendruck wurde ein Interstimulusintervall von 500 ms eingebaut, um zu verhindern, dass die motorische Antwort die Ausprägung des nachfolgenden EKPs überlagerte. Dann wurde das nächste Stimuluspaar eingeblendet. Die Darbietungsrate wurde also direkt über die Bearbeitungsgeschwindigkeit der Versuchsperson gesteuert. Für den Fall, dass eine Aufgabe nicht innerhalb von 5 Sekunden bearbeitet worden war, wurde automatisch die nächste Aufgabe eingeblendet.

Tabelle 2: Aufteilung und Anzahl Stimuli

		Teil 1				Teil 2					
Muster / 1		Wortlesen		Nonw.-lesen		Muster / 2		Buchstaben		Nw.-reimen	
6 x 12 = 144		6 x 24 = 144									
gl	ngl										
72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72

(gl: gleiche, ngl: nichtgleiche Stimuluspaare)

#### 4.2.2.2 Messvorbereitung und technische Aufnahmeeinstellungen

Während der Messung wurde das EEG über 38 gesinterten Silber/Silber-Chlorid-Elektroden gemäß einem erweiterten 10/20-System (JASPER, 1958) aufgezeichnet. Die temporalen Bereiche wurden dabei mit einer höheren Elektrodendichte versehen. Die Lokalisierung der Elektroden kann dem unten abgebildeten Schema in Abbildung 11 entnommen werden. Die Ableitung erfolgte gegen verbundene Mastoide als Referenz. Die Augenbewegungen wurden über zwei bipolare Kanäle erfasst. Das vertikale Elektrookulogramm (VEOG) durch Elektroden ober- und un-

terhalb des linken Auges, das horizontale Elektrookulogramm (HEOG) durch Elektroden am linken und rechten äußeren Augenwinkel abgeleitet. Als Erdungselektrode diente Fpz.

Um die Übergangswiderstände so gering wie möglich zu halten, wurde die Kopfhaut zunächst großflächig mit 70%-igem Isopropanol vorbehandelt. Anschließend wurde die Haube so auf dem Kopf positioniert, dass die Elektrodenposition Cz auf dem Schnittpunkt (Vertexposition) der Verbindungslinien zwischen den anatomischen Landmarken Nasion/Inion sowie rechtem/linkem präaurikulären Punkt zu sitzen kam. Dann wurden an den einzelnen Ableitpunkten die Haare zur Seite gescheitelt, die Hautoberfläche mit einer Paste (skinPure, Nihon Kohden) geglättet und anschließend sowohl die Elektroden wie auch die Adapter mit einem Elektrolyt-Gel (eci Elektro-Gel, Electro-Cap International) befüllt. Die Elektroden wurden dann einzeln an die Adapter einer (für den Kopfumfang passenden) Haube angebracht (Easy Caps, Modulare Ableithaube, Falk Minow Services München). Durch diese Vorbereitungsweise konnten Übergangswiderstände unter 5 kOhm erzielt werden. Anschließend wurde die Position jeder einzelnen Elektrode mittels eines 3D-Koordinaten-Tracking-Systems (Polhemus Fastrak, Neuro Scan Labs) in Relation zu einem individuellen Koordinatensystem, das über Nasion, linker und rechter präaurikulärer Punkt, sowie Cz bestimmt wurde, registriert und abgespeichert. Das EEG wurde kontinuierlich abgeleitet und mittels SCAN<sup>®</sup> aufgezeichnet mit einem Bandpass von DC bis 30 Hz und einer Digitalisierungsrate von 250 Hz.

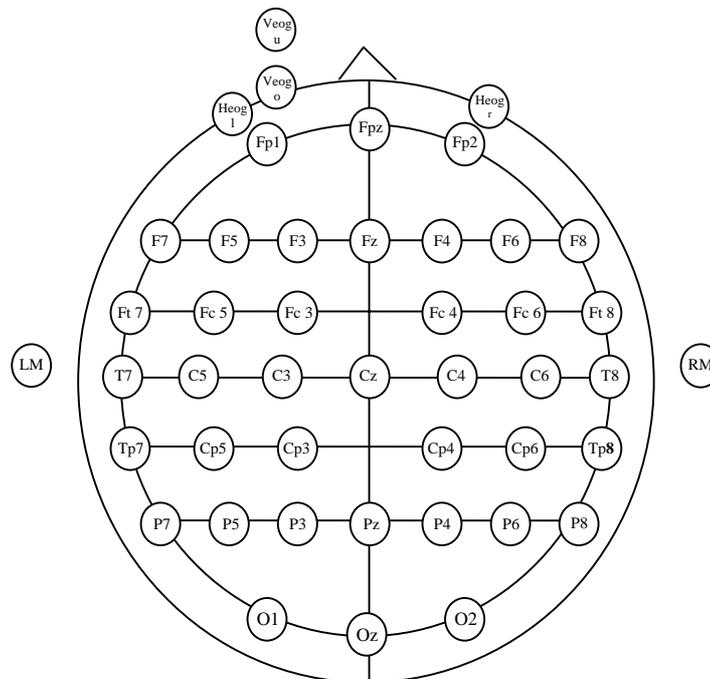


Abb. 11: Elektrodenpositionen

### 4.2.2.3 Ablauf der EEG-Messung

Die Messung wurde in einer abgeschirmten Kabine durchgeführt, um den Einfluss von elektrischen Störsignalen so gering wie möglich zu halten. Die Versuchsperson nahm in einem bequemen Sessel Platz und wurde via Elektrodenkabel mit den Vorverstärkern und Verstärkern verbunden. Die Darbietung der Stimuli erfolgte über einen Monitor, der auf Augenhöhe (ca. 100 cm) im Abstand von ca. 100 cm vor der Versuchsperson positioniert war. Die Computermaus wurde auf einem Brett auf dem Schoß der Versuchsperson positioniert. Der konkrete Aufbau der Messanordnung ist in Abbildung 12 dargestellt.

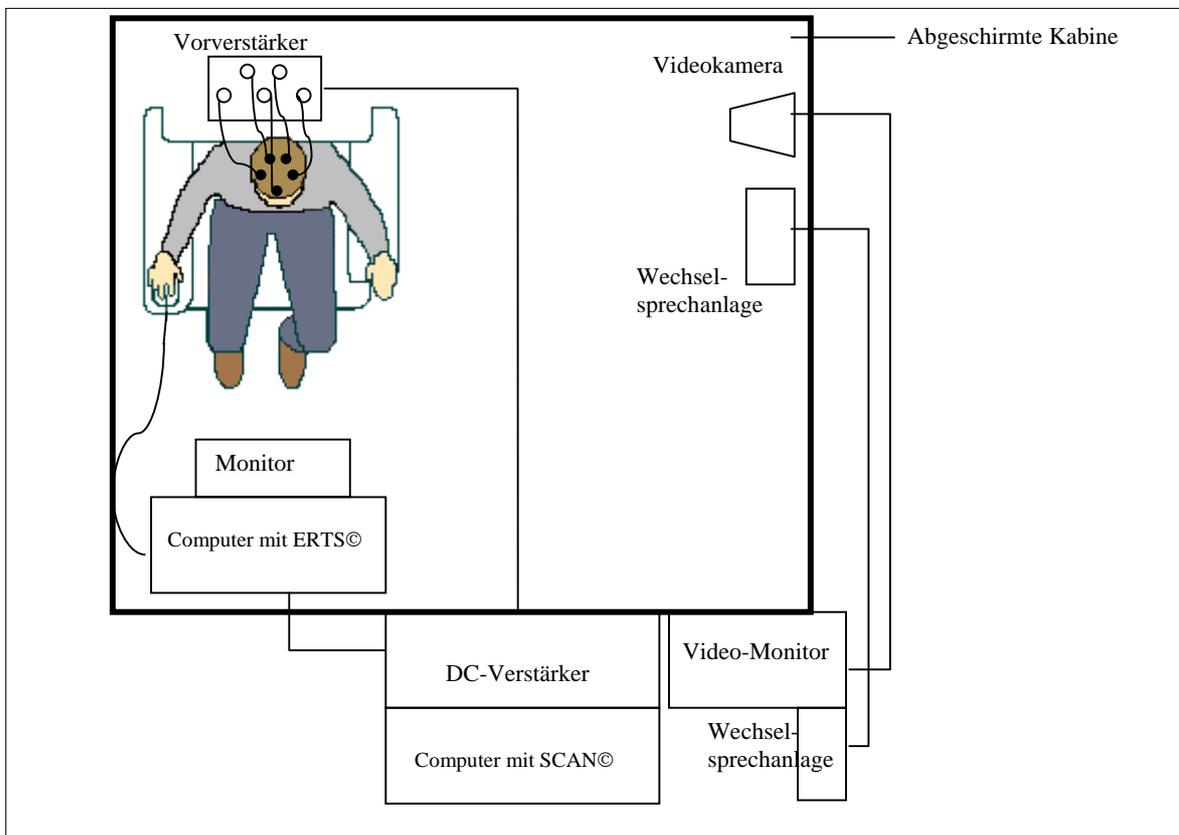


Abb. 12: Aufbau der Messanordnung

Dann wurde der Proband instruiert, sich so wenig wie möglich zu bewegen und zu blinzeln. Anschließend wurden die Aufgaben am Computer vorgeführt und erläutert. Die Versuchsperson wurde explizit gebeten, das Wortmaterial, so es sich um aussprechbare Buchstabenkombinationen handelte, innerlich/mental zu lesen, also ohne dabei laut zu sprechen oder den Mund zu bewegen. Zusätzlich wurde dem Proband mitgeteilt, dass ein ständiger Kontakt zum Versuchsleiter via Videokamera und Gegensprechanlage gegeben sei.

Wenn keine Fragen mehr vorhanden waren, wurde die Tür der Kabine geschlossen und der erste Teil der Messung gestartet. Bildonset sowie Tastendruck wurden je nach Bild- oder Tastendruckkategorie via Triggersignal in den EEG-Kanälen kodiert, um eine spätere reizbezogene Auswertung zu ermöglichen.

Nach Bearbeitung des ersten Versuchsteils wurde eine Pause eingelegt. Nun wurden die Instruktionen für den zweiten Untersuchungsteil gegeben. Die Versuchsperson wurde explizit instruiert, bei den Reimaufgaben den Klang der Nonwörter wirklich innerlich abzubilden und auf dieser Grundlage zu entscheiden, ob sich die Stimuli reimten oder nicht. Auf diese Weise sollte ein rein visueller Abgleich verhindert werden. Die Unterscheidung, wann in diesem Block Stimuluspaare als gleich/nichtgleich bzw. reimt/reimt-nicht beurteilt werden sollten, wurde dadurch erleichtert, dass in diesem Block die einzige Bedingung, in der man Wörter über Silbenbildung erlesen konnte, die Aufgabe des Nonwortreimens war. Je nach Arbeitstempo dauerte die Bearbeitungszeit für einen Versuchsteil zwischen 15 bis 20 Minuten.

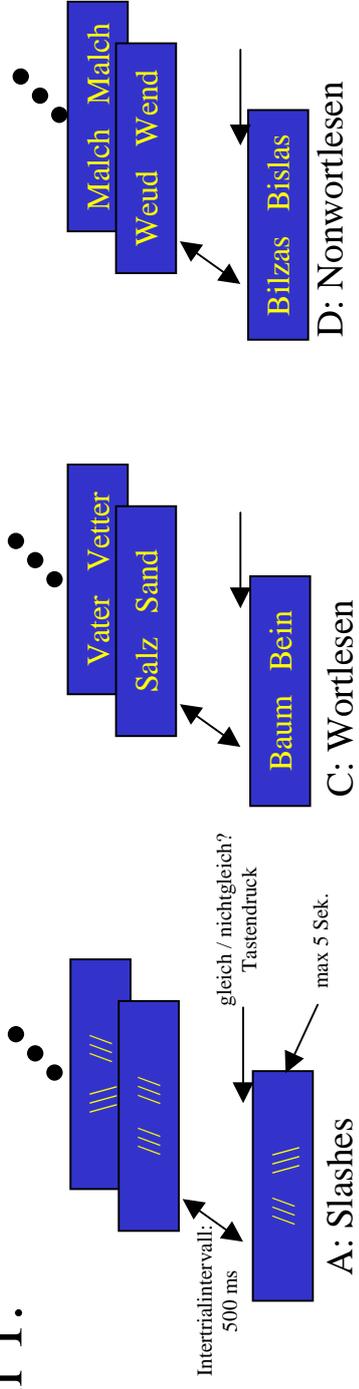
#### ***Abhängige Variablen im Rahmen der EEG-Untersuchung***

Als neuropsychologische Leistungsparameter wurden zur Operationalisierung des phonologischen Defizits auf neuropsychologischer Ebene als abhängige Variablen Fehlerraten, Reaktionszeiten und die Anzahl der nicht gelösten Aufgaben erfasst. Auf neurophysiologischer Ebene wurden mittlere Amplitudenwerte und Peak-to-Peak-Maße der EKPs untersucht.

### **4.3 Voraussetzungen der statistischen Hypothesenprüfung**

Der Einsatz aller parametrischen Verfahren zur statistischen Hypothesenprüfung ist an gewisse Voraussetzung der Daten gebunden. Da mathematische Verfahren wie die parametrischen Tests jedoch immer nur Annäherungen an die Realität darstellen, ist es häufig unvermeidbar, dass diese Voraussetzungen verletzt werden. Die Frage, die sich dann hierbei stellt, ist die, wie stark die Verletzung einer Annahme sein muss, dass sie einen schwer wiegenden Effekt auf die Entscheidungsfähigkeit des statistischen Verfahrens hat (STEVENS, 1996). Im folgenden sollen die einzelnen Voraussetzungen beschrieben werden, deren statistische Überprüfung bzw. der Umgang mit eventuellen Verletzungen dieser Voraussetzungen. Sämtliche statistische Analysen wurden mittels dem Statistical Package for the Social Sciences (SPSS<sup>®</sup> 10.1.3) vorgenommen.

### Teil 1:

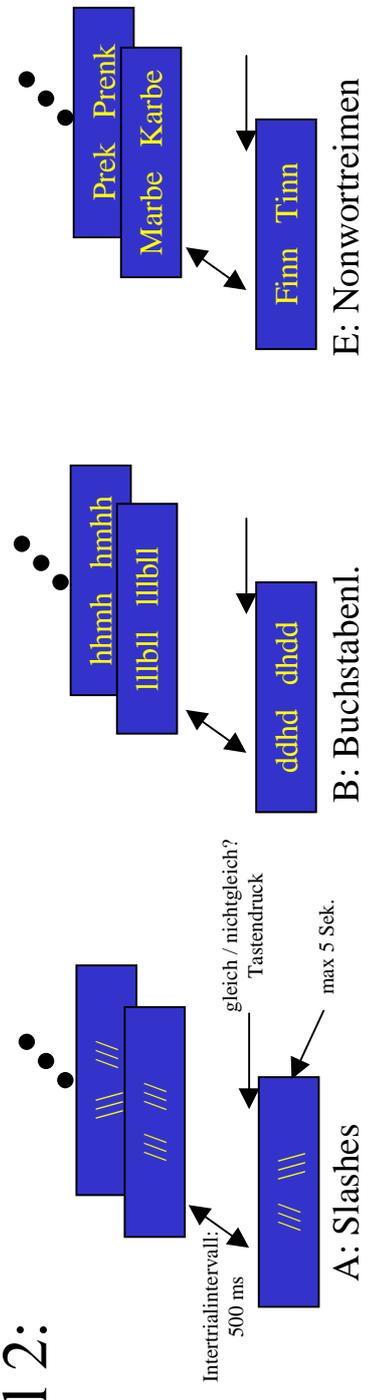


### Blockabfolge

A	D	A	C	A	D	A	C	A	C	A	D	A	C	A	C
12	24	12	24	12	24	12	24	12	24	12	24	12	24	12	24

Anzahl der Stimuli pro Block

### Teil 2:



### Blockabfolge

A	B	A	E	A	B	A	E	A	E	A	B	A	E	A	B	A	E
12	24	12	24	12	24	12	24	12	24	12	24	12	24	12	24	12	24

Anzahl der Stimuli pro Block

Abb. 13: Darstellung der Stimulationsabfolge im Einzeltrial, Blockabfolge sowie Anzahl der Stimuli pro Block

### 4.3.1 Normalverteiltheit der Daten

Grundlage dieser Voraussetzung ist die Anforderung, dass Stichproben aus einer repräsentativen Grundgesamtheit stammen müssen, in der die abhängigen Variablen normalverteilt sind. Diese Überprüfung erfolgte anhand des Kolmogorov-Smirnov-Tests. Abweichungen von der Normalverteilung sind laut NACHTIGALL UND WIRTZ (1998) dann zu vernachlässigen, wenn die Verteilungen schief sind. Bei extrem schmalgipfligen Verteilungen neigt der F-Test zu konservativen Entscheidungen, bei breitgipfligen Verteilungen wird er progressiver.

### 4.3.2 Normalverteiltheit der Fehler

Varianzen der Fehlerkomponenten müssen in den Grundgesamtheiten, denen die Stichproben entnommen werden, gleich sein. (BORTZ, 1989, S. 344). Dies wurde mittels Levene-Test überprüft, da er auch bei Verletzung der Normalverteilung sehr robust ist. Laut BORTZ (1989, S. 346) beeinflusst eine Verletzung der Homogenität der Fehlervarianzen den F-Test jedoch nur unerheblich, wenn die Stichproben annähernd gleich groß sind.

### 4.3.3 Homogenität der Fehlervarianzen

Die Fehlerkomponenten müssen (innerhalb einer und zwischen mehreren Stichproben) von einander unabhängig sein. Man kann laut BORTZ (1989, S. 346) davon ausgehen, dass diese Voraussetzung erfüllt ist, wenn die Stichprobenzuordnung zufällig erfolgt. Dies war für die vorliegende Studie jedoch nicht gegeben. Die Voraussetzung der Unabhängigkeit der Fehlerkomponenten *zwischen* den Stichproben ist bei Messwiederholung generell verletzt, da hier die selben Untersuchungseinheiten (Vpn) unter mehreren Treatmentstufen beobachtet werden. Man spricht dann auch davon, dass die Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrix der Fehlervarianzen nicht gegeben ist. Diese Verletzung wird bei vorliegender Messwiederholung mit dem Mauchly-Test überprüft und gegebenenfalls durch eine Korrektur der Freiheitsgrade durch den Korrekturfaktor Epsilon nach Greenhouse-Geisser korrigiert, was dazu führt, dass der F-Test konservativer wird. Liegt keine Messwiederholung vor, ist zu fordern, dass den einzelnen Treatmentstufen verschiedene Stichproben zugeordnet werden, um eine Verletzung dieser Voraussetzung zu vermeiden.

Zusammenfassend bleibt jedoch insgesamt festzuhalten, dass die Varianzanalyse bei annähernd gleich großen Stichproben gegenüber Verletzungen der oben beschriebenen Voraussetzungen relativ robust ist (vgl. BORTZ, 1989, S. 347). Vor diesem Hintergrund wurde trotz einiger Verletzungen der Voraussetzungen für die statistische Analyse die Verwendung parametrischer Verfahren als berechtigt angesehen.

## 4.4 Statistische Datenauswertung

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sollen nun zunächst die Ergebnisse zur Prüfung der Voraussetzungen sämtlicher (neuropsychologischer und neurophysiologischer) Daten beschrieben werden. Alle detaillierten Ergebnisse dieser Analysen sind im Anhang abgebildet.

### 4.4.1 Prüfung der Voraussetzungen

#### 4.4.1.1 Normalverteiltheit der Daten

Sämtliche abhängigen Variablen wurden auf Normalverteiltheit getestet. Diese Voraussetzung war lediglich bei wenigen Variablen verletzt und dann auch nur selektiv jeweils nur bei einer der vier Gruppen. Die Untersuchung der Verteilungen ergab, dass es sich größtenteils um schiefe Verteilungen handelte. Vor dem oben diskutierten Hintergrund wurden diese Verletzungen deswegen nicht als Grund gewertet, keine parametrischen Verfahren anzuwenden.

#### 4.4.1.2 Homogenität der Fehlervarianzen

Für alle (M)ANOVAs wurde zur Überprüfung der Homogenität der Fehlervarianzen ein Levene-Test berechnet. Wie sich zeigte, war die Homogenität der Fehlervarianzen nicht in allen Fällen gegeben.

#### 4.4.1.3 Homogenität der Fehler-Kovarianz-Matrix

Eine Überprüfung dieser Voraussetzung wurde bei der zweifaktoriellen MANOVA ohne Messwiederholung mittels Box-Test durchgeführt. Es zeigte sich, dass eine Gleichheit nicht gegeben war. Bei ANOVAs mit Messwiederholung wird diese Voraussetzung mittels Mauchly-Test geprüft. Da eine Verletzung der Sphärizität sowohl anzunehmen war (Begründung s.o.) und sich auch im Großteil der Mauchly-Tests bei den ANOVAs mit Messwiederholung zeigte, wurden alle Freiheitsgrade mit dem *Epsilon nach Greenhouse-Geisser* ( $\epsilon$ -GG) korrigiert. Obwohl einige der Voraussetzungen nicht erfüllt waren, wurden gemäß den oben genannten Erwägungen nicht von der Berechnung parametrischer Verfahren Abstand genommen.

### 4.4.2 Statistische Auswertung der Diagnostikdaten

Die diagnostischen Daten dienten zum Großteil der Stichprobenbeschreibung. Folgende Verfahren wurden gerechnet: vor dem Hintergrund, dass multivariate Verfahren nur dann indiziert sind, wenn die abhängigen Variablen voneinander nicht unabhängig also abhängig sind (BÜHL & ZÖFEL, 2000), wurden für die abhängigen Variablen nonverbaler IQ, Alter und Konzentrationsfähigkeit *zweifaktorielle ANOVAs* berechnet mit den Zwischensubjektfaktoren Alter (Stufen Jugendliche / Erwachsene) und LRS (Stufen LRS-Gruppe / Kontrollgruppe).

Eine *zweifaktorielle MANOVA* wurde für die Tempo- und Fehlerleistung im ZLT und den Rechtschreib-IQ (RS-IQ) durchgeführt. Mit den Zwischensubjektfaktoren Alter (Stufen Jugendliche / Erwachsene) und LRS (Stufen LRS-Gruppe / Kontrollgruppe).

#### **4.4.3 Statistische Auswertung der neuropsychologischen Leistungsdaten**

##### **4.4.3.1 Neuropsychologie: statistische Analysen der Fragestellungen aus Abschnitt 3.1 (unterschiedliche Stufen der Wortverarbeitung), Abschnitt 3.2 (phonologisches Defizit) und Abschnitt 3.3 (Entwicklung von Lesefertigkeiten)**

Zur Klärung der Fragen, wie die verschiedenen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung die ERTS-Daten modulieren (Fragen aus Abschnitt 3.1), ob ERTS- und Wortlistendaten Hinweise auf ein phonologisches Defizit liefern (Frage aus Abschnitt 3.2) und ob aus den ERTS- und Wortlistendaten Aussagen über die Leseentwicklung abgeleitet werden können (Frage aus Abschnitt 3.4), wurden folgende Analysen gerechnet. Für die ERTS-Daten wurden zwei ANOVAs (Innersubjektfaktoren Fehlerraten und Reaktionszeiten) mit Messwiederholung über alle 5 Stufen des Stimulationsmaterials berechnet. Für die Wortlisten wurden ebenfalls zwei ANOVAs (Innersubjektfaktoren Fehlerraten und Reaktionszeiten) mit Messwiederholung über alle 3 Wortlistenformen berechnet. Für all diese Analysen wurden die Zwischensubjektfaktoren Alter (Jugendliche/Erwachsene) und LRS (LRS- vs. Kontrollgruppenzugehörigkeit) verwendet.

##### **4.4.3.2 Neuropsychologie: statistische Analysen der Fragestellungen aus Abschnitt 3.3 (adressierte vs. assemblierte Lesestrecken)**

Die Frage, ob man generell zwischen zwei unterschiedlichen Lesestrategien im Sinne der adressierten vs. assemblierten Strecke unterscheiden kann, und ob sich das phonologische Defizit unterschiedlich auf die zwei postulierten Strecken auswirkt, wurde auf der Ebene der Wortlisten nur anhand der normalen Wörter und der Nonwörter und auf der Ebene der ERTS-Daten nur anhand der Stimulationsbedingungen Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen überprüft.

Für die ERTS-Daten wurden zwei ANOVAs (Innersubjektfaktoren Fehlerraten und Reaktionszeiten) mit Messwiederholung über die drei genannten Stufen des Stimulationsmaterials berechnet. Für die Wortlisten wurden ebenfalls zwei ANOVAs (Innersubjektfaktoren Fehlerraten und Reaktionszeiten) mit Messwiederholung über die zwei genannten Wortlistenformen berechnet. Für all diese Analysen wurden die Zwischensubjektfaktoren Alter (Jugendliche/Erwachsene) und LRS (LRS- vs. Kontrollgruppenzugehörigkeit) verwendet.

#### 4.4.4 Statistische Auswertung der neurophysiologischen Daten

##### 4.4.4.1 Vorverarbeitungsschritte der EEG-Daten

Sämtliche Vorverarbeitungsschritte zur Signalaufbereitung und -analyse der EEG-Daten wurden mit den Modulen vorgenommen, die in die EEG-Auswertesoftware Brain Vision Analyzer<sup>®</sup> implementiert sind. Zunächst wurden die Rohdaten mittels des Raw-Data-Inspectors auf das Vorliegen von Signalausfällen untersucht. Dann wurden alle Kanäle mit einem Hochpass-Filter von 0.1 Hz gefiltert. Der Filter von 0.1 Hz wurde bewusst gewählt, da die Rohdatenanalyse zeigte, dass bei vielen Datensätzen Schwitzartefakte aufgetreten waren. Da durch diese Schwitzartefakte viele Datensätze unbrauchbar geworden wären, wurden die Artefakte durch die Filterung herausgerechnet. Da ein Hochpassfilter wie eine Zeitkonstante zu verstehen ist, und eine Zeitkonstante den Wert angibt, bei dem bei Wechsellspannungssignalen das Signal noch ungedämpft verstärkt wird, ergibt sich nach der Formel  $1/2\pi \times \text{Frequenz}$  ( $1 / 2\pi \times 0.1 = 1.6$ ), dass immer noch Signale bis zu einer Dauer von 1.6 Sekunden ungedämpft verstärkt werden. Dieser Zeitbereich sollte auch für die Analyse langsamer Sprachpotentiale ausreichend sein (vgl. SCHANDRY, 1989).

Anschließend wurden die Zeitmarken (Trigger) durch zwei selbstprogrammierte Makros so zu-recht formatiert, so dass die Informationen der Zeitmarke für den Bildonset sowie der Information aus der Zeitmarke für die Antwort in einer neuen Zeitmarke integriert wurden. Auf diese Weise war es möglich, in die weitere Auswertung nur diejenigen EEG-Abschnitte aufzunehmen, die korrekt bearbeitete Aufgaben beinhalteten. Zudem war es so möglich zwischen gleichen und nicht-gleichen Stimuluspaaren zu unterscheiden. Die übergeordnete Analyse der EKPs erfolgte jedoch unter Einbeziehung aller (korrekt beantworteten) Trials, ohne Differenzierung nach gleichen oder nicht-gleichen Trials. Da es sich nicht um ein klassisches Priming-Paradigma handelte, wäre eine solche Einteilung eher künstlich und ohne methodisches Fundament gewesen.

Anschließend wurde das kontinuierlich aufgenommene EEG auf die Zeitmarken des Bildonsets segmentiert. Wie bereits oben beschrieben wurden ab diesem Punkt nur noch Sweeps berücksichtigt, die korrekt bearbeitet worden waren. Die Segmentlänge wurde von -100 ms (Baseline) bis 2048 ms gesetzt. Danach wurden alle restlichen überflüssigen Zeitmarken gelöscht.

Die Korrektur der Augenartefakte wurden mittels des im Brain Vision Analyzer<sup>®</sup> implementierten Korrekturalgorithmus von GRATTON UND COLES über eine automatische Prozedur korrigiert und anschließend manuell hinsichtlich Fehlkorrekturen überprüft. Dieser Algorithmus korrigiert die Spannungsschwankungen heraus, die durch die Augenbewegungen von den Elektroden mitregistriert wurden. Dafür wird zunächst für jeden aktiven Kanal ein Korrekturfaktor bestimmt, der das Verhältnis wiedergibt, wie stark ein Kanal von den Augenbewegungen betroffen ist. Da

sich z.B. die vertikalen Augenbewegungen auf den frontalen Elektroden am meisten, und dann immer schwächer werdend in parietale und okzipitale Richtung auswirken, sind die Korrekturfaktoren entsprechend diesem Verhältnis gestuft. Die Korrektur erfolgt dann, indem für jeden Datenpunkt der Spannungswert in den Augenkanälen mit dem elektrodenspezifischen Faktor gewichtet wird und dann von dem Spannungswert der aktiven Elektroden abgezogen wird.

Die Artefaktkorrektur wurde semiautomatisch durchgeführt. Als automatische Inspektionskriterien wurden zunächst folgende Einstellungen gewählt: als maximale Spannungsdifferenz zwischen zwei Sample-Punkten wurden  $20\mu\text{Volt}$  angegeben. Als größte Spannungsdifferenz zwischen dem Punkt mit der höchsten und niedrigsten Spannung wurden  $150\mu\text{Volt}$  gesetzt. Das Kriterium für das Maximum der Amplituden wurde auf  $150\mu\text{Volt}$  beschränkt. Anschließend an die automatische Einschätzung der artefaktbehafteten EEG-Anteile wurde über die endgültige Verwerfung oder Beibehaltung eines Sweeps durch die manuelle Durchsicht aller Sweeps entschieden. Dies gewährleistete, dass keine Artefakte im Signal verblieben, die vom automatischen Korrekturmodus nicht erkannt worden waren. Wie viele von den ursprünglich 72 Sweeps pro Bedingung nach der Artefaktkorrektur noch übrig geblieben waren, wurde mittels eines selbstprogrammierten Makros erfasst. Die Versuchspersonen, bei denen weniger als 50 % der Sweeps die Korrektur überlebten, wurden aus der weiteren Analyse ausgeschlossen, da eine derart niedrige Anzahl an Einzeltrials eine nicht mehr aussagekräftige Datenbasis für die weitere Analyse darstellt. Dies war bei 12 Personen der Fall.

Im Anschluss an die Artefaktkorrektur wurde eine Baselinekorrektur durchgeführt. Dabei wird der mittlere Spannungswert in dem als Baseline angegebenen Zeitbereich bestimmt und dieser anschließend Datenpunkt für Datenpunkt von den Spannungswerten innerhalb des Segmentes abgezogen. Dann wurde eine Segmentierung auf die Zeitmarken der verschiedenen Stimulationsbedingungen vorgenommen. Anschließend wurden die Sweeps, die in diesen Bedingungen übrig waren, jeweils für ihre Bedingung gemittelt („individuelle Average“). Aus den individuellen Averagen wurden dann für die jeweiligen Bedingungen Grandaverage über die einzelnen Gruppen berechnet.

#### **4.4.4.2 Vorüberlegungen zur statistischen Analyse der EKP-Daten**

Laut TRIMMEL (1990, S. 131) kann man davon ausgehen, dass eine EKP-Komponente die Ausdrucksform neuronaler Aktivität ist. Diese neuronale Aktivität soll durch die experimentelle Variable unterschiedlich beeinflusst werden. Gemäß TRIMMEL kann erst dann von der Existenz einer Stimulus spezifischen Komponente ausgegangen werden, wenn sie systematisch mit einer unabhängigen Variable variiert und die anderen Komponenten davon unberührt bleiben (es sei denn

eine ganze Wellenform stellt eine Komponente dar). Da die vorliegende Untersuchung ein Paradigma beinhaltete, das sich nicht in ein breites Spektrum an EKP-Vorbefunden einordnen lässt, wurde zunächst ein möglichst objektiver Zugang für eine explorative Datenanalyse gewählt. Ein solches Maß stellt die Mean Global Field Power (MGFP) dar. Sie wurde mittels des im Brain Vision Analyzer<sup>®</sup> enthaltenen Analysetools berechnet. Die MGFP stellt die Gesamtaktivität über die Zeit hinweg entweder über den gesamten Skalp oder über eine Elektrodenauswahl dar. Zu jedem Zeitpunkt wird die Wurzel aus dem Mittel der Quadrate der einzelnen Messwerte bestimmt. Aus der MGFP wurden dann die Zeitbereiche der Komponenten abgeleitet, in denen sich deutliche Gruppenunterschiede auftraten. Über diese Zeitbereiche wurden dann die statistischen Analysen gerechnet. Die Analyse der MGFP ergab, dass sich in mehreren Komponenten Gruppenunterschiede auftraten: N100, P200, antN400, P100 und P300 (sowie N100o(kzipital) als Hilfspeak für Peak-to-Peak-Berechnung). Als Zeitfenster wurden dafür für die spezifischen Komponenten folgende Bereiche festgelegt:

Tabelle 3: Zeitbereich der Peak-Fenster sowie Referenzkanal

Name	Start	Ende	Polarität	Referenz-Kanal
N100	80 ms	160 ms	-	Fz
P200	160 ms	310 ms	+	Fz
antN400	280 ms	600 ms	-	Fz
P100	100 ms	200 ms	+	P5
N100o	170 ms	240 ms	-	P5
P300	220 ms	400 ms	+	P5

Innerhalb dieser Zeitbereiche wurden dann auf den individuellen Averagen die Peak-Maxima detektiert. Hierbei wurde jedoch nicht nur der Spannungswert des Amplitudenmaximums bestimmt, sondern der Mittelwert aus insgesamt  $\pm 3$  Sample-Punkten um das Maximum herum. Auf diese Weise wurde eine mittlere Amplitude aus dem Zeitbereich von 24 ms bestimmt. Dadurch wurde die Aussagekraft der Analysen erhöht, da sich die Analysen nicht nur auf die Unterschiedsprüfung eines einzigen Datenpunktes stützten. Die Latenz der Komponenten wurde jeweils nur innerhalb eines Referenzkanals bestimmt, und nicht individuell für jede Elektrode (s. Tabelle 3). Bei den statistischen Analysen wurde, wie bereits oben erwähnt, nicht nach gleichen oder nicht-gleichen Stimuluspaaren differenziert. Da es sich nicht um ein klassisches Priming-Paradigma handelte, lag das Hauptinteresse nicht auf den Unterschieden zwischen gleichen und nicht-gleichen Stimuluspaaren innerhalb eines Aufgabentyps, sondern auf dem Vergleich der EKP-Ausprägungen zwischen den fünf verschiedenen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung.

Vor diesem Hintergrund wurden die Latenz- und Amplitudenwerte der einzelnen Peaks exportiert und in das SPSS<sup>®</sup> zur statistischen Analyse importiert. Auf Ebene des SPSS<sup>®</sup> wurden dann zunächst für die frühen sensorischen Komponentenkomplexe (N100-P200 und P100-N100o) Peak-to-Peak-Maße berechnet. Die Analyse der antN400 sowie der P300 erfolgte anhand mittlerer Amplitudenwerte. Für die statistische Untersuchung der jeweiligen Komponenten wurde eine Reduktion der Elektroden vorgenommen, die Tabelle 4 entnommen werden kann. Die Analyse erfolgte über den maximalen Ausprägungsorten sowie den spiegelbildlich gelagerten Elektroden, um Lateralisierungseffekte untersuchen zu können.

Tabelle 4: Darstellung der in die Analyse einbezogenen Elektroden

Analysierte EKP-Komponente	Analyse über folgenden Elektroden
N100-P200	F7, Fz, F8, T7, Cz, T8
antN400	F7, Fz, F8, T7, Cz, T8
P100-N100o	P5, P6, O1, O2
P300	P5, P6

#### 4.4.4.3 Neurophysiologie: statistische Analysen der Fragestellungen aus Abschnitt 3.1 (unterschiedliche Stufen der Wortverarbeitung), Abschnitt 3.2 (phonologisches Defizit) und Abschnitt 3.3 (Entwicklung von Lesefertigkeiten)

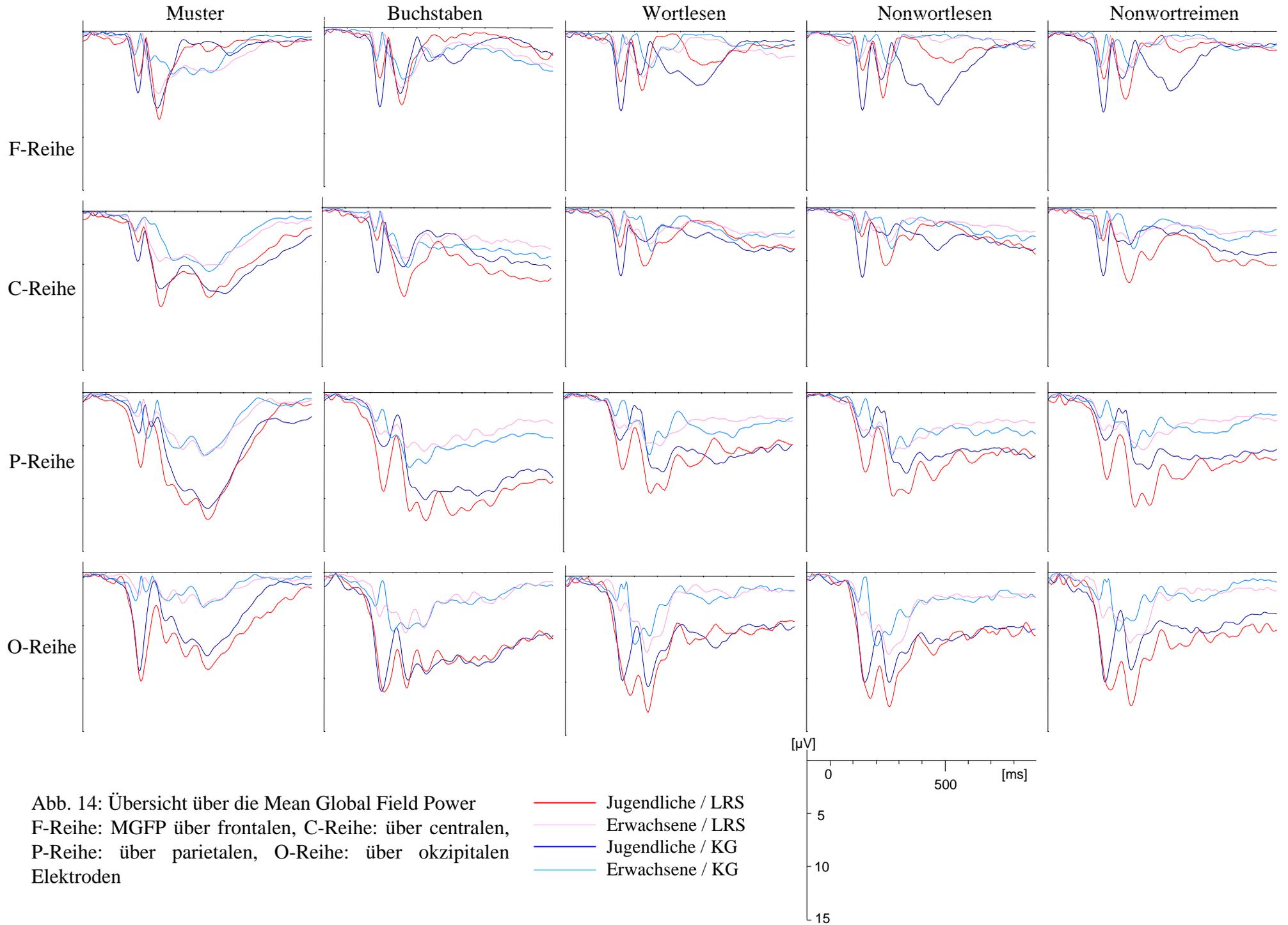
Zur Klärung der Fragen, wie die verschiedenen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung die EKP-Daten modulieren (Fragen aus Abschnitt 3.1), ob die EKP-Daten Hinweise auf ein phonologisches Defizit liefern (Frage aus Abschnitt 3.2) und ob aus den EKP-Daten Aussagen über die Leseentwicklung abgeleitet werden können (Frage aus Abschnitt 3.4) wurden folgende Analysen gerechnet. Für die mittleren Amplituden bzw. Peak-to-Peak-Maße wurden vier ANOVAs (Innersubjektfaktoren N100-P200, antN400, P100-N100o sowie P300) mit Messwiederholung über alle 5 Stufen des Stimulationsmaterials berechnet. Für die Latenzen der EKPs wurden fünf ANOVAs (Innersubjektfaktoren N100, P200, antN400, P100 sowie P300) mit Messwiederholung über alle 5 Stufen des Stimulationsmaterials berechnet. Für all diese Analysen wurden die Zwischensubjektfaktoren Alter (Jugendliche/Erwachsene) und LRS (LRS- vs. Kontrollgruppenzugehörigkeit) verwendet.

#### 4.4.4.4 Neurophysiologie: statistische Analysen der Fragestellungen aus Abschnitt 3.3 (adressierte vs. assemblierte Lesestrecken)

Die Frage, ob man generell zwischen zwei unterschiedlichen Lesestrategien im Sinne der adressierten vs. assemblierten Strecke unterscheiden kann, und ob sich das phonologische Defizit unterschiedlich auf die zwei postulierten Strecken auswirkt, wurde auf der Ebene der EKP-Daten nur anhand der Stimulationsbedingungen Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen und zu-

---

dem nur anhand der antN400 überprüft. Für die mittleren Amplituden der antN400 wurde eine ANOVA mit Messwiederholung über die drei genannten Stufen des Stimulationsmaterials berechnet. Für die Latenz der antN400 wurde ebenfalls eine ANOVA mit Messwiederholung über die drei genannten Stimulationsbedingungen berechnet. Für beide Analysen wurden die Zwischensubjektfaktoren Alter (Jugendliche/Erwachsene) und LRS (LRS- vs. Kontrollgruppenzugehörigkeit) verwendet.



## 5 Ergebnisse

Im folgenden sollen die Ergebnisse der einzelnen statistischen Analysen dargestellt werden. Zunächst wird die Analyse der Stichprobendaten, dann die Analyse der neuropsychologischen, abschließend die Analysen der neurophysiologischen Daten beschrieben. Die Abfolge orientiert sich dabei an den in Abschnitt 3 dargestellten Fragestellungen. Alle Ergebnisse dieser Analyse sind im Anhang aufgeführt.

### 5.1 Stichprobenbeschreibung

#### 5.1.1 Ergebnisse Alter, nonverbale Leistung und Aufmerksamkeit

Die deskriptiven statistischen Ergebnisse der Stichprobendaten wurden der Übersicht halber bereits in Tabelle 1 dargestellt. Das mittlere Alter der jugendlichen Stichprobe liegt bei ca. 13,5 Jahre, das der erwachsenen Stichprobe bei ca. 26 Jahren. Hinsichtlich ihres nonverbalen IQs und ihrer Aufmerksamkeitsleistung bewegen sich alle Gruppen im durchschnittlichen Bereich. Für die Variablen Alter, nonverbaler IQ sowie Aufmerksamkeitsleistung wurden jeweils univariate Varianzanalysen mit den Zwischensubjektfaktoren Alter und LRS-Gruppenzugehörigkeit berechnet. Bei der Analyse der Altersverteilung ergibt sich lediglich ein signifikanter Haupteffekt Alter ( $F(1;56) = 71,2; p < .001$ ). Weitere Effekte werden nicht signifikant. Hinsichtlich der Analyse der nonverbalen Leistungsfähigkeit ergeben sich keinerlei signifikante Haupteffekte oder Wechselwirkungen. Hinsichtlich der Analyse der Aufmerksamkeitsleistung zeigt sich folgendes Bild: der Haupteffekt Alter und die Wechselwirkung wird nicht signifikant, es zeigt sich aber ein signifikanter Haupteffekt für die Gruppe ( $F(1;56) = 13,894; p < .001$ ).

#### 5.1.2 Ergebnisse Lese-Rechtschreibleistung

Der Blick auf die deskriptive Statistik der Lese-Rechtschreibleistung zeigt folgendes: die Lese-Rechtschreibleistungen der Kontrollgruppen bewegen sich alle im durchschnittlichen Bereich. Hinsichtlich der Leistungen der Kontrollgruppe ergibt sich, dass sich sämtliche Lese- und Rechtschreibleistungen der jugendlichen Probanden mit LRS im unterdurchschnittlichen Bereich ansiedeln. Bei den erwachsenen Probanden mit LRS ist dies lediglich für die Rechtschreibleistung der Fall. Alle Leseleistungen dieser Gruppe bewegen sich im durchschnittlichen Bereich.

Für die Analyse der Lese- und Rechtschreibleistungen wurde eine multivariate Varianzanalyse über die abhängigen Variablen Rechtschreibleistung, Leseleistung/Zeit sowie Leseleistung/Fehlerrate mit den Zwischensubjektfaktoren Alter und LRS-Gruppenzugehörigkeit berech-

net. Die Analyse der testdiagnostischen Lese- und Rechtschreibleistungen wurde multivariat vorgenommen, um eventuelle Zusammenhänge zwischen Lese- und Schreibfähigkeiten untersuchen zu können. Wie die Effekte der zweifaktoriellen MANOVA zeigen, wurden alle multivariaten Effekte (sowohl die Haupteffekte Alter ( $F(3;54) = 18,148$ ;  $p < .001$ ) und Gruppe ( $F(3;54) = 67,464$ ;  $p < .001$ ) wie auch deren Wechselwirkung ( $F(3;54) = 13,194$ ;  $p < .001$ ) hoch signifikant. Da die multivariate Gesamtanalyse die Effekte bereits auf hochsignifikantem Niveau absichert, ist der Blick auf die univariaten Analysen zur genaueren Aufklärung des Ursprungs der Effekte gerechtfertigt. Die Ergebnisse der univariaten Analysen sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Ergebnisse der univariaten Analysen der Lese- und Rechtschreibleistungen

Faktoren:	Abhängige Variablen:		
	RS-IQ	ZLT/Fehler	ZLT/Zeit
ALTER	$F(1; 56) = 0,692$ ; n.s.	$F(1; 56) = 23,851$ ; $p < .001$	$F(1; 56) = 51,398$ ; $p < .001$
LRS	$F(1; 56) = 105,746$ ; $p < .001$	$F(1; 56) = 45,433$ ; $p < .001$	$F(1; 56) = 110,593$ ; $p < .001$
ALTER*LRS	$F(1; 56) = 0,626$ ; n.s.	$F(1; 56) = 2,584$ ; n.s.	$F(1; 56) = 38,461$ ; $p < .001$

Wie die univariaten Analysen belegen, ist der multivariate Alterseffekt darauf zurückzuführen, dass sich lediglich die Leseleistungen (Tempo und Fehler) in Abhängigkeit vom Alter unterscheiden. Die Rechtschreibleistung unterscheidet sich hingegen zwischen den Altersgruppen nicht.

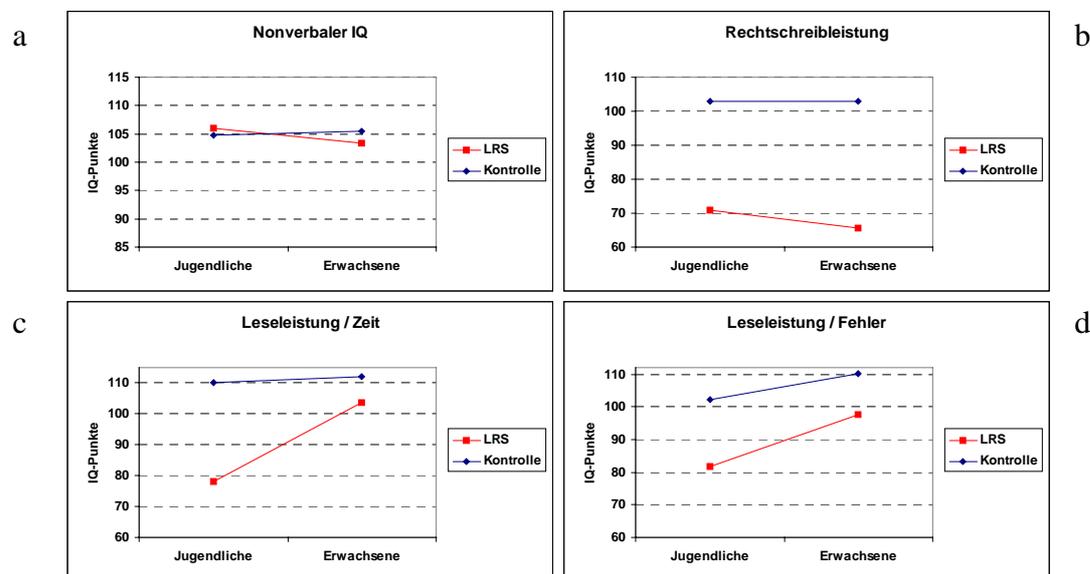


Abb. 15a-d: Darstellung der Lese- und Rechtschreibleistungen und des nonverbalen IQs

Der multivariate LRS-Gruppeneffekt beruht darin, dass sich die LRS- und Kontrollprobanden auf allen drei untersuchten Ebenen (Lesetempo, Lesefehler und Rechtschreibung) unterscheiden. Ei-

ne signifikante Wechselwirkung zwischen Alters- und Gruppenzugehörigkeit zeigt sich lediglich beim Lesetempo. Siehe hierzu Abbildungen 15a bis d.

## 5.2 Neuropsychologische Ergebnisse

Für einen Überblick über die neuropsychologischen Leistungsdaten aus dem Leseexperiment (Wort-, Nonwortlisten, Worttransformation) sowie den ERTS-Leistungsdaten aus der EEG-Untersuchung sei auf Tabelle 6 verwiesen.

Tabelle 6: Überblick über die deskriptive Statistik der neuropsychologischen Leistungsdaten

		<b>2LRS</b>	sd	<b>2KG</b>	sd	<b>3LRS</b>	sd	<b>3KG</b>	sd
N		<b>15</b>		<b>15</b>		<b>15</b>		<b>15</b>	
Wortlisten/	Wörter	<b>2,97</b>	1,58	<b>0,94</b>	0,18	<b>1,09</b>	0,24	<b>0,80</b>	0,36
Zeit	Nonwörter	<b>4,59</b>	1,81	<b>1,93</b>	0,59	<b>2,99</b>	1,14	<b>1,60</b>	0,36
	Transformation	<b>3,89</b>	1,31	<b>2,75</b>	0,75	<b>2,76</b>	1,04	<b>1,62</b>	0,80
Wortlisten/	Wörter	<b>0,17</b>	0,15	<b>0,04</b>	0,04	<b>0,03</b>	0,04	<b>0,01</b>	0,03
Fehler	Nonwörter	<b>0,44</b>	0,25	<b>0,18</b>	0,07	<b>0,22</b>	0,15	<b>0,05</b>	0,04
	Transformation	<b>0,33</b>	0,15	<b>0,13</b>	0,10	<b>0,17</b>	0,19	<b>0,03</b>	0,05
ERTS/	Muster	<b>792,22</b>	207,36	<b>643,45</b>	114,60	<b>720,38</b>	193,37	<b>597,32</b>	106,96
Zeit	Buchstaben	<b>2060,04</b>	300,68	<b>1783,01</b>	410,27	<b>1792,26</b>	328,85	<b>1493,85</b>	369,41
	Wörter	<b>2022,06</b>	467,83	<b>1278,45</b>	378,55	<b>1537,31</b>	453,46	<b>950,46</b>	195,16
	Nonwörter	<b>2702,56</b>	529,41	<b>1765,78</b>	495,75	<b>2354,51</b>	514,69	<b>1412,84</b>	442,80
	Nonw. reimen	<b>2487,35</b>	567,91	<b>1696,02</b>	478,96	<b>2652,92</b>	691,78	<b>1337,86</b>	511,54
ERTS/	Muster	<b>7,87</b>	4,55	<b>7,67</b>	6,60	<b>3,73</b>	2,28	<b>7,87</b>	6,63
Fehler	Buchstaben	<b>7,60</b>	4,17	<b>8,20</b>	6,46	<b>5,40</b>	2,85	<b>3,93</b>	2,74
	Wörter	<b>5,33</b>	3,77	<b>3,80</b>	1,47	<b>3,07</b>	2,76	<b>3,00</b>	3,36
	Nonwörter	<b>6,87</b>	3,62	<b>5,87</b>	4,66	<b>4,53</b>	2,88	<b>4,47</b>	3,91
	Nonw. reimen	<b>10,60</b>	5,46	<b>5,40</b>	4,48	<b>5,93</b>	4,50	<b>3,27</b>	1,87

2LRS: jugendliche Probanden mit LRS, 3LRS: erwachsene Probanden mit LRS, 2KG: jugendliche Kontrollprobanden, 3KG: erwachsene Kontrollprobanden, sd: Standardabweichung, N: Stichprobengröße

### 5.2.1 Ergebnisse der ERTS-Daten zur Fragestellungen aus Abschnitt 3.1, 3.2 sowie 3.4

Die Analyse der neuropsychologischen Leistungen auf der Ebene der ERTS-Daten sollte zum einen klären, inwieweit der stufenförmige Aufbau des Stimulationsmaterials durch systematische Leistungsunterschiede auf den verschiedenen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung bestätigt werden kann (Fragestellung aus Abschnitt 3.1). Des weiteren sollte die Analyse der ERTS-Daten die Annahme eines phonologischen Defizits bei der LRS anhand der Gruppenvergleiche überprü-

fen (Fragestellung aus Abschnitt 3.2). Abschließend war für die ERTS-Daten von Interesse, ob sich zum einen Lesestrategien generell über das Alter ändern, bzw. ob sich das phonologische Defizit über das Alter hinweg unterschiedlich ausprägt (Fragestellung aus Abschnitt 3.4).

Dazu wurden zwei ANOVAs mit Messwiederholung mit den Zwischensubjektfaktoren Alter sowie LRS-Gruppenzugehörigkeit berechnet. Der Übersicht halber sind die Ergebnisse der signifikanten Effekte in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Darstellung der Effekte der ANOVAs mit Messwiederholung berechnet für die ERTS-Daten (alle 5 Stimulationsbedingungen)

ANOVA zur abhg. Var.	Innersubjekteffekte	Zwischensubjekteffekte	$\epsilon$ -GG
Reaktionszeit / ERTS	HE Zeit $F(4;224) = 256,1; p < .001$		.72
	WW Zeit x Alter $F(4;224) = 4,7; p = .004$	HE Alter $F(1;56) = 7,5; p = .008$	
	WW Zeit x LRS $F(4;224) = 31,5; p < .001$	HE LRS $F(1;56) = 50; p < .001$	
	WW Zeit x Alter x LRS $F(4;224) = 3,4; p = .021$		
Fehler / ERTS	HE Fehler $F(4;224) = 13,8; p < .001$	HE Alter $F(1;56) = 10,5; p = .002$	.89
	WW Fehler x LRS $F(4;224) = 6; p < .001$		

HE: Haupteffekt, WW: Wechselwirkung, abhg. Var.: Abhängige Variable,  $\epsilon$ -GG: Epsilon nach Greenhouse-Geisser

Wie der Vergleich der Abbildungen 16 a und b zeigt, sind es vor allem die Tempoleistungen, die deutlich durch das Stimulationsmaterial moduliert werden. Obwohl die statistische Analyse der Reaktionszeiten wie auch der Fehlerraten hochsignifikante Effekte hinsichtlich der Leistungsunterschiede über die fünf Aufgaben aufzeigen, zeigen sich im visuellen Eindruck der Abbildung 16b nur geringe Unterschiede zwischen den Aufgaben und den Gruppen. Hauptaugenmerk der Ergebnisbeschreibung soll deshalb auch im weiteren auf den Reaktionszeiten liegen.

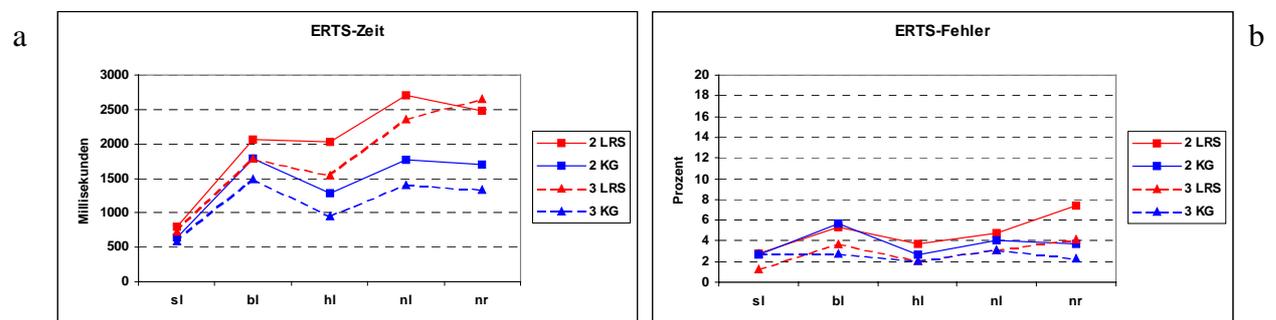


Abb. 16 a-b: Abbildung der ERTS-Daten im Gruppenvergleich (sl: Slashes/Muster, bl: Buchstabenlesen, hl: Wortlesen, nl: Nonwortlesen, nr: Nonwortreimen)

Hinsichtlich der Frage, wie die verschiedenen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung die Reaktionszeiten modulieren, zeigt sich in Abbildung 16 a deutlich, dass sich die vier Gruppen in ihren „Ausgangsleistungen“ auf der Ebene des reinen Musterabgleiches so gut wie nicht unter-

scheiden. Gemäß dem weiteren Gedankengang dieser Fragestellung sollte für die Leistungen auf den übrigen Aufgabenstufen eine kontinuierliche Zunahme der Fehlerrate und Tempoleistung zu verzeichnen sein. Wie man sieht, trifft diese Vermutung für die Bedingung des Buchstabenabgleiches nicht zu. Wie die Leistungen aller vier Gruppen zeigen, scheint sich diese Aufgabe hinsichtlich Komplexität und Schwierigkeit deutlich von den übrigen vier Aufgaben zu unterscheiden. Dem gegenüber zeigt sich jedoch für die Aufgaben Wortlesen und Nonwortlesen eine erwartungsgemäße Zunahme der Reaktionszeiten in allen Gruppen. Hinsichtlich des Nonwortreimens ist hierbei interessant, dass diese Aufgabe von allen Gruppen bis auf die erwachsenen Probanden mit LRS in vergleichbarer Zeit wie das Nonwortlesen bearbeitet wird.

Vor dem Hintergrund der Fragestellung aus Abschnitt 3.2 (phonologisches Defizit) und 3.4 (Leseentwicklung) zeigen sich deutliche Alters- und Gruppenunterschiede (LRS vs. Kontrollgruppe), die sich auch statistisch anhand der signifikanten Haupteffekte und Wechselwirkungen zum Alter und der Gruppenzugehörigkeit bestätigen lassen. Ab der Aufgabe des Buchstabenabgleiches treten sowohl zwischen den Altersgruppen wie auch zwischen LRS- und Kontrollgruppe deutliche Leistungsunterschiede zu Tage. Hinsichtlich der Alterseffekte ist dabei interessant, dass die Leistungsunterschiede zwischen den beiden Kontrollgruppen von der Aufgabe Buchstabenlesen hin zu Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen gleich bleiben, während dies gerade bei den phonologisch anspruchsvolleren Aufgaben Nonwortlesen und Nonwortreimen bei den Probanden mit LRS nicht der Fall ist. Hier ist ein deutlicher Wechselwirkungseffekt insofern zu verzeichnen, dass die Leistungen der erwachsenen Probanden mit LRS sich denen der jugendlichen Probanden mit LRS annähern und sogar beim Nonwortreimen noch schlechter sind.

Zusammenfassend kann also für die Fragen aus Abschnitt 3.1 festgehalten werden, dass die ERTS-Daten deutlich durch die verschiedenen Stimulationsbedingungen moduliert werden. Zudem belegen die Ausprägungen und die statistische Analyse der ERTS-Daten eindeutige Leistungsunterschiede zwischen LRS- und Kontrollgruppe ab der Ebene des Buchstabenlesens, die sich von den Aufgaben Wortlesen über Nonwortlesen und Nonwortreimen noch deutlich vergrößern. Hinsichtlich der Frage der Leseentwicklung belegen die statistischen Effekte zum Alter, dass es Leistungsunterschiede zwischen den Altersgruppen gibt, diese aber über die verschiedenen Aufgaben hinweg relativ konstant bleiben.

### 5.2.2 Ergebnisse der Wortlistendaten zur Fragestellungen aus Abschnitt 3.2 und 3.4

Anhand der Analyse der Leistungsdaten der verschiedenen Wortlisten sollten ebenfalls die Frage des phonologischen Defizits (Fragestellung aus Abschnitt 3.2) und die Frage der Leseentwicklung bzw. qualitative Veränderungen innerhalb des phonologischen Defizits über das Alter hinweg (Fragestellungen aus Abschnitt 3.4) überprüft werden. Dazu wurden zwei ANOVAs mit Messwiederholung mit den Zwischensubjektfaktoren Alter sowie LRS-Gruppenzugehörigkeit berechnet. Der Übersicht halber sind die Ergebnisse der signifikanten Effekte in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Darstellung der Effekte der ANOVAs berechnet für die Wortlistendaten

ANOVA zur abhg. Var.	Innersubjekteffekte	Zwischensubjekteffekte	$\epsilon$ -GG
Zeit / Wortlisten	HE Zeit F (2;112) = 88,5; p<.001	HE Alter F (1;56) = 22,4; p<.001	.935
	WW Zeit x LRS F (2;112) = 9,8; p<.001	HE LRS F (1;56) = 43,3; p<.001	
	WW Zeit x Alter x LRS F (2;112) = 7,7; p=.001	WW Alter x LRS F (1;56) = 5,3; p=.026	
Fehler / Wortlisten	HE Fehler F (2;112) = 37,9; p<.001	HE Alter F (1;56) = 28,3; p<.001	.864
	WW Fehler x Alter F (2;112) = 3,4; p=.044	HE LRS F (1;56) = 40,6; p<.001	
	WW Fehler x LRS F (2;112) = 7,5; p=.002		

HE: Haupteffekt, WW: Wechselwirkung, abhg. Var.: Abhängige Variable,  $\epsilon$ -GG: Epsilon nach Greenhouse-Geisser

Wie schon auf der Ebene der ERTS-Daten zeigen sich zumeist hochsignifikante Effekte hinsichtlich der Leistungsunterschiede zwischen den Stimulationsbedingungen, den Altersgruppen und der Gruppenzugehörigkeit zur LRS- oder Kontrollgruppe. Anders als bei den ERTS-Daten ergibt jedoch die gemeinsame Betrachtung von Reaktionszeiten und Fehlerraten bei den Wortlisten ein sehr viel einheitlicheres Bild.

Generell gilt, dass Wörter schneller und mit weniger Fehlern bearbeitet werden als Nonwörter. Hinsichtlich der Leistungen auf der Ebene der Transformationsaufgabe ist interessant, dass diese (bis auf die Tempoleistung der jugendlichen Kontrollprobanden) auf dem gleichen Niveau bzw. schneller und mit weniger Fehlern bearbeitet wird als das Nonwortlesen. Hinsichtlich der Alterseffekte zeigen sich auch auf der Ebene der Wortlisten deutliche altersbezogene Leistungsunterschiede, die bis auf wenige Ausnahmen über die verschiedenen Aufgaben hin recht konstant zu verzeichnen sind. Diese altersspezifischen Unterschiede fallen jedoch bei der Gruppe der LRS-Probanden deutlich größer aus.

Hinsichtlich der Frage der Leseentwicklung über das Alter hinweg (Abschnitt 3.4) zeichnen sich zwei interessante Effekte ab: während erwachsene Probanden mit LRS beim Wortlesen annähernd die gleichen Leistungen wie jugendliche und erwachsene Kontrollprobanden erbringen

können, zeichnen sich bereits auf dieser Ebene große Leistungsunterschiede für die jugendlichen Probanden mit LRS ab. Ein weiterer Alterseffekt betrifft die Tempoleistung der jugendlichen Kontrollprobanden bei der Transformationsaufgabe: diese Leistung schert aus den ansonsten sehr gleichförmigen Leistungsunterschieden zwischen erwachsenen und jugendlichen Kontrollprobanden aus (vgl. Abbildung 17a).

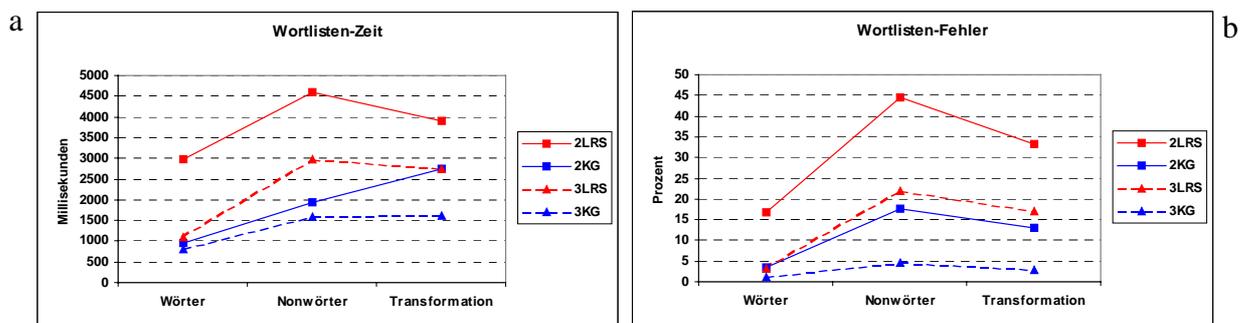


Abb. 17a-b: Abbildung der neuropsychologischen Leistungsdaten im Gruppenvergleich (sl: Muster, bl: Buchstabenlesen, hl: Wortlesen, nl: Nonwortlesen, nr: Nonwortreimen)

Zusammenfassend lässt sich somit für die Fragestellung des phonologischen Defizits für die Leistungen auf der Ebene der Wortlisten festhalten, dass sich auch hier deutliche Leistungsunterschiede zwischen LRS- und Kontrollgruppe gerade bei den phonologisch anspruchsvolleren Aufgaben nachweisen lassen. Hinsichtlich der Frage der Leseentwicklung bleibt festzuhalten, dass es auf der Ebene des Wortlesens deutliche Alterseffekte im Vergleich der jugendlichen vs. der erwachsenen Probanden mit LRS gibt.

### 5.2.3 Ergebnisse zur Fragestellung aus Abschnitt 3.3

Bei den Analysen der ERTS- und Wortlistendaten sollte zusätzlich geklärt werden, ob man auf neuropsychologischer Ebene gemäß dem Dual-Route-Modell (vgl. Abschnitt 2.1.1.2) zwischen adressierten und assemblierten Lesestrecken differenzieren kann, und ob sich für die Probanden mit LRS das phonologische Defizit auf beiden Lesestrecken gleichstark oder selektiv auf einer Strecke stärker auswirkt.

Hierzu wurden für die neuropsychologischen Leistungsdaten aus dem ERTS für die phonologie-behafteten Stufen des Paradigmas zwei univariate Varianzanalysen mit Messwiederholung mit den Zwischensubjektfaktoren Alter sowie LRS-Gruppenzugehörigkeit für die Reaktionszeit und die Fehlerraten berechnet. Für die Wortlisten wurden nur Wort- und Nonwortlisten ausgewählt. Jeweils für Fehler und für die Reaktionszeit wurde eine univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung berechnet mit den Zwischensubjektfaktoren Alter sowie LRS-Gruppenzugehörigkeit. Auch hier wurde der Übersicht halber die Darstellung der Ergebnisse in Form einer Tabelle gewählt.

Tabelle 9: Darstellung der Effekte der Analysen zur Fragestellung 3.3 (adressierte vs. assemblierte Lesestrecken und unterschiedliche LRS-Defizite auf diesen Strecken)

ANOVA zur abhg. Var.	Innersubjekteffekte	Zwischensubjekteffekte	$\epsilon$ -GG
Reaktionszeit / ERTS	HE Zeit F (2;112) = 101,8; p<.001 WW Zeit x Alter F (2;112) = 5,7 p=.005 WW Zeit x LRS F (2;112) = 8,3; p=.001 WW Zeit x Alter x LRS F (2;112) = 6,6; p=.003	HE Alter F (1;56) = 6,3; p=.015 HE LRS F (1;56) = 61,1; p<.001	.925
Fehler / ERTS	HE Fehler F (2;112) = 11,4; p<.001 WW Fehler x LRS F (2;112) = 6,3; p=.003	HE Alter F (1;56) = 9,3; p=.004 HE LRS F (1;56) = 5,6; p=.022	.946
Zeit / Wortlisten	HE Bed F (1;56) = 175,4; p<.001 WW Bed x LRS F (1;56) = 18,5; p<.001	HE Alter F (1;56) = 17,9; p<.001 HE LRS F (1;56) = 46,4; p<.001 WW Alter x LRS F (1;56) = 10,3; p=.002	1
Fehler / Wortlisten	HE Bed F (1;56) = 107,1; p<.001 WW Bed x Alter F (1;56) = 9,9; p=.003 WW Bed x LRS F (1;56) = 21; p<.001	HE Alter F (1;56) = 22,47; p<.001 HE LRS F (1;56) = 29,3; p<.001	1

HE: Haupteffekt, WW: Wechselwirkung, abhg. Var.: Abhängige Variable,  $\epsilon$ -GG: Epsilon nach Greenhouse-Geisser

Wie bereits den Abbildungen 16 a und b und 17 a und b entnommen werden konnte, werden sowohl auf der Ebene der ERTS-Daten wie auch den Wortlisten hochfrequente Wörter schneller und mit weniger Fehlern bearbeitet als das Nonwortlesen (und) Nonwortreimen. Dabei scheint es sogar so zu sein, dass das Nonwortreimen im Vergleich zum Nonwortlesen geringfügig schneller und mit weniger Fehlern verarbeitet wird.

Dieser Haupteffekt der Stimulationsbedingung tritt aber auch zusätzlich mit Wechselwirkungseffekten auf. Hierbei ist interessant, dass für alle Aufgaben der Wechselwirkungseffekt zwischen Stimulationsbedingung und LRS-Gruppenzugehörigkeit signifikant wird. Zusätzlich zeigen sich verschiedene Wechselwirkungseffekte hinsichtlich Alter, Stimulationsbedingung und LRS-Gruppenzugehörigkeit.

Zusammenfassend kann man somit festhalten, dass die Zusammenschau der statistischen Analysen sowie der visuellen Inspektion der Graphenverläufe der Abbildungen 16 und 17 zum einen dafür sprechen, dass hochfrequentes Wortmaterial generell anders verarbeitet wird als unbekanntes Wortmaterial. Hinsichtlich der Frage, ob sich das phonologische Defizit auf einer der beiden Lesestrecken selektiv anders auswirkt, scheinen die Daten der Wortlisten darauf hinzuweisen, dass sich bei erwachsenen Probanden mit LRS das phonologische Defizit auf der assemblierten Strecke stärker auszuwirken scheint, während die Daten der jugendlichen Probanden mit LRS darauf hindeuten, dass das phonologische Defizit sich auf beiden Strecken gleichermaßen auszuwirken scheint.

## 5.3 Neurophysiologische Ergebnisse

### 5.3.1 Beschreibung der visuellen Inspektion der EKP-Formen in den Grandaveragen

Wie die visuelle Inspektion der EKP-Formen der Grandaverage zeigt (siehe Abb. 18 und 19 sowie die Abbildungen der Grandaverage im Anhang), bildet sich für alle Gruppen zunächst eine frühe, anterior gelagerte, negativ-gerichtete Komponente aus, die um ungefähr 130 ms peakt (N100). Sie wird gefolgt von einer positiv-gerichteten Komponente, die ungefähr bei 230 ms peakt (P200) und ebenfalls an anterioren Elektrodenpositionen am stärksten ausgeprägt ist.

Auf den N100-P200 Komplex folgt eine negativ-gerichtete Komponente. Ihr Maximum ist anterior-central gelagert. Sie peakt um ca. 450 ms. Zur besseren Unterscheidung von der „klassischen“ N400, wie sie von Kutas und Hillyard (1980) beschrieben wurde, und die eine stärkere posteriore Verteilung aufweist, soll die hier beschriebene N400 mit antN400 bezeichnet werden. Die Amplitude der antN400 scheint recht ähnliche Ausprägungen auf Wörter, Nonwörter und Nonwortreimen aufzuweisen, mit einer geringer ausgeprägten Amplitude für die Buchstabenketten. An den okzipitalen Elektrodenpositionen zeichnet sich eine Positivierung ab, die okzipitale P100, die ungefähr bei 150 ms peakt. Sie wird gefolgt von einer negativ-gerichteten Komponente um ca. 200 ms (die okzipitale N100 bzw. N100o). Auf diesen posterior-okzipitalen P100-N100o-Komplex folgt eine positiv-gerichtete Komponente, die P300, die ungefähr um 290 ms peakt. Die statistischen Analysen der EKP-Daten wurden für die Komponente der antN400 und der P300 auf der Ebene von mittleren Amplitudenwerten, für den Komponentenkomplex N100-P200 sowie P100-N100okzipital über Peak-to-Peak-Maße (ebenfalls basierend auf den mittleren Amplituden) durchgeführt. Zur visuellen Verdeutlichung dieser Beschreibungen sind in den Abbildungen 18 und 19 sowie im Anhang Auszüge aus den Grandaveragen der LRS- und Kontrollgruppen dargestellt.

### 5.3.2 Ergebnisse der EKP-Daten zu den Fragestellungen aus Abschnitt 3.1, 3.2 und 3.4

Analog zu den Analysen auf neuropsychologischer Ebene wurde auch hier zunächst die Frage der verschiedenen Stufen der Wortverarbeitung, die Ausprägung des phonologischen Defizits sowie die Frage der Ausprägung der Leseentwicklung auf EKP-Ebene untersucht. Hierzu wurden für die mittleren Amplituden bzw. Peak-to-Peak-Maße der EKPs vier und für die Latenzen der einzelnen EKPs fünf univariate Varianzanalysen mit Messwiederholung jeweils mit den Zwischen-subjektfaktoren Alter und LRS-Gruppenzugehörigkeit berechnet, deren signifikante Effekte in Tabelle 10 wieder gegeben sind.

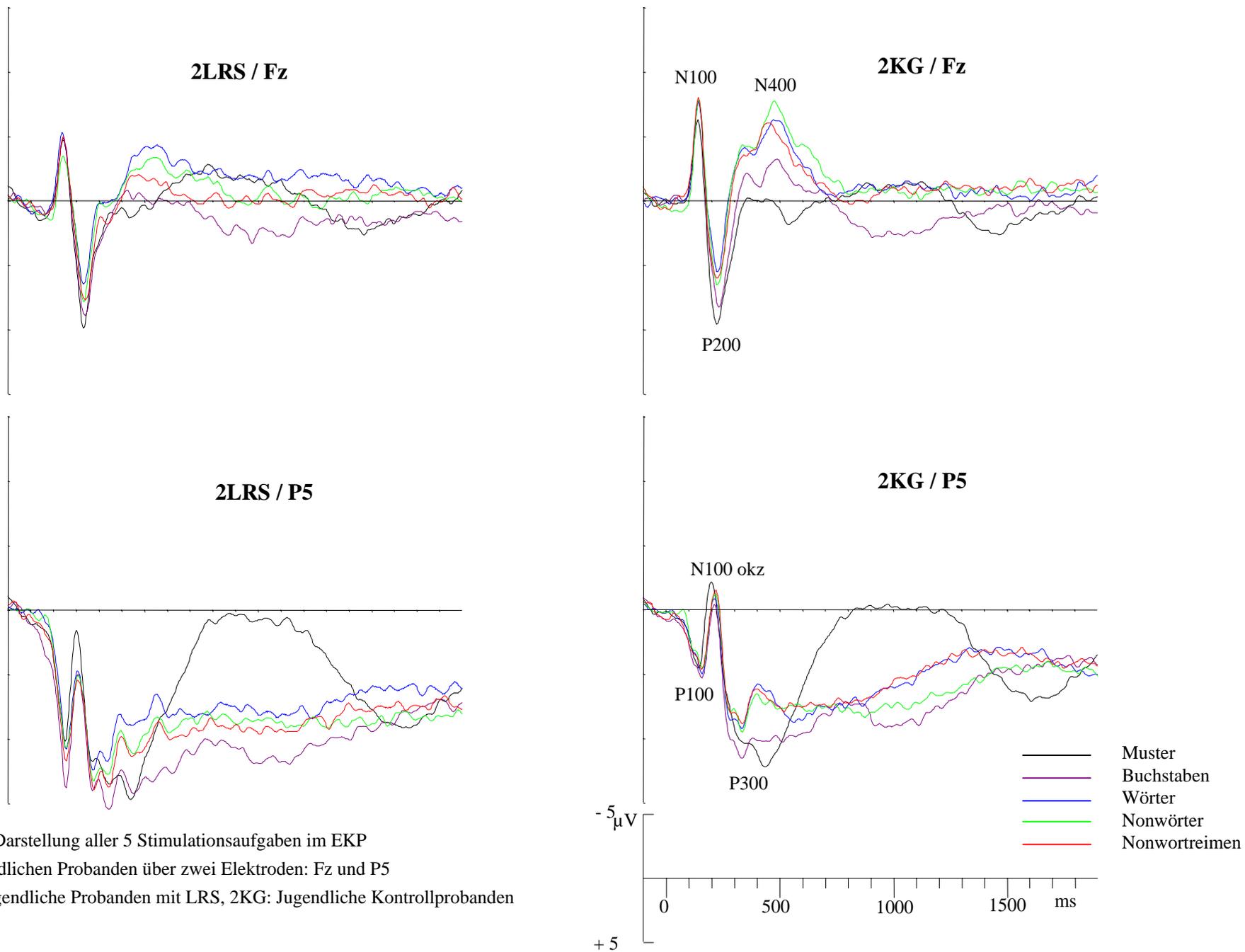


Abb. 18: Darstellung aller 5 Stimulationsaufgaben im EKP der jugendlichen Probanden über zwei Elektroden: Fz und P5  
 2LRS: Jugendliche Probanden mit LRS, 2KG: Jugendliche Kontrollprobanden

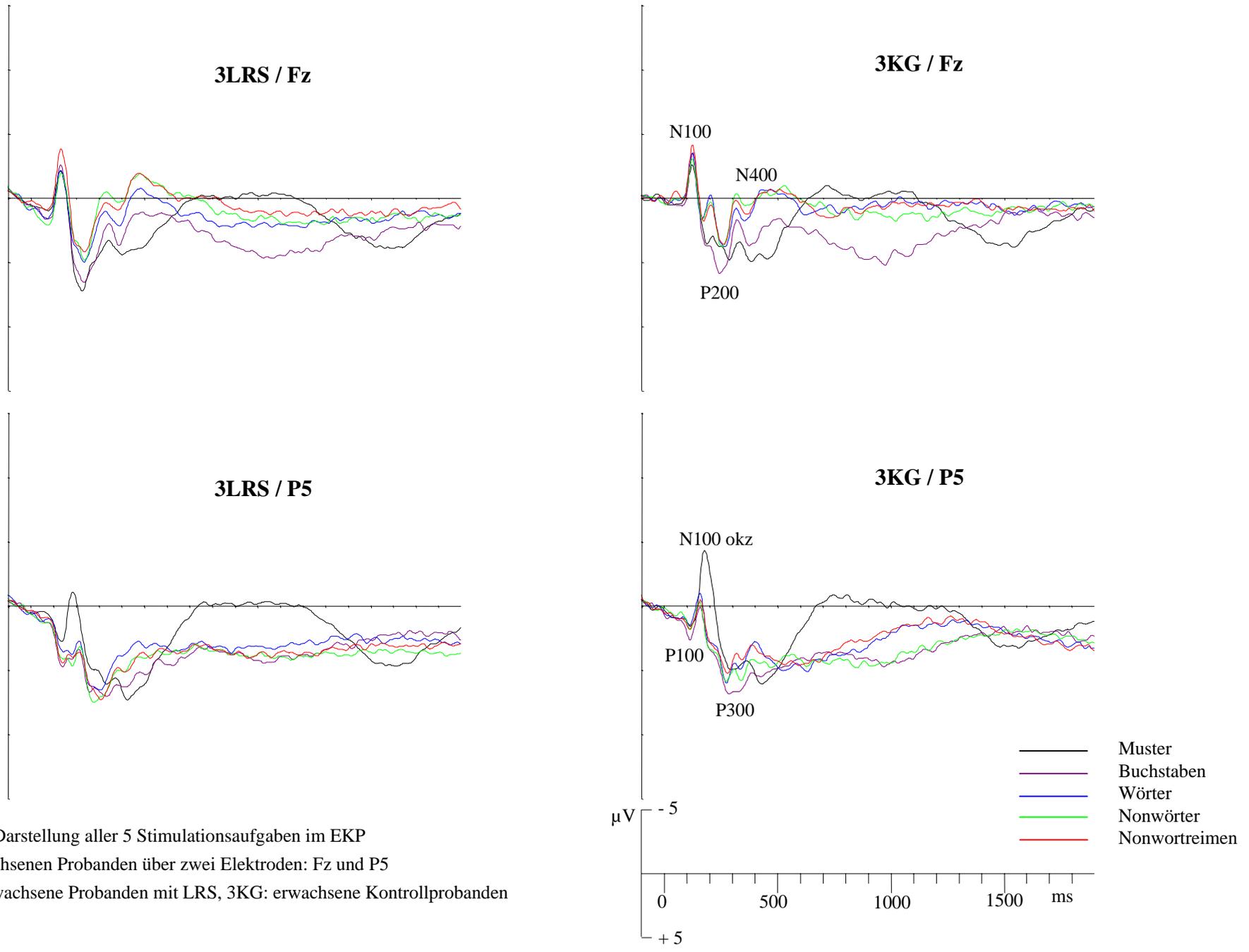


Abb. 19: Darstellung aller 5 Stimulationsaufgaben im EKP der erwachsenen Probanden über zwei Elektroden: Fz und P5  
3LRS: erwachsene Probanden mit LRS, 3KG: erwachsene Kontrollprobanden

Tabelle 10: Darstellung der Effekte der EKP-Analysen zu den Fragestellungen 3.1, 3.2 und 3.4

Abh. Var.	Innersubjekteffekte	$\epsilon$ -GG	Zwischensubjekteffekte
Mittlere Amplitude antN400	HE Bed F (4;180) = 58,9; p<.001	.638	
	WW Bed x Alter F (4;180) = 3,1; p=.037		
	WW Bed x Alter x LRS F (4;180) = 2,9; p=.046		
	HE Vohi F (1;45) = 41,7; p<.001		HE Alter F (1;45) = 14,1; p<.001
	WW Vohi x Alter F (1;45) = 12,4; p=.001		HE LRS F (1;45) = 3,9; p=.049
	HE Seite F (2;90) = 11,2; p<.001	.849	WW Alter x LRS F (1;45) = 4; p=.047
	WW Bed x Vohi F (4;180) = 4,3; p=.007	.748	
	WW Bed x Seite F (8;360) = 22,4; p<.001	.692	
	WW Bed x Vohi x Seite F (8;360) = 28,6; p<.001	.681	
WW Bed x Vohi x Seite x Alter F (8;360) = 5,6; p<.001			
N100-P200	HE Bed F (4;180) = 14,3; p<.001	.838	
	HE Vohi F (1;45) = 106,4; p<.001	1	
	WW Vohi x Alter x LRS F (1;45) = 6,5; p=.014		
	HE Seite F (2;90) = 224,4; p<.001	.824	
	WW Seite x Alter F (2;90) = 8,9; p=.001		
	WW Bed x Seite F (8;360) = 8; p<.001	.754	HE Alter F (1;45) = 11; p=.002
	WW Bed x Seite x Alter F (8;360) = 2,8; p=.013		
	WW Bed x Seite x Alter x LRS F (8;360) = 2,8; p=.012		
	WW Vohi x Seite F (2;90) = 61,7; p<.001	.868	
	WW Vohi x Seite x Alter F (2;90) = 3,9; p=.028		
WW Bed x Vohi x Seite F (8;360) = 9,7; p<.001	.770		
WW Bed x Vohi x Seite x Alter F (8;360) = 4,1; p=.001			
P100-N100o	HE Bed F (4;180) = 30,7; p<.001	.717	
	HE Vohi F (1;45) = 16,1; p<.001	1	
	WW Vohi x Alter F (1;45) = 4,7; p=.035		
	HE Seite F (1;45) = 8,1; p=.007	1	---
	WW Bed x Vohi F (4;180) = 2,8; p=.044	.7	
	WW Bed x Vohi x Alter F (4;180) = 3; p=.037		
	WW Bed x Seite F (4;180) = 17,8; p<.001	.722	
	WW Bed x Vohi x Seite F (4;180) = 14,9; p<.001	.677	
Mittlere Amplitude P300	HE Bed F (4;180) = 6,9; p=.001	.618	
	WW Bed x LRS F (4;180) = 4; p=.015		HE Alter F (1;45) = 14,7; p<.001
	HE Seite F (1;45) = 4,4; p=.042	1	

HE: Haupteffekt, WW: Wechselwirkung, abhg. Var.: Abhängige Variable,  $\epsilon$ -GG: Epsilon nach Greenhouse-Geisser

Für die Latenzen der Komponenten ergab sich lediglich ein signifikanter Haupteffekt für das Alter ( $F(1;45) = 23,4; p<.001$ ) bei der N100 sowie jeweils ein signifikanter Haupteffekt für die Bedingung für die P100 ( $F(4;180) = 8,2; p<.001$ ;  $\epsilon$ -GG: .775) und P300 ( $F(4;180) = 7; p<.001$ ;  $\epsilon$ -GG: .765).

Im folgenden sind Auszüge aus den Grandaveragen für die Gruppenvergleiche sowie in Abbildung 20 ein Überblick über die mittleren Amplitudenausprägungen der N400 und P300 im Gruppenvergleich dargestellt.

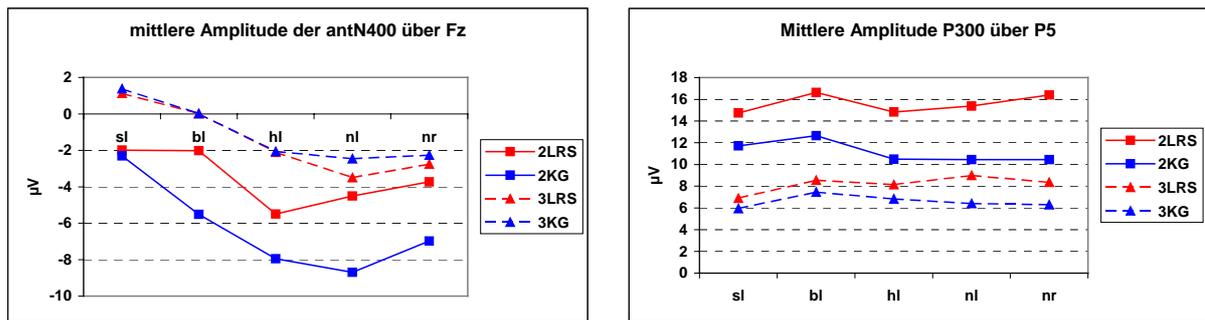


Abb. 20: Darstellung der mittleren Amplitudenwerte der antN400 (über Fz) und P300 (über P5) im Gruppenvergleich

Wie Tabelle 10 darstellt, bestätigt sich in allen statistischen Analysen, dass die verschiedenen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung die Ausprägung der EKPs modulieren. Zudem prägen sich für alle untersuchten EKPs statistisch signifikante altersabhängige Unterschiede aus. Diese lassen sich darauf zurückführen, dass sowohl im Vergleich der jugendlichen vs. der erwachsenen Probanden mit LRS sowie die jugendlichen vs. erwachsene Kontrollprobanden, jeweils die jugendlichen Probanden die deutlich höheren Amplitudenausschläge aufweisen. Bezüglich der verschiedenen EKPs stellen sich die Ergebnisse im einzelnen wie folgt dar.

#### **Anteriore N400:**

Für die antN400 bestätigen sich eine Fülle an Effekten: während die Haupteffekte und Wechselwirkungen der Faktoren Vorne-Hinten und Seite dadurch zustande kommen, dass EKP-typische Verteilungsmaxima zu beobachten sind, wie sie bereits unter Abschnitt 5.3.1 dargestellt wurden, kommen die zahlreichen Haupteffekte und Wechselwirkungen hinsichtlich Stimulationsbedingung, Alter und LRS-Gruppenzugehörigkeit über die unterschiedlichen Ausprägungen der antN400 in Abhängigkeit von diesen Faktoren zustande. Auf die Bedingung des Musterabgleiches prägt sich bei allen Gruppen *keine* antN400 aus. Für den Buchstabenabgleich unterscheiden sich die Amplitudenausprägungen zwischen den Altersgruppen: für beide erwachsenen Gruppen prägt sich die antN400 etwas stärker aus als für den Musterabgleich. Bei den jugendlichen Probanden sieht dies jedoch anders aus: während die jugendlichen Kontrollprobanden bereits auf Buchstabenlesen eine deutliche antN400 ausprägen, prägt sich die Aktivität in diesem Zeitfenster für die jugendlichen Probanden mit LRS lediglich auf dem Niveau des Musterabgleiches aus. Für die Jugendlichen zeichnet sich also bereits auf der Ebene des Buchstabenlesens deutliche Gruppenunterschiede in Richtung einer Minderausprägung der N400 ab.

Hinsichtlich der Wortleseaufgabe unterscheiden sich auch hier zwischen den beiden Erwachsenengruppen die Amplitudenausprägungen der antN400 *nicht*. Jedoch treten bei den jugendlichen Probanden für diese Stimulationsbedingung deutliche Unterschiede hinsichtlich einer verringerten antN400 bei den jugendlichen Probanden mit LRS auf. Für die Bedingungen Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen siedeln sich jeweils innerhalb der jugendlichen und erwachsenen Kontrollgruppe die Amplitudenausprägungen der antN400 ungefähr auf der gleichen Ebene an. Die Analyse der Gruppenunterschiede zeigt aber gerade für die Bedingungen Nonwortlesen und Nonwortreimen im Gruppenvergleich der jugendlichen Probanden mit LRS und den jugendlichen Kontrollprobanden die größten Differenzen.

Generell zeigt sich also hinsichtlich der antN400 für die Kontrollgruppen ein sukzessiver Anstieg der Amplitude der antN400 vom Musterabgleich zum Buchstabenlesen zu den Aufgaben Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen. Das Muster dieses sukzessiven Anstieges ist auch bei den erwachsenen Probanden mit LRS zu verzeichnen, wobei sich hier LRS-spezifische Überaktivierungen für Nonwortlesen und Nonwortreimen im Vergleich zur erwachsenen Kontrollgruppe zeigen. Für die jugendlichen Probanden deuten die Amplitudenunterschiede zwischen den Stimulationsbedingungen auf eine Differenzierung zwischen Bedingungen ohne phonologischen Gehalt und phonologiebehaftetem Stimulusmaterial hin, wobei sich auch hier wie schon bei den erwachsenen Probanden mit LRS für Nonwortlesen und Nonwortreimen die größten Unterschiede zeigen.

### ***N100-P200***

Auch bei diesem Komponenten-Komplex zeigen sich zahlreiche statistische Effekte. Wiederum sind die Effekte hinsichtlich Elektrodenpositionen („Vorne-Hinten“ und „Seite“) über das typische EKP-Maximum zu erklären, welches über den mittleren fronto-centralen Positionen zu verzeichnen ist und sich zu den Seiten hin abschwächt. Dabei sind die lateralen Ausprägungen über der frontalen Elektrodenreihe größer als über den Positionen der zentralen Reihe. Altersbedingte Effekte hängen auch hier wiederum mit den größeren Amplitudenausschlägen der jugendlichen Probanden zusammen. Die Effekte hinsichtlich der Stimulationsbedingungen dürften hauptsächlich durch den Komponenten-Komplex-Anteil der P200 zustande gekommen sein, der sich in Abhängigkeit vom Alter folgendermaßen ausprägt: bei den jugendlichen Probanden findet sich die „Dreiteilung“ des Amplitudenausschlages, wie sie schon bei der N400 zu beobachten war wieder, jedoch in umgekehrter Reihenfolge: die größte P200 prägt sich auf den Musterabgleich,

gefolgt von Buchstaben und mit den kleinsten Amplituden auf Wörter, Nonwörter und Nonwortreimen aus.

Bei den Erwachsenen scheint es sich eher um eine Zweiteilung zu handeln, doch auch hier sieht man eine eindeutig unterschiedlich ausgeprägte P200 zwischen den Bedingungen Muster- und Buchstabenabgleich vs. dem phonologiebehafteten Stimulationsmaterial. Der LRS-Effekt geht fast ausschließlich auf die Minderausprägung des Komplexes zurück, die sich auf der Ebene der antN400 fortzusetzen scheint.

### ***P300***

Deutlich bestätigen sich für die P300 sowohl in der statistischen wie auch der visuellen Analyse ein Haupteffekt für die Altersgruppenzugehörigkeit. Die annähernd parallelen Verläufe der Graphen der jeweiligen Altersgruppen wird durch den nicht vorhandenen Wechselwirkungseffekt hinsichtlich des Alters bestätigt, somit bleiben die Leistungsunterschiede zwischen den Altersgruppen über alle fünf Stimulationsbedingungen gleich. Der Haupteffekt Seite kommt durch die allgemein größere Amplitude der P300 der LRS-Gruppe über linken Elektroden zustande. Hinsichtlich der Wechselwirkung Bedingung x LRS-Gruppenzugehörigkeit ergibt die visuelle Inspektion der Amplitudenausprägungen, dass diese Wechselwirkung durch die unterschiedlichen Ausprägungen der beiden LRS-Gruppen auf das Nonwortlesen und Nonwortreimen zustande kommt. Für die beiden Kontrollgruppen liegt die Amplitudenausprägung der P300 für Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen auf einer Ebene, wohingegen es bei den beiden LRS-Gruppen einen Anstieg der Amplitude vom Nonwortlesen zum Nonwortreimen zu geben scheint.

Zusammenfassend lässt sich somit für die P300 festhalten, dass deutliche Gruppenunterschiede vorliegen: bei den Probanden mit LRS sind generell größere linkslateralisierte P300-Amplituden zu verzeichnen, zudem scheinen diese Unterschiede über die Stimulationsaufgaben Nonwortlesen und Nonwortreimen noch größer zu werden.

### ***P100-N100***

Die statistischen Effekte der Peak-to-Peak-Analyse des P100-N100-Komplexes gehen auf eine Vielzahl von Effekten zurück. Wie die visuelle Inspektion der Daten zeigt, dürfte ein Großteil der Effekte bezüglich der Stimulationsbedingungen auf die Ausprägung des Komplexes auf den Musterabgleich zurückzuführen sein, da hier der Peak-to-Peak-Abstand deutlich größer als bei den übrigen Stimulationsbedingungen ist. Zudem weist diese Ausprägung eine deutliche Rechtslate-

ralisierung auf, was zudem die Hauptklärung für die Effekte hinsichtlich des Faktors „Seite“ sein dürfte.

Dass die Ausprägung des Komplexes je nach Alter und Gruppe parietal oder okzipital größer ist, belegen die Effekte hinsichtlich des Faktors „Vorne-Hinten“. Für die P100 zeigt sich aber nicht die „Dreiteilung“, wie sie für antN400 und P300 beschrieben wurde. Nur die Buchstaben werden von den jugendlichen Probanden mit LRS und den erwachsenen Kontrollprobanden mit einer größeren P100 beantwortet.

Ein Befund, der sich zwar nicht in der statistischen Analyse niederschlägt, der aber bei der visuellen Inspektion eindeutig ins Auge sticht, ist die Überaktivierung der P100 in beiden LRS-Gruppen, besonders bei den jugendlichen Probanden mit LRS. Diese Überaktivierung weist ebenso wie die P300 eine deutliche Linkslateralisierung auf, womit sich abzeichnen könnte, dass hier die P100 und P300 ein gemeinsamer neuronaler Verarbeitungsprozess zugrunde liegt.

### 5.3.3 Ergebnisse zur Fragestellung aus Abschnitt 3.3

Die Frage, ob sich auf der Ebene der EKP-Daten verschiedene Lesestrecken identifizieren lassen und ob bei der LRS verschiedene phonologische Verarbeitungstrecken unterschiedlich stark gestört sind wurde anhand der antN400 über die drei phonologiebehafteten Stufen des Stimulusmaterials mittels zweier univariater Varianzanalysen (einmal mit, einmal ohne Messwiederholung) jeweils mit den Zwischensubjektfaktoren Alter sowie LRS-Gruppenzugehörigkeit analysiert. Wiederum ergaben sich hinsichtlich der Latenz keinerlei signifikante Effekte. Für einen Überblick über die signifikante Effekte hinsichtlich der mittleren Amplitude der antN400 sei auf Tabelle 11 verwiesen.

Wie bereits unter Abschnitt 5.3.2 beschrieben, treten auch hier wieder signifikante Effekte hinsichtlich Altersgruppenzugehörigkeit auf, die durch die höheren Amplitudenausprägungen der jugendlichen Probanden bedingt sind. Auch die Effekte hinsichtlich der Elektrodenpositionen folgen den unter 5.3.2 dargestellten Erklärungsmuster.

Wie die statistische Analyse zeigt, ergeben sich Effekte hinsichtlich der verschiedenen Stufen Stimulationsbedingung und der Zugehörigkeit zur LRS- und Kontrollgruppe, die sich in mehreren Faktoren begründen dürfte. Wie Abbildung 20 zeigt, gleichen die antN400-Amplitudenausschläge den Leistungsmustern der ERTS-Daten: die beiden erwachsenen Gruppen unterscheiden sich beim Wortlesen nicht, wohingegen bei den jugendlichen Probanden bereits auf der Ebene des Wortlesens Unterschiede bestehen. Hinsichtlich der Bedingungen Nonwortlesen und Nonwortreimen kommt es hinsichtlich der Gruppenunterschiede bei den jugendlichen

und den erwachsenen Probanden mit LRS zu gegenläufigen Effekten: während die jugendlichen Probanden mit LRS für Nonwortlesen und Nonwortreimen sukzessiv geringer ausgeprägte antN400-Amplituden aufweisen, zeigen die erwachsenen Probanden mit LRS im Vergleich zur erwachsenen Kontrollgruppe höhere Ausprägungen.

Tabelle 11: Darstellung der Effekte der Analyse der antN400 für die Fragestellung 3.3

Abh. Var.	Innersubjekteffekte	$\epsilon$ -GG	Zwischensubjekteffekte
Mittlere Amplitude antN400	HE Bed F (2;90) = 13,3; p<.001	.988	
	WW Bed x Alter F (2;90) = 4,4; p=.016		
	WW Bed x Alter x LRS F (2;90) = 3,9; p=.025		
	HE Vohi F (1;45) = 26,4; p<.001	1	HE Alter F (1;45) = 17,7; p<.001
	WW Vohi x Alter F (1;45) = 7,7; p=.008		HE LRS F (1;45) = 5,5; p=.023
	HE Seite F (2;90) = 28,3; p<.001	.9	WW Alter x LRS F (1;45) = 6,3; p=.016
	WW Vohi x Seite F (2;90) = 6,5; p=.003		
	WW Vohi x Seite x Alter x LRS F (2;90) = 3,3; p=.046		
	WW Bed x Vohi x Seite F (4;180) = 3,4; p=.022	.720	
	WW Bed x Vohi x Seite x Alter F (4;180) = 3,6; p=.018		

HE: Haupteffekt, WW: Wechselwirkung, abhg. Var.: Abhängige Variable,  $\epsilon$ -GG: Epsilon nach Greenhouse-Geisser

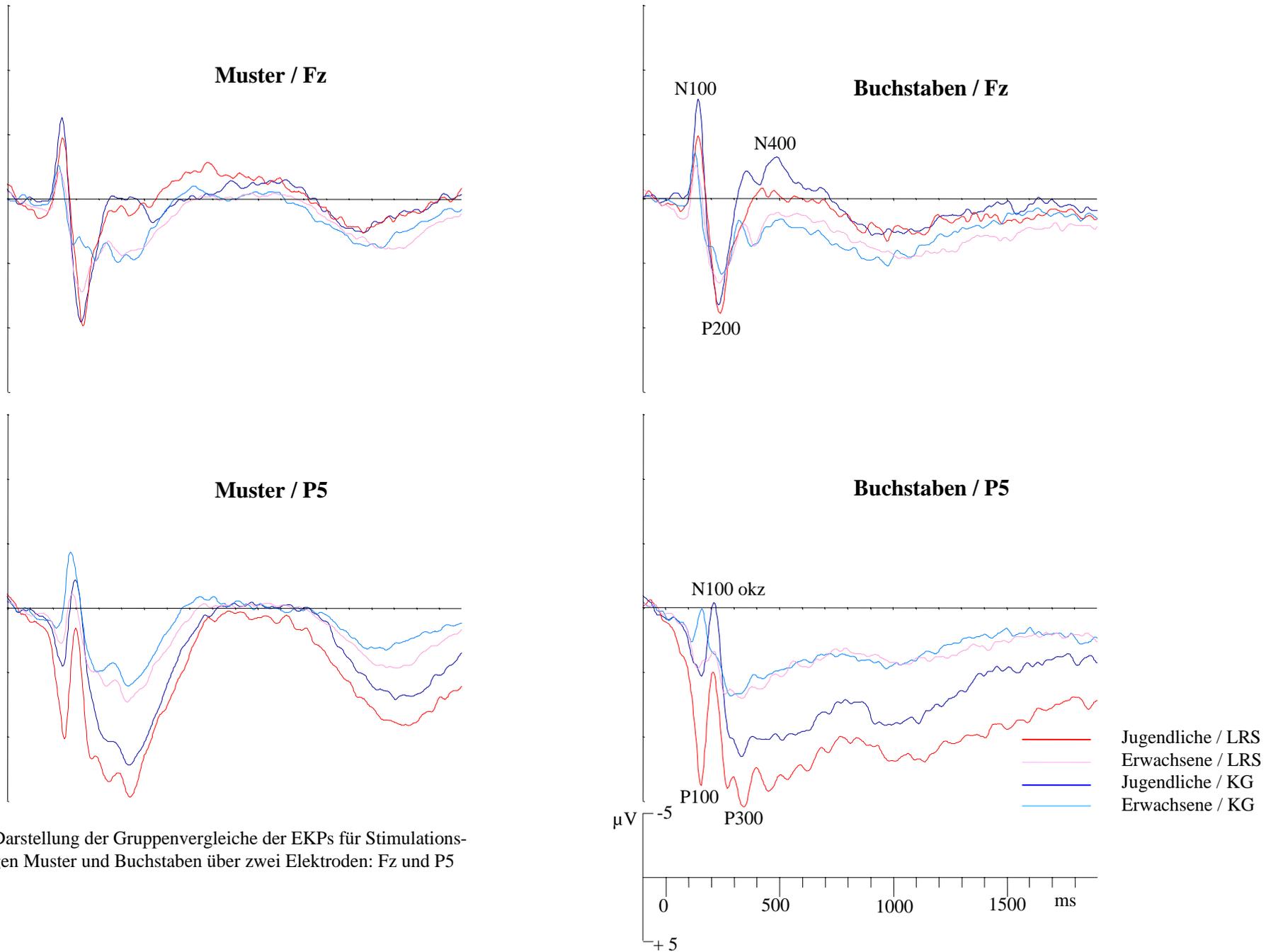


Abb. 21: Darstellung der Gruppenvergleiche der EKPs für Stimulationsbedingungen Muster und Buchstaben über zwei Elektroden: Fz und P5

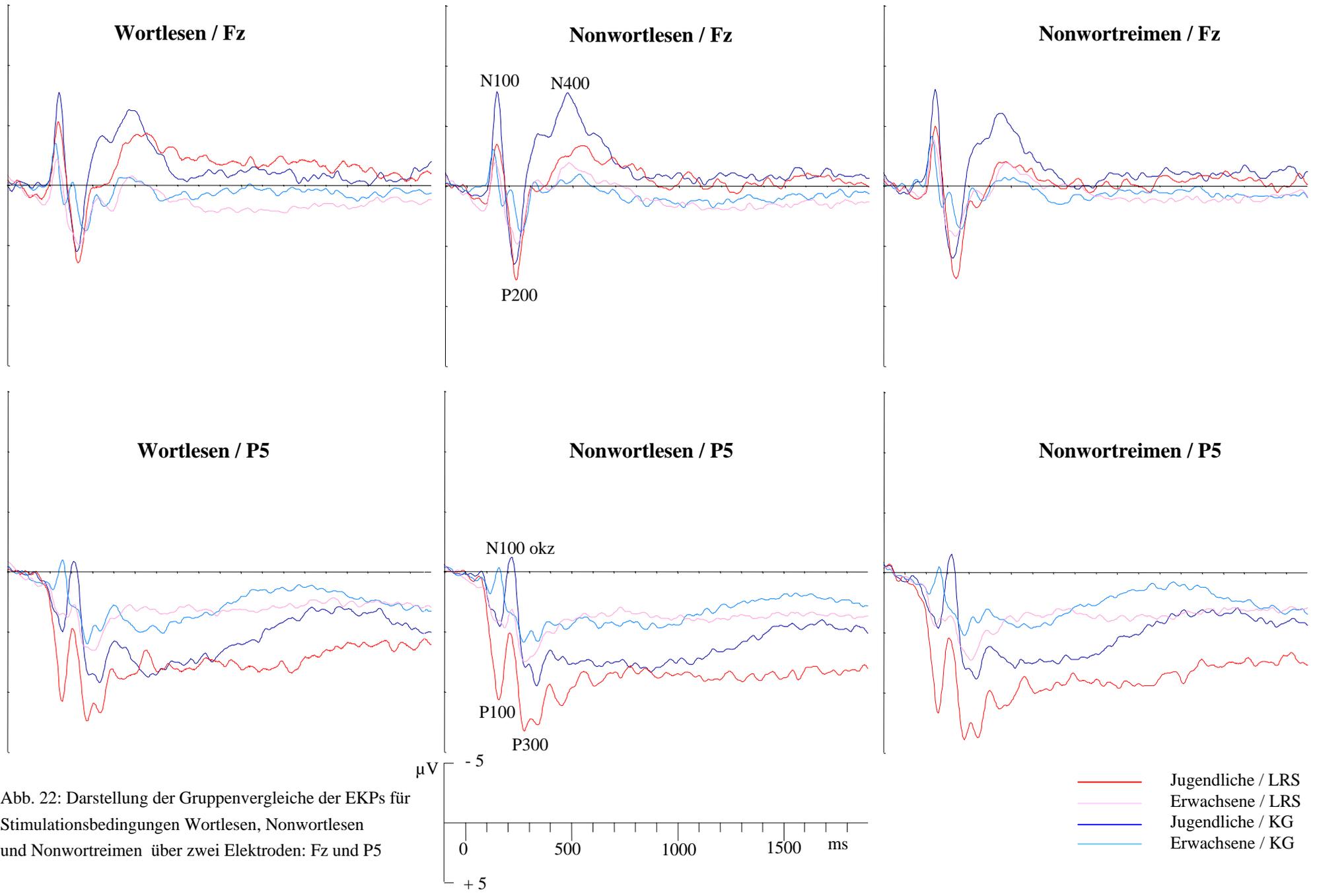


Abb. 22: Darstellung der Gruppenvergleiche der EKPs für Stimulationsbedingungen Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen über zwei Elektroden: Fz und P5

## 6 Diskussion

Generell sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Interpretation der statistischen Befunde immer mit gebotener Vorsicht erfolgen muss, da gerade für die elektrophysiologischen Daten mehrere statistische Analysen berechnet werden mussten. Dies war jedoch unvermeidbar, da die EKPs über unterschiedlichen Elektrodenpositionen analysiert wurden. Zudem sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass eine derartige Untersuchung für den deutschen Sprachraum noch nicht vorliegt. Vor diesem Hintergrund haben einige Analysen und somit ihre Interpretation und Diskussion einen stark explorativen Charakter.

### 6.1 Diskussion der testdiagnostischen Leistungen

#### 6.1.1 Alter, nonverbale Leistung und Aufmerksamkeit

Für die Analyse der Stichprobendaten bestätigt sich erwartungsgemäß, dass die Zuordnung der Versuchspersonen hinsichtlich Alter sowie nonverbaler Leistungsfähigkeit als gelungen betrachtet werden kann, da bei der Analyse der nonverbalen kognitiven Leistungsvoraussetzungen keinerlei signifikante Effekte der Gruppenzugehörigkeit zu verzeichnen sind. Ein Haupteffekt tritt lediglich hinsichtlich des Alters auf, der durch die beiden unterschiedlichen Altersstichproben erklärt werden kann. Erwartungsgemäß treten diesbezüglich jedoch keine weiteren Wechselwirkungseffekte zwischen Alter und Gruppenzugehörigkeit auf. Beide Stichproben sind also hinsichtlich ihrer kognitiven Leistungsfähigkeit auf dem gleichen Niveau angesiedelt, so dass Unterschiede, die sich in den späteren Analysen zeigen, nicht durch Unterschiede in den kognitiven Fähigkeiten konfundiert sind.

Hinsichtlich der Analyse der Aufmerksamkeit gilt folgendes: betrachtet man die Mittelwerte der einzelnen Gruppen, so erbringt zwar die Gruppe der Probanden mit LRS sowohl bei den Jugendlichen wie auch den Erwachsenen schlechtere Leistungen. Da die Leistungen mit einem Prozentrang von 49 respektive 57 jedoch im durchschnittlichen Normbereich liegen, kann hier nicht von einer Konfundierung der weiteren Analysen durch unterschiedliche Aufmerksamkeitsleistungen gesprochen werden. Zudem muss darauf hingewiesen werden, dass bei den Aufmerksamkeitsleistungen der erwachsenen Kontrollprobanden ein deutlicher Deckeneffekt vorliegen dürfte. Ein Großteil dieser Stichprobe setzt sich aus Medizinstudenten zusammen, die diese Form der Aufmerksamkeitsleistung im Rahmen des „Mediziner-Tests“ im Vorfeld sehr stark übten.

#### 6.1.2 Lese-Rechtschreibleistung

Erwartungskonform ergeben sich signifikante Gruppenunterschiede bei der Rechtschreibleistung, die über den Altersverlauf hin stabil sind (vgl. Abbildung 15). Da für jede Altersgruppe bzw.

Klassenstufe ein passender Test eingesetzt wurde, ist der leichte Leistungsabfall bei den erwachsenen Probanden mit LRS wahrscheinlich durch die strengeren Normen des für die Erwachsenengruppe eingesetzten Rechtschreibtests bedingt. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Fehlern der Leseleistung: es gibt eine fast parallele Entwicklung der Leseleistungen vom Jugend- zum Erwachsenenalter mit gleich bleibenden Unterschieden zwischen Probanden mit LRS und Kontrollprobanden. D.h., dass bei den abhängigen Variablen Rechtschreibleistung und Lesefehler die Haupteffekte Alter und Gruppe die gesamte Erklärung für die Unterschiede liefern.

Anders ist es bei der Entwicklung des Lesetempos. Hier zeigt sich sehr deutlich, welcher Effekt für die signifikante multivariate Wechselwirkung hauptverantwortlich zu sein scheint. Sie geht fast ausschließlich auf die deutliche Temposteigerung innerhalb der LRS-Gruppe zurück: während die Leistung bei den Kontrollprobanden vom Jugendalter zum Erwachsenenalter gleich bleiben, verbessert sich die Tempoleistung bei den Probanden mit LRS von einer deutlich unterdurchschnittlichen Leistung im Jugendalter auf ein durchschnittliches Niveau im Erwachsenenalter. Interessant ist dabei folgendes: da der ZLT nur bis zur 6. Klasse normiert ist, ist es nicht sonderlich verwunderlich, dass sich bei den Kontrollprobanden deutliche Deckeneffekte zeigen. Dieser Deckeneffekt tritt bei den Probanden mit LRS aber *nicht* auf. Zwar findet eine Kompensation auf ein durchschnittliches Leseniveau im Erwachsenenalter statt, jedoch bewegen sich die Leseleistungen der erwachsenen Probanden mit LRS noch immer nur auf dem durchschnittlichen Niveau von Sechstklässlern.

Zusammengefasst bedeutet dies, dass es deutliche Gruppenunterschiede beim Lesen und Schreiben gibt, und diese Unterschiede auch über das Alter hinweg weitestgehend stabil sind. Auffallend hierbei ist, dass es vor allem die Rechtschreibleistungen sind, die im Erwachsenenalter als verlässliches Diagnosekriterium dienen. Dies ist deckungsgleich mit den Beschreibungen des klinischen Verlaufes der LRS im ICD-10, nach dem sich im frühen Erwachsenenalter die LRS vor allem als schwere Rechtschreibstörung ausprägt während sich die Leseleistungen hingegen häufig auf ein durchschnittliches Niveau verbessern.

## 6.2 Interpretation zur Fragestellung aus Abschnitt 3.1: unterschiedliche Stufen der Wortverarbeitung

Da eine derartige Untersuchung nach aktuellem Kenntnisstand für den deutschen Sprachraum noch nicht vorliegt, ist an dieser Stelle zunächst von Interesse, wie die verschiedenen abhängigen Variablen (Reaktionszeiten, Fehlerraten sowie Amplituden und Latenzen der EKPs) durch die unterschiedlichen Stufen des Stimulationsmaterials moduliert werden.

### 6.2.1 ERTS-Daten

Auf der Ebene der ERTS-Daten wurde die Annahme formuliert, dass in allen Gruppen sowohl Verarbeitungszeit wie auch Fehlerrate ausgehend von der Stufe des Musterabgleiches hin zu der Stufe des Nonwortreimens sukzessive ansteigen sollten. Diesbezüglich bestätigen sowohl die statistischen Effekte wie auch die visuelle Inspektion der Abbildung 16 für alle vier Gruppen einen sukzessiven Anstieg der Reaktionszeiten über die fünf Stimulationsaufgaben hinweg (vgl. Abschnitt 5.2.1).

Generell zeigt sich hinsichtlich der als Baseline konzipierten Bedingung des Musterabgleiches, dass diese Aufgabe von allen Gruppen auf dem gleichen Leistungsniveau bearbeitet wird und sich die Gruppen somit hinsichtlich der „Kontrollbedingung“ auf der Ebene ihrer basalen visuellen Verarbeitungsfertigkeiten nicht unterscheiden. Die Annahme, dass die zweite Stimulationsbedingung des orthographischen Buchstabenabgleiches eine Zwischenstufe zwischen reinem Musterabgleich und Wortlesen darstellt ist so nicht haltbar, da sowohl Reaktionszeiten wie auch Fehlerraten aller Gruppen für den Buchstabenabgleich höher sind als beim Wortlesen. Es ist anzunehmen, dass die Schwierigkeit dieser Aufgabe falsch eingeschätzt wurde. Für die drei letzten Stimulationsbedingungen (Wortlesen, Nonwortlesen, Nonwortreimen) findet sich zwar nicht der postulierte Anstieg, aber die Leistungsdaten erlauben eine Differenzierung zwischen hochfrequentem vs. unbekanntem Wortmaterial, da sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Bearbeitungszeit von hochfrequentem Wortlesen vs. Nonwortlesen und -reimen abzeichnen.

Dass der postulierte stufenförmige Anstieg eher bei den Reaktionszeiten als bei den Fehlerraten zu verzeichnen ist, stimmt mit Befunden von WIMMER (1996) überein, der im Rahmen seiner Untersuchungen zum Vergleich von deutsch- vs. englischsprachigen Kindern beschreibt, dass im deutschen Sprachraum aufgrund der stringenteren Graphem-Phonem-Zuordnung die Bearbeitungszeit die entscheidende Variable bei einem Vergleich zwischen geübten vs. ungeübten Lesern ist. Es ist anzunehmen, dass sich dieser Effekt in der gleichen Art bei hochfrequentem (also gut geübtem) vs. unbekanntem (also unbeübtem) Wortmaterial zeigt.

Einen Befund muss man hier dennoch kritisch hinterfragen: was bedeutet es, dass hinsichtlich der Bearbeitungszeit Buchstaben und unbekanntes Wortmaterial innerhalb der Kontrollgruppen auf einem vergleichbaren Niveau angesiedelt sind? Ist dies lediglich der Ausdruck der Aufgabenschwierigkeit, die für die Buchstaben falsch eingeschätzt wurde? Oder spiegelt sich eine ähnliche Bearbeitungsstrategie wider? Wurden die Aufgaben vielleicht generell konträr zur Probandeninstruktion nur visuell abgeglichen? Zur Klärung dieser Fragen müssen die elektrophysiologischen Daten hinzugezogen werden.

### 6.2.2 EKP-Daten

Auf der Ebene der EKP-Daten war von Interesse, das neuronale System zu identifizieren und zu beschreiben, das phonologischen Wortverarbeitungsprozessen zugrunde liegen könnte. Dazu wurde zunächst explorativ mittels der Mean Global Field Power untersucht, welche EKPs durch die verschiedenen Stimulationsbedingungen moduliert werden. Wie aus Abbildung 14 ersichtlich, sind stimulationsabhängige Aktivierungsunterschiede in mehreren Zeitbereichen zu verzeichnen. Auf der Ebene dieser EKPs (antN400, N100-P200-Komplex, P300, P100-N100o-Komplex) bestätigen sich sowohl anhand statistischer Analysen wie auch der visuellen Inspektion systematische Modulationseffekte der verschiedenen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung.

#### 6.2.2.1 antN400

Da COCH et al. (2002) für den englischen Sprachraum bei normallesenden Probanden Variationen einer anterioren N400 in Abhängigkeit von verschiedenem wortbezogenem Stimulusmaterial beschreiben, liegt bei der vorliegenden Studie besonderes Augenmerk auf den stimulationsabhängigen Variationen der N400. Die statistischen Analysen bestätigen über den Haupteffekt für die Stimulationsbedingung sowie die zahlreichen Wechselwirkungseffekte zwischen Stimulationsbedingung und Gruppenzugehörigkeit, Alter und Elektrodenposition, dass die Amplitude der antN400 (deren Maximum über fronto-centralen Positionen zu verzeichnen ist) systematisch durch die verschiedenen Aufgaben moduliert wird. Im Vergleich zu den übrigen EKPs zeigt sich zudem bei der visuellen Inspektion, dass diese aufgabenabhängige Modulation auf der Ebene der antN400 am stärksten ausfällt.

Diese fronto-centralen Verteilung ist dabei anders lokalisiert wie die N400-Effekte, die unter anderem von RUGG (1984a) über centro-parietalen bis parieto-okzipitalen Positionen beschrieben werden. COCH et al. (2002) beschreiben, dass das lokale Maximum der N400 stark von der Stimulationsart abhängt. So wird auf Priming-Aufgaben eher eine parietale und auf passives Wortlesen eher eine frontale N400 evoziert (COCH et al., 2002; GROSSI et al., 2001). Da die Aufgaben der vorliegenden Studie keine Priming-Aufgaben sind sondern eher Wortlistencharakter haben, ist die fronto-centrale Ausprägung der hier beobachteten antN400 literaturkonform als typische EKP-Ausprägung auf passives Wortlesen zu deuten. Wie sind nun die aufgabenspezifischen Modulationen der antN400 konkret zu beschreiben?

Die visuelle Analyse zeigt, dass sich die verschiedenen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung auf der Ebene der antN400 in dreifacher Abstufung der Amplituden niederschlägt (vgl. hierzu Abbildung 20). Für alle Gruppen gilt, dass die Ausprägung der antN400 auf den reinen Musterabgleich am geringsten ist. Ebenso nimmt für alle Gruppen (bis auf die jugendlichen Probanden

mit LRS) die Amplitudenausprägung der antN400 auf den Buchstabenabgleich eine Mittelposition ein. Der Befund, dass vor allem die jugendliche Kontrollprobanden bereits auf die orthographische Stimulationsbedingung des Musterabgleiches und nicht erst auf die Aufgaben, die eine phonologische Wortverarbeitung erfordern, eine deutliche antN400 ausprägen, kann lediglich vor dem Hintergrund einer heterogenen empirischen Befundlage interpretiert werden. Während RUGG (1984a) keine Änderungen der N400 auf orthographische Manipulationen beobachtet, beschreiben KRAMER UND DONCHIN (1987) aufgabenabhängige Variationen der N400 auf orthographische Manipulationen. COCH et al. (2002) beschreiben zudem für ihre Stichprobe von 10- bis 11-jährigen Kindern, dass selbst auf Buchstaben und Zeichenketten eine N400 zu verzeichnen ist. Die Autoren interpretieren dies dahingehend, dass Kinder bei dieser Form der visuellen Stimulation (im Kontext von Wortverarbeitungsaufgaben) versuchen, zunächst jegliche Art des Stimulusmaterials im Sinne einer Wortform zu deuten. Somit kann der oben genannte Befund der jugendlichen Kontrollprobanden dahingehend gedeutet werden, dass diese Probanden versuchen, in den Buchstabenketten Wortformen zu entdecken und diese im Sinne von Wortmaterial zu verarbeiten.

Bei der Interpretation der Ausprägung der antN400 auf Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen schlagen die statistischen Wechselwirkungseffekte hinsichtlich Alter und Gruppenzugehörigkeit zu Buche. Anders als bei den ERTS-Daten, bei denen die Leistungen aller Gruppen eine deutliche Trennung zwischen der Verarbeitung von hochfrequentem vs. unbekanntem Wortmaterial erlauben, kann diese Differenzierung hinsichtlich der Amplitudenausprägung der antN400 zwar nicht vorgenommen werden [vgl. Abbildung 16a (ERTS-Daten) vs. Abbildung 20 (antN400)]. Aber dennoch kann man die Amplitudenausprägung der antN400 auf das phonologiebehaftete Stimulusmaterial deutlich vom Muster- und Buchstabenabgleich abgrenzen: die Amplituden der antN400 weisen in allen Gruppen auf Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen die größten Amplituden auf. Somit deuten die hier beschriebenen Effekte der antN400 eindeutig auf eine wortform- und phonologiebezogene Variation der antN400 hin. Welcher kognitive Verarbeitungsprozess kann nun dieser Beobachtung zugeschrieben werden?

Die Autoren der meisten Studien sind recht zurückhaltend, was die Interpretation der kognitiven Hintergründe von Komponenten wie der N400 angeht. BRANDEIS, VITACCO UND STEINHAUSEN (1994) bezeichnen sie als „language specific processing“. Vor dem Hintergrund, dass es mittlerweile ein Fülle von Befunden aus der Bildgebung gibt, die Sprachprozesse als Netzwerkprozesse abbilden, ist es vielleicht auch eher angebracht, die N400 als globalen Ausdruck dieses Sprachnetzwerkes zu interpretieren. Viele Studien beschreiben die N400 als einen Such- und Abgleich-

prozess im mentalen Lexikon. COCH et al. (2002) bezeichnen die antN400 als einen „Integrationsprozess“, bei dem Informationen verschiedener Ebenen zum Leseverständnis integriert werden. Im Rahmen von Priming-Experimenten und Satzleseexperimenten wird die N400 als Ausdruck einer Neuevaluation von unvorhergesehenen Möglichkeiten oder als Index für „Kontextmanipulationen“ bezeichnet. Da in der vorliegenden Studie die antN400 aber nicht durch ein klassisches Priming-Experiment evoziert wird, kann man solche Aussagen nicht eins zu eins übernehmen.

Wie RUGG (1984a & 1984b) und KRAMER UND DONCHIN (1987) zeigen, sind Modulationseffekte der N400 nicht nur bei semantischen Integrationsprozessen, sondern auch bei phonologischen Wortverarbeitungsprozessen zu beobachten. RUGG (1984a) argumentiert zudem, dass die N400 nicht nur über einen Suchprozess im mentalen Lexikon erklärt werden kann, da auch für Nonwörter N400-Priming-Effekte zu beobachten sind. Da Nonwörter aufgrund ihrer Unbekanntheit aber nicht über einen Lexikoneintrag verfügen, soll dieser Priming-Effekt Ausdruck phonologischer Verarbeitungsprozesse sein. Generell kann man dies jedoch so nicht sagen. Es ist durchaus zu vermuten, dass auch auf Nonwörter hin ein lexikalischer Suchprozess in Gang gesetzt wird. Anzunehmen ist aber, dass die Suchprozesse dabei stark auf den phonologischen Codes des Nonwortmaterials basieren.

Dass die N400 zudem ein sensibles Maß zur Abbildung von verschiedenen Wortverarbeitungsprozessen darstellt, konnten COCH et al. (2002) zeigen. Sie beobachteten, dass im englischen Sprachraum eine anterior gelagerte N400 selektiv durch verschiedene Stufen der Wortverarbeitung moduliert werden kann. Nur wenige Studien wie z.B. GROSSI et al. (2001) gehen soweit, die N400 mit einem konkreten Begriff, nämlich „Index für die phonologische Bewusstheit“ zu benennen. Sie beziehen sich auf die Befunde von RUGG (1984a & 1984b) und beschreiben, dass die N400 einen Matching-Prozess von Phonemen im phonologischen Speicher darstellen soll. Wie ihre Ergebnisse zeigen, gibt es aber keine signifikanten Korrelationen zu den Leistungsdaten, die die phonologische Bewusstheit beschreiben sollen.

CONNOLLY et al. (2001) diskutieren hinsichtlich eines Markers für phonologische Verarbeitung eine N200. Die Funktion der N200 oder PMN soll dabei ein reiner Marker phonologischer Verarbeitung sein. Dass die PMN sowohl auf Wörter wie auch Nonwörter hervorgerufen wird, wird von CONNOLLY et al. (2001) im Sinne der Mediatorhypothese der Phonologie interpretiert, dass Phonologie bei jeder Form von Wortverarbeitungsprozessen beteiligt sein soll. Hintergrund soll dabei ein Suchprozess im mentalen Lexikon basierend auf der phonologischen Information des Wortmaterials sein. Auch VAN DEN BRINK et al. (2001) beschreiben in diesem Zeitfenster einen

Effekt, der mit lexikalischen Suchprozessen und Auswahlprozessen in Zusammenhang stehen soll, der durch vorangegangene phonologische Analysen initiiert wurde.

Zusammenfassend kann man somit für die Effekte hinsichtlich der in der vorliegenden Arbeit beobachteten antN400 vermerken, dass anhand der Aufgabengestaltung die Anregung verschiedener Muster und (phonologiebehaftete) Wortverarbeitungsprozesse beabsichtigt war. Wenn man versucht, sehr konservativ und wenig spekulativ den Befund zu interpretieren, dass deutliche und auch über das Alter stabile aufgabenabhängige Abstufungen innerhalb der antN400 zu verzeichnen sind, kann man den Schluss ziehen, dass die antN400 erwartungsgemäß durch wortbezogenes vs. nicht-wortbezogenes Stimulusmaterial moduliert wird und somit die verschiedenen Stufen der Wortverarbeitungsprozesse widerzuspiegeln scheint. Vor den gerade beschriebenen empirischen Befunden scheint die Ausprägung der antN400 mit dem phonologischen Gehalt des Stimulusmaterials zusammenzuhängen, da sie bezogen auf phonologiebehaftetes Material die größten Aktivierungen aufweist. Im Sinne von GROSSI et al. (2001) kann die hier beobachtete antN400 also im Sinne eines Abgleichprozess im phonologischen Speicher interpretiert werden.

#### **6.2.2.2 Frühe Komponenten (N100-P200, P100-N100o)**

Sowohl die visuelle Inspektion wie auch die statistischen Analysen bestätigen anhand zahlreicher Effekte, dass Modulationen der Komponentenkomplexe (N100-P200 und P100-N100o) bereits zu diesem frühen Zeitpunkt auf den Einfluss von Muster- und Wortverarbeitungsprozessen zurückgeführt werden können.

#### ***N100-P200***

Für den N100-P200-Komplex zeigt sich zwar nicht die Dreiteilung wie bei der antN400 hinsichtlich der Abstufung Musterabgleich < Buchstabenabgleich < Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen, aber dennoch kann man wieder konform über beide Altersgruppen berichten, dass sich die phonologiebehafteten Stimulationsbedingungen auf einem Niveau gruppieren, während auf Muster- und Buchstabenabgleich jeweils aufgabenspezifische Aktivierungsmuster zu beobachten sind.

In den vorliegenden Daten zeichnet sich deutlich ab, dass bereits ab dem Zeitpunkt der P200 die Verarbeitungsprozesse zwischen Buchstaben, Wörtern, Nonwörtern und Nonwortreimen voneinander abgegrenzt werden können. Dies ist konform mit Befunden von NOBRE UND MCCARTHY (1994), die ebenfalls für diesen frühen Zeitraum (288 ms) beschreiben, dass bereits hier elektro-physiologisch zwischen der Verarbeitung von Pseudowörtern vs. Buchstabenketten unterschieden werden kann. Auch DUNN (1998) beschreibt einen funktionellen Zusammenhang der P200 mit

der Detektion von wortspezifischen Merkmalen. TRIMMEL (1990) beschreibt die Funktionalität des N100-P200-Komplexes insofern, dass er das Korrelat eines generellen Vergleichsprozesses darstellen soll, bei dem die einströmenden Informationen mit den relevanten Informationen aus dem Gedächtnis verglichen werden. Vor dem Hintergrund, dass die Ausprägungen der N100-P200-Amplituden in der vorliegenden Studie eindeutig mit dem Wortgehalt des Stimulusmaterials variieren, könnte dies zudem darauf hindeuten, dass dieser von TRIMMEL genannte „Gedächtniszugriff“ bereits einen Zugriff auf das mentale Lexikon darstellt.

### *P100-N100o*

Hinsichtlich des Komponentenkomplexes P100-N100o zeichnet sich im visuellen Eindruck das gleiche Bild ab, das auch die statistischen Effekte und Wechselwirkungseffekte hinsichtlich Stimulationsbedingung und Altersgruppenzugehörigkeit aufzeigen. Je nach Altersgruppenzugehörigkeit prägt sich der Komponentenkomplex auf die verschiedenen Stimulationsbedingungen unterschiedlich aus.

Aber auch hier lässt sich für jede Gruppe eine eindeutige Unterteilung zwischen reiner Musterverarbeitung und wortform- bzw. phonologiebezogener Verarbeitung vornehmen, da sich der Komplex auf den Musterabgleich deutlich anders ausprägt als auf das übrige Stimulationsmaterial. Dass hinsichtlich der Musterverarbeitung eine eindeutige Lateralisierung dahingehend zu verzeichnen ist, dass der Komplex rechts größer als links ausgeprägt ist, kann dahingehend gedeutet werden, dass die Verarbeitung von reinem Mustermaterial eher rechtshemisphärisch angesiedelt zu sein scheint.

Vor dem Hintergrund, dass dieser posteriore Komplex häufig mit der Verarbeitung und Analyse der visuellen Form der Stimuli in Zusammenhang gebracht wird (GROSSI et al., 2001; HILLYARD et al., 1998; COMPTON et al., 1991), könnten die statistisch aufgezeigten Effekte hinsichtlich des Einflusses der Stimulationsbedingung auf die unterschiedliche Ausprägung dieses Komplexes durchaus anzeigen, dass hier eine Differenzierung nach „Muster“ und „Wortform“ stattfindet.

Dafür spricht zudem die Beobachtung, dass dieser Komplex auf die Bedingung des Buchstabenabgleiches die für den Musterabgleich beschriebenen Rechtslateralisierungen *nicht* aufweist. Diese Aufgabe wurde also nicht wie der Musterabgleich bearbeitet und scheint somit bereits mit wortformbezogener Stimulusverarbeitung assoziiert werden zu können.

Hinsichtlich der Aufgabe des Buchstabenabgleiches sei noch folgendes erwähnt. Wie die ERTS-Daten deutlich zeigen, fügen sich sowohl Fehlerraten als auch Reaktionszeiten auf den Buchstabenabgleich nicht in den postulierten gleichförmigen Anstieg über die fünf Aufgaben hinweg ein.

Ein möglicher Diskussionspunkt wäre, dass sich diese Aufgabe bereits durch ihre visuelle Komplexität von den anderen abgrenzt. Da aber auf der Ebene des P100-N100-Komplexes die vier Gruppen kein einheitliches Bild hinsichtlich abweichender EKP-Ausprägungen bezogen auf den Buchstabenabgleich aufweisen, kann von dieser Annahme Abstand genommen werden. Vielmehr kann man dies dahingehend interpretieren, dass die Probanden in Abhängigkeit von ihren Lesefähigkeiten versucht haben, bereits innerhalb der Buchstabenreihen Wortformen zu entdecken. Dies wäre im Einklang mit einer ganzen Reihe von empirischen Befunden, gemäß denen die P100 mit Aktivierungen extrastriärer, oft auch fusiformer Areale assoziiert wird (GROSSI et al., 2001; HEINZE et al., 1994; POSNER & RAICHLE, 1994). Dass es sich bei dem hier beobachteten P100-N100-Komplex dabei bereits um die Aktivität linkshemisphärischer Sprachverarbeitungsprozesse handeln kann, wird auch durch KATHEB et al. (1999) und COCH et al. (2002) gestützt, die derartige posteriore Verarbeitungsprozesse ebenfalls als Ausdruck von Sprachverarbeitungsprozessen deuten.

### 6.2.2.3 P300

Hinsichtlich der P300 bestätigt sich ebenfalls ein Haupteffekt für die fünf Stimulationsbedingungen. Zudem kann man auch auf der Ebene der P300 die schon für antN400 und die frühen Komponenten beschriebene Dreiteilung der Aktivierungsausprägungen sehen. JOHNSON (1984) beschreibt die Funktion der P300 wie folgt:  $P300 = \text{Informationsübertragung} \times (1/p + \text{Bedeutung})$ . P beschreibt dabei die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Reizes. Wäre es vor diesem Hintergrund möglich, dass die unterschiedlichen Ausprägungen der P300 einen Unterschied im Bedeutungsgehalt des wortgebundenen Stimulationsmaterials widerspiegeln? Dass die P300 für beide Altersgruppen auf den Buchstabenabgleich größer ausgeprägt ist, könnte mit der bereits oben diskutierten Aufgabenschwierigkeit zusammenhängen, die sich auch deutlich auf der Ebene der Leistungsdaten zeigt. Somit könnte diesem Stimulusmaterial aufgrund der größeren Aufgabenschwierigkeit mehr Aufmerksamkeit oder Bedeutung zugewendet werden, wodurch sich eine größere Amplitude der P300 ausprägen könnte.

Gerade aber bei „nicht P300-typischen“ Paradigmen können die Befunde zur P300 auch wie folgt interpretiert werden. Autoren wie COCH et al. (2002) oder KATHEB et al. (1999) deuten die posteriore Aktivität (wie bereits für die P100 beschrieben) im Sinne von linkslateralierten Wortformverarbeitungsprozessen. Die größere P300 auf die Bedingung des Buchstabenabgleiches könnte somit den größeren Verarbeitungsaufwand bei dem Versuch darstellen, Buchstabenketten als Wortformen zu verarbeiten.

Zusammenfassend kann man hinsichtlich der verschiedenen Stufen der Wortverarbeitung festhalten, dass die oben beschriebenen EKP-Komponenten systematische Modulationseffekte dahingehend aufweisen, ob es sich bei dem Stimulationsmaterial um reine Musterverarbeitung, buchstabenbezogene Wortformverarbeitung oder aber phonologiebehaftete Wortverarbeitung handelt. Diese Modulation betrifft dabei erwartungskonform vor allem den Zeitbereich der antN400, da hier die größten Unterschiede innerhalb der wortgebundenen Stimuli zu verzeichnen sind. Die Befunde hinsichtlich der frühen Komponentenkomplexe deuten ebenfalls darauf hin, dass bereits zu einem so frühen Zeitpunkt auf der EKP-Ebene zwischen Wortgestalt und reinen Mustern differenziert werden kann. Zuletzt soll nun noch die unter 6.2.1 formulierte Frage geklärt werden: aus der Betrachtung der ERTS-Daten wirft sich die Frage auf, ob die in etwa gleich langen Bearbeitungszeiten von Buchstaben und Nonwortlesen sowie Nonwortreimen dadurch zu erklären sind, dass beide Aufgaben mittels der selben Strategie, nämlich einem visuellen Abgleich bearbeitet werden. Vor dem Hintergrund, dass die elektrophysiologischen Aktivierungen auf den Buchstabenabgleich vs. Nonwortlesen und -reimen eindeutig anders ausgeprägt sind, kann diese Annahme verneint werden.

### **6.3 Interpretation zur Fragestellung aus Abschnitt 3.2: Phonologisches Defizit**

Annahmen hinsichtlich des phonologischen Defizits bei der LRS bestanden darin, dass signifikante Gruppenunterschiede vor allem bei den Aufgaben zu beobachten sein sollten, die zur Bearbeitung das lautliche Segmentieren bzw. die Anwendung der Graphem-Phonem-Korrespondenzregel erfordern und somit hohe Anforderungen an die phonologischen Fähigkeiten der Probanden stellen.

#### **6.3.1 ERTS**

Auf der Ebene der ERTS-Daten wurde die Annahme aufgestellt, dass bis auf den Musterabgleich Probanden mit LRS die Aufgaben langsamer und mit mehr Fehlern bearbeiten als die Kontrollprobanden. Mit steigender phonologischer Anforderung über die verschiedenen Stufen der Wortverarbeitung sollten die Leistungsunterschiede zwischen LRS- und Kontrollgruppen immer größer werden. Erwartungsgemäß treten deutliche Gruppenunterschiede zwischen den Probanden mit LRS und den Kontrollprobanden zu Tage. Hinsichtlich der phonologischen Defizithypothese ist aber zudem interessant, ob die Unterschiede nun genau dann auftreten, wenn es um die Verarbeitung phonologiebehafteten Stimulationsmaterials geht. Zudem müssten die Unterschiede umso größer werden, je anspruchsvoller die phonologische Verarbeitung des Stimulusmaterials wird.

Dass diese Annahmen deutlich bestätigt werden, zeigen die Abbildungen 16 und 17. Zudem bestätigen auch die statistischen Wechselwirkungseffekte hinsichtlich der Stimulationsbedingung und LRS-Gruppenzugehörigkeit, dass sich die Gruppen nicht nur generell unterscheiden, sondern auch in Abhängigkeit von den verschiedenen Stufen der Wortverarbeitung qualitativ unterschiedliche Leistungen je nach Art der Stimulationsbedingung erbringen.

Wie schon im Abschnitt 6.2.1 beschrieben, sind zum einen die Leistungen aller Gruppen hinsichtlich der Baselinebedingung des Musterabgleiches fast identisch auf dem gleichen Niveau angesiedelt. Dies gilt sowohl für die Tempoleistung wie auch die Fehlerraten. Somit kann bereits an dieser Stelle ausgeschlossen werden, dass die LRS-spezifischen Unterschiede bei der Wortverarbeitung durch unterschiedliche visuelle Verarbeitungsfähigkeiten konfundiert sind. Zum anderen sind auch hinsichtlich der Frage der phonologischen Defizithypothese die Fehlerraten des ERTS (Abb. 16b) wenig aussagekräftig, obwohl sie statistisch auch die hypothesenkonformen Effekte zeigen. Dies ist deckungsgleich mit dem Befund von WIMMER (1996), der im Rahmen seiner Untersuchungen zum Vergleich von deutsch- vs. englischsprachigen Kindern beschreibt, dass im deutschen Sprachraum aufgrund der stringenteren Graphem-Phonem-Zuordnung die Bearbeitungszeit die entscheidende Variable bei einem Vergleich zwischen geübten vs. ungeübten Lesern ist.

Für die Tempoleistung zeigt sich deutlich, dass LRS-spezifische Gruppenunterschiede tendentiell bereits auf der Ebene der eher orthographischen bzw. wortformbezogenen Verarbeitung des Buchstabenabgleiches zu verzeichnen sind. Sobald aber die Verarbeitung von phonologiebehaftetem Material erforderlich ist, prägen sich die Unterschiede (vom Wortlesen zum Nonwortlesen zum Nonwortreimen) immer größer aus. Interessant dabei ist, dass diese Gruppenunterschiede von der Stufe der hochfrequenten Wortverarbeitung hin zu den Stufen Nonwortlesen und Nonwortreimen nochmals deutlich größer werden.

### 6.3.2 Wortlisten

Die Existenz eines phonologischen Defizits zeigt sich auf der Datenebene der Wortlisten besonders deutlich (vgl. hierzu Abbildung 17). Zum einen fällt die extreme Sonderstellung der jugendlichen Probanden mit LRS auf, für die bei allen drei Aufgaben starke Leistungsunterschiede zu ihrer jugendlichen Kontrollgruppe zu verzeichnen sind. Hinsichtlich der erwachsenen Probanden mit LRS wird deutlich, dass sich auf der Ebene des hochfrequenten Wortmaterials ein Kompensationseffekt abzeichnet. Höchstwahrscheinlich ist dies durch die jahrelange „Konfrontation“ und damit Beübung hochfrequenten Wortmaterials bedingt. Vor diesem Hintergrund sind erwachsene Probanden mit LRS beim Erlesen von hochfrequenten Wörtern zu Leistungen in der Lage, wie

sie auch von der Kontrollgruppe erbracht werden. Anders sieht dies jedoch dann aus, wenn erwachsenen Probanden mit LRS mit dem Reizmaterial konfrontiert werden, das am stärksten phonologische Verarbeitungsprozesse ansprechen soll, dem Nonwortlesen und der Worttransformation. Hier sind die erwachsenen Probanden mit LRS häufig nicht einmal in der Lage, das Leistungsniveau der jugendlichen Kontrollprobanden zu erreichen. Dass die Leistungsunterschiede beim Nonwortlesen und der Worttransformation auch bei den erwachsenen Probanden mit LRS zu verzeichnen sind, obwohl ihre sonstigen Leseleistungen praktisch Normalniveau erreichen, deckt sich mit zahlreichen Literaturbefunden, dass das phonologische Defizit auch im Erwachsenenalter persistiert (vgl. u.a. PAULESU et al., 1996; FRITH, 1998).

Zusammengefasst sprechen die Befunde auf der Leistungsdatenebene (ERTS wie auch Wortlisten) eindeutig für die Existenz eines phonologischen Defizits. Wie bei den Studien, die auf der Ebene von Leistungsdaten das phonologische Defizit beschreiben (SNOWLING, 2000; STANOVICH, 1998; ROTH, 2002; SCHULTE-KÖRNE, 1999) treten auch hier LRS-spezifische Defizite zu Tage, die im Sinne der phonologischen Defizithypothese interpretiert werden können. Diese sind vor allem dann zu verzeichnen, wenn auf der Ebene des Nonwortlesens, Nonwortreimens sowie der Transformationsaufgabe Fähigkeiten im Sinne der phonologischen Bewusstheit, also dem Hantieren mit den lautlichen Bestandteilen des Wortmaterials erforderlich sind. Abzuwarten bleibt, ob sich dies auch für die EKP-Daten in dieser Form bestätigen lässt.

### 6.3.3 EKPs

In Abschnitt 6.2.2 wurde bereits ausführlich beschrieben, wie die unterschiedlichen EKPs durch die verschiedenen Aufgaben moduliert wurden. Zusätzlich wurden an dieser Stelle bereits Aussagen über die funktionellen Zusammenhänge der beobachteten EKP-Effekte und den Annahmen der zugrundeliegenden kognitiven Verarbeitungsprozesse gemacht. Im folgenden sollen nun die LRS-spezifischen Gruppenunterschiede diskutiert werden.

#### 6.3.3.1 antN400

Hinsichtlich der Untersuchung der LRS wird in der Studienreihe der Arbeitsgruppe um MCPHERSON (1994, 1996, 1998 & 1999) beschrieben, dass sich innerhalb des Zeitbereiches der N400 bei Probanden mit LRS defizitäre Verarbeitungsprozesse abzeichnen. Der Überblick über die beschriebenen Studien zeigt hinsichtlich der Untersuchung der phonologischen Fähigkeiten von Probanden mit LRS anhand von EKPs durchgehend einen verringerten N400-Priming-Effekt bei phonologisch schwachen Probanden mit LRS. Dies wird als Reduzierung neuronaler Kapazitäten hinsichtlich phonologischer Verarbeitungsprozesse interpretiert. Wenn ein „gesunder“ Leser ein Urteil über die phonologische Ähnlichkeit eines Stimulus mit einem zweiten fällen soll, muss

dazu die phonologische Information in einer Art phonologischem Speicher gehalten werden. Dadurch, dass durch den ersten Reiz (Prime) bereits ein bestimmter phonologischer Code aktiviert ist, benötigt dann die Verarbeitung des phonologisch ähnlichen zweiten Stimulus (Target) weniger Verarbeitungsaufwand. Die Arbeitsgruppe um MCPHERSON (1994, 1996, 1998 & 1999) leitet daraus die Annahme ab, dass Leser mit einer LRS entweder nicht über ausreichende Kapazitäten für die Verarbeitung der phonologischen Information verfügen, oder dass sie die phonologischen Codes nicht effizient genug im phonologischen Gedächtnisspeicher halten können. Möglicherweise trifft auch beides gleichzeitig zu.

Hinsichtlich der in der vorliegenden Arbeit beobachteten antN400 bestätigen sich sowohl in den statistischen Analysen<sup>3</sup> wie auch der visuellen Inspektion, dass dann, wenn buchstabenbezogenes Material verarbeitet werden muss, bei den jugendlichen Probanden mit LRS EKP-Unterschiede zu den Kontrollgruppen auftreten. Dass diese LRS-spezifischen Unterschiede bereits auf der Ebene der orthographischen Verarbeitung auftreten, ist jedoch nicht deckungsgleich mit den Befunden von MCPHERSON et al. (1998), die beschreiben, dass Dysphonetiker für orthographische Verarbeitungsprozesse keine Defizite aufweisen.

Äußerst interessant ist der Befund, dass diese LRS-spezifischen Gruppenunterschiede hinsichtlich der antN400 für die jugendlichen Probanden mit LRS auf das phonologiebehaftete Stimulusmaterial noch zunehmen und auf der Ebene des Nonwortreimens, also der Stufe, die gemäß den Annahmen bei der Paradigmengestaltung die phonologisch anspruchsvollste Aufgabe darstellen soll, die größte Differenz aufweisen. Für die erwachsenen Probanden mit LRS sind diese antN400-bezogenen Gruppenunterschiede erwartungskonform nur für die phonologisch anspruchsvollsten Bedingungen Nonwortlesen und –reimen ausgeprägt. Also zeigt sich somit erwartungskonform die Modulation der Gruppenunterschiede in Abhängigkeit der Bearbeitung von phonologiebehafteten Aufgaben.

Ein interessanter Befund hinsichtlich des Aktivierungsmusters der antN400 bei den erwachsenen Probanden mit LRS soll abschließend noch erwähnt werden: obwohl sich als allgemeiner (LRS-unabhängiger) Befund eine Verringerung der Amplitudenausprägungen bei den erwachsenen Probanden zeigt, sind bei den erwachsenen Probanden mit LRS deutlich stärkere antN400-Amplituden über Cz und Pz im Vergleich zu den erwachsenen Kontrollprobanden zu beobachten. Diese Beobachtung steht im Widerspruch zu dem generellen Bild von Minderaktivierungen der

---

<sup>3</sup> Es muss darauf hingewiesen werden, dass bei der Interpretation der statistischen Effekte der antN400 Vorsicht geboten ist, da diese Effekte gerade das Signifikanzniveau erreicht haben. Dass aber trotz der in den Daten zu verzeichnenden Streuung diese Effekte Signifikanz erreichen, erlaubt aber auch bei vorsichtiger Betrachtung den Schluss, dass die zugrundeliegenden Effekte inhaltlich bedeutsam sind.

jugendlichen Probanden mit LRS. Wie ist dieser gegenläufige Befund von Minder- vs. Überaktivierung zu interpretieren? Kann die Überaktivierung der antN400 bei den erwachsenen Probanden mit LRS (hochspekulativ) als Ausdruck eines jugendlichen EEG-Musters und somit als Ausdruck einer biologischen Reifungsverzögerung neuronaler Netzwerke gewertet werden? Diesbezüglich interpretieren z.B. GROSSI et al. (2001) den Befund, dass erwachsene Probanden im Vergleich zu jugendlichen Probanden geringere N400-Amplituden aufweisen dahingehend, dass die geringere Ausprägung Ausdruck von stärker automatisierten Verarbeitungsprozessen sein soll.

Das Aktivierungsmuster der erwachsenen Probanden mit LRS könnte somit in die Richtung deuten, dass auf cerebraler Ebene die „N400-verantwortlichen“ Netzwerkaktivitäten noch nicht so ausgereift sind und diese automatischen Verarbeitungsprozesse (noch) nicht zur Verfügung stehen. Die Leistungsdaten zeigen ja sehr deutlich, dass die erwachsenen Probanden mit LRS höchstens auf dem Leistungsstand der jugendlichen Kontrollprobanden, meist sogar deutlich schlechter als diese sind. Eventuell könnte dieses Leistungsbild seine Entsprechung in dem oben beschriebenen EKP-Befund haben.

Eine andere Interpretationsmöglichkeit für diese gegenläufigen Befunde soll im folgenden dargestellt werden. Empirische Befunde zum ungestörten Sprachverarbeitungsprozess wie von RUGG (1984a & 1984b) beschreiben zum einen, dass sich die Amplitude der N400 proportional mit dem Aufwand der Stimulusverarbeitung bzw. dem Aufwand des phonologischen Abgleiches ausprägt. D.h., je größer der Arbeitsaufwand ist, desto größer prägt sich die N400 aus. Demzufolge sprechen die Daten der erwachsenen Probanden mit LRS für einen verstärkten Arbeitsaufwand bei der Verarbeitung phonologiebehafteter Stimuli. Demgegenüber muss man jedoch Befunde aus der Arbeitsgruppe um MCPHERSON (1994, 1996, 1998 & 1999) hinsichtlich einer Minderaktivierung der N400 bei Probanden mit LRS beachten. Diesem empirischen Hintergrund folgend, würden die Minderaktivierungen, die hier für die jugendlichen Probanden mit LRS beobachtet wurden darauf hindeuten, dass sie Defizite auf der Ebene ihres phonologischen Speichers aufweisen und somit beeinträchtigt sind, phonologische Abgleichprozesse im mentalen Lexikon vorzunehmen.

Generell ist es aber sicherlich gerechtfertigt, die beobachteten LRS-spezifischen Unterschiede innerhalb der jeweiligen Altersgruppen vorsichtig mit einem „Andersfunktionieren“ neuronaler Netzwerke bei der phonologischen Sprachverarbeitung zu umschreiben und als Ausdruck des phonologischen Defizits zu werten. Trotz der gegenläufigen Befunde zur antN400 von erwachsenen vs. jugendlichen Probanden mit LRS lässt sich zusammenfassend folgendes festhalten: wie bereits in Abschnitt 6.2.2.1 beschrieben, werden als kognitive Prozesse hinter der antN400 stark

phonologiebezogene Abgleichs- bzw. Lexikonsuchprozesse vermutet. Da die Daten der hier beobachteten antN400 belegen, dass die LRS-spezifischen Gruppenunterschiede (sowohl bei jugendlichen wie auch erwachsenen Probanden mit LRS) genau dann ihr Maximum erreichen, wenn phonologiebehaftetes Material verarbeitet werden muss, kann in Zusammenschau mit den neuropsychologischen Daten davon ausgegangen werden, dass sich hier ein typisches LRS-spezifisches Defizit bei der phonologischen Wortverarbeitung und dem Zugriff auf phonologische Anteile des mentalen Lexikons widerspiegelt.

### 6.3.3.2 N100-P200

Auch für diesen Komponenten-Komplex gibt es signifikante Wechselwirkungseffekte hinsichtlich der LRS-Gruppenzugehörigkeit. Auffallend hierbei ist vor allem die allgemeine „Niveaushiftung“ dieses Komplexes bei beiden LRS-Gruppen. Vor dem Hintergrund, dass GROSSI et al. (2001) die anteriore N120 mit frühen visuo-sensorischen Prozessen, DUNN et al. (1998) die P200 im Rahmen der Detektion von wortspezifischen Merkmalen und TRIMMEL (1990) den ganzen Komplex als einen Gedächtnisabgleichsprozess beschreiben, kann man davon ausgehen, dass diese Verschiebung des Komplexes bereits zu diesem frühen Zeitpunkt auf eine LRS-spezifische Beeinträchtigung wortspezifischer Dekodierungsprozesse hindeutet. Dabei scheint es so zu sein, dass dieser Komplex mit der antN400 in einem funktionellen Zusammenhang steht. Die sich bereits auf der Ebene der P200 abbildenden beeinträchtigten Wortverarbeitungsprozesse scheinen sich dann auf der Ebene der N400 voll auszuprägen.

### 6.3.3.3 P100-N100o

Zwar wird hinsichtlich des relativen Peak-to-Peak-Abstandes der P100 zur N100o keiner der LRS-spezifischen Haupt- oder Wechselwirkungseffekte signifikant. Aber in der visuellen Inspektion zeigen sich eindeutige LRS-spezifische Effekte hinsichtlich einer vor allem linksparietal gelagerten Überaktivierung auf der Ebene der P100. Dass dieser Effekt keine statistische Signifikanz erreicht hat, liegt sicherlich darin mitbegründet, dass gerade für die Peaks der N100o eine sehr große Streuung zu verzeichnen ist.

Wie bereits in Abschnitt 6.2.2.2 dargestellt, deuten empirische Befunde auf einen funktionellen Zusammenhang der (linkslateralisierten) P100 mit linkshemisphärischen Sprachverarbeitungsprozessen hin. Somit kann die Beobachtung der Überaktivierung der P100 bei den Probanden mit LRS darauf hindeuten, dass hier verstärkte Anstrengungen unternommen werden, das buchstaben- und wortbezogene Stimulusmaterial zu verarbeiten. Der Befund, dass die P100 gerade für das Buchstabenlesen bei den jugendlichen Probanden mit LRS die deutlichste Überaktivierung aufweist, kann im Sinne von COCH et al. (2002) interpretiert werden. Diese Autoren leiteten

EKPs bei normallesende Kinder im Rahmen eines Wortleseexperimentes ab. Dabei fanden sie zum einen linkslateralierte parieto-okzipitale Aktivierungen, die sie im Zusammenhang mit Wortverarbeitungsprozessen interpretieren. Zum anderen berichten sie, dass diese Kinder gerade auf Zeichenketten eine deutliche linkslateralierte posteriore Überaktivierung aufweisen. Sie interpretieren dies als Aktivierungen in sprachverarbeitenden Arealen dahingehend, dass Kinder im Rahmen eines solchen experimentellen Settings generell versuchen, zunächst aus jeglichem Stimulusmaterial Wortformen und –bedeutungen zu extrahieren. Dass die jugendlichen Probanden mit LRS das Buchstabenmaterial vergeblich als Wortmaterial zu entziffern versuchen scheint sich auch in den vorliegenden Daten widerzuspiegeln.

#### 6.3.3.4 P300

Hinsichtlich der P300 zeigt sich im visuellen Eindruck eine verstärkte Amplitudenausprägung für die LRS-Gruppen (vgl. Abbildung 20), die für die LRS-spezifischen statistischen Effekte verantwortlich sein dürfte. In der Literatur wird an mehreren Stellen eine verringerte Ausprägung der P300 bei Probanden mit LRS beschrieben. Dies soll Ausdruck einer von vornherein verringerte Verarbeitungskapazität oder verringerte Aufmerksamkeitszuwendung sein (GEORGIEWA et al., 2002; TAYLOR & KEENAN, 1990). Da sich in der vorliegenden Studie die Probanden mit LRS aber sowohl hinsichtlich ihrer allgemeinen kognitiven Leistungsfähigkeit wie auch hinsichtlich ihrer Aufmerksamkeitsleistungen im Normbereich bewegen, kann diese Argumentationsebene für die vorliegenden P300-Befunde ausgeschlossen werden.

Der Befund zur P300 könnte vielmehr in einem engen funktionellen Zusammenhang mit der vergrößerten P100 stehen. Wie bereits unter 6.3.3.4 beschrieben wird die P300 stark durch den Bedeutungsgehalt des Stimulusmaterials moduliert. Diese Überaktivierung könnte zusammen mit der Überaktivierung der P100 widerspiegeln, dass bedingt durch ihr Leistungsdefizit die LRS-Probanden Wortmaterial per se einen größeren Bedeutungsgehalt zuschreiben und Stimulationsmaterial dieser Art mehr Aufmerksamkeit zuwenden. Da, wie bereits beschrieben, die Aktivität der P100 Sprachverarbeitungsprozesse der linken Hemisphäre widerspiegeln soll, können die Überaktivierungen in den Bereichen P100 und P300 zudem im Rahmen von verstärkten links-hemisphärischen Wortverarbeitungsprozessen gedeutet werden, um das für sie so schwierige Stimulusmaterial zu dekodieren. Zudem spricht dafür, dass sich bei Probanden mit LRS anhaltende Wortverarbeitungsprozesse in linkslateralierten Arealen widerspiegeln, dass sich linkshemisphärische parietale elektrophysiologische Aktivierungen der Probanden mit LRS länger im positiven Bereich bewegen. Dieser Bereich wurde zwar nicht in die statistischen Analysen aufge-

nommen (siehe dazu Abschnitt 6.7.2), die Unterschiede sind aber im visuellen Eindruck sehr eindrucksvoll.

Zusammenfassend kann man für die elektrophysiologischen Befunde festhalten, dass sich die LRS-spezifischen Gruppenunterschiede vor allem hinsichtlich der antN400 und der P300 ausdrücken. Auch ACKERMAN et al. (1994) beschreiben ein derartiges Bild eines verringerten N450-Priming-Effektes im Zusammenhang mit einer vergrößerten P500 und interpretieren dies als gesteigerten Aufwand bei der Stimulusverarbeitung bei Probanden mit LRS. In den vorliegenden Daten deutet somit alles auf ein Zusammenspiel von defizitären Abgleichprozessen phonologischer Lexikonanteile hin, die sich in frontalen Aktivierungsstörungen ausdrücken gekoppelt mit parieto-okzipitale Überaktivierung in linken sprachverarbeitenden Arealen, womit die gesamte EKP-Befundlage im Sinne eines gestörten Sprachnetzwerkes interpretiert werden kann.

#### **6.4 Interpretation zur Fragestellung aus Abschnitt 3.3: adressierte vs. assemblierte Lesestrecken**

Für diesen Teil der Fragestellungen war es zum einen von Interesse, ob Phonologie im Sinne der *Delayed-Phonology-Hypothese* oder im Sinne der *Mediatorhypothese* im Leseprozess integriert wird (vgl. Abschnitt 2.1.3). Das Dual-Route-Modell besagt, dass es in Abhängigkeit vom Wortmaterial zwei Wege der Wortverarbeitung gibt. Phonologische Prozesse sind dabei lediglich für die assemblierte Strecke notwendig. Dahingehend stellen Konnektionistische Lesemodelle die Annahme auf, dass phonologische Informationen zu jeder Zeit am Leseprozess beteiligt sind. Zum anderen sollte hinsichtlich des phonologischen Defizits bei der LRS geklärt werden, ob sich das phonologische Defizit auf einer der beiden postulierten Lesestrecken stärker auswirkt.

##### **6.4.1 Leistungsdaten**

Die Frage, ob man auf der Ebene der ungestörten Wortverarbeitung zwischen zwei qualitativ unterschiedlichen Lesewegen unterscheiden kann, wurde über den Vergleich der Leistungsdaten des hochfrequenten Wortlesens versus der eher assembliert zu verarbeitenden Aufgaben des Nonwortlesens und Nonwortreimens untersucht. Sollte es möglich sein, zwischen den Lesestrecken zu unterscheiden, dann sollte sich dies darin äußern, dass hochfrequente Wörter schneller und mit weniger Fehlern bearbeitet werden wie Nonwörter und Nonwortreimen.

Die statistisch signifikanten Effekte hinsichtlich der Stimulationsbedingung bestätigen zunächst generelle Unterschiede zwischen den Aufgabenstufen hochfrequentes Wortlesen, Nonwortlesen (und Nonwortreimen). Dabei sind diese Effekte sowohl hinsichtlich der Tempo- wie auch der

Fehlerleistung zu verzeichnen. Es zeigt sich erwartungsgemäß, dass hochfrequente Wörter schneller und mit weniger Fehlern verarbeitet werden. Kann man aus der Tatsache, dass hochfrequente Wörter zwischen 500-1000 ms schneller bearbeitet werden als das unbekannte Wortmaterial darauf schließen, dass diesem quantitativen Unterschied ein qualitativer Unterschied zugrunde liegt, in der Form, dass unterschiedliche Lesestrategien genutzt werden?

Gemäß der Theorie des Dual-Route-Modells könnte dies bejaht werden. Die Schnelligkeit der Verarbeitung wird hier als Index eines automatisierten Abgleiches gewertet. Sie soll ein Indikator dafür sein, dass während dem Leseprozess direkt auf einen Eintrag im mentalen Lexikon zugegriffen wird. Aus der Sicht der Konnektionistischen Modelle lässt sich die Befundlage auf der „unteren Modellebene“ nicht stringent erklären, wie derart große Verarbeitungsunterschiede zustande kommen sollen. Wenn man laut diesem Modell Wörter generell über Graphem-Phonem-Zuordnung erliest, gibt es eigentlich keine logische Erklärung dafür, dass die Graphem-Phonem-Kombinationen von normalen Wörtern anders erlesen werden sollen als die von Nonwörtern. Auf der Ebene dieser Modelle muss man eine Ebene höher gehen und annehmen, dass der Geschwindigkeitsunterschied höchstwahrscheinlich durch die unterschiedliche Gewichtung der Graphem-Phonem-Verknüpfungen zustande kommt. Dadurch, dass die Graphem-Phonem-Sequenz eines hochfrequenten Wortes bereits häufiger als die Graphem-Phonem-Sequenz eines bis dato unbekanntes Nonwortes aktiviert worden ist, ist diese Sequenz durch stärker gewichtete Verbindungen charakterisiert, was einen schnelleren Zugriff ermöglicht. Ob sich nun im Prinzip ein Zugriff auf eine „Adresse“ im Lexikon faktisch so sehr von einem ebenfalls sehr „musterspezifischen“ Zugriff auf eine Graphem-Phonem-Sequenz unterscheidet, kann an dieser Stelle nicht eindeutig beantwortet werden.

Hinsichtlich der Frage, ob bei der LRS eine der beiden Lesestrecken selektiv stärker betroffen ist, ergibt sich folgendes Bild: jede der Analysen weist neben Haupteffekten hinsichtlich der LRS-Gruppenzugehörigkeit zudem Wechselwirkungseffekte hinsichtlich der Stimulationsbedingung und der Gruppenzugehörigkeit auf. Die visuelle Inspektion der Abbildungen 16 und 17 zeigen jedoch auf, dass diese Effekte nicht stringent dahingehend interpretiert werden können, dass bei den Probanden mit LRS entweder das hochfrequente Wortlesen oder das Erlesen und Reimen unbekannter Wörter defizitär ist. Wie bereits unter Abschnitt 6.3 bei der Diskussion des phonologischen Defizits festgehalten, bestehen deutliche Gruppenunterschiede zu den jeweiligen altersbezogenen Kontrollgruppen. Diese prägen sich aber für die jugendlichen Probanden mit LRS auf sämtlichen Wortverarbeitungsstufen, bei den erwachsenen Probanden mit LRS (vor dem Hintergrund der Wortlistendaten) eher nur bei den phonologisch anspruchsvolleren (also assemblierten

Strecken) aus. Da hier also Alterseffekte eine große Rolle zu spielen scheinen, soll diese Diskussion unter Abschnitt 6.5 fortgesetzt werden.

Zur abschließenden Bewertung, ob man derartige Modellannahmen hinsichtlich separater Lesewege empirisch bestätigen kann, sollen die neurophysiologischen Daten herangezogen werden. Wenn sich, analog zu der „Zweiteilung“ der Bearbeitungsdauer von hochfrequentem vs. unbekanntem Wortmaterial auch eine vergleichbare „Zweiteilung“ auf der Ebene der EKPs ergäbe, könnte man schon eindeutiger auf die Nutzung distinkter neuronaler Netzwerke und somit auf eine qualitative Unterscheidung zwischen verschiedenen Lesestrecken schließen.

#### 6.4.2 EKPs

Da nach aktuellem Kenntnisstand diese Frage anhand von EKPs noch nicht untersucht wurde, muss der Analyse auf EKP-Ebene deswegen ein stark explorativer Charakter zugeschrieben werden. Für die EKPs galt es zu klären, ob sich die Differenzierung zwischen den Lesestrecken darin wiederfinden lässt, dass auf Wortlesen andere EKP-Komponenten evoziert werden als auf Nonwortlesen und Nonwortreimen. Oder ob sich die Differenzierung zwischen den Lesestrecken über die Mehr- oder Minderausprägung eines EKPs (der antN400) zeigt. Zudem galt es hinsichtlich des phonologischen Defizits zu klären, ob sich die Gruppenunterschiede (LRS- vs. Kontrollgruppe) bei der antN400 auf der Stufe des Wortlesens anders ausprägen als auf den Stufen Nonwortlesen und Nonwortreimen.

Trotz der zahlreichen statistischen Effekte hinsichtlich der Analyse der antN400 für die drei phonologiebehafteten Bedingungen ist es schwer, ein stringentes Bild daraus abzuleiten. Zusammenfassend deuten die Amplitudenausprägungen der antN400 nicht auf eine unterschiedliche Verarbeitung von hochfrequentem vs. unbekanntem Wortmaterial über adressierte vs. assemblierte Lesestrecken hin. Während sich bei den erwachsenen Kontrollprobanden alle drei Amplituden gleich stark ausprägen, scheint bei den jugendlichen Kontrollprobanden das Nonwortlesen die größte Amplitude hervorzurufen. Die Ausprägung der LRS-spezifischen Gruppenunterschiede scheint wie bei den ERTS-Daten darauf hinzudeuten, dass die Verarbeitung des Wortlesens bei den jugendlichen Probanden mit LRS defizitär zu sein scheint, während die erwachsenen LRS-Probanden auf dieser Ebene keine Verarbeitungsdefizite aufweisen. Im Gegensatz dazu weisen jedoch beide Gruppen gerade bei den phonologisch anspruchsvollen Bedingungen deutliche EKP-Ausprägungsunterschiede im Vergleich zu ihren jeweiligen Kontrollgruppen auf. Die Frage, ob man anhand der neurophysiologischen Aktivierungsmuster auf unterschiedliche phonologische Verarbeitungsstrecken schließen kann, muss somit anhand der vorliegenden Befundlage verneint werden.

Die statistische Analyse weist zwar signifikante Effekte der Bedingung aus, das Bild lässt sich aber nicht mit der Trennung von assemblierten vs. adressierten Strecken in Einklang bringen. Wo auf neuropsychologischer Ebene eindeutige Leistungsunterschiede hinsichtlich derjenigen Aufgaben beobachtet werden können, die selektiv eine der beiden Strecken ansprechen, findet sich diese Stringenz auf neurophysiologischer Ebene *nicht*.

## 6.5 Interpretation zur Fragestellung aus Abschnitt 3.4: Entwicklung von Lesefertigkeiten

Generell war von Interesse, ob die Lesefertigkeiten bzw. Lesestrategien im Verlauf der Leseentwicklung insofern einem qualitativen Wandel unterliegen, dass jugendliche Probanden andere Strategien nutzen als erwachsene Probanden. Zudem sollte geklärt werden, ob sich ein phonologisches Defizit bei jugendlichen Probanden mit LRS anders äußert als bei erwachsenen Probanden mit LRS.

### 6.5.1 Leistungsdaten

Zum einen sollte untersucht werden, ob erwachsene Probanden generell schneller lesen und weniger Fehler machen als jugendliche Probanden. Zudem sollte geklärt werden, ob dies auch auf Probanden mit LRS zutrifft. Wie bereits in Abschnitt 5.2.1 dargestellt, deuten sowohl die statistischen Analysen wie auch die visuelle Inspektion der Abbildungen 16 und 17 darauf hin, dass es deutliche Alterseffekte zwischen den Gruppen gibt. Für die Kontrollgruppe deuten aber die Verläufe der Graphen in den Abbildungen nicht auf eine qualitative Veränderung auf der Ebene der Lesestrategien hin. Anders sieht dies für die Probanden mit LRS aus.

Auch wenn die Leistungsverläufe der beiden LRS-Gruppen nahezu parallel sind, zeigen sich dennoch äußerst interessante altersspezifische Effekte. Die Leistungen der jugendlichen Probanden mit LRS könnten ein Beleg für eine qualitative Veränderung des phonologischen Defizits über das Alter sein. Während bei erwachsenen Probanden mit LRS hauptsächlich Probleme bei unbekanntem Wortmaterial auftreten, verdeutlichen die Daten der jugendlichen Probanden mit LRS, dass (selbst im Alter von ca. 12 Jahren!) die Verarbeitung hochfrequenten Wortmaterials beeinträchtigt ist. Dass sich die jugendlichen Probanden mit LRS auch beim hochfrequenten Wortlesen deutlich von ihren Kontrollprobanden unterscheiden, kann im Sinne der in Abschnitt 6.4.1 begonnenen Diskussion weiterführend interpretiert werden. Das phonologische Defizit verhindert selbst bei im Schnitt 12-jährigen Jugendlichen die Vernetzung der Graphem-Phonem-Einheiten von hochfrequenten Wörtern, wodurch der Aufbau eines effizienten Sprachnetzwerkes nicht von statten gehen kann. Dies scheint im nachfolgenden Entwicklungsverlauf jedoch mög-

lich zu sein, so dass zumindest die Graphem-Phonem-Verknüpfungen häufig gelesener Wörter in einem Netzwerk abgelegt sind.

### 6.5.2 EKPs

Von Interesse war, ob sich diese altersbezogenen Leistungsunterschiede auch auf der Ebene der EKPs wiederfinden lassen. Hinsichtlich der verschiedenen EKPs sind die deutlichsten Alterseffekte dahingehend zu verzeichnen, dass die jugendlichen Probanden generell eine höheramplitudige EEG-Aktivität aufweisen als die Erwachsenen. Dieser Alterseffekt fügt sich lückenlos in Vorbefunde von GROSSI et al. (2001) und COCH et al. (2002) ein. GROSSI et al. (2002) beschreiben anhand ihrer Daten einen gegenläufigen Trend insofern, dass sich mit steigendem Alter die Amplitudenausprägungen der N400 verringern. Die Autoren interpretieren dies dahingehend, dass mit steigendem Alter Verarbeitungsprozesse zunehmend automatisierter ablaufen, was einen geringeren Aktivitätsgrad der neuronalen Zellverbände erfordert und somit in niedrigeren Amplitudenausprägungen resultiert. Die niedrigeren Amplituden bei den Erwachsenen sollen also Ausdruck automatisierter verbaler Verarbeitungsprozesse sein. Obwohl die neuropsychologischen Daten darauf hindeuten, dass Jugendliche in dem Alter von ca. 12 Jahren bereits über ausgereifte Lesefähigkeiten verfügen, könnte die generell höheramplitudige EEG-Aktivität auf neuronal noch nicht vollständig ausgereifte Sprachnetzwerke hindeuten. Ob dies ein biologisches Reifungsdefizit ist oder funktionell auf noch nicht so gut abgestimmte Netzwerke hindeutet, kann an dieser Stelle nicht genau geklärt werden.

## 6.6 Zusammenfassende Diskussion

Theoretischer Hintergrund dieser Arbeit war die Überprüfung der phonologischen Defizithypothese als Ursachenmodell der LRS. Obwohl es auch andere Störungsmodelle hinsichtlich der LRS gibt, kann der phonologischen Defizithypothese eine zentrale Rolle als Störungsmechanismus zugeschrieben werden, da empirische Befunde belegen, dass die Beherrschung phonologischer Fertigkeiten wie der phonologischen Bewusstheit *den* Dreh- und Angelpunkt für den Schriftspracherwerb darstellen. Mit der vorliegenden Studie wurde eine Untersuchung durchgeführt, die in dieser Art und Komplexität für den deutschen Sprachraum noch nicht durchgeführt wurde. Ziel der Studie war, mittels verschiedener Arten von Stimulusmaterial verschiedene Stufen der Muster- und Wortverarbeitung zu operationalisieren. Da in vorangegangenen empirischen Studien phonologische Wortverarbeitungsprozesse zur Untersuchung des phonologischen Defizits bei der LRS über Aufgaben wie Nonwortlesen, Reimen, Lautanalysen oder Transformationsaufgaben operationalisiert worden waren, wurden in der vorliegenden Studie neben Stufen zur

basalen Muster- und Buchstabenverarbeitung drei unterschiedlich anspruchsvolle phonologische Wortverarbeitungsaufgabe (Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen) vorgegeben. Gemäß dem Modell von FRITH (1997, vgl. Abbildung 2) sollte so anhand von biologischen und Verhaltensdaten identifiziert werden, auf welcher Ebene LRS-spezifische Defizite einsetzen und welchen kognitiven Prozessen sie zuzuordnen sind. Auf der Ebene der Leistungsdaten (Reaktionszeiten) bestätigt sich erwartungsgemäß zum einen die Differenzierung zwischen den verschiedenen Stufen des Stimulationsmaterials hinsichtlich Musterverarbeitung vs. Buchstabenabgleich (orthographische Verarbeitung) vs. phonologiebehaftete Wortverarbeitung. Auch zeigen sich erwartungsgemäß Leistungsunterschiede zwischen den LRS- und Kontrollprobanden. Diese Unterschiede erreichen gemäß der phonologischen Defizithypothese für die Aufgabenbedingungen ihr Maximum, bei denen phonologische Fertigkeiten zur Aufgabenlösung erforderlich sind.

Anders als auf der Ebene der Leistungsdaten, für die mittlerweile eine sehr klare Befundlage dahingehend existiert, dass sich das phonologische Defizit gerade über Aufgaben wie Nonwortlesen oder Reimaufgaben operationalisieren lässt, liegt auf neurophysiologischer Ebene kein eindeutiger Hinweis hinsichtlich eines „EKP-Index“ für phonologische Wortverarbeitung vor. Jedoch wurden phonologische Verarbeitungsprozesse in der Literatur häufig anhand eines Negativtrends im Zeitbereich von 400 ms untersucht. Zusammenfassend deuten empirische Befunde zur N400 darauf hin, dass die N400 sowohl semantische aber auch phonologische und orthographische Wortverarbeitungsprozesse abbildet. Sie wird dabei generell als ein Abgleichs- und Suchprozess im phonologischen Speicher des mentalen Lexikon beschrieben. Gerade für den Zeitbereich der N400 werden zudem LRS-spezifische Effekte beschrieben und mit einem defizitären Zugriff auf und Abruf von phonologischen Anteilen des mentalen Lexikons in Zusammenhang gebracht.

Erwartungsgemäß werden auch die EKPs der vorliegenden Studie durch die verschiedenen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung über frontalen und parieto-okzipitalen Elektrodenpositionen moduliert. Dabei ist eine „Dreiteilung“ der EKP-Ausprägungen festzustellen. Die basale Musterverarbeitung unterscheidet sich von der rein orthographischen Buchstabenverarbeitung, die sich wiederum von der phonologiebehafteten Wortverarbeitung unterscheidet. LRS-spezifische Unterschiede treten vom zeitlichen Verlauf her bereits ab ca. 100 ms auf und sind ab der Aufgabe des Buchstabenabgleiches zu verzeichnen. Die maximale Ausprägung der LRS-spezifischen Unterschiede ist aber auch hier analog zur Ebene der Leistungsdaten für die phonologiebehafteten Stimulationsbedingungen zu verzeichnen. Topographisch prägen sich die LRS-spezifischen Unterschiede dabei sowohl frontal wie auch parieto-okzipital aus. Die frontalen EKP-Unterschiede werden mit Defiziten beim Abgleich in phonologischen Anteilen des mentalen Lexikons disku-

tiert. Die parieto-okzipitalen Anteile werden im Sinne eines verstärkten Aufwandes bei der Wortverarbeitung sowie als Ausdruck der anhaltenden Verarbeitungsprozesse von sprachverarbeitenden Arealen interpretiert. Somit kann man für die Probanden mit LRS festhalten, dass ihre neurophysiologischen Aktivierungsprozesse widerspiegeln, dass es ihnen trotz verstärktem neuronalen Verarbeitungsaufwand nicht gelingt, ihre phonologischen Verarbeitungsdefizite soweit zu kompensieren, dass sie zu einer ungestörten Verarbeitung von phonologischem Wortmaterial in der Lage sind.

Zusammenfassend zeichnen sich somit auf beiden Datenebenen (zumeist hochsignifikante) LRS-spezifische Unterschiede gerade auf der Ebene der phonologisch anspruchsvollen Aufgaben (Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen) ab. Gemäß den Modellen von FRITH (1997, vgl. Abbildung 2 und 4) deuten damit Verhaltens- und biologische Daten auf ein kognitives Defizit im Sinne der phonologischen Defizithypothese bei der LRS hin. Zudem bestätigen die vorliegenden Daten die Modellannahmen von FRITH (1997, vgl. Abbildung 4) dahingehend, dass das auf kognitiver Ebene angesiedelte phonologische Defizit vor allem Auswirkungen auf die Beherrschung der Graphem-Phonem-Korrespondenzregel zu haben scheint. Die vorliegenden Daten zeigen dies insofern auf, da neben Defiziten beim hochfrequenten und gut geübten Wortlesen gerade das Erlesen von Nonwörtern defizitär zu sein scheint und diese Lesebedingung nur über die Anwendung dieses Regelwissens zu bewältigen ist.

Neben Störungsmodellen zur LRS wie der phonologischen Defizithypothese gibt es auch weitere Ursachenmodelle, die unter Abschnitt 2.2.3 beschrieben wurden. Zwar ist das Stimulusmaterial der vorliegenden Studie nicht darauf zugeschnitten, die in diesen Ursachenmodellen formulierten Defizite zu operationalisieren, dennoch kann bezüglich der Störungsannahme eines basalen visuellen Defizits bei der LRS festgehalten werden, dass in den vorliegenden Daten weder auf neuropsychologischer noch auch –physiologischer Ebene Hinweise auf eine defizitäre visuelle Verarbeitung zu finden sind. Die Daten der LRS- vs. der Kontrollgruppen hinsichtlich des Musterabgleiches belegen, dass alle Gruppen hinsichtlich ihrer basalen visuellen Verarbeitungsfähigkeiten auf dem gleichen Niveau angesiedelt sind. Somit kann man bezüglich der vorliegenden Studie davon ausgehen, dass die Befunde zur phonologischen Wortverarbeitung nicht dadurch konfundiert sind, dass bereits die visuelle Verarbeitung der Stimuli defizitär ist.

Da die kognitive Verarbeitungsebene des Menschen klassischerweise als „Blackbox“ zu verstehen ist, die einer direkten Untersuchung bzw. Messung nicht zugänglich ist, wurden in der vorliegenden Arbeit verschiedene Lesemodelle zum besseren Verständnis dafür herangezogen, was an Wortverarbeitungsprozessen der LRS als gestört identifiziert werden kann. Vor dem Hinter-

grund, dass Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit die Untersuchung phonologischer Wortverarbeitungsprozesse war, wurden diesbezüglich Lesemodelle ausgewählt, die sich dahingehend unterscheiden, welche Rolle sie der Phonologie beim Leseprozess zuschreiben. Diese Modellannahmen waren jedoch nicht nur für die Untersuchung der kognitiven Hintergründe der Störung von Wichtigkeit. Auch das Verständnis der neurophysiologischen EKP-Daten wurde durch die Integration der Befunde in Modellannahmen um ein wesentliches erleichtert. Die Rolle, die die Phonologie gemäß dieser Modelle einnimmt, ist im Rahmen zweier Hypothesen formuliert, der *Delayed-Phonology-Hypothese* (Dual-Route-Modell, Phonologie wird nur auf assemblierten Weg eingesetzt) vs. *Mediatorhypothese* der Phonologie (Konnektionistisches Modell, Phonologie ist immer an jedem Wortverarbeitungsprozess beteiligt). Vor diesem Hintergrund wurden in das phonologiebehaftete Stimulusmaterial Aufgaben integriert, die eine Differenzierung dieser verschiedenen „Rollen“ der Phonologie am Leseprozess ermöglichen sollten.

Neuropsychologisch zeigt sich, dass hochfrequente Wörter schneller und mit weniger Fehlern verarbeitet werden als Nonwörter und Nonwortreimen. Dieses Bild könnte für die Existenz zweier Lesewege (adressiert vs. assembliert) im Sinne des Dual-Route-Modells sprechen. Elektrophysiologisch aber finden sich weder für die Kontrollprobanden Hinweise auf unterschiedliche neuronale Netzwerke bei der Verarbeitung von hochfrequentem vs. unbekanntem Wortmaterial im Sinne einer adressierten oder assemblierten Verarbeitung, noch deuten die elektrophysiologischen Daten der Probanden mit LRS auf unterschiedlich betroffene Lesestrecken hin.

Zusammenfassend kann somit hinsichtlich der Delayed-Phonology-Hypothese des Dual-Route-Modells kein einheitliches Bild aus den neuropsychologischen und neurophysiologischen Daten abgeleitet werden. Während die neuropsychologischen Daten eine Differenzierungsmöglichkeit zwischen (phonologiebehafteten) assemblierten und (direkten) adressierten Lesestrategien andeuten, scheint auf der Ebene der EKP-Daten jegliches phonologiebehaftetes Wortmaterial, sei es hochfrequentes Wortmaterial, Nonwörter oder Reimaufgaben bei den Kontrollprobanden zu den gleichen neurophysiologischen Aktivierungsmustern zu führen. Somit kann nicht festgestellt werden, dass in Abhängigkeit vom Wortmaterial unterschiedliche neuronale Netzwerke zum Einsatz kommen.

Somit können die Befunde eher in Richtung der Mediatorhypothese der Phonologie der Konnektionistischen Modellannahmen gedeutet werden. Dass Wörter generell schneller und mit weniger Fehlern erlesen werden als Nonwörter ließe sich dann vor diesem Hintergrund dahingehend deuten, dass die Verknüpfungen der Graphem-Phonem-Sequenzen der hochfrequenten Wörter dadurch dass sie eben schon häufiger erlesen wurde, stärker gewichtet sind. Damit kann der Abruf

des Wortes schneller von statten geht, als dies bei unbekanntem Wortmaterial der Fall ist, das über den in Abschnitt 2.1.1.2 beschriebenen Generalisierungsmechanismus erlesen werden muss. Wie lassen sich die nun die LRS-spezifischen Befunde dieser Studie in die Konnektionistischen Modellannahmen einordnen? Hinsichtlich des phonologischen Defizits deutet die Mediatorhypothese darauf hin, dass der LRS ein *generelles* phonologisches Defizit zugrunde liegen könnte. Wie die Datenlage der jugendlichen Probanden mit LRS zeigt, weisen sie zum einen Beeinträchtigungen beim Erlesen hochfrequenten aber auch beim Erlesen unbekanntem Wortmaterials auf. Vor diesem Hintergrund deuten die Daten der Probanden mit LRS darauf hin, dass bei beiden Altersgruppen der in Abschnitt 2.1.1.2 beschriebene Generalisierungsmechanismus aufgrund ihrer defizitären phonologischen Bewusstheit gestört ist, womit das Erlesen unbekanntem Wortmaterials nur mit großer Mühe und zahlreichen Fehlern erfolgen kann.

Dass sich die jugendlichen Probanden mit LRS auch beim hochfrequenten Wortlesen deutlich von ihren Kontrollprobanden unterscheiden, kann im folgenden Sinne interpretiert werden. Das phonologische Defizit scheint nicht nur wie gerade beschrieben den Generalisierungsmechanismus für „anspruchsvollere“ Leseaufgaben zu beeinträchtigen. Aufgrund der mangelhaften phonologischen Bewusstheit bezüglich der Graphem-Phonem-Korrespondenz können selbst die Graphem-Phonem-Sequenzen bereits häufig gelesener Wörter nicht ausreichend miteinander verknüpft werden. Dies scheint als Grundlage dafür angesehen werden zu können, dass in der Folge der Aufbau eines effizienten Sprachnetzwerkes nicht von statten gehen kann.

Interessant ist hierbei, dass diese Netzwerkverbindungen einem Entwicklungsprozess unterworfen zu sein scheinen und „nachreifen“ können. Dies zeigt sich in den Daten der erwachsenen Probanden mit LRS, die sowohl auf Leistungsdaten- wie auf EKP-Ebene beim hochfrequenten Wortlesen normgerechte und bezüglich ihrer Kontrollgruppe vergleichbare Leistungen und Aktivierungen aufweisen. Somit scheint es so zu sein, dass diese Netzwerke durch Erfahrung (Lesepraxis) und vielleicht auch durch biologische Reifungsprozesse modulierbar sind.

Spekulativ soll noch erwähnt werden, warum die vorliegenden Daten eher für Annahmen der Konnektionistischen Lesemodelle zu sprechen scheinen. Wie derzeitige Ansätze zum interkulturellen Vergleich von Sprachverarbeitungsprozessen zeigen, muss hinsichtlich der Modelle nicht zuletzt auch bedacht werden, ob Annahmen aus diesen Modellen, die vorrangig aus dem englischen Sprachraum stammen, auf den deutschen Sprachraum übertragbar sind. Ein wesentlicher Aspekt scheint hier die Regularität der Graphem-Phonem-Korrespondenz zu sein. Wahrscheinlich repräsentieren die Konnektionistischen Lesemodelle die Eigenarten der deutschen Sprache besser, da das Deutsche eine sehr stringente Zuordnung aufweist, und nicht wie das Englische vor

dem Dilemma steht, dass mehrdeutiges Wortmaterial über assemblierte Lesestrategien eher fehlerhaft erlesen wird, weshalb das Englische stärker auf adressierte Strategien angewiesen zu sein scheint.

Generell muss man hinsichtlich der hier vor dem Hintergrund derartiger Modelle (Modelle zum Leseprozess oder zur Leseentwicklung) vorgenommenen Interpretationen immer kritisch im Hinterkopf behalten, dass diese Modelle eher über forschungsleitenden Charakter verfügen. Sie sind deshalb wichtig, da die kognitive Verarbeitungsebene des Menschen wie bereits beschrieben eine „Blackbox“ darstellt und somit einer direkten Messung nicht zugänglich ist. Aus Lesemodellen können dann (empirisch überprüfbare) Aussagen abgeleitet werden, über welche Wege und unter Einsatz welcher kognitiven Prozesse der Leser das Schriftmaterial entschlüsselt. Dennoch gilt es für diese Modelle generell festzuhalten, dass sie Annäherungs- und Erklärungsversuche für die Realität darstellen, die in ihrer Beschaffenheit natürlich viel komplexer ist, als dies in derartigen Modellen dargestellt werden kann. Da in Lesemodellen nie Annahmen formuliert werden können, die mit hundertprozentiger Sicherheit zutreffen, soll deswegen an dieser Stelle auch nicht für oder gegen ein Modell entschieden werden. Nicht umsonst gibt es auf der Ebene der linguistischen Forschung eine rege Tätigkeit, diese Modelle immer weiter zu modifizieren und anzupassen [Dual-Route-Modell ergänzt über Modell von SOUTHWOOD & CHATTERJEE (2000); Konnektionistische Modelle z.B. HARM & SEIDENBERG, 1999)].

Generell bleibt festzuhalten, dass die vorliegenden neuropsychologischen und neurophysiologischen Daten eingebettet in die theoretischen Hintergründen eines Dual-Route- oder Konnektionistischen Lesemodells die Annahme bezüglich der phonologischen Defizithypothese der LRS bestätigen. Erstmals ist es dabei im deutschen Sprachraum gelungen, anhand von EKP-Daten die defizitären phonologischen Verarbeitungsprozesse im Rahmen eines gestörtes Sprachnetzwerkes zu erfassen.

Die Abbildung 23 ist dabei wie folgt zu verstehen. Wie Konnektionistische Modellannahmen beschreiben, ist Phonologie zu jeder Zeit darüber am Leseprozess beteiligt, dass Wörter im Sinne von Netzwerken aus Graphem-Phonem-Sequenzen (vergleichbar mit dem Mechanismus der Graphem-Phonem-Korrespondenz). Da dieses Graphem-Phonem-Korrespondenzwissen bei Probanden mit LRS defizitär ausgeprägt zu sein scheint, treten dann, wenn phonologiebehaftetes Material über die Graphem-Phonem-Korrespondenzregel zu erlesen ist, die defizitär ausgereiften Wortnetzwerke zu Tage. Dies äußert sich auf EKP-Ebene, dass trotz eines gesteigerten Verarbeitungsaufwandes (Überaktivierungen über parieto-okzipitalen sprachverarbeitenden Arealen)

bei Probanden mit LRS der Zugriff auf phonologische Lexikoneinträge defizitär zu sein scheint (Gruppenunterschiede über frontalen Arealen).

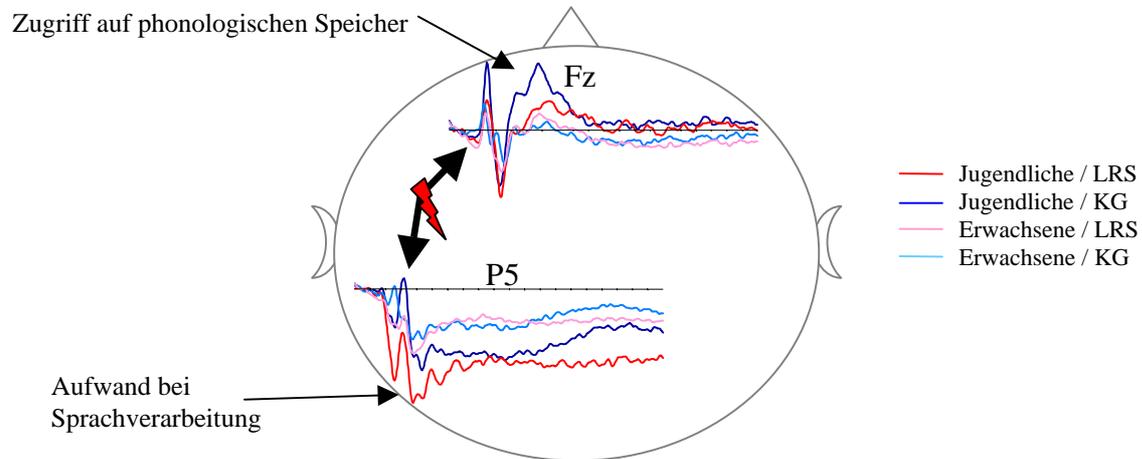


Abb. 23: Darstellung des gestörten Sprachnetzwerkes bei Probanden mit LRS als Ausdruck einer defizitären phonologischen Wortverarbeitung

Trotz dieser empirischen Befunde muss man sich immer gegenwärtig sein, dass Ziel und Zweck derartiger Forschungsvorhaben die Auseinandersetzung mit einem Störungsbild ist, das bei den Betroffenen zu massivem Beeinträchtigungen auf der Ebene eines sehr zentralen Kulturgutes, nämlich die Schriftsprache führt. Da Studien wie die vorliegende dazu beigetragen haben, die kognitiven Hintergründe der LRS weiter aufzuklären, ist die logische Konsequenz, das erworbene Wissen auf die Förderung, Früherkennung und Therapie der LRS anzuwenden. Derartige Aspekte weiterer Forschungsvorhaben können Abschnitt 6.8.3 entnommen werden.

## 6.7 Kritik an der angewandten Methode

### 6.7.1 Paradigma

Einer der größten Kritikpunkte an dieser Studie ist sicherlich, dass kein „stilechtes“ EKP-Paradigma zum Einsatz kam. Der Aufbau des Paradigmas im Blockdesign und die gleichzeitige Stimulusdarbietung wurden an die parallellaufende fMRI-Studie (LIGGES, 2002) angepasst. Dies geschah mit der Absicht, zwei paradigmatisch absolut vergleichbare Datensätze an der gleichen Stichprobe zu erheben. EKP-typische Erfordernisse wie eine randomisierte Aufgabendarbietung sowie eine sukzessive Stimulusdarbietung auf Einzeltrialebene, wie es im Rahmen von klassischen Priming-Paradigmen der Fall ist, wurden diesbezüglich bewusst vernachlässigt.

Die Nachteile, die dadurch entstanden sind, sind zum einen, dass die Einordnung der EKP-Befunde in den internationalen Stand der Forschung erschwert ist. Vor dem Hintergrund, dass

bekanntermaßen jede noch so kleine Veränderung der unabhängigen Variablen wie z.B. der Stimulationsdauer oder der Wortlänge einen Effekt auf die Ausprägung der EKP-Amplituden oder deren topographische Verteilung hat, ist eine Zusammenschau der LRS-spezifischen Literaturbefunde aufgrund der Vielzahl der eingesetzten Paradigmen an sich schon schwierig. Wenn dann noch, wie im vorliegenden Falle, eines dieser Paradigmen „artfremd“ verändert dargeboten wird, ist es noch um ein Vielfaches komplexer, valide Schlussfolgerungen zu ziehen. Schwerpunkt der Interpretation muss deswegen besonders auf den innerhalb der Untersuchung beobachteten Unterschieden liegen, bevor man mit gebotener Vorsicht die Interpretation vor dem Hintergrund des aktuellen Forschungsstandes ausweitet.

Aber nicht nur die eingeschränkte Vergleichbarkeit der Daten ist eine Folge dieser Stimulationsart. Sehr basale EKP-spezifische Probleme sind durch diese Art der Stimulation ebenfalls in verstärktem Maße mit in die Daten eingeflossen: während spontan auftretende Augenbewegungen bereits eine große Herausforderung an die in der EEG-Auswertesoftware implementierte Korrekturalgorithmen stellen, und Puristen unter den EEGisten sogar jeglichen mit Augenartefakten belasteten Trial aus der Analyse ausschließen, provoziert das Paradigma durch die parallele Darbietungsweise der Stimuli geradezu „reizkorreliert“ horizontale Augenbewegungen. Die ausführliche Überprüfungen der Augenkorrektur lies uns zwar zu dem Schluss kommen, dass anhand des international anerkannten Korrekturalgorithmus nach GRATTON, COLES UND DONCHIN (1983) die Augenkorrektur als gelungen angesehen werden kann, dennoch darf man nicht außer Acht lassen, dass Augenbewegungen generell die Gefahr bergen, EKP-Ergebnisse systematisch zu verfälschen.

Ein weiterer Nachteil, in dessen Rahmen sich der Effekt der teilweise sowieso schon recht langen Stimuli mit dem Effekt der parallelen Darbietung aufaddiert ist der, dass die unterschiedliche Stimuluslänge (vgl. Abschnitt 4.2.2.1) in unterschiedlichen visuellen Winkeln resultiert, was bekannter Weise die Ausprägungsform von EKPs immens beeinflussen kann.

Weiterhin muss man sich der Frage stellen, ob die Aufgaben bei einer solchen Darbietungsweise aufgabenkonform gelöst wurden. Die parallele Darbietungsweise stellt per se einen sehr großen Anreiz dar, die Aufgaben über einen visuellen Musterabgleich zu lösen. Dies wäre gerade im Falle der schwerer betroffenen Probanden mit LRS nicht verwunderlich, da sie so ihr Leistungsdefizit umgehen könnten. So muss man sich darauf verlassen, dass die Probanden anweisungskonform gearbeitet haben, was man nicht mit hundertprozentiger Sicherheit sagen kann.

Vor diesem Hintergrund wäre die Wahl einer sukzessiven Stimulusdarbietung wohl zu präferieren gewesen. Dennoch kann man davon ausgehen, dass die aus dem Datensatz abgeleiteten Aus-

sagen valide sind, da die in diesem Abschnitt beschriebenen Punkte über alle Versuchspersonen hinweg zu verzeichnen waren.

Ein weiteres Problem von Studien dieser Art stellt das Stimulusmaterial an sich, also die Sammlung von Buchstabenketten, Wörtern sowie Nonwörtern dar. Im Gegensatz zu z.B. emotionspsychologischen Untersuchungen, für die mittlerweile standardisiertes und international validiertes Material in Form des International Affectiv Picture Systems (LANG, ÖHMAN UND VAITL, 1988) vorliegt, gibt es für linguistische Studien im deutschen Sprachraum in der Regel kein evaluiertes Wortmaterial, das spezifisch für die Untersuchungszwecke anwendbar ist, um genau das gewünschte Problem zu operationalisieren. Für zukünftige Untersuchungen wäre es deswegen von Vorteil, verstärkt auf die Kooperation mit linguistischen Arbeitsgruppen bei der Bewertung des verbalen Stimulusmaterials zurückzugreifen. Vor diesem Hintergrund wäre eventuell die Fehleinschätzung des Schwierigkeitsgrades der Buchstabenketten vermeidbar gewesen.

Ein weiteres Problem des Paradigmas stellte die Anpassung des Stimulusmaterials an die Altersgruppen dar. Generell bestand das Dilemma, ob eher altersangepasstes Material eingesetzt werden sollte oder aber der besseren Vergleichbarkeit wegen Material, das an das Leistungsniveau der jüngsten Altersgruppe angepasst worden war. Sicherlich wurde die Vergleichbarkeit der Daten dadurch erhöht, dass physikalisch allen Versuchspersonen das gleiche Stimulationsmaterial dargeboten wurde. Jedoch kann man dadurch nicht ausschließen, dass die Daten durch die über die verschiedenen Altersstufen unterschiedlich wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeiten konfundiert sind.

### 6.7.2 Versuchsaufbau

Vor dem Hintergrund, dass 12 Versuchspersonen aufgrund von Artefaktquellen wie z.B. Bewegungsartefakten aus der Analyse ausgeschlossen wurden (vgl. Abschnitt 4.4.4.1), muss man sich die Frage stellen, ob es nicht sinnvoller gewesen wäre, die Blöcke kürzer zu gestalten bzw. die Gesamtstimulation durch mehrere Pausen zu unterbrechen. So hätten die Probanden Gelegenheit gehabt, ihre motorische Unruhe wieder abzubauen. Wie die Erfahrung der hiesigen Arbeitsgruppe zeigt, ist durch einen derartigen Versuchsaufbau sogar die Untersuchung von motorisch äußerst unruhigen Kindern und Jugendlichen mit einer Aufmerksamkeits-Hyperaktivitäts-Störung möglich. Neben Bewegungsartefakten hätte man so auch durch die häufigeren Pausen Ermüdungserscheinungen reduzieren können, die auch immer eine Quelle für vermehrt auftretende Bewegungen sind.

Ein Problem ganz anderer Art ist, dass die Gestaltung des Intertrial-Intervalls nicht optimal gelöst wurde. So, wie es im vorliegenden Experiment umgesetzt wurde, bestand es aus einem konstan-

ten Abstand von 500 ms. Durch diesen Stimulationsrhythmus kann man nicht ganz ausschließen, dass eine Art CNV-Paradigma umgesetzt wurde: vor dem Hintergrund, dass auf jeden Tastendruck der nächste Bildonset mit einem stabilen Intertrial-Intervall von 500 ms erfolgte, besteht die Gefahr, dass die Versuchsperson sich nach jedem Tastendruck gezielt auf die Präsentation des nächsten Bildes vorbereitete, und so die Baseline des Folgetrials durch diese Erwartungshaltung systematisch mit einer CNV überlagert worden ist. Methodisch wäre es besser gewesen, dieses Interstimulusintervall zu „jittern“, d.h. die Länge variabel z.B. zwischen 500 ms. und 1000 ms zu gestalten, um diese systematische Erwartungshaltung zu unterbinden und die Versuchsperson im Unklaren darüber zu belassen, wann genau der nächste Stimulus kommt. Wie in GROSSI et al. (2001) gezeigt wurde, bildet sich auf die Ableitung zwischen Prime und Target tatsächlich eine deutlich sichtbare anteriore CNV aus. Da sich jedoch in den vorliegenden Daten kein Negativshift zeigt, scheint der Kritikpunkt, dass ein solches „Erwartungshaltungspotential“ die Daten konfundiert hat, entkräftet werden zu können. Trotz dieser Beobachtung, dass ein solcher Negativtrend nicht zu beobachten war, wurde dem Problem trotzdem Sorge getragen, indem die frühen Komponentenkomplexe über Peak-to-Peak-Maße analysiert wurden. Eventuelle Shifts auf den Daten fallen so nicht ins Gewicht, da nicht absolute Amplitudenwerte in Abhängigkeit zur Baseline, sondern miteinander in Beziehung stehende Peaks über ihre relativen Abstände zu einander verglichen wurden.

Das Intertrial-Intervall von 500 ms führte noch zu einem weiteren Problem: zwar wurde aus ökonomischen Gründen das Intertrial-Intervall bewusst auf 500 ms gesetzt, da sonst der Versuch an sich zu lange gedauert und somit eine zu große Belastung gerade für die jüngeren Probanden dargestellt hätte. Jedoch kann man sich zum einen nicht ganz sicher sein, dass die motorische Antwort bis zum nächsten Bildonset bzw. eigentlich 100 ms davor (Baseline) tatsächlich abgeklungen ist. Zum anderen kommt es bei diesem kurzen Intertrial-Intervall durch das self-paced-Arbeiten zu starken Überlagerungen der Segmente. Gerade beim Musterabgleich sind also innerhalb eines Segmentes mehrere Trials enthalten. Dadurch wird die Länge des interpretierbaren Zeitraumes des Segments beschränkt auf die Dauer der mittleren Reaktionszeit. Der Bereich der Slow-Waves kann somit nicht interpretiert werden.

### 6.7.3 Reliabilität von biologischen Daten

Eine Schwierigkeit besteht generell bei der experimentellen Untersuchung von physiologischen Daten: aufgrund der großen Vielfalt von untersuchten Paradigmen und auch aufgrund der großen Vielfalt individueller Auswertemethoden ist es sehr schwer, einen einheitlichen Überblick darüber zu geben, welche EKP-Komponente typischer Weise welchen kognitiven Prozess reflektie-

ren soll. Auch spielt die Stimulationsart (z.B. akustisch vs. visuell) einen großen Unterschied hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Befunde. Vor diesem Hintergrund ist es auch sehr schwer, die eigenen Befunde in den Stand der Forschung einzuordnen. Alleine schon die unterschiedlichen Referenzwahlen können dazu führen, dass sich elektrophysiologische Aktivierungen anstatt in einer Positivierung in einer Negativierung ausbilden (vgl. hierzu CURRAN et al., 1993).

Elektrophysiologische Daten, wie die der vorliegenden Studie, weisen eine zum Teil beträchtliche Streuung auf: die genaue Analyse der Rohdaten zeigt, dass die Bandbreite der Spannungsschwankungen innerhalb der Kontroll- und LRS-Gruppen teilweise genauso groß ist. Dies ist ein Punkt, mit dem sich die gesamte neurobiologische Forschungsrichtung auseinandersetzen muss: wie reliabel sind biologische Daten überhaupt? Die „vielgerühmte“ Objektivität kann nicht immer als gegeben angesehen werden. Diese Frage ist auch dahingehend wichtig, wenn man Therapieevaluationen mittels neurobiologischer Daten anstrebt: kann man aus den intraindividuellen Messfehlern/Schwankungen die therapiebezogenen Effekte herausfiltern?

## 6.8 Ansätze für weiterführende empirische Studien

### 6.8.1 Methodische Weiterentwicklungen

Die sich ständig weiterentwickelnde Forschungstechnik auf der Ebene der fMRI hat mittlerweile durch die Entwicklung neuer Sequenzen und Auswerteverfahren den Einsatz des eventrelated fMRI möglich gemacht. Anhand dieser Untersuchungsmethode ist nun auch auf fMRI-Ebene eine Einzeltrialstimulation möglich. Durch die zeitgleiche Entwicklung von fMRI-tauglichen EEG-Verstärker und Aufnahmesystemen steht einer bis dato nicht zu realisierenden parallelen Datenakquisition nichts mehr im Wege. Messmethoden dieser Art ermöglichen so eine detaillierte Analyse der räumlichen und zeitlichen Hintergründe kognitiver Verarbeitungsprozesse, wie sie bislang noch nicht möglich war.

Ein weiterer Ansatz auf der Ebene von EEG-Untersuchungen ist der Einsatz höherer Sampelraten und die Ausweitung des Frequenzbereiches bei der Aufnahme der EEG-Daten. Datensätze dieser Art erlauben bessere Aussagen hinsichtlich Auffälligkeiten im EEG-Leistungsspektrum an sich sowie Aussagen zur Ausprägung von Kohärenz-Netzwerken. Gerade solche Netzwerkaussagen können dann wiederum zur ergänzenden Interpretation der durch bildgebende Verfahren aufgedeckten Netzwerkstrukturen genutzt werden. Dies ist gerade deswegen für die LRS-Forschung von großem Interesse, da wie oben beschrieben, die LRS-spezifischen Defizite in einer gestörten Sprachnetzwerkaktivität begründet zu sein scheinen. Detailliert kann so untersucht werden, ob diese gestörten Netzwerkaktivitäten dadurch zu erklären sind, dass die relevanten Sprachareale zeitlich gesehen nicht gleichgetaktet mit einander kommunizieren. Oder aber, ob im Sinne von

„Diskonnektionshypothesen“ diese Kommunikationswege generell gestört bzw. unterbrochen sind.

Trotz dieser vielversprechenden Möglichkeiten darf man jedoch dabei nicht außer Acht lassen, dass die Kopplung von EEG- und fMRI-Daten durch das sogenannte „Inverse Problem“ erschwert ist. Lokalisatorische Rückschlüsse aus Oberflächenverteilungen der EKPs auf zugrunde liegende Generatoren sind mit äußerster Vorsicht vorzunehmen, da die Oberflächenverteilung der EKPs nur eine räumlich stark „verschmierte“ Abbildung der cerebralen Generatoraktivitäten darstellt. Die elektrischen Felder, die aus der Aktivität der cerebralen Neuronenverbände resultieren, werden durch die unterschiedlichen elektrischen Leitfähigkeiten von Hirngewebe, Liquor, Schädelknochen und Haut abgelenkt und „verschmiert“, so dass anhand von Oberflächenverteilungen nur äußerst grobe lokalisatorische Aussagen aufgestellt werden dürfen. Auch die Tatsache, dass die räumliche Lage der Neuronenverbände in eher tangentialer oder radialer Orientierung in gänzlich unterschiedlichen elektrischen Feldverteilungen resultiert macht die lokalisatorische Interpretation von EKP-Daten äußerst problematisch. Somit wird das Inverse Problem des EEGs nie vollständig überwindbar sein, da immer von Oberflächenverteilungen Rückschlüsse auf die zugrundeliegende Quellenstruktur zu ziehen sind (vgl. hierzu KUTAS, FEDERMEIER UND SERENO, 2000). Über Quellenlokalisationsprogramme wie CURRY<sup>®</sup> ist das Problem aber begrenzbar. Basierend auf einem dreidimensionalen MRT-Datensatz des individuellen menschlichen Schädels kann durch die Segmentierung der oben beschriebenen Komponenten wie Gehirngewebe, Liquorraum etc. ein Volumenleitermodell erstellt und vor diesem Hintergrund Dipollösungen aus der elektrischen Feldverteilung berechnet werden. Weitere Ansätze zur Verbesserung der Kopplung von EEG- und fMRI-Daten werden derzeit mit unserer Kooperationseinrichtung, dem Biomagnetischen Zentrum, in Form von neuentwickelten Auswertalgorithmen erarbeitet.

### 6.8.2 Paradigmatische Weiterentwicklungen

Das Gespräch mit Fachkollegen (BRANDEIS, 2002a; SCHULTE-KÖRNE, 2002) wirft immer wieder die Frage auf, ob basale Störungsursachen auf visueller oder akustischer Ebene nicht *doch* eine durch die phonologische Defizithypothese unterschätzte Rolle hinsichtlich der LRS-Entstehung einnehmen. Zukünftige empirische Studien sollten aus diesem Grund die Überprüfung basaler visueller und akustischer Verarbeitungsprozesse mit einschließen. Zudem sollte durch die Kooperation mit linguistischen Arbeitsgruppen die Validität des phonologischen Stimulusmaterials soweit verbessert werden, dass die verschiedenen Nuancen der Wortverarbeitung (vor allem der phonologischen Verarbeitungsprozesse) präziser kontrolliert, beschrieben und erfasst werden können. Ziel eines derartigen Forschungsvorhabens könnte somit sein, an ein und derselben

Stichprobe Daten hinsichtlich der verschiedenen Störungsansätze zu erheben, die derzeit diskutiert werden. Auf diese Art ließe sich ergründen, inwieweit die LRS als Merkmalsausprägung verschiedener distinkter Störungen zu verstehen ist, durch das Zusammenwirken mehrerer Störungsfaktoren entsteht, oder vielleicht doch nur einem einzigen Störungsmechanismus, wie z.B. dem hier diskutierten phonologischen Defizit zugeschrieben werden kann.

Neben diesen Aspekten gilt es zu Bedenken, dass die Vorgabe von Wortmaterial zur Untersuchung der LRS immer das Problem birgt, dass damit Leistungen abgefragt werden, die bei Probanden mit einer derartigen Störung bekannterweise defizitär sind. Die Frage ist somit immer, ob man anhand von Leistungsdefiziten das wirklich zugrundeliegende Defizit beschreibt, oder aber die verstärkten Bemühungen der Probanden bei der Stimulusbearbeitung. Dies wird auch mit dem Schlagwort des „Effort-Problems“ umschrieben. Der Einsatz von Stimulusmaterial, das explizit nur die phonologische Verarbeitungsstrecke anspricht und die Leseschwierigkeiten der LRS-Probanden umgeht wäre ein lohnenswerter Ansatz, um die Konfundierung der Daten durch das „Effort-Problem“ zu umgehen. Arbeitsgruppen wie TEMPLE et al. (2001) greifen diesbezüglich auf die Darbietung von einzelnen Buchstaben zurück, die hinsichtlich ihrer phonologischen Ähnlichkeit zu bewerten sind. Auch die Stimulation über Bilder, die hinsichtlich des phonologischen Klanges ihrer Bezeichnungen einzuschätzen sind, würde das generelle Lesedefizit der LRS-Probanden umgehen. Allerdings darf man dabei nicht außer Acht lassen, dass eines der umschriebenen Leistungsdefizite der Probanden mit LRS auch auf der Ebene der schnellen seriellen Bildbenennung zu finden ist.

### 6.8.3 Frühförderstudien

Gerade wurde an den vorliegenden Daten verdeutlicht, dass das phonologische Defizit ein Hauptstörungsmechanismus der LRS zu sein scheint. Dieses Grundlagenwissen gilt es nun in die klinische Praxis auf der Ebene der Früherkennung, Frühförderung und Therapie zu integrieren. Derzeit ist an unserer Klinik in Kooperation mit dem Kultusministerium des Landes Thüringen eine Pilotstudie angelaufen, die im Längsschnitt untersucht, ob Kinder, die bereits im Kindergarten phonologische Defizite aufweisen, im Verlauf ihrer Schullaufbahn eine LRS entwickeln. Die gesamte Stichprobe wird dabei in eine Kontroll- sowie Experimentalgruppe unterteilt, in denen sich jeweils sowohl Risiko-Kinder wie auch Kinder mit normal ausgeprägten phonologischen Fertigkeiten befinden. Während die Experimentalgruppe mittels dem Würzburger Trainingsprogramm „Hören, lauschen, lernen“ (KÜSPERT & SCHNEIDER, 2000) geübt wird, erhält die Kontrollgruppe die normale Betreuung, wie sie in den Kindergärten üblich ist. Im Verlauf der Studie gilt es dann zu klären, ob die Kinder, die bei der Erstdiagnostik durch phonologische Defizite

auffielen, diese durch das Training reduzieren können, und ob sich dies dann im Verlauf ihrer Schullaufbahn auf die allgemeine Lese- und Rechtschreibfähigkeit generalisiert. Dies soll auch durch psychophysiologische Messungen begleitet und evaluiert werden, da Studien wie BRANDEIS et al. (2002b) darauf hindeuten, dass sich diese Defizite bereits im Kindergartenalter in neuropsychologisch auffälligen Verarbeitungsmustern zeigen.

Dass Studien wie die vorliegende EKP-Studie dazu beitragen können, Förderkonzepte wie das Würzburger Trainingsprogramm zu verbessern, das an sich bereits Erkenntnissen der bisherigen LRS-Grundlagenforschung zur phonologischen Defizithypothese integriert, sei im folgenden noch kurz erwähnt. Das Würzburger Trainingsprogramm kommt eigentlich im Vorschulalter zum Einsatz. Die Daten der vorliegenden Studie können aber eindrucksvoll zeigen, dass selbst bis ins Erwachsenenalter bei Probanden mit LRS Lesedefizite vorliegen. Daraus kann hinsichtlich der Förderkonzepte für jugendliche und erwachsene Probanden mit LRS abgeleitet werden, dass es nicht ausreicht, nur über verstärktes Textlesen die Lesekompetenz zu fördern, sondern dass auch in diesem Alter Förderkonzepte wie das Würzburger Trainingsprogramm vonnöten sind, die Konstrukte wie die phonologische Bewusstheit beüben. Da die phonologische Bewusstheit erwiesenermaßen ein Fundament für den Erwerb der Graphem-Phonem-Korrespondenzregel darstellt, könnte so der entscheidende Durchbruch bei der Förderung der Lesekompetenz erreicht werden. Diesbezüglich wäre es ein weiterer lohnenswerter empirischer Ansatz, den Wirkungsgrad derartiger Trainingsprogramme für verschiedene Altersgruppen zu überprüfen.

Über derartige Frühförderkonzepte soll es möglich sein, so früh wie möglich die Stärken und Schwächen eines Kindes abzuklären, um frühstmöglich einen Förderprozess einleiten zu können. Ein Kind, das bereits zu diesem Zeitpunkt Förderung erhält, hat die Chance, den Bereich seiner defizitären Fähigkeiten möglichst klein und umschrieben zu halten. Was an Restdefizit bleibt, muss mit dem entsprechenden Bewusstsein und Toleranz in den Alltag integriert werden. Nicht zu letzt gilt es, ein gesellschaftliches Bewusstsein für diese Störung zu schaffen, so dass in Zukunft Betroffenen keine Schulkarriere oder berufliche Karriere verwehrt bleibt. Erlasse wie der bayerische Legasthenie-Erlass können hier ein Vorbild sein, um Betroffenen durch verantwortungsbewusste und fachmännische Diagnose und Förderung eine möglichst normale Schul- und Berufskarriere zu ermöglichen.

## 7 Zusammenfassung

Ätiologische Modelle der Lese-Rechtschreibstörung (LRS) umfassen zahlreiche Störungskonzepte, wobei die phonologische Defizithypothese eine zentrale Rolle einzunehmen scheint. Die phonologische Defizithypothese besagt, dass der Lese-Rechtschreibstörung Beeinträchtigungen auf der Ebene der sogenannten phonologischen Bewusstheit zugrunde liegen sollen, womit die Fähigkeiten im Umgang mit den lautsprachlichen Einheiten der Sprache, so z.B. dem Wissen über die Zergliederung eines Wortes in seine kleinsten lautlichen Einheiten (Phoneme) und deren Zuordnung zu ihren schriftlichen Äquivalenten (Grapheme) bezeichnet wird. Hinsichtlich dieses Störungsmodells beschreiben empirische Befunde zur Untersuchung der phonologischen Defizithypothese mittels Ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs) verringerte N400-Priming-Effekte bei Probanden mit LRS, die als elektrophysiologischer Hinweis auf eine gestörte phonologische Verarbeitung bei der LRS gedeutet werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit sollte deswegen sein, die neuronalen Hintergründe dieser als defizitär beschriebenen phonologischen Verarbeitungsprozesse genauer zu untersuchen und zu beschreiben. Dazu wurden die phonologischen Sprachverarbeitungsfähigkeiten jugendlicher und erwachsener Probanden mit LRS sowie altersangepasster Kontrollprobanden sowohl auf neuropsychologischer Ebene wie auch anhand von EKPs untersucht. Zur Operationalisierung der phonologischen Sprachverarbeitungsprozesse wurden dazu verschiedene Formen von Leseaufgaben sowie Aufgaben auf verschiedenen Stufen der Muster- und Wortverarbeitung (Musterabgleich, Buchstabenabgleich, Wortlesen, Nonwortlesen und Nonwortreimen) vorgegeben.

Auf neuropsychologischer Ebene zeigen sich erwartungskonform deutliche Leistungsunterschiede zwischen Probanden mit LRS und Kontrollprobanden bei den Aufgaben, die in verstärktem Maße phonologische Verarbeitungsprozesse erfordern. Dies wird als Ausdruck des phonologischen Defizits gewertet und interpretiert. Auf neurophysiologischer Ebene zeigen sich bei mehreren EKPs LRS-spezifische Unterschiede. Diese Unterschiede prägen sich dabei besonders bei den EKPs aus, die gemäß empirischer Befunde durch phonologische Verarbeitungsprozesse moduliert werden. Dazu zählen eine anterior lokalisierte N400 sowie eine parietal zu beobachtende P300. Da die N400 in der Literatur häufig als eine Komponente beschrieben wird, die Anteil am Zugriff auf phonologische Anteile des mentalen Wortschatzes hat und die (linkslateralisierte) P300 zudem mit der Aktivität sprachverarbeitender Areale assoziiert wird, deuten die vorliegenden Befunde somit zusammenfassend auf eine gestörte neuronale Netzwerkaktivität bei der Bearbeitung von Aufgaben hin, die in hohem Maße Fähigkeiten auf der Ebene der phonologischen

Bewusstheit erfordern. Somit konnten in der vorliegenden Studie sowohl auf neuropsychologischer Ebene wie auch anhand der EKP-Befunde die Annahmen der phonologischen Defizithypothese bei der LRS untermauert werden.

## 8 Literaturverzeichnis

- Ackerman, P. T., Dykman, R. A. & Oglesby, D. M. (1994). Visual event-related potentials of dyslexic children to rhyming and nonrhyming stimuli. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 16(1), 138 -154.
- American Psychiatric Association (Hrsg.). (1993). *DSM-IV draft criteria. Task force on DSM-IV*. Washington, D.C.: APA.
- Baldeweg, T., Richardson, A., Watkins, S., Foale, C. & Gruzelier, J. (1999). Impaired auditory frequency discrimination in dyslexia detected with mismatch evoked potentials. *Annals of Neurology*, 45(4), 495 - 503.
- Bartling, J., Schulte-Körne, G., Deimel, W. & Remschmidt, H. (2002). Die Bedeutung des magno- und parvozellulären Systems für die LRS - Ergebnisse einer Untersuchung zur visuellen Persistenz. In U. Lehmkuhl (Hrsg.), *Seelische Krankheit im Kindes- und Jugendalter - Wege zur Heilung*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- BeriSoft & Cooperation. (1987-1999). Experimental Run Time System (ERTS) (Version 3.28).
- Birkel, P. (1994a). *Weingartener Grundwortschatz Rechtschreib-Test für zweite und dritte Klasse (WRT2+)*. Göttingen: Hogrefe - Verlag für Psychologie.
- Birkel, P. (1994b). *Weingartener Grundwortschatz Rechtschreib-Test für dritte und vierte Klasse (WRT 3+)*. Göttingen: Hogrefe - Verlag für Psychologie.
- Brain Products GmbH. (1998-2000). Brain Vision Analyzer (Version 1.030002).
- Brandeis, D., Vitacco, D. & Steinhausen, H. C. (1994). Mapping brain electric micro-states in dyslexic children during reading. *Acta Paedopsychiatria*, 56(3), 239-247.
- Brandeis, D. (2002a). Bildgebung von Dyslexie-Risiko und Schriftspracherwerb mittels EP-Mapping. In U. Lehmkuhl (Hrsg.), *Seelische Krankheit im Kindes- und Jugendalter - Wege zur Heilung*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Brandeis, D., Brem, S., Bucher, K. & Maurer, U. (2002b). Mapping visual word processing before children learn to read. *NeuroImage Human Brain Mapping 2002 Meeting*.
- Brickenkamp, R. (1994). *Test d2: Aufmerksamkeits-Belastungs-Test*. Göttingen: Hogrefe-Verlag für Psychologie.
- Bühl, A. & Zöfel, P. (2000). *SPSS Version 10 - Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows* (7. Auflage). München: Addison Wesley Verlag.
- Coch, D., Maron, L., Wolf, M. & Holcomb, P. J. (2002). Word- and picture-processing in children: an event-related potential study. *Developmental Neuropsychology*, in press.
- Compton, P. E., Grossenbacher, P., Posner, M. I. & Tucker, D. M. (1991). A cognitive-anatomical approach in lexical access. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3, 304-312.
- Connolly, J. F., Service, E., D'Arcy, R. C. N., Kujala, A. & Alho, K. (2001). Phonological aspects of word recognition as revealed by high-resolution spatio-temporal brain mapping. *Neuroreport*, 12(2), 237-243.
- Curran, T., Tucker, D. M., Kutas, M. & Posner, M. I. (1993). Topography of the N400: brain electrical activity reflecting semantic expectancy. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 88(3), 188-209.

- Dilling, H., Mombour, W., Schmidt, M.H. & Schulte-Markwort, E. (Hrsg.). (1993). *Weltgesundheitsorganisation: Internationale Klassifikation psychischer Störungen (ICD-10 Kapitel V (F), klinisch-diagnostische Leitlinien)*. Bern: Verlag Hans Huber.
- Dilling, H., Mombour, W., Schmidt, M.H. & Schulte-Markwort, E. (Hrsg.). (2000). *Weltgesundheitsorganisation: Internationale Klassifikation psychischer Störungen (ICD-10 Kapitel V (F), Diagnostische Kriterien für Forschung und Praxis)* (2. Auflage). Bern: Verlag Hans Huber.
- Dunn, B., Dunn, D., Languis, M. & Andrews, D. (1998). The relation of ERP components to complex memory processing. *Brain and Cognition*, 36(3), 355 - 376.
- Eden, G. F., VanMeter, J. W., Rumsey, J. M., Maisog, J. M., Woods, R. P. & Zeffiro, T. A. (1996). Abnormal processing of visual motion in dyslexia revealed by functional brain imaging. *Letters to Nature*, 382, 66-69.
- Eulitz, C., Eulitz, H., Maess, B., Cohen, R., Pantev, C. & Elbert, T. (2000). Magnetic brain activity evoked and induced by visually presented words and nonverbal stimuli. *Psychophysiology*, 37(4), 447-455.
- Fletcher, J. M., Shaywitz, S. E., Shankweiler, D. P., Katz, L., Liberman, I. Y., Stuebing, K. K., Francis, D. J., Fowler, A. E. & Shaywitz, B. A. (1994). Cognitive profiles of reading disability: comparisons of discrepancy and low achievement definitions. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 6-23.
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. In K. E. Patterson, J. C. Marshall & M. Coltheart (Hrsg.), *Surface dyslexia* (S. 301 - 330). London: Routledge & Kegan - Paul.
- Frith, U. (1997). Brain, Mind and Behavior. In C. Hulme & M. Snowling (Hrsg.), *Dyslexia: Biology, Cognition and Intervention* (S. 1-19). London: Whurr Publishers.
- Frith, U. (1998). Cognitive deficits in developmental disorders. *Scandinavian Journal of Psychology*, 39(3), 191-195.
- Gallagher, A., Frith, U. & Snowling, M. J. (2000). Precursors of literacy delay among children at genetic risk of dyslexia. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 41(2), 203-213.
- Georgiewa, P., Rzanny, R., Gaser, C., Gerhard, U. J., Vieweg, U., Freesmeyer, D., Mentzel, H. J., Kaiser, W. A. & Blanz, B. (2002). Phonological processing in dyslexic children: a study combining functional imaging and event related potentials. *Neuroscience Letters*, 318(1), 5-8.
- Georgiewa, P., Rzanny, R., Hopf, J.-M., Knab, R., Glauche, V., Kaiser, W.-A. & Blanz, B. (1999). fMRI during word processing in dyslexic and normal reading children. *Neuroreport*, 10, 3459-3465.
- Gratton, G., Coles, M. G. H. & Donchin, E. (1983). A new method for off-line removal of ocular artifact. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 55, 468-484.
- Grigorenko, E. L. (2001). Developmental dyslexia: An update on genes, brains, and environments. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 42(1), 91-125.
- Grigorenko, E. L., Wood, F. B., Meyer, M. S., Hart, L. A., Speed, W. C., Shuster, A. & Pauls, D. L. (1997). Susceptibility loci for distinct components of developmental dyslexia on chromosomes 6 and 15. *American Journal of Human Genetics*, 60(1), 27-39.
- Grissemann, H. (1998). *ZLT: Zürcher Lesetest*. Göttingen: Verlag Hans Huber.

- Grossi, G., Coch, D., Coffey-Corina, S., Holcomb, P. J. & Neville, H. J. (2001). Phonological processing in visual rhyming: a developmental ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 610-625.
- Habib, M. (2000). The neurological basis of developmental dyslexia: An overview and working hypothesis. *Brain*, 123(12), 2373-2399.
- Harm, M. W. & Seidenberg, M. S. (1999). Phonology, reading acquisition, and dyslexia: Insights from connectionist models. *Psychological Review*, 106(3), 491-528.
- Heim, S., Freeman, R. B., C., E. & T., E. (2001). Auditory temporal processing deficit in dyslexia is associated with enhanced sensitivity in the visual modality. *Neuroreport*, 12(3), 507-510.
- Heinze, H. J., Mangun, G. R., Burchert, W., Hinrichs, H., Scholz, M., Munte, T. F., Gos, A., Scherg, M., Johannes, S. & Hundeshagen, H. (1994). Combined spatial and temporal imaging of brain activity during visual selective attention in humans. *Nature*, 372(6506), 543-546.
- Homan, R. W., Herman, J. & Purdy, P. (1987). Cerebral location of international 10-20 system electrode placement. *Electroencephalography of the Clinical Neurophysiology*, 66(4), 376-382.
- Hulme, C. & Snowling, M. (Hrsg.). (1997). *Dyslexia: Biology, Cognition and Intervention*. London: Whurr Publishers.
- Jäger, A. (1974). *Rechtschreibtest R - T.* Göttingen: Verlag für Psychologie - Hogrefe.
- Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Journal of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 20, 371-375.
- Johnson, R. (1984). P300 - a model of the variables controlling its amplitude. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 425, 223-229.
- Kanwisher, N. & Wojciulik, E. (2000). Visual Attention: Insights from brain imaging. *Nature Reviews / Neuroscience*, 1, 91-100.
- Khateb, A., Annoni, J. M., Landis, T., Pegna, A. J., Custodi, M. C., Fonteneau, E., Morand, S. M. & Michel, C. M. (1999). Spatio-temporal analysis of electric brain activity during semantic and phonological word processing. *International Journal of Psychophysiology*, 32(3), 215-231.
- King, J. W. & Kutas, M. (1998). Neural plasticity in the dynamics of human visual word recognition. *Neuroscience Letters*, 244, 61-64.
- Kossow, H. J. (1991). *Leitfaden zur Bekämpfung der Lese-Rechtschreibschwäche: Einführung und Kommentare* (2. Auflage). Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Kramer, A. F. & Donchin, E. (1987). Brain potentials as indices of orthographic and phonological interaction during word matching. *Journal of Experimental Psychology, Learning, Memory and Cognition*, 13(1), 76-86.
- Kujala, T., Myllyviita, K., Tervaniemi, M., Alho, K., Kallio, J. & Naatanen, R. (2000). Basic auditory dysfunction in dyslexia as demonstrated by brain activity measurements. *Psychophysiology*, 37(2), 262-266.
- Kutas, M., Federmeier, K. D. & Sereno, M. I. (2000). Current approaches to mapping language in electromagnetic space. In C. M. Brown & P. Hagoort (Hrsg.), *The neurocognition of language*. Oxford: Oxford University Press.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature*, 307, 161-163.

- Küspert, P. & Schneider, W. (2000). *Hören, lauschen, lernen: Sprachspiele für Kinder im Vorschulalter; Würzburger Trainingsprogramm zur Vorbereitung auf den Erwerb der Schriftsprache* (2. Auflage). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Landerl, K., Wimmer, H. & Frith, U. (1997). The impact of orthographic consistency on dyslexia: a German-English comparison. *Cognition*, 63(3), 315-334.
- Lang, P. J., Öhmann, A. & Vaitl, D. (1988). *The international affective picture system (photographic slides)*. Gainesville: Center for Research in Psychophysiology, University of Florida.
- Ligges, M. (2002). fMRI-Untersuchung von Sprachverarbeitungsprozessen bei der Leserechtschreibstörung. Unveröffentlichte Promotionsschrift, Friedrich-Schiller-Universität, Jena.
- Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W. & Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Science*, 88, 7943-7947.
- Löffler, C. (2000). *Analphabetismus in Wechselwirkung mit gesprochener Sprache : zu Sprachentwicklung, Sprachbewusstsein, Variationskompetenz und systematisch fundierter Förderung von Analphabeten*. Schriftenreihe: Theorie und Praxis; Bd. 7. Hannover: Universität Hannover, Fachbereich Erziehungswissenschaften.
- Lovrich, D., Cheng, J. C., Velting, D. M. & Kazmerski, V. (1997). Auditory ERPs during rhyme and semantic processing: effects of reading ability in college students. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 19(3), 313-330.
- Lundberg, I., Frost, J. & Petersen, O. P. (1988). Effects of an extensive program for stimulating phonological awareness in preschool children. *Reading Research Quarterly*, 23, 261-284.
- Marx, H., Jansen, H., Mannhaupt, G. & Skowronek, H. (1993). Prediction of difficulties in reading and spelling on the basis of the Bielefelder Screening. In H. Grimm & H. Skowronek (Hrsg.), *Language acquisition problems and reading disorders: Aspects of diagnosis and intervention* (pp. 219-242). Berlin: de Gruyter.
- McPherson, W. B. & Ackerman, P. T. (1999). A study of reading disability using event-related brain potentials elicited during auditory alliteration judgments. *Developmental Neuropsychology*, 15(3), 359-378.
- McPherson, W. B., Ackerman, P. T., Holcomb, P. J. & Dykman, R. A. (1998). Event-related brain potentials elicited during phonological processing differentiate subgroups of reading disabled adolescents. *Brain and Language*, 62(2), 163-185.
- McPherson, W. B., Ackerman, P. T., Oglesby, D. M. & Dykman, R. A. (1996). Event-related brain potentials elicited by rhyming and non-rhyming pictures differentiate subgroups of reading disabled adolescents. *Integrated Physiology and Behavioral Science*, 31(1), 3-17.
- Mody, M., Studdert-Kennedy, M. & Brady, S. (1997). Speech perception deficits in poor readers: auditory processing or phonological coding? *Journal of Experimental Child Psychology*, 58, 112-123.
- Naatanen, R. & Picton, T. W. (1986). N2 and automatic versus controlled processes. *Cerebral Psychophysiology: Studies in Event-Related Potentials, (EEG Suppl. 38)*, 169-171.
- Nachtigall, C. & Wirtz, M. (1998). *Wahrscheinlichkeitsrechnung und Inferenzstatistik - Statistische Methoden für Psychologen - Teil 2*. Weinheim: Juventa Verlag.
- Neuroscan Labs. (1996). SCAN (Version Dos-Version).

- Neuroscan Labs. (1998). CURRY.
- Neville, H. J., Kutas, M. & Schmidt, A. (1982a). Event-related potential studies of cerebral specification during reading: I. studies of normal adults. *Brain and Language*, 16, 300-315.
- Neville, H. J., Kutas, M. & Schmidt, A. (1982b). Event-related potential studies of cerebral specification during reading: II. studies of congenitally deaf adults. *Brain and Language*, 16, 316-337.
- Niznikiewicz, M. & Squires, N. K. (1996). Phonological processing and the role of strategy in silent reading: behavioral and electrophysiological evidence. *Brain and Language*, 52, 342-364.
- Nobre, A. C. & McCarthy, G. (1994). Language-related ERPs - scalp distributions and modulation by word type and semantic priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6(3), 233-255.
- Ortmann, W. D. (1976). *Hochfrequente deutsche Wortformen II*. München: Druckerei Kemmler.
- Paulesu, E., Frith, U., Snowling, M., Gallagher, A., Morton, J., Frackowiak, R. S. J. & Frith, C. D. (1996). Is developmental dyslexia a disconnection syndrome? Evidence from PET scanning. *Brain*, 119, 143-157.
- Paulesu, E., Goldacre, C., Scifo, P., Cappa, S. F., Gilardi, M. C., I., C., Perani, D. & Fazio, F. (1997). Functional heterogeneity of left inferior frontal cortex as revealed by fMRI. *Neuroreport*, 8(8), 2011-2016.
- Pennington, B. F. (1999). Toward an integrated understanding of dyslexia: genetic, neurological, and cognitive mechanisms. *Developmental Psychopathology*, 11(3), 629 - 654.
- Perfetti, C. A. (2000). Comprehending written language: a blueprint of the reader. In C. M. Brown & P. Hagoort (Hrsg.), *The neurocognition of language*. Oxford: Oxford University Press.
- Pinel, J. P. J. (1997). *Biopsychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag GmbH.
- Posner, M. I., Abdullaev, Y. G., McCandliss, B. D. & Sereno, S. C. (1999). Neuroanatomy, circuitry and plasticity of word reading. *Neuroreport*, 10(3), R12-23.
- Posner, M. I. & Raichle, M. E. (1994). *Images of mind: Exploring the brain's activity*. New York: W.H. Freeman & Co. (Scientific American Library, NY).
- Pregel, D. R., G. (1987). *Der Wortschatz im Grundschulalter: Häufigkeitswörterbuch zum verbalen, substantivistischen und adjektivistischen Wortgebrauch*. Hildesheim: Georg Olms AG.
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., Shaywitz, S. E. & Shaywitz, B. A. (2000). Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental Retardation and Developmental Disability Research Review*, 6(3), 207-213.
- Pulvermüller, F. (1996). Hebb's concept of cell assemblies and the psychophysiology of word processing. *Psychophysiology*, 33, 317-333.
- Rathenow, P. (1980a). *Westermann Rechtschreibtest 6+*. Braunschweig.
- Rathenow, P. (1980b). *Westermann Rechtschreibtest 4/5*. Braunschweig.
- Raven, J. (1996). *Matrizen-Test-Manual Band 1*. Göttingen: Beltz-Test GmbH.
- Raven, J. C. (1998). *Matrizen-Test-Manual Band 2*. Göttingen: Beltz-Test GmbH.
- Remschmidt, H. (Hrsg.). (2000). *Kinder- und Jugendpsychiatrie: eine praktische Einführung* (3. neu bearbeitete und erweiterte Auflage). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

- Roth, E. (2002). Phonologische Bewusstheit bei Kindern mit Legasthenie. In U. Lehmkuhl (Hrsg.), *Seelische Krankheit im Kindes- und Jugendalter - Wege zur Heilung*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Rugg, M. D. (1984a). Event-related potentials in phonological matching tasks. *Brain and Language*, 23(2), 225-240.
- Rugg, M. D. (1984b). Event-related potentials and the phonological processing of words and non-words. *Neuropsychologia*, 22(4), 435-443.
- Rugg, M. D. & Barrett, S. E. (1987). Event - related potentials and the interaction between orthographic and phonological information in a rhyme - judgment task. *Brain and Language*, 32, 336 - 361.
- Schandry, R. (1989). *Lehrbuch der Psychophysiologie: körperliche Indikatoren psychischen Geschehens* (2. Auflage). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schendan, H. E., Ganis, G. & Kutas, M. (1998). Neurophysiological evidence for visual perceptual categorization of words and faces within 150 ms. *Psychophysiology*, 35, 240-251.
- Schneider, W., Küspert, P., Roth, E., Vise, M. & Marx, H. (1997). Short- and long-term effects of training phonological awareness in kindergarten: evidence from two German studies. *Journal of Experimental Child Psychology*, 66(3), 311-340.
- Schulte-Körne, G. (1995). Aufbau und Entstehung des Marburger Screeningsverfahrens zur Überprüfung der Lesefertigkeiten und Phonologischer Bewußtheit von Kindern der 2. Klasse bis zur 9. Klasse - unveröffentlichtes Manuskript.
- Schulte-Körne, G. (1999). Die Bedeutung von phonologischer Bewußtheit, passiver und aktiver Sprachwahrnehmung für die Lese-Rechtschreibfähigkeit. *Unveröffentlichte Habilitationsschrift, Philipps-Universität Marburg*.
- Schulte-Körne, G. (2002). Bewegungswahrnehmung bei der LRS - Neurophysiologische Korrelate. In U. Lehmkuhl (Hrsg.), *Seelische Krankheit im Kindes- und Jugendalter - Wege zur Heilung*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Schulte-Körne, G., Bartling, J., Deimel, W. & Remschmidt, H. (1999). Attenuated hemispheric lateralization in dyslexia: evidence of a visual processing deficit. *Neuroreport*, 10, 3697-3701.
- Schulte-Körne, G., Deimel, W., Bartling, J. & Remschmidt, H. (1999). The role of phonological awareness, speech perception, and auditory temporal processing for dyslexia. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 8(Suppl. 3), III/28-III/34.
- Schulte-Körne, G. S., Deimel, W., Bartling, J. & Remschmidt, H. (1998). Auditory processing and dyslexia: evidence for a specific speech processing deficit. *Neuroreport*, 9(No. 2 / 26), 337-340.
- Seidenberg, M. S. (1985). The time course of phonological code activation in two writing systems. *Cognition*, 19, 1-30.
- Sereno, S. C., Rayner, K. & Posner, M. I. (1998). Establishing a time-line of word recognition: evidence from eye movements and event-related potentials. *Neuroreport*, 9, 2195-2200.
- Shaywitz, B. A., Fletcher, J. M., Holahan, J. M. & Shaywitz, S. E. (1992). Discrepancy compared to low achievement definitions of reading disability: results from the connecticut longitudinal study. *Journal of Learning Disabilities*, 25(10), 639-648.

- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Mencl, W. E., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fletcher, J. M., Lyon, G. R. & Gore, J. C. (2001). The neurobiology of dyslexia. *Clinical Neuroscience Research*, 1(4), 291-299.
- Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Constable, R. T., Mencl, W. E., Shankweiler, D. P., Liberman, A. M., Skudlarski, P., Fletcher, J. M., Katz, L., Marchione, K. E., Lacadie, C., Gatenby, C. & Gore, J. C. (1998). Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 2636-2641.
- Simos, P. G., Basile, L. F. & Papanicolaou, A. C. (1997). Source localization of the N400 response in a sentence-reading paradigm using evoked magnetic fields and magnetic resonance imaging. *Brain Research*, 762(1-2), 29-39.
- Snowling, M. & Hulme, C. (1993). Developmental dyslexia and language disorders. In G. Blanken, J. Dittmann, H. Grimm et al. (Hrsg.), *Linguistic Disorders and Pathologies* (pp. 724-732). New York: Walter de Gruyter.
- Snowling, M. J. (2000). *Dyslexia* (2. Auflage). Oxford: Blackwell Publishers.
- Snowling, M. J. (2001). From language to reading and dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 37-46.
- Southwood, M. H. & Chatterjee, A. (2000). The interaction of multiple routes in oral reading: evidence from dissociations in naming and oral reading in phonological dyslexia. *Brain and Language*, 72, 14-39.
- SPSS, Inc. (copyright). (1989-2000). SPSS für Windows (Version 10.1.3).
- Stanovich, K. E. (1988). Explaining the difference between the dyslexic and the garden - variety poor reader. The phonological core variable - difference model. *Journal of Learning Disabilities*, 21, 590 - 612.
- Stevens, J. (1996). *Applied multivariate statistics for the social sciences* (3. Auflage). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonic, and reading disabilities in children. *Brain and Language*, 9, 182-198.
- Taylor, M. J. & Keenan, N. K. (1990). Event-related potentials to visual and language stimuli in normal and dyslexic children. *Psychophysiology*, 27(3), 318-327.
- Temple, E., Poldrack, R. A., Protopapas, A., Nagarajan, S., Salz, T., Tallal, P., Merzenich, M. M. & Gabrieli, J. D. (2000). Disruption of the neural response to rapid acoustic stimuli in dyslexia: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Science U S A*, 97(25), 13907-13912.
- Temple, E., Poldrack, R. A., Salidis, J., Deutsch, G. K., Tallal, P., Merzenich, M. M. & Gabrieli, J. D. E. (2001). Disrupted neural responses to phonological and orthographic processing in dyslexic children: an fMRI study. *Neuroreport*, 12(2), 299-307.
- Thierry, G., Doyon, B. & Demonet, J. F. (1998). ERP mapping in phonological and lexical semantic monitoring tasks: A study complementing previous PET results. *Neuroimage*, 8(4), 391-408.
- Trimmel, M. (1990). *Angewandte und experimentelle Neuropsychophysiologie*. Berlin: Springer Verlag.

- van den Brink, D., Brown, C. M. & Hagoort, P. (2001). Electrophysiological evidence for early contextual influences during spoken-word recognition: N200 versus N400 effects. *Journal of Cognitive Neuroscience* 13:7, pp. 967–985.
- Vogel, E. K. & Luck, S. J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology*, 37(2), 190-203.
- Wimmer, H. (1996). The nonword reading deficit in developmental dyslexia: evidence from children learning to read german. *Journal of Experimental Child Psychology*, 61, 80-90.
- Ziegler, J. C., Benraiss, A. & Besson, M. (1999). From print to meaning: an electrophysiological investigation of the role of phonology in accessing word meaning. *Psychophysiology*, 36(6), 775-785.
- Zigmond, M. J., Bloom, F. E., Landis, S. C., Roberts, J. L. & Squire, L. R. (Hrsg.). (1999). *Fundamental Neuroscience*. San Diego: Academic Press.

## 9 Anhang

**Abkürzungsverzeichnis:**

ε-GG:	Epsilon nach Greenhouse-Geisser
μV:	Mikrovolt
ADS:	Aufmerksamkeitsdefizitstörung
ANOVA:	Analysis of Variance (Varianzanalyse)
B bzw. BL:	Buchstabenabgleich
EEG:	Elektroenzephalogramm
EKP:	Ereigniskorreliertes Potential
ERTS:	Abkürzung der Leistungsdaten (Reaktionszeiten und Fehlerraten, die während der EEG-Messung miterhoben wurden), zudem Name der bei der EEG-Untersuchung eingesetzten Stimulationssoftware
fMRT:	funktionelle Magnetresonanztomographie
HEOG:	horizontales Elektroofokulogramm
HL:	hochfrequentes Wortlesen
IQ:	Intelligenzquotient
ISI:	Interstimulusintervall
KG:	Kontrollgruppe
LRS:	Lese-Rechtschreibstörung
MANOVA:	Multivariate Analysis of Variance (multivariate Varianzanalyse)
MEG:	Magnetoenzephalogramm
MGFP:	Mean Global Field Power
ms:	Millisekunden
NL:	Nonwortlesen
NR:	Nonwortreimen
PDP:	parallel distributed processing
PMN:	phonological mismatch negativity
RS-IQ:	Rechtschreib-IQ
S bzw. SL:	Musterabgleich
VEOG:	vertikales Elektroofokulogramm
ZLT:	Zürcher Lesetest

## Glossar

### Bestandteile der Sprache:

Sprache macht Gebrauch von einer endlichen Zahl von Komponenten in unendlicher Vielfalt. Sie besteht aus einer kleinen Anzahl von Klängen, die Inhalte übermitteln, wenn sie in vorhersagbaren Sequenzen geäußert werden. Die Klänge, aus denen Wörter bestehen, werden **Phoneme** genannt. Sie stellen die kleinsten Klangeinheiten dar, die zu einer Veränderung in der Wortbedeutung führen können. Als Beispiel seien die Klänge /m/ oder /h/ in den Wörtern *Maus* und *Haus* genannt. (**Phoneme** sollten nicht mit Buchstaben verwechselt werden. Ein Buchstabe kann mehrere Klänge repräsentieren, wie beispielsweise der Buchstabe *c*. Zwei kombinierte Buchstaben, wie *th* im Englischen oder *eu* im Deutschen, können ein einzelnes Phonem repräsentieren.) Die deutsche Sprache hat zwischen 38 und 44 Phonemen. Die kleinsten Bedeutungseinheiten in einer Sprache nennt man **Morpheme**. Dabei handelt es sich um kurze Sequenzen von Phonemen. Morpheme werden wiederum zu **Wörtern** zusammengesetzt. Laut Schulte-Körne (1999) ist zudem zwischen den „Stufen“ der **Phoneme** und **Morpheme** die Stufe der **Silben** gelagert. **Silben** setzen sich aus mehreren Phonemen zusammen, sind die kleinsten lautlichen Einheiten, die den Redestrom segmentieren, sind aber per se noch nicht bedeutungstragend wie Morpheme. Die Wörter werden für den fließenden Sprachgebrauch in einem **mentalen Lexikon** abgespeichert, das etwa 60 000 bis 120 000 Wörter enthält. Die Struktur oder **Grammatik** der Sprache kann in zwei Regelwerke untergliedert werden: 1) Regeln für die Kombination von Phonemen zu Wörtern (**Morphologie**) und 2) Regeln für die Kombination von Wörtern zu Ausdrücken und Sätzen (**Syntax**)

### Phonologische Bewusstheit

bezeichnet die Fähigkeit, die lautlichen Strukturen von Sprache und Schrift zu erkennen (also das Bewusstsein zu haben, dass alle Wörter aus Phonemen aufgebaut sind) und mit der lautlichen Sprache zu operieren. Hierbei ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Phonologische Bewusstheit ein Überbegriff für verschiedene lautanalytische Prozesse (Reimen, Lautanalysen etc.) ist. Die Operationalisierung der phonologischen Bewusstheit erfolgt in der Literatur meist über die Manipulation von verschiedenen Sprach- bzw. Lauteinheiten.

### **Graphem-Phonem-Korrespondenzregel**

bezeichnet das Wissen um die Zugehörigkeit vom Schrift- zum Lautbild. In einer Sprache wie dem Deutschen gibt es bis auf wenige Abweichungen sehr klare Regeln, welcher Buchstabe (Graphem) welchem Sprachlaut (Phonem) zugeordnet ist. Der Erwerb dieses Wissens um die Zugehörigkeit (Korrespondenz) des jeweiligen Graphems zum jeweiligen Phonem ist ein wesentlicher Bestandteil des Schriftspracherwerbs.

### **Assemblierte Lesestrecke**

ist eine Begrifflichkeit aus dem Rahmen des Dual-Route-Modells. Gemäß diesem Modell werden unbekannte Wörter durch die sukzessive Umwandlung der Grapheme in Phoneme erlesen. Diese Phoneme werden dann zu einem wortspezifischen phonologischen Code zusammengesetzt (assembliert) worüber das Wort dann im mentalen Lexikon abgerufen werden kann.

### **Adressierte Lesestrecke**

bezeichnet gemäß dem Dual-Route-Modell den Fall, dass wohlbekanntes Wortmaterial nicht darüber erlesen wird, dass es zunächst in seinen phonologischen Code umgewandelt wird, sondern über einen direkten Abgleich der Wortform im mentalen Lexikon.

9. Anhang: Vorexperiment und erster Teil des Stimulationsmaterials (Bedingung A)

Neuropsychologische Ergebnisse (Reaktionszeiten) des Vorexperiments:

Ergebnisse (Kinder mit LRS; N=15) vs. Ergebnisse (Erwachsene Kontrollprob.; N=17)

	Zeit		Fehler		Min		Max		Kleinste		Größte	
	K_LRS	E_KG	K_LRS	E_KG	Kinder	KG_E	Kinder	KG_E	Kinder	KG_E	Kinder	KG_E
BSL	2.547	1.708	4	3.765	1.505	1.024	1.505	3.442	1.505	0.390	8.630	6.590
NWL	2.403	1.439	2	0.75	1.219	0.866	1.219	3.243	1.219	0.660	8.510	6.260
HFL	1.969	1.059	1.867	0.529	1.111	0.728	1.111	1.858	1.111	0.600	6.700	3.020
NWR	3.131	1.437	4.267	1.235	1.542	0.932	1.542	3.189	1.542	0.660	15.160	10.000
HFR	2.245	1.128	3	0.471	1.247	0.774	1.247	2.540	1.247	0.550	8.950	8.730
SLH	2.161	1.417	2.133	1	1.152	0.889	1.152	2.734	1.152	0.660	8.620	5.110

BSL: Buchstabenvergleichen, NWL: Nonwortlesen, HFL: hochfrequentes Wortlesen, NWR: Nonwortreimen, HFR: hochfrequentes Wortreimen, SLH: Musterabgleich

Stimulationsmaterial / erster Teil:

Bedingung A: Musterabgleich

8 Schrägstriche(Slashes):

	
(gleich)	(gleich)
	
(ungleich)	(ungleich)

10 Schrägstriche (Slashes):

	
(gleich)	(gleich)
	
(ungleich)	(ungleich)

12 Schrägstriche (Slashes):

	
(gleich)	(gleich)
	
(ungleich)	(ungleich)

## 9. Anhang: Fortsetzung Stimulationsmaterial

### Bedingung B: Buchstabenreihen vergleichen

Block1:	Block2:	Block3:	Block4:	Block5:	Block6:
rrrr rrrr	ddhd dhdd	zzmzz mzzzz	pppep ppepe	yymyy myyyy	jjdjj jjdjj
ggwggg gwgagg	lllbl lllbl	blbb blbb	blbb blbb	ppprp pprpr	hhphh hhphh
bkkb bkkb	mmbmm mmbmm	ffpff ffpff	ccclcc cclccc	ffmf mfff	gkkg gkkg
vfvv vfvv	plppp pplpp	dddmd dmdddd	rrdr rrrr	xxdx xxxdx	kkfkk kkfkk
dddsdd ddsddd	kkkmkk kkkmkk	jjbjj jjbjj	mmdmm mmdmm	llfl llfl	qzqq qzqq
yysyy yyyyy	hhmh hmhh	llhl llhl	plpp plpp	skss skss	nnnnc nnnnc
jjqjj jqjjj	yfyf yfyf	nnbn nnbn	ddmd dddd	kkdkk kdkkk	didd dddd
ssgss ssgss	hhfh hfhf	ppmpp pppmp	vvfv vfvv	ddmd dddd	ppdpp pppdp
nnngn nnnng	glggg glggg	ddbdd dbddd	ffcff fccff	rlrr rlrr	kkkrkk kkrkkk
ggggg ggggg	nxnn nxnn	rlrr rlrr	hzhh hzhz	hhhrhh hhrhhh	txtt txtt
wwwwhw wwwwhw	ddmd dddd	yyhy yhyy	jjmjj jmjjj	mdmm mmdmm	dlddd dlddd
sgss ssgs	llbl llbl	tttd tttd	kkkrk kkrkk	pxpp pxpp	nnnnd nnnnd
wwwwhw wwwwhw	dddmd dddmd	nnnmm nnnmm	llml llml	yycyy ycyyy	sssmss ssmss
mlmm mlmm	ccjcc cccjc	qqqrq qqrqq	qqmqq qqmqq	bbdbb bdbbb	ppjppp pppjp
kkkskk kkskk	pprpp ppprp	blbbb blbbb	llml llml	clccc cclccc	wwwdw wwwdw
ddsd dddd	bbpbb bpbpb	kkkkk kkkkk	yyyyy yyyyy	pmppp pmppp	sssls sssls
nnngnn nnnng	mmbmm mmbmm	fffbf ffbff	ccwcc ccwcc	ddpddd ddpddd	yyly yyly
zzdzz zzzdz	klkk klkk	ckcc ckcc	nnnmm nnnmm	llyll llyll	mfmnm mfmnm
cchc chcc	yygy ygyyy	qlqq qqllq	dkdd dkkd	rzrr rzrr	zzmzz zzzmz
llrl llrl	nnrn nnnrn	bbbrb bbrbb	vvvvlv vvvvlv	kkkmkk kkmkk	dldddd dldddd
hhsh hshh	vvdv vvvdv	lxll lxll	ccccc cccccc	rrrrr rrrrr	nnnnn nnnnn
qlqq qlqq	ccccc cccccc	fffrf ffrff	wfwf wfwf	ppppp ppppp	zzmzz mzzzz
fzff ffzf	hhmhh hhmhh	ggdgg ggdgg	nnwnn nnnwn	hhdhh hhdhh	yydyd yydyd
pppwp pppwp	rrrr rrrr	nnjnn nnnjn	cclcc cclcc	rrrr rrrr	didd dddd

### Bedingung C: hochfrequente Wörter vergleichen

Block1:	Block2:	Block3:	Block4:	Block5:	Block 6
Dorf Dorf	Kind Knie	Doktor Doktor	Schiff Schritt	Paar Park	Wind Witz
Zeichen Zeitung	Eingang Eingang	Brücke Bühne	Bahnhof Bahnhof	Wohnung Wohnung	Stelle Steuer
Becher Bauer	Hand Hang	Hals Haus	Unterricht Unterricht	Stuhl Sturm	Zuschauer Zuschauer
Familie Familie	Rolle Rolle	Freitag Freitag	Acker Alter	Versehen Verwandte	Klappe Klasse
Pause Pflanze	Bewegung Besuch	Vater Vetter	Werkzeug Werkzeug	Griff Griff	Nest Nest
Kleid Kleid	Küche Kirche	Interesse Interesse	Treppe Teller	Schild Schlaf	Brunnen Brunnen
Mitteilung Munition	Flasche Flasche	Haustür Haustür	Freundin Freundin	Spiegel Spiegel	Nachbar Nachmittag
Blume Blume	Fieber Finger	Hälfte Hilfe	Großmutter Großmutter	Weile Wille	Glück Glück
Stadt Stadt	Mädchen Mädchen	Pferd Pferd	Loch Land	Eisenbahn Eisenbahn	Sommer Sonne
Garten Graben	Mann Mund	Salz Sand	Wand Wald	Moment Moment	Stückchen Stückchen
Wiege Winter	Strecke Strecke	Jahr Jahr	Dienstag Dienstag	Sitz Stirn	Decke Deckel
Platz Prinz	Tasche Tasche	Vorstellung Vorstellung	Teil Tier	Onkel Ostern	Wagen Wasser
Sonnabend Sonnabend	Gewitter Geschwister	Woche Wolle	Verkäufer Verbrecher	April April	Kilometer Kilometer
Bach Bahn	Rätsel Räuber	Regen Rücken	Sekunde Sekunde	Freude Feuer	Kaffee Kaffee
Kreis Kreuz	Baum Baum	Zeit Zeit	Ende Erde	Rock Rock	Mantel Mauer
Monat Montag	Mensch Mensch	Zylinder Zylinder	Sonntag Sonntag	Schleier Scheibe	Berg Bord
Reihe Reihe	Glocke Größe	Gelb Geld	Ball Bett	Schwester Schwester	Schulter Schulter
Freund Freund	Verband Verkehr	Stein Spiel	Lehre Leute	Streifen Streifen	Gang Gast
Aufregung Augenblick	Donnerstag Donnerstag	Nachbar Nachbar	Seite Seite	Fahrt Fahrt	Geschäft Geschäft
Gewehr Gewehr	Fleck Fleck	Geburtstag Geschichte	Punkt Punkt	Tafel Tante	Name Nase
Tisch Trost	Vogel Vorrat	Prinzessin Prinzessin	Höhle Hotel	Durst Durst	Minute Minute
Aufgabe Aufgabe	Hauptmann Hauptmann	Bank Band	Kunststück Kunststück	Dame Daumen	Schnee Schnee
König Körper	Stück Stock	Schlüssel Schlüssel	Schule Schlange	Glas Gras	Polizei Porzellan
Fenster Fenster	Glut Glut	Angst Arzt	Buch Blut	Kaufmann Kaufmann	Zimmer Zimmer

## 9. Anhang: Fortsetzung Stimulationsmaterial

### Bedingung D: Nonwörter vergleichen

NWL / Block1	NWL / Block2	NWL / Block3	NWL / Block4	NWL / Block5	NWL / Block6
Vorbranf Vorkarf	Weud Wend	Plett Prent	Brador Brador	Genk Getz	Schkoi Schkoi
Zolwur Zolwur	Hähöl Hätöl	Arseub Arseub	Wult Wulk	Sunser Sunser	Roigan Roickan
Dolku Dokul	Paun Paun	Nichfurchat Nichmuttat	Heustmell Heustmell	Zalandruk Zalandruk	Bech Blet
Fonstar Fonstar	Oisanbin Oisanbin	Nohull Nohull	Straufin Straufin	Känug Kärpur	Studdchin Studdchin
Colsinau Colsinau	Kachu Karchu	Tesel Telse	Antorhiltung Antorhiltung	Worzaud Worzaud	Mener Meset
Stol Stam	Doinsleg Doinsleg	Uldor Uldor	Röks Röks	Luch Lend	Nost Nost
Burp Burd	Malch Malch	Möflzaut Möflzaut	Rister Rilber	Schlobul Schlobul	Kreus Kreun
Dunerstig Dunerstig	Ponks Ponks	Gortan Goban	Kups Kups	Wärz Wärz	Wuneng Wuneng
Ledön Lestör	Munet Munteg	Kallor Kattor	Woilo Wiloir	Gorult Gosult	Kilkumesar Kilkunetar
Moir Moir	Stetiun Stetiun	Pfärf Pfärf	Relg Reld	Hags Hags	Gruls Gruls
Wogur Wontur	Benk Bend	Gilbs Gilds	Mend Menn	Vussel Vurret	Pulazän Purzalän
Enswurp Enswurp	Dutkur Dutkur	Panzisson Panzisson	Vursolluns Vursolluns	Stoin Spoll	Hangur Hangur
Melsch Melsch	Firt Firt	Stindo Stindo	Hich Hilz	Strocko Strocko	Schloir Schoibu
Mattauling Manautin	Froimo Foimor	Matsir Matir	Tropke Tolke	Kond Knoi	Varsohnu Varwundu
Mürs Mürs	Gaswudet Gaswundeg	Wond Wotz	Kloid Kloid	Jeur Jeur	Benflut Benflut
Fild Fild	Durt Durt	Mogsch Mogsch	Gabutstig Gabucti	Zauchun Zautung	Anteraucht Anteraucht
Hölsta Hölsta	Shaß Sheß	Bichir Belir	Fränsäck Frähjäck	Mosuk Mosuk	Fuiber Fungor
Mamest Mamest	Ufan Ufan	Ucke Ukle	Asson Asson	Boispal Boispal	Bils Bitl
Efpepe Efpepe	Stebu Stebu	Lest Lest	Fren Fren	Intscheldo Intscherda	Gröck Gröck
Deme Doimo	Luhra Luita	Heustär Heustär	Mostrü Muttrü	Giwihl Giwihl	Tenk Taug
Trolls Truls	Gowuttir Gowustir	Wegek Wesek	Bawigong Baschribong	Euge Elte	Zoschoier Zoschoier
Statzo Statzo	Midchon Midchon	Glaugewaz Glaugewaz	Gifauhl Gifauhl	Hönd Höng	Hels Heus
Femalau Femalak	Wuche Wunle	Preuser Prenzer	Mosswuch Mosswuch	Frindt Frindt	Kufsumm Kufsumm
Bech Behn	Pequier Pequier	Deunst Deunst	Ücker Ülter	Woinuktin Woinuktin	Imdo Irdo

### Bedingung D: Nonwörter reimen

NWR / Block1	NWR / Block2	NWR / Block3	NWR / Block4	NWR / Block5	NWR / Block6
Zimm Bimm	Guld Buld	Waukol Wilkor	Bard Nard	Smull Kull	Loik Leuko
Büchi Bäla	Roim Soim	Hind Mind	Mernd Murnt	Rirst Rilb	Burd Nurd
Varso Varwo	Gaurilt Gausult	Romm Bomm	Baul Taul	Tromm Promm	Kärug Kärpus
Leis Keis	Berlsa Berlte	Bemk Bemd	BriRp Brurd	Wuhse Wuslo	Zoile Moile
Hilso Hesol	Finn Tinn	Fill Rill	Ledran Leströr	Pfoil Soil	Sunna Wunna
Mamm Tamm	Plutt Prunt	Schled Schlix	Sunne Wunne	Barig Basrib	Fromo Fomor
Beum Teum	Beier Neier	Rande Wande	Rauter Dauter	Lufir Lofin	Motter Botter
Gortin Gobon	Wotul Wontuk	Pesten Kesten	Roistan Roistaun	Zalle Malle	Nammer Tammer
Poller Toller	Tosche Mosche	Euse Elze	Nuse Huse	Metter Getter	Mont Molst
Prek Prenk	Blöch Böhn	Mattol Manolt	Ükerl Ülker	Meine Mesa	Trocks Truck
Mosser Kosser	Marbe Karbe	Sanne Lanne	Durde Murde	Dusse Susse	Wulle Dulle
Fuitor Funtor	Tolbe Molbe	Viter Siter	Grilbs Grild	Tripko Tilko	Demse Doimso
Dunner Sunner	Knad Knog	Krius Kriun	Timmer Mimmer	Kommer Nommer	Flimme Plimme
Schloz Schoiz	Matsar Matil	Unelb Unerbst	Strain Spail	Gsel Gnen	Wotter Rotter
Mettag Tetttag	Ruld Kuld	Kaul Raul	Munrest Muntreg	Motreu Mottau	Stolf Stord
Delku Dokels	Omst Ebst	Nechfurt Nechmut	Ralle Walle	Juse Kuse	Kimmer Limmer
Lester Gester	Limm Simm	Schromm Dromm	Hetter Ketter	Höng Höln	Lommer Tommer
Raste Waste	Schalsu Schlelsa	Bricko Buhno	Hölbta Hörbter	Xarbe Jarbe	Haux Honx
Klimsi Klöppi	Hicht Hiltz	Doil Goil	Xunne Runne	Zauchu Zauto	Klimme Blimme
Durd Lurd	Somm Nomm	Surlz Sulnt	Terst Talse	Kolbe Dolbe	Notter Kotter
Scholf Schrofl	Dies Sies	Noile Doile	Bauter Kauter	Fräns Frähj	Pulaz Purzil
Mull Wull	Ünfeilk Ünseink	Gowut Gowust	Danne Nanne	Öcke Uklö	Trople Tolpte
Sumker Sunkar	Ramm Wamm	Vurkol Vurbrolt	Edras Eutan	Jurde Surde	Josser Gosser
Kilku Kercha	Shals Shels	Runna Kunna	Luch Lönd	Stol Stam	Böch Bleut

*Wortliste phonologische Bewusstheit für zweite bis vierte Klasse*

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

**Aufgabe: Ersetze die Selbstlaute durch i !**

- |        |          |           |            |
|--------|----------|-----------|------------|
| 1. Fuß | 6. Glas  | 11. Ente  | 16. Vogel  |
| 2. Tag | 7. Fuchs | 12. Krone | 17. Unfall |
| 3. Ohr | 8. Wolf  | 13. Nagel | 18. Hafen  |
| 4. Bus | 9. Draht | 14. Affe  | 19. Backe  |
| 5. Reh | 10. Zelt | 15. Tasse | 20. Abend  |

Fehlerzahl: \_\_\_\_\_

Gesamtzeit: \_\_\_\_\_

*Wortliste phonologische Bewusstheit für Kinder ab der fünften bis zur neunten Klasse*

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

**Aufgabe: Setze den ersten Buchstaben des Wortes an das Ende des Wortes und füge dann**

**-ein an. Bsp.: Plan - Lanpein**

- |          |           |             |             |
|----------|-----------|-------------|-------------|
| 1. Ball  | 6. Stirn  | 11. Haken   | 16. Truhe   |
| 2. Platz | 7. Turm   | 12. Flasche | 17. Nadel   |
| 3. Wald  | 8. Plan   | 13. Boden   | 18. Plastik |
| 4. Kleid | 9. Nest   | 14. Stube   | 19. Kamel   |
| 5. Huhn  | 10. Knopf | 15. Decke   | 20. Glatze  |

Fehlerzahl: \_\_\_\_\_

Gesamtzeit: \_\_\_\_\_

9. Anhang: Wortlisten / Leseexperiment

---

*Wortliste phonologische Bewusstheit für Jugendliche ab der neunten Klasse und Erwachsene*

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

**Aufgabe: Setze den ersten Buchstaben des Wortes an das Ende des Wortes und füge dann  
-ein an. Bsp.: Kleid - Leidkein**

- |           |            |            |            |
|-----------|------------|------------|------------|
| 1. Berge  | 6. Laute   | 11. Krone  | 16. Nebel  |
| 2. Drama  | 7. Pfennig | 12. Marmor | 17. Zweige |
| 3. Firma  | 8. Tempel  | 13. Klage  | 18. Handel |
| 4. Grenze | 9. Platte  | 14. Roman  | 19. Prozeß |
| 5. Kirche | 10. Winter | 15. Spitze | 20. Feder  |

Fehlerzahl: \_\_\_\_\_

Gesamtzeit: \_\_\_\_\_

*Wortliste zur phonologischen Dekodierfähigkeit für Kinder der zweiten Klasse: einsilbige sinnvolle Wörter und Nichtwörter*

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

**Aufgabe: Lies die Wörter der Reihe nach laut vor!**

**Sinnvolle Wörter:**

Haus	Arm	Dach	Fehlerzahl: _____
Ball	Tisch	Spaß	Gesamtzeit: _____
Rad	Zahn	Blatt	
Fuß	Wald	Knie	
Ohr	Eis	Stein	

**Nichtwörter:**

Kaus	Irm	Zach	Fehlerzahl: _____
Balk	Nisch	Spak	Gesamtzeit: _____
Lad	Zaht	Klatt	
Fup	Rald	Knir	
Ohl	Eib	Steit	

*Wortliste zur phonologischen Dekodierfähigkeit für Kinder der zweiten Klasse: dreisilbige sinnvolle Wörter und Nichtwörter*

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

**Aufgabe: Lies die Wörter der Reihe nach laut vor!**

**Sinnvolle Wörter:**

Kaninchen	Geburtstag	Großmutter	Fehlerzahl: _____
Fernsehen	Abschlepper	Anhänger	Gesamtzeit: _____
Königin	Krokodil	Lastwagen	
Autobahn	Geschichte	Radfahrer	
Prinzessin	Eisenbahn	Krankenhaus	

**Nichtwörter:**

Kanuncher	Gabartstig	Grußmettur	Fehlerzahl: _____
Lernsahen	Alschlupper	Abhungir	Gesamtzeit: _____
Känuga	Kludedal	Lestwugga	
Eutabehn	Guschachte	Redfuhrer	
Prunsassin	Ausenbuck	Krickenhies	

*Wortliste zur phonologischen Dekodierfähigkeit für Kinder der dritten und vierten Klasse: einsilbige sinnvolle Wörter u. Nichtwörter*

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

**Aufgabe: Lies die Wörter der Reihe nach laut vor!**

**Sinnvolle Wörter:**

Jahr	Glas	Kinn	Fehlerzahl: _____
Sand	Zelt	Punkt	Gesamtzeit: _____
Bein	Fisch	Loch	
Luft	Stirn	Draht	
Buch	Zeit	Baum	

**Nichtwörter:**

Mahr	Glad	Linn	Fehlerzahl: _____
Sang	Zelk	Sunkt	Gesamtzeit: _____
Beid	Kisch	Boch	
Luff	Stirl	Drahl	
Nuch	Zeim	Bauk	

9. Anhang: Wortlisten / Leseexperiment

---

*Wortliste zur phonologischen Dekodierfähigkeit für Kinder der dritten und vierten Klasse: dreisilbige sinnvolle Wörter u. Nichtwörter*

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

**Aufgabe: Lies die Wörter der Reihe nach laut vor!**

**Sinnvolle Wörter:**

Weihnachten	Schäferhund	Polizei	Fehlerzahl: _____
Kasperle	Brennessel	Schwesterchen	Gesamtzeit: _____
Fledermaus	Schildkröte	Geschichte	
Geschwister	Bürgersteig	Motorrad	
Elefant	Cousine	Doppelbett	

**Nichtwörter**

Wauhrichter	Schuferkend	Palozau	Fehlerzahl: _____
Kusperla	Brannissel	Schwastarchin	Gesamtzeit: _____
Fludermies	Schaldrate	Gaschuchte	
Gaschwustar	Bargerstieg	Mutturred	
Alufint	Keusane	Deppelbratt	

*Wortliste zur phonologischen Dekodierfähigkeit für Kinder der fünften bis zum Ende der neunten Klasse: einsilbige sinnvolle Wörter u. Nichtwörter*

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

**Aufgabe: Lies die Wörter der Reihe nach laut vor!**

**Sinnvolle Wörter:**

Spiel	Fell	Schluß	Fehlerzahl: _____
Witz	Blick	Stall	Gesamtzeit: _____
Pfau	Dach	Zug	
Griff	Knopf	Heu	
Kies	Tuch	Gold	

**Nichtwörter:**

Spien	Nell	Schlut	Fehlerzahl: _____
Ritz	Blich	Stalk	Gesamtzeit: _____
Pfas	Vach	Mug	
Briff	Knoff	Keu	
Kiem	Duch	Golg	

9. Anhang: Wortlisten / Leseexperiment

---

*Wortliste zur phonologischen Dekodierfähigkeit für Kinder der fünften bis zum Ende der neunten Klasse: dreisilbige sinnvolle Wörter u. Nichtwörter*

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

**Aufgabe: Lies die Wörter der Reihe nach laut vor!**

**Sinnvolle Wörter:**

Achterbahn	Tortenschlacht	Pappdeckel	Fehlerzahl: _____
Lenkstange	Reißverschluß	Metzgerei	Gesamtzeit: _____
Bauernhof	Sessellift	Blumenbeet	
Mülleimer	Hubschrauber	Strohballen	
Bauchklatscher	Eichhörnchen	Feuerchen	

**Nichtwörter:**

Uchterbuhn	Turtenschlicht	Pippdickel	Fehlerzahl: _____
Lankstenge	Raußvarschliß	Mutzgarau	Gesamtzeit: _____
Beierhaf	Sussellaft	Blimenbert	
Millümar	Scheuberhab	Strihbellar	
Beichklutschar	Auchhernchen	Fauercher	

*Wortliste zur phonologischen Dekodierfähigkeit für Erwachsene*

Name: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

**Aufgabe: Lesen Sie die Wörter der Reihe nach laut vor!**

**Sinnvolle Wörter:**

Namen	Kultur	Anmut	Fehlerzahl: _____
Verhältnisse	Verbesserung	Verteidiger	Gesamtzeit: _____
Meinung	Kohlen	Substanz	
Gelegenheit	Gefangenen	Vollkommenheit	
Herzog	Pulver	Klima	
Paragraphen	Übersetzung	Intelligenz	
Umstand	Ketten	Hinweis	
Forderungen	Oberfläche	Angeklagte	
Unrecht	Ladung	Fortdauer	
Eigenschaften	Übertragung	Bequemlichkeit	
Praxis	Gründung	Gleichheit	
Anerkennung	Beteiligung	Rechtsbelehrung	
Prozeß	Messer	Pöbel	
Beschaffenheit	Korrespondenz	Agitation	
Phosphor	Drama	Deutung	
Philosophie	Operation	Kleinigkeiten	

*Wortliste zur phonologischen Dekodierfähigkeit für Erwachsene*

Name: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

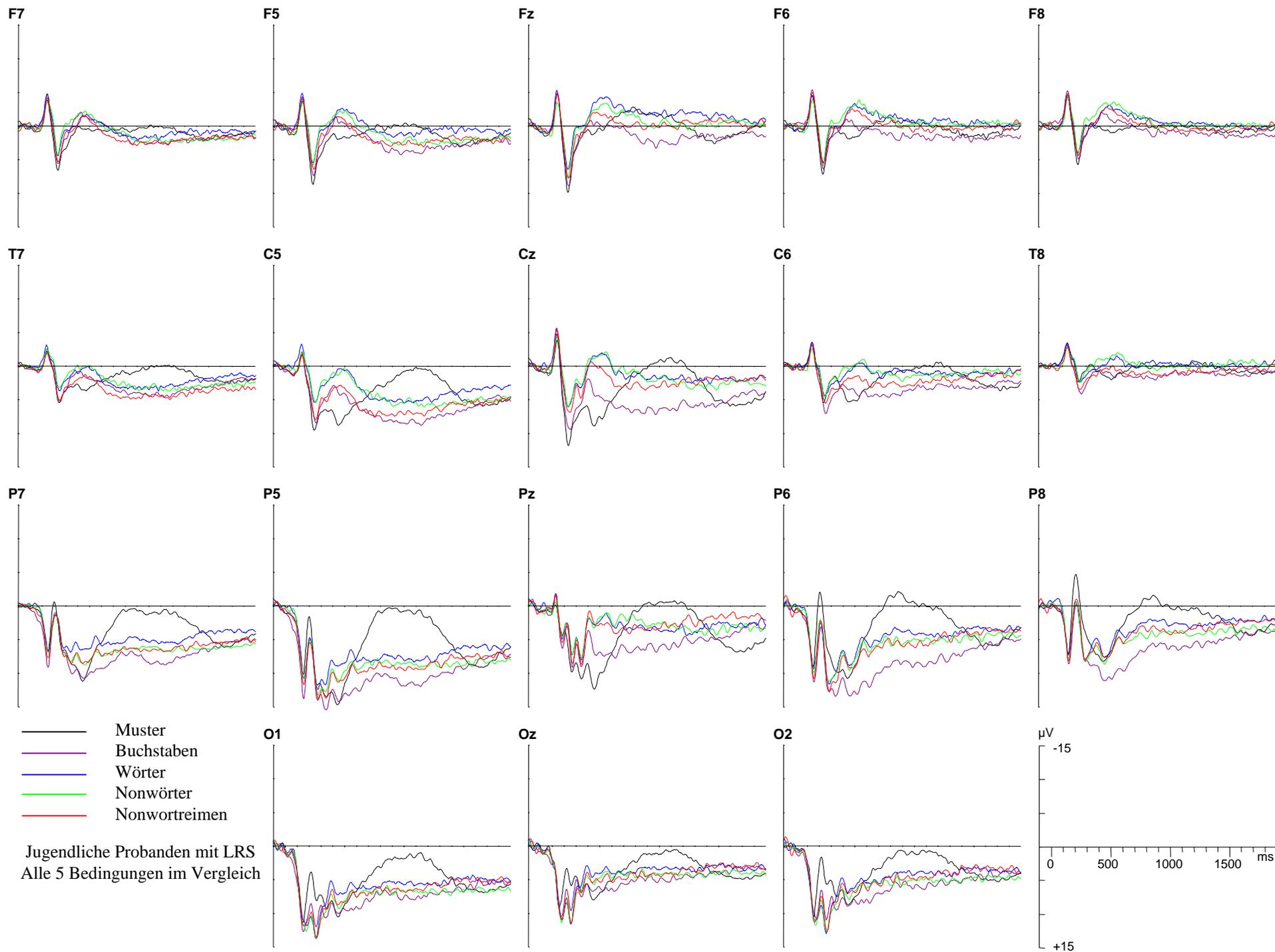
**Aufgabe: Lesen Sie die Wörter der Reihe nach laut vor!**

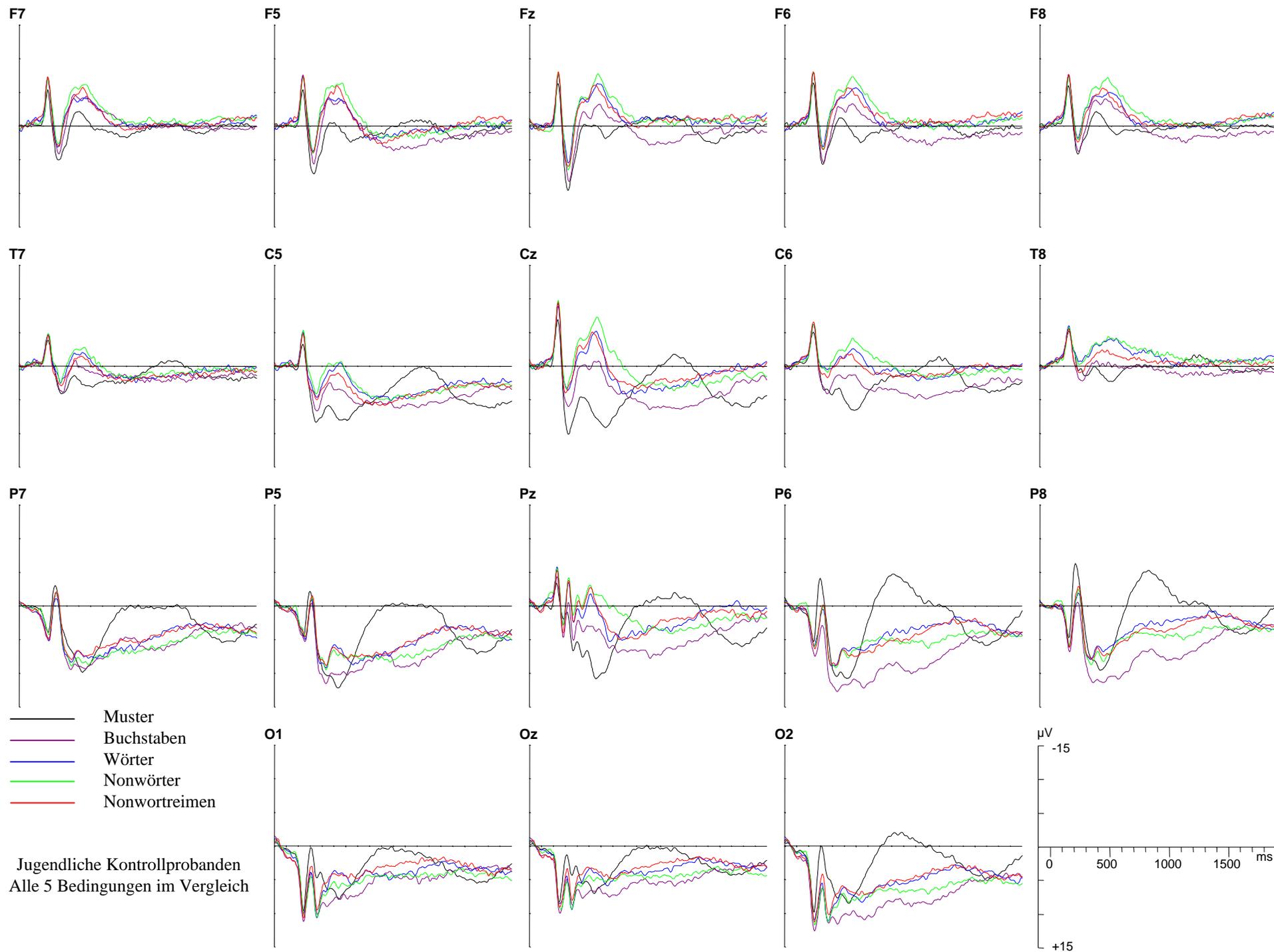
**Nichtwörter:**

Momen	Nislum	Emnat
Werpültnasse	Backtolisung	Warligartur
Tienang	Lopdap	Paksrann
Diligentrut	Denasrelma	Vannlummenkaut
Gerzug	Verras	Tröna
Benaplieren	Ännarzukung	Lankastibaz
Fartamm	Lullan	Sanwiss
Kuntaplaste	Odarklaste	Emredanbar
Uplecht	Fonmas	Kannbied
Löckelzarften	Üfarbraling	Biquamhäutierk
Stuvis	Mücklaun	Glanpfiert
Inerfausing	Fatelaunung	Rackstungedarst
Hetreß	Ressam	Kätal
Lemfassdartaut	Kirasklundanz	Abuletaun
Drossgar	Pafta	Daustag
Klinarogtal	Adarkanta	Greunagtauten

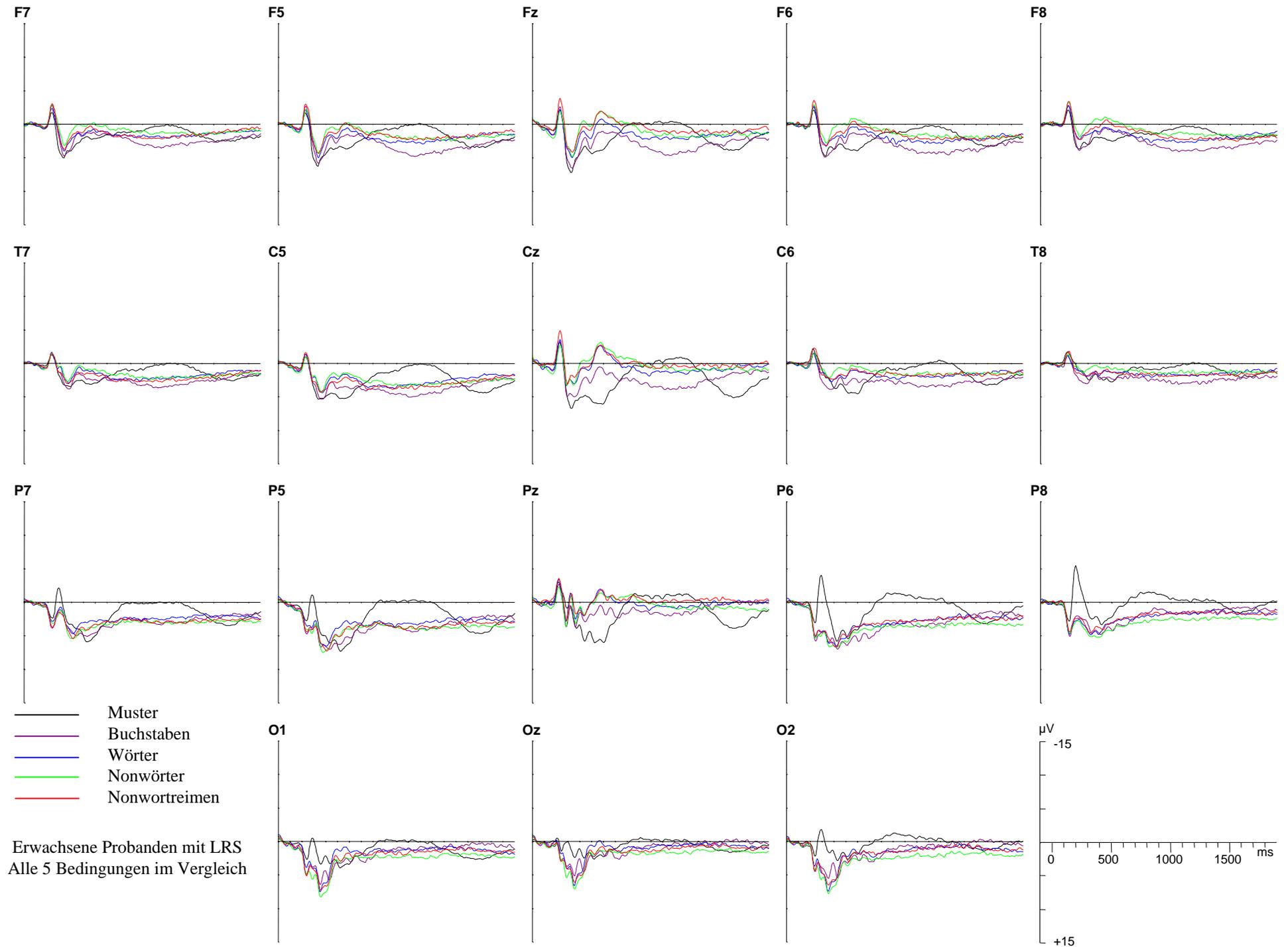
Fehlerzahl: \_\_\_\_\_

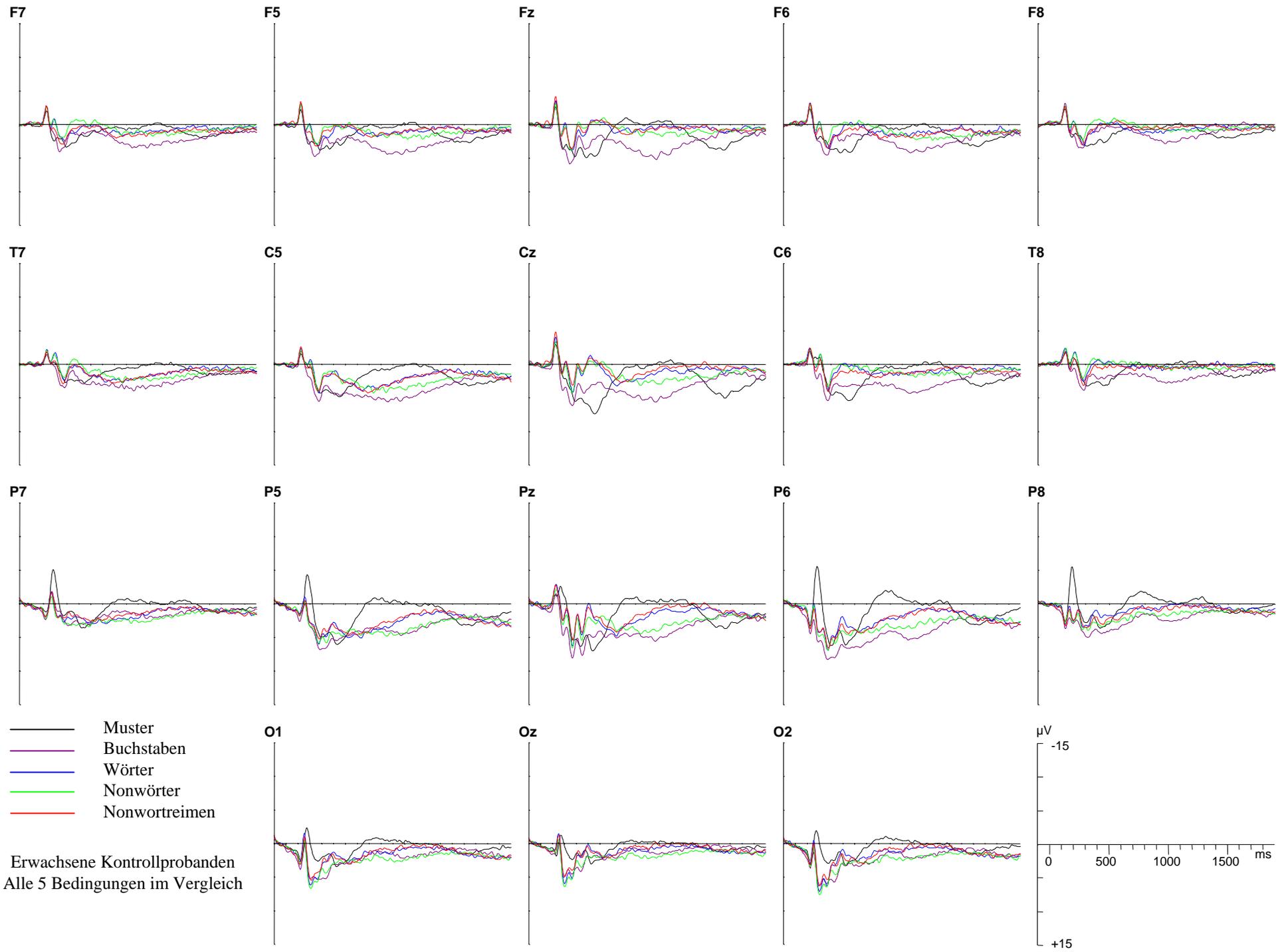
Gesamtzeit: \_\_\_\_\_





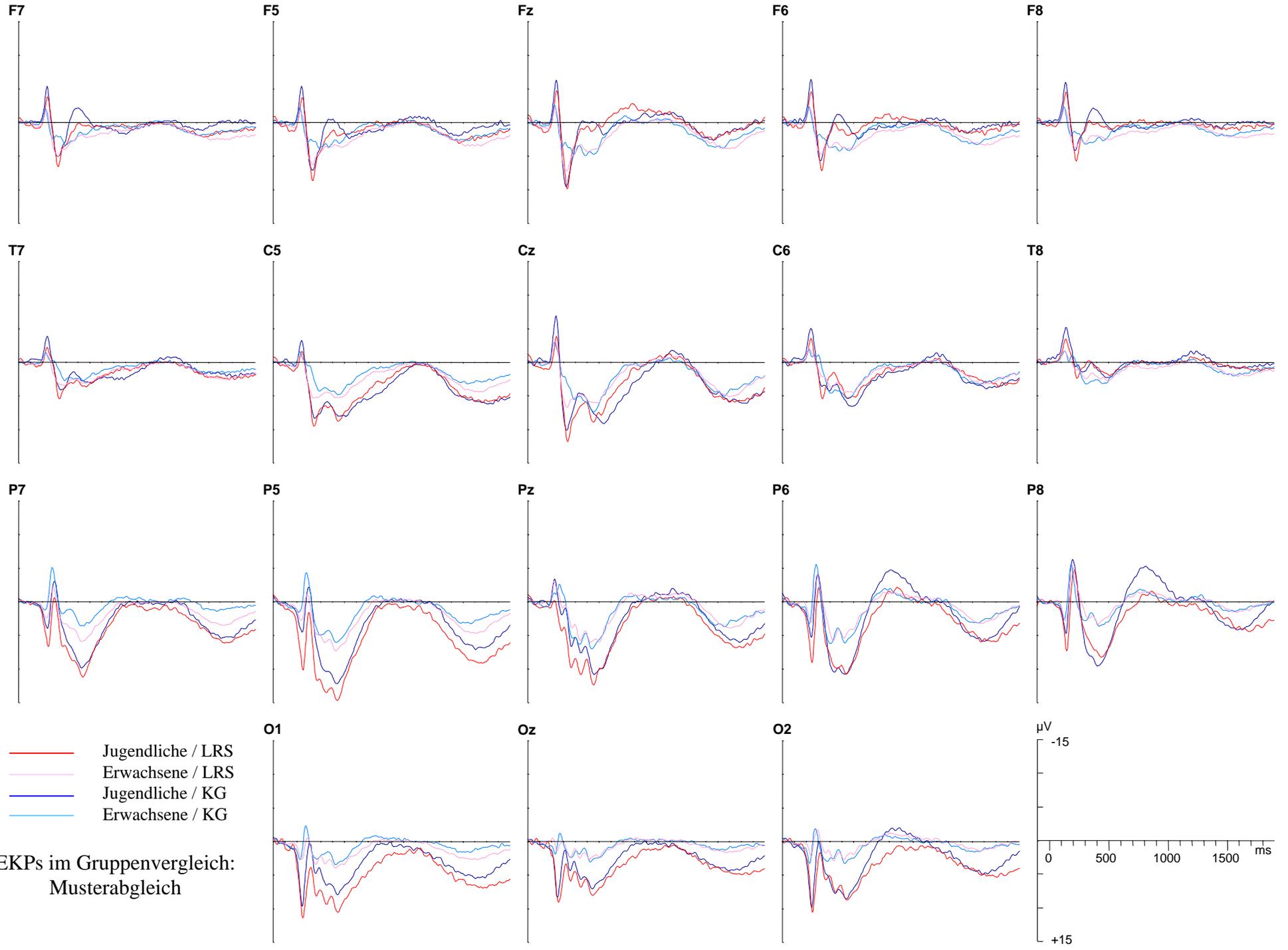
Jugendliche Kontrollprobanden  
Alle 5 Bedingungen im Vergleich



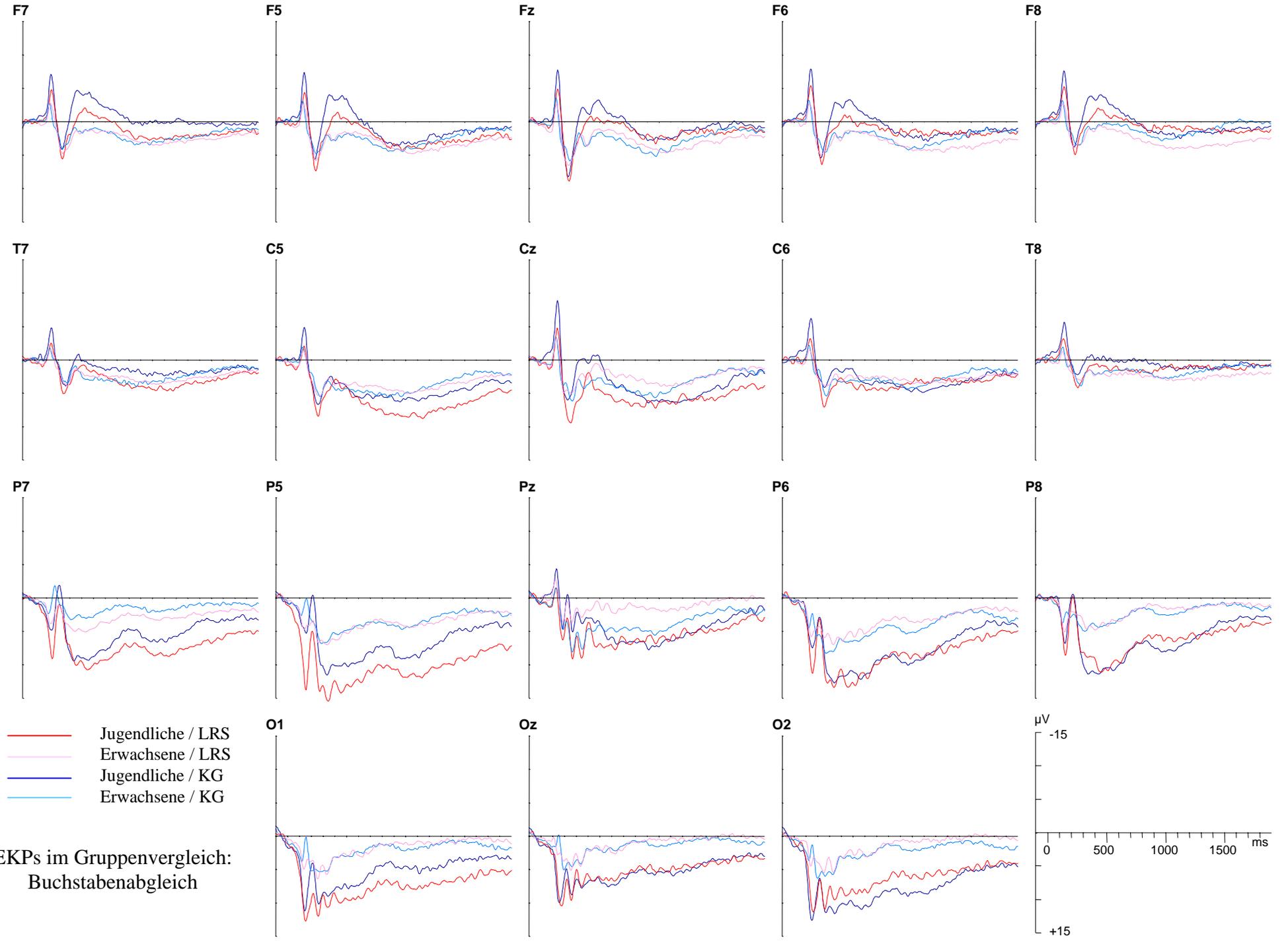


— Muster  
— Buchstaben  
— Wörter  
— Nonwörter  
— Nonwortreimen

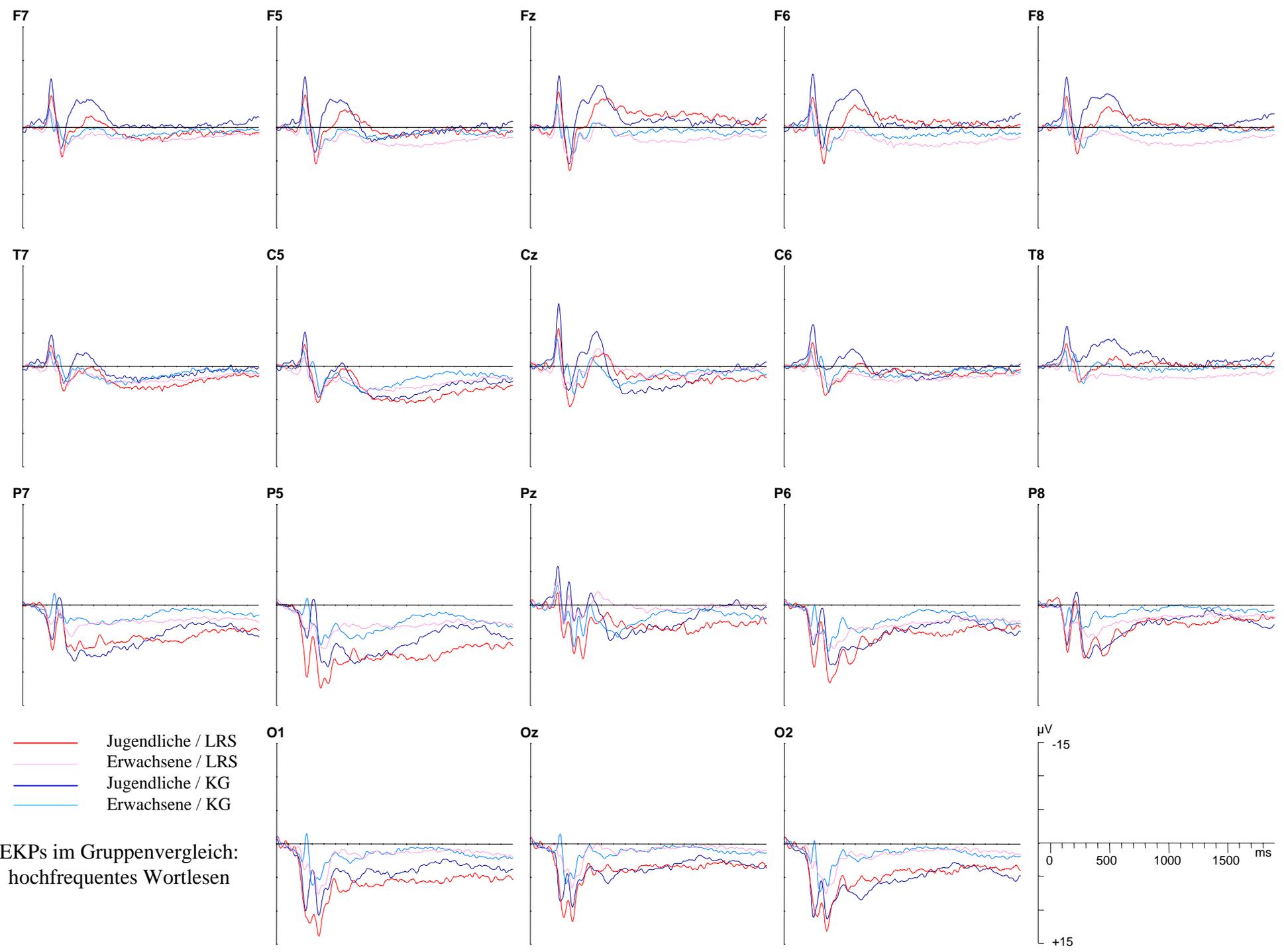
Erwachsene Kontrollprobanden  
Alle 5 Bedingungen im Vergleich



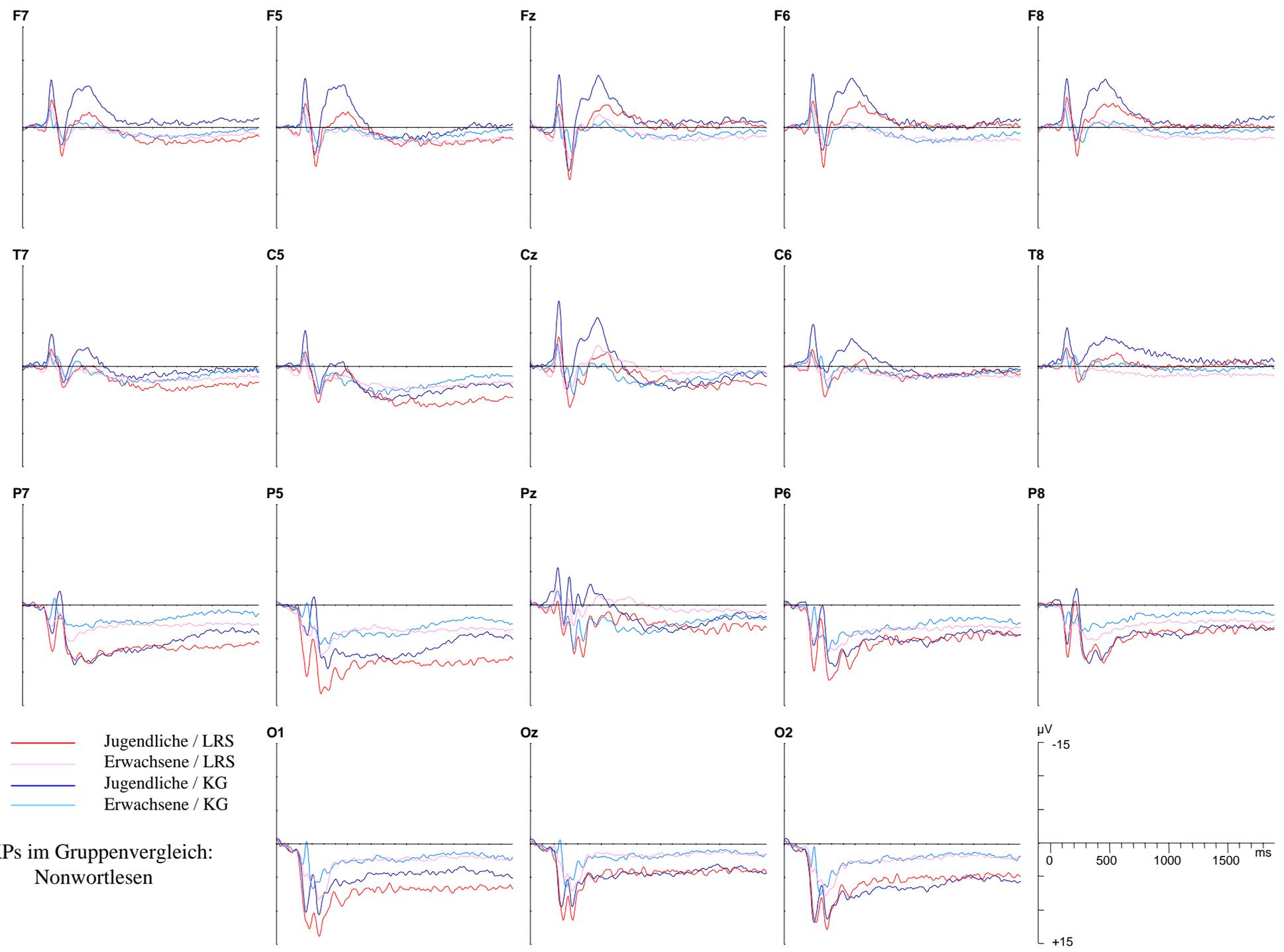
EKPs im Gruppenvergleich:  
Musterabgleich



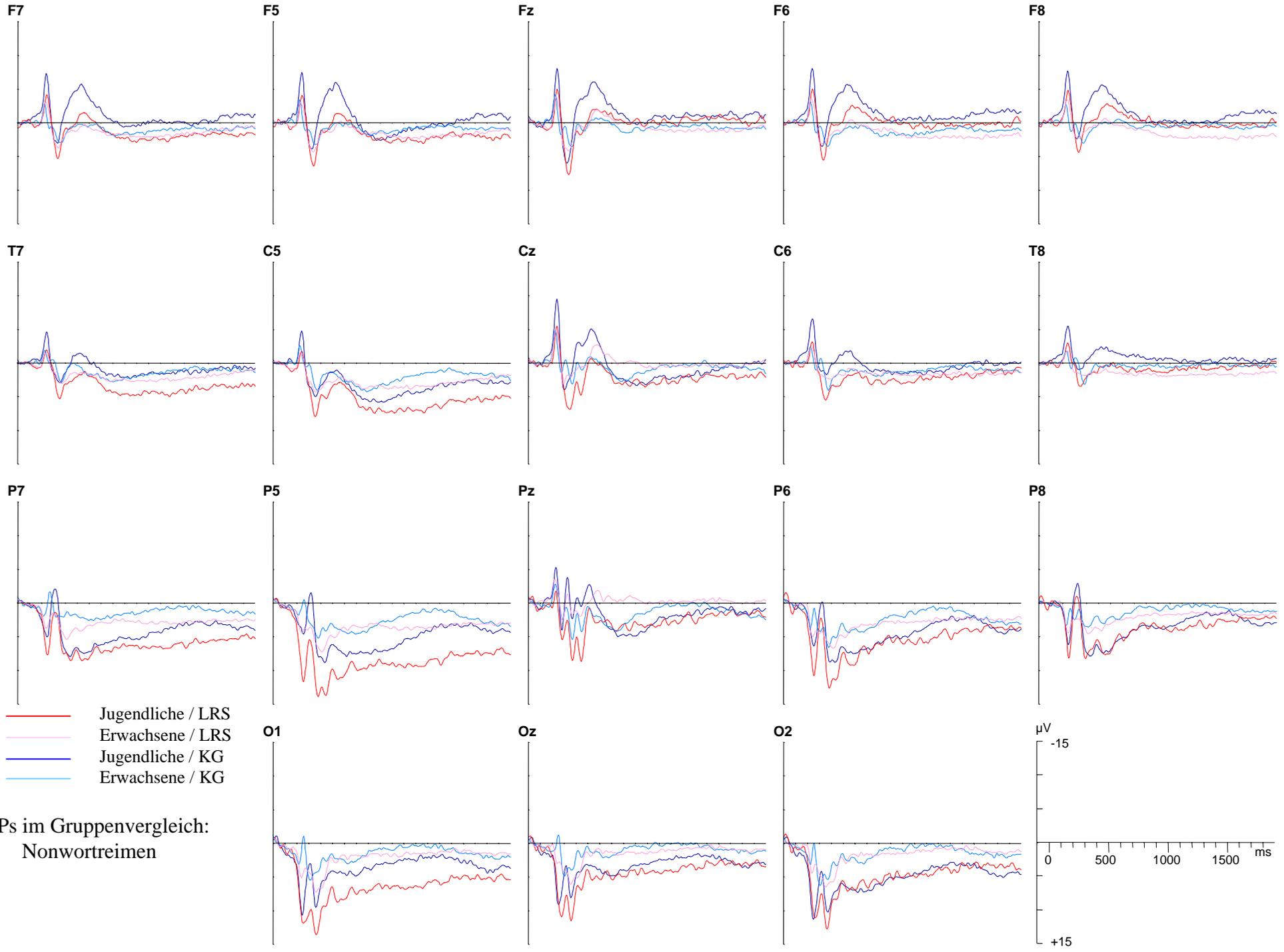
EKPs im Gruppenvergleich:  
Buchstabenabgleich



EKPs im Gruppenvergleich:  
hochfrequentes Wortlesen



EKPs im Gruppenvergleich:  
Nonwortlesen



— Jugendliche / LRS  
— Erwachsene / LRS  
— Jugendliche / KG  
— Erwachsene / KG

EKPs im Gruppenvergleich:  
Nonwortreimen

µV  
-15  
0 500 1000 1500 ms  
+15

## Ergebnisse der SPSS-Analysen

## Normalverteiltheit / Neuropsychologie: (Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest)

### ALTER\_GR = Gr2, LRS = Kontrolle

	ALTEREEG	NV_IQ	RS_IQ	ZLT_F	ZLT_Z	PD_3SFPR	PD_3SZ	PD_3NFPR	PD_3NZ	PB_FPROZ	PB_Z
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,73	0,63	0,50	0,92	1,82	1,28	0,56	0,91	0,73	0,94	0,69
Signifikanz (2-seitig)	0,66	0,82	0,96	0,36	0,00	0,07	0,91	0,38	0,66	0,33	0,73
	D2_KL	S_M_CU	BL_M_CU	HL_M_CU	NL_M_CU	NR_M_CU	SLFPROZ	BLFPROZ	HLFPROZ	NLFPROZ	NRFPROZ
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,86	0,48	0,39	0,72	0,60	0,54	0,73	0,95	0,85	0,60	1,21
Signifikanz (2-seitig)	0,45	0,98	1,00	0,68	0,86	0,93	0,66	0,33	0,46	0,86	0,10

### ALTER\_GR = Gr2, LRS = LRS

	ALTEREEG	NV_IQ	RS_IQ	ZLT_F	ZLT_Z	PD_3SFPR	PD_3SZ	PD_3NFPR	PD_3NZ	PB_FPROZ	PB_Z
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,49	0,90	0,76	0,60	0,83	1,01	0,84	0,51	0,76	0,57	0,49
Signifikanz (2-seitig)	0,97	0,39	0,62	0,86	0,50	0,26	0,48	0,96	0,62	0,90	0,97
	D2_KL	S_M_CU	BL_M_CU	HL_M_CU	NL_M_CU	NR_M_CU	SLFPROZ	BLFPROZ	HLFPROZ	NLFPROZ	NRFPROZ
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,71	0,89	0,59	0,67	0,64	0,44	0,52	0,89	0,43	0,77	0,77
Signifikanz (2-seitig)	0,69	0,41	0,88	0,76	0,81	0,99	0,95	0,95	0,41	0,99	0,59

### ALTER\_GR = Gr3, LRS = Kontrolle

	ALTEREEG	NV_IQ	RS_IQ	ZLT_F	ZLT_Z	PD_3SFPR	PD_3SZ	PD_3NFPR	PD_3NZ	PB_FPROZ	PB_Z
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,48	0,47	0,63	1,42	0,94	1,99	0,94	0,82	0,63	1,48	0,57
Signifikanz (2-seitig)	0,97	0,98	0,82	0,04	0,00	0,34	0,52	0,82	0,03	0,90	0,90
	D2_KL	S_M_CU	BL_M_CU	HL_M_CU	NL_M_CU	NR_M_CU	SLFPROZ	BLFPROZ	HLFPROZ	NLFPROZ	NRFPROZ
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,89	0,81	1,05	0,61	0,52	0,95	1,03	0,62	0,97	1,21	0,61
Signifikanz (2-seitig)	0,41	0,53	0,22	0,85	0,95	0,33	0,23	0,84	0,31	0,11	0,85

### ALTER\_GR = Gr3, LRS = LRS

	ALTEREEG	NV_IQ	RS_IQ	ZLT_F	ZLT_Z	PD_3SFPR	PD_3SZ	PD_3NFPR	PD_3NZ	PB_FPROZ	PB_Z
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,90	0,44	0,66	0,96	1,07	1,03	0,66	0,65	0,65	0,73	0,66
Signifikanz (2-seitig)	0,40	0,99	0,78	0,32	0,20	0,24	0,78	0,79	0,80	0,66	0,77
	D2_KL	S_M_CU	BL_M_CU	HL_M_CU	NL_M_CU	NR_M_CU	SLFPROZ	BLFPROZ	HLFPROZ	NLFPROZ	NRFPROZ
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,65	1,16	0,60	0,71	0,49	0,65	1,39	0,84	0,68	0,67	0,73
Signifikanz (2-seitig)	0,79	0,13	0,86	0,69	0,97	0,79	0,04	0,48	0,74	0,76	0,65





# Normalverteiltheit / Neurophysiologie / Latenzen und Amplituden P100-N100o, P300 (Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest)

## ALTER\_GR = Gr2, LRS = Kontrolle

	L_AT_P1	L_BT_P1	L_CT_P1	L_DT_P1	L_ET_P1	L_AT_P3	L_BT_P3	L_CT_P3	L_DT_P3	L_ET_P3	AT_P3_30
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,32	0,68	0,90	0,90	0,69	0,64	0,75	0,49	0,80	0,69	0,69
Signifikanz (2-seitig)	1,00	0,75	0,39	0,39	0,72	0,80	0,62	0,97	0,54	0,72	0,72
	AT_P3_34	BT_P3_30	BT_P3_34	CT_P3_30	CT_P3_34	DT_P3_30	DT_P3_34	ET_P3_30	ET_P3_34	AT30P1NO	AT34P1NO
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,30	0,74	0,64	0,66	0,64	0,59	0,81	0,92	0,90	0,67	0,63
Signifikanz (2-seitig)	1,00	0,65	0,80	0,78	0,80	0,88	0,53	0,36	0,39	0,76	0,82
	AT36P1NO	AT38P1NO	BT30P1NO	BT34P1NO	BT36P1NO	BT38P1NO	CT30P1NO	CT34P1NO	CT36P1NO	CT38P1NO	DT30P1NO
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,67	0,64	0,43	0,53	0,56	0,63	0,52	0,46	0,52	0,58	0,65
Signifikanz (2-seitig)	0,76	0,81	0,99	0,94	0,91	0,82	0,95	0,98	0,95	0,89	0,79
	DT34P1NO	DT36P1NO	DT38P1NO	ET30P1NO	ET34P1NO	ET36P1NO	ET38P1NO				
N	11	11	11	11	11	11	11				
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,58	0,58	0,53	0,58	0,46	0,38	0,55				
Signifikanz (2-seitig)	0,89	0,89	0,94	0,89	0,99	1,00	0,92				

## ALTER\_GR = Gr2, LRS = LRS

	L_AT_P1	L_BT_P1	L_CT_P1	L_DT_P1	L_ET_P1	L_AT_P3	L_BT_P3	L_CT_P3	L_DT_P3	L_ET_P3	AT_P3_30
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,99	0,89	0,77	0,82	0,68	0,63	0,66	0,71	0,80	0,76	0,59
Signifikanz (2-seitig)	0,28	0,41	0,59	0,51	0,75	0,83	0,77	0,69	0,55	0,61	0,87
	AT_P3_34	BT_P3_30	BT_P3_34	CT_P3_30	CT_P3_34	DT_P3_30	DT_P3_34	ET_P3_30	ET_P3_34	AT30P1NO	AT34P1NO
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,55	0,58	0,67	0,48	0,47	0,51	0,57	0,54	0,79	0,61	0,56
Signifikanz (2-seitig)	0,92	0,88	0,76	0,97	0,98	0,96	0,90	0,94	0,56	0,85	0,92
	AT36P1NO	AT38P1NO	BT30P1NO	BT34P1NO	BT36P1NO	BT38P1NO	CT30P1NO	CT34P1NO	CT36P1NO	CT38P1NO	DT30P1NO
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,52	0,50	0,97	0,73	0,89	0,50	0,95	0,69	0,91	0,61	0,86
Signifikanz (2-seitig)	0,95	0,96	0,31	0,67	0,41	0,96	0,32	0,73	0,38	0,86	0,45
	DT34P1NO	DT36P1NO	DT38P1NO	ET30P1NO	ET34P1NO	ET36P1NO	ET38P1NO				
N	11	11	11	11	11	11	11				
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,72	0,90	0,62	0,76	0,45	0,55	0,79				
Signifikanz (2-seitig)	0,68	0,40	0,84	0,61	0,99	0,93	0,56				

## ALTER\_GR = Gr3, LRS = Kontrolle

	L_AT_P1	L_BT_P1	L_CT_P1	L_DT_P1	L_ET_P1	L_AT_P3	L_BT_P3	L_CT_P3	L_DT_P3	L_ET_P3	AT_P3_30
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,61	0,65	0,63	0,56	0,56	0,36	0,58	0,87	0,87	0,66	0,48
Signifikanz (2-seitig)	0,86	0,79	0,83	0,91	0,91	1,00	0,89	0,44	0,44	0,77	0,98
	AT_P3_34	BT_P3_30	BT_P3_34	CT_P3_30	CT_P3_34	DT_P3_30	DT_P3_34	ET_P3_30	ET_P3_34	AT30P1NO	AT34P1NO
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,47	0,57	0,90	0,41	0,61	0,47	0,67	0,61	0,75	0,52	0,55
Signifikanz (2-seitig)	0,98	0,90	0,40	1,00	0,86	0,98	0,77	0,86	0,62	0,95	0,92
	AT36P1NO	AT38P1NO	BT30P1NO	BT34P1NO	BT36P1NO	BT38P1NO	CT30P1NO	CT34P1NO	CT36P1NO	CT38P1NO	DT30P1NO
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,84	0,63	0,56	0,59	0,83	0,61	0,41	0,66	0,65	0,76	0,47
Signifikanz (2-seitig)	0,49	0,82	0,91	0,88	0,50	0,85	1,00	0,77	0,80	0,61	0,98
	DT34P1NO	DT36P1NO	DT38P1NO	ET30P1NO	ET34P1NO	ET36P1NO	ET38P1NO				
N	12	12	12	12	12	12	12				
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,61	0,89	0,59	0,44	0,59	0,71	0,58				
Signifikanz (2-seitig)	0,86	0,40	0,87	0,99	0,88	0,69	0,89				

## ALTER\_GR = Gr3, LRS = LRS

	L_AT_P1	L_BT_P1	L_CT_P1	L_DT_P1	L_ET_P1	L_AT_P3	L_BT_P3	L_CT_P3	L_DT_P3	L_ET_P3	AT_P3_30
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,67	0,55	0,37	0,68	0,55	0,71	0,67	0,70	0,57	0,51	0,87
Signifikanz (2-seitig)	0,76	0,92	1,00	0,74	0,93	0,70	0,76	0,70	0,90	0,96	0,43
	AT_P3_34	BT_P3_30	BT_P3_34	CT_P3_30	CT_P3_34	DT_P3_30	DT_P3_34	ET_P3_30	ET_P3_34	AT30P1NO	AT34P1NO
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,57	0,52	0,42	0,62	0,65	0,57	0,70	0,67	0,73	0,46	0,61
Signifikanz (2-seitig)	0,90	0,95	0,99	0,83	0,80	0,90	0,71	0,77	0,66	0,98	0,85
	AT36P1NO	AT38P1NO	BT30P1NO	BT34P1NO	BT36P1NO	BT38P1NO	CT30P1NO	CT34P1NO	CT36P1NO	CT38P1NO	DT30P1NO
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,71	0,44	0,38	0,62	0,73	0,43	0,48	0,52	0,62	0,56	0,49
Signifikanz (2-seitig)	0,70	0,99	1,00	0,84	0,66	0,99	0,97	0,95	0,84	0,91	0,97
	DT34P1NO	DT36P1NO	DT38P1NO	ET30P1NO	ET34P1NO	ET36P1NO	ET38P1NO				
N	15	15	15	15	15	15	15				
Kolmogorov-Smirnov-Z	0,52	0,66	0,49	0,62	0,63	1,11	0,57				
Signifikanz (2-seitig)	0,95	0,77	0,97	0,83	0,82	0,17	0,90				

## Diagnostikdaten ANOVA: Gruppenvergleich d2

### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: D2\_KL

F	df1	df2	Signifikanz
1,556	3	56	,210

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: D2\_KL

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	9310,920 <sup>a</sup>	3	3103,640	4,952	,004	,210
Intercept	253760,067	1	253760,067	404,912	,000	,879
ALTER_GR	552,067	1	552,067	,881	,352	,015
LRS	8707,331	1	8707,331	13,894	,000	,199
ALTER_GR * LRS	51,523	1	51,523	,082	,775	,001
Fehler	35095,453	56	626,705			
Gesamt	298166,440	60				
Korrigierte Gesamtvariation	44406,373	59				

a. R-Quadrat = ,210 (korrigiertes R-Quadrat = ,167)

## Diagnostikdaten ANOVA: Gruppenvergleich Alter

### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: ALTEREEG

F	df1	df2	Signifikanz
16,520	3	56	,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: ALTEREEG

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	2342,827 <sup>a</sup>	3	780,942	23,764	,000	,560
Intercept	23803,603	1	23803,603	724,350	,000	,928
ALTER_GR	2340,501	1	2340,501	71,222	,000	,560
LRS	2,166	1	2,166	,066	,798	,001
ALTER_GR * LRS	,160	1	,160	,005	,945	,000
Fehler	1840,273	56	32,862			
Gesamt	27986,704	60				
Korrigierte Gesamtvariation	4183,101	59				

a. R-Quadrat = ,560 (korrigiertes R-Quadrat = ,537)

## Diagnostikdaten ANOVA: Gruppenvergleich Nonverbaler IQ

### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: NV\_IQ

F	df1	df2	Signifikanz
,503	3	56	,681

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: NV\_IQ

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	58,333 <sup>a</sup>	3	19,444	,094	,963	,005
Intercept	660240,600	1	660240,600	3202,534	,000	,983
ALTER_GR	15,000	1	15,000	,073	,788	,001
LRS	1,667	1	1,667	,008	,929	,000
ALTER_GR * LRS	41,667	1	41,667	,202	,655	,004
Fehler	11545,067	56	206,162			
Gesamt	671844,000	60				
Korrigierte Gesamtvariation	11603,400	59				

a. R-Quadrat = ,005 (korrigiertes R-Quadrat = -,048)

## Diagnostikdaten MANOVA: Gruppenvergleich Lesen & Schreiben

### Box-Test auf Gleichheit der Kovarianzmatrizen<sup>a</sup>

Box-M-Test	28,584
F	2,133
df1	12
df2	8548,615
Signifikanz	,012

Prüft die Nullhypothese, daß die beobachteten Kovarianzmatrizen der abhängigen Variablen über die Gruppen gleich sind.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS

### Multivariate Tests<sup>b</sup>

Effekt		Wert	F	Hypothese df	Fehler df	Signifikanz	Eta-Quadrat
Intercept	Pillai-Spur	,996	4547,967 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,996
	Wilks-Lambda	,004	4547,967 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,996
	Hotelling-Spur	252,665	4547,967 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,996
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	252,665	4547,967 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,996
ALTER_GR	Pillai-Spur	,502	18,148 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,502
	Wilks-Lambda	,498	18,148 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,502
	Hotelling-Spur	1,008	18,148 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,502
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	1,008	18,148 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,502
LRS	Pillai-Spur	,789	67,464 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,789
	Wilks-Lambda	,211	67,464 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,789
	Hotelling-Spur	3,748	67,464 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,789
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	3,748	67,464 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,789
ALTER_GR * LRS	Pillai-Spur	,423	13,194 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,423
	Wilks-Lambda	,577	13,194 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,423
	Hotelling-Spur	,733	13,194 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,423
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	,733	13,194 <sup>a</sup>	3,000	54,000	,000	,423

a. Exakte Statistik

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS

### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

	F	df1	df2	Signifikanz
RS_IQ	,732	3	56	,537
ZLT_F	6,429	3	56	,001
ZLT_Z	17,426	3	56	,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Quelle	Abhängige Variable	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	RS_IQ	18356,800 <sup>a</sup>	3	6118,933	35,688	,000	,657
	ZLT_F	6427,320 <sup>b</sup>	3	2142,440	23,956	,000	,562
	ZLT_Z	10993,253 <sup>c</sup>	3	3664,418	66,818	,000	,782
Intercept	RS_IQ	439417,689	1	439417,689	2562,856	,000	,979
	ZLT_F	576485,026	1	576485,026	6446,039	,000	,991
	ZLT_Z	612312,526	1	612312,526	11165,006	,000	,995
ALTER_GR	RS_IQ	118,668	1	118,668	,692	,409	,012
	ZLT_F	2133,084	1	2133,084	23,851	,000	,299
	ZLT_Z	2818,776	1	2818,776	51,398	,000	,479
LRS	RS_IQ	18130,806	1	18130,806	105,746	,000	,654
	ZLT_F	4063,151	1	4063,151	45,433	,000	,448
	ZLT_Z	6065,176	1	6065,176	110,593	,000	,664
ALTER_GR * LRS	RS_IQ	107,325	1	107,325	,626	,432	,011
	ZLT_F	231,084	1	231,084	2,584	,114	,044
	ZLT_Z	2109,301	1	2109,301	38,461	,000	,407
Fehler	RS_IQ	9601,551	56	171,456			
	ZLT_F	5008,217	56	89,432			
	ZLT_Z	3071,158	56	54,842			
Gesamt	RS_IQ	467376,039	60				
	ZLT_F	587920,563	60				
	ZLT_Z	626376,938	60				
Korrigierte Gesamtvariation	RS_IQ	27958,350	59				
	ZLT_F	11435,536	59				
	ZLT_Z	14064,411	59				

a. R-Quadrat = ,657 (korrigiertes R-Quadrat = ,638)

b. R-Quadrat = ,562 (korrigiertes R-Quadrat = ,539)

c. R-Quadrat = ,782 (korrigiertes R-Quadrat = ,770)

**zu Fragestellungen 3.1, 3.2, 3.4**  
**ANOVA m MW: ERTS / Zeit**  
**Vergleich der LRS-Gruppen vs Kontroll-Gruppen**  
**über alle 5 Stimulationsbedingungen**

**Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>**

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
ZEIT	,523	35,262	9	,000	,721	,805	,250

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: ZEIT

**Tests der Innersubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Eta-Quadrat
ZEIT	Sphärizität angenommen	77699334,508	4	19424834	256,137	,000	,821
	Greenhouse-Geisser	77699334,508	2,885	26929306	256,137	,000	,821
	Huynh-Feldt	77699334,508	3,222	24117656	256,137	,000	,821
	Untergrenze	77699334,508	1,000	77699335	256,137	,000	,821
ZEIT * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	1421573,873	4	355393,468	4,686	,001	,077
	Greenhouse-Geisser	1421573,873	2,885	492694,029	4,686	,004	,077
	Huynh-Feldt	1421573,873	3,222	441252,558	4,686	,003	,077
	Untergrenze	1421573,873	1,000	1421573,9	4,686	,035	,077
ZEIT * LRS	Sphärizität angenommen	9544338,124	4	2386084,5	31,463	,000	,360
	Greenhouse-Geisser	9544338,124	2,885	3307910,0	31,463	,000	,360
	Huynh-Feldt	9544338,124	3,222	2962535,9	31,463	,000	,360
	Untergrenze	9544338,124	1,000	9544338,1	31,463	,000	,360
ZEIT * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	1023728,875	4	255932,219	3,375	,010	,057
	Greenhouse-Geisser	1023728,875	2,885	354807,522	3,375	,021	,057
	Huynh-Feldt	1023728,875	3,222	317762,582	3,375	,017	,057
	Untergrenze	1023728,875	1,000	1023728,9	3,375	,072	,057
Fehler(ZEIT)	Sphärizität angenommen	16987652,591	224	75837,735			
	Greenhouse-Geisser	16987652,591	161,577	105136,426			
	Huynh-Feldt	16987652,591	180,414	94159,284			
	Untergrenze	16987652,591	56,000	303350,939			

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

	F	df1	df2	Signifikanz
S_M_CU	1,659	3	56	,186
BL_M_CU	,662	3	56	,579
HL_M_CU	4,850	3	56	,005
NL_M_CU	,602	3	56	,616
NR_M_CU	1,301	3	56	,283

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a.

Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: ZEIT

**Tests der Zwischensubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Eta-Quadrat
Intercept	771875613,148	1	771875613	1354,198	,000	,960
ALTER_GR	4252686,282	1	4252686,3	7,461	,008	,118
LRS	28483269,127	1	28483269	49,972	,000	,472
ALTER_GR * LRS	101305,234	1	101305,234	,178	,675	,003
Fehler	31919296,327	56	569987,434			

**zu Fragestellungen 3.1, 3.2, 3.4**  
**ANOVA m MW: ERTS / Fehler**  
**Vergleich der LRS-Gruppen vs Kontroll-Gruppen**  
**über alle 5 Stimulationsbedingungen**

**Mauchly-Test auf Sphärität<sup>b</sup>**

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
FPROZ	,781	13,475	9	,142	,890	1,000	,250

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: FPROZ

**Tests der Innersubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Eta-Quadrat
FPROZ	Sphärität angenommen	218,252	4	54,563	13,762	,000	,197
	Greenhouse-Geisser	218,252	3,560	61,312	13,762	,000	,197
	Huynh-Feldt	218,252	4,000	54,563	13,762	,000	,197
	Untergrenze	218,252	1,000	218,252	13,762	,000	,197
FPROZ * ALTER_GR	Sphärität angenommen	32,867	4	8,217	2,072	,085	,036
	Greenhouse-Geisser	32,867	3,560	9,233	2,072	,094	,036
	Huynh-Feldt	32,867	4,000	8,217	2,072	,085	,036
	Untergrenze	32,867	1,000	32,867	2,072	,156	,036
FPROZ * LRS	Sphärität angenommen	94,769	4	23,692	5,976	,000	,096
	Greenhouse-Geisser	94,769	3,560	26,623	5,976	,000	,096
	Huynh-Feldt	94,769	4,000	23,692	5,976	,000	,096
	Untergrenze	94,769	1,000	94,769	5,976	,018	,096
FPROZ * ALTER_GR * LRS	Sphärität angenommen	24,122	4	6,031	1,521	,197	,026
	Greenhouse-Geisser	24,122	3,560	6,777	1,521	,203	,026
	Huynh-Feldt	24,122	4,000	6,031	1,521	,197	,026
	Untergrenze	24,122	1,000	24,122	1,521	,223	,026
Fehler(FPROZ)	Sphärität angenommen	888,092	224	3,965			
	Greenhouse-Geisser	888,092	199,341	4,455			
	Huynh-Feldt	888,092	224,000	3,965			
	Untergrenze	888,092	56,000	15,859			

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

	F	df1	df2	Signifikanz
SLFPROZ	4,358	3	56	,008
BSLFPROZ	1,620	3	56	,195
HLFPROZ	1,334	3	56	,273
NLFPROZ	,595	3	56	,621
NRFPROZ	4,213	3	56	,009

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: FPROZ

**Tests der Zwischensubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Eta-Quadrat
Intercept	735,486	1	735,486	219,599	,000	,797
ALTER_GR	35,118	1	35,118	10,485	,002	,158
LRS	6,437	1	6,437	1,922	,171	,033
ALTER_GR * LRS	1,833	1	1,833	,547	,463	,010
Fehler	187,557	56	3,349			

**zu Fragestellungen 3.2, 3.4**  
**ANOVA m MW: Wortlisten / Zeit**  
**Vergleich der LRS-Gruppen vs Kontroll-Gruppen**  
**über Wortlesen, Nonwortlesen, Worttransformation**

**Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>**

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
ZEIT	,930	3,975	2	,135	,935	1,000	,500

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: ZEIT

**Tests der Innersubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Eta-Quadrat
ZEIT	Sphärizität angenommen	69,130	2	34,565	88,470	,000	,612
	Greenhouse-Geisser	69,130	1,870	36,975	88,470	,000	,612
	Huynh-Feldt	69,130	2,000	34,565	88,470	,000	,612
	Untergrenze	69,130	1,000	69,130	88,470	,000	,612
ZEIT * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	,203	2	,102	,260	,771	,005
	Greenhouse-Geisser	,203	1,870	,109	,260	,757	,005
	Huynh-Feldt	,203	2,000	,102	,260	,771	,005
	Untergrenze	,203	1,000	,203	,260	,612	,005
ZEIT * LRS	Sphärizität angenommen	7,632	2	3,816	9,767	,000	,149
	Greenhouse-Geisser	7,632	1,870	4,082	9,767	,000	,149
	Huynh-Feldt	7,632	2,000	3,816	9,767	,000	,149
	Untergrenze	7,632	1,000	7,632	9,767	,003	,149
ZEIT * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	6,023	2	3,012	7,709	,001	,121
	Greenhouse-Geisser	6,023	1,870	3,222	7,709	,001	,121
	Huynh-Feldt	6,023	2,000	3,012	7,709	,001	,121
	Untergrenze	6,023	1,000	6,023	7,709	,007	,121
Fehler(ZEIT)	Sphärizität angenommen	43,758	112	,391			
	Greenhouse-Geisser	43,758	104,700	,418			
	Huynh-Feldt	43,758	112,000	,391			
	Untergrenze	43,758	56,000	,781			

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

	F	df1	df2	Signifikanz
PD_3SZ	24,894	3	56	,000
PD_3NZ	5,475	3	56	,002
PB_Z	2,310	3	56	,086

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: ZEIT

**Tests der Zwischensubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Eta-Quadrat
Intercept	324,983	1	324,983	449,933	,000	,889
ALTER_GR	16,156	1	16,156	22,368	,000	,285
LRS	31,237	1	31,237	43,247	,000	,436
ALTER_GR * LRS	3,791	1	3,791	5,248	,026	,086
Fehler	40,448	56	,722			

**zu Fragestellungen 3.2, 3.4**  
**ANOVA m MW: Wortlisten / Fehler**  
**Vergleich der LRS-Gruppen vs Kontroll-Gruppen**  
**über Wortlesen, Nonwortlesen, Worttransformation**

**Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>**

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
FEHLPROZ	,843	9,398	2	,009	,864	,937	,500

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: FEHLPROZ

**Tests der Innersubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Eta-Quadrat
FEHLPROZ	Sphärizität angenommen	7926,586	2	3963,293	37,925	,000	,404
	Greenhouse-Geisser	7926,586	1,729	4585,813	37,925	,000	,404
	Huynh-Feldt	7926,586	1,874	4229,547	37,925	,000	,404
	Untergrenze	7926,586	1,000	7926,586	37,925	,000	,404
FEHLPROZ * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	711,136	2	355,568	3,402	,037	,057
	Greenhouse-Geisser	711,136	1,729	411,417	3,402	,044	,057
	Huynh-Feldt	711,136	1,874	379,455	3,402	,040	,057
	Untergrenze	711,136	1,000	711,136	3,402	,070	,057
FEHLPROZ * LRS	Sphärizität angenommen	1566,340	2	783,170	7,494	,001	,118
	Greenhouse-Geisser	1566,340	1,729	906,183	7,494	,002	,118
	Huynh-Feldt	1566,340	1,874	835,783	7,494	,001	,118
	Untergrenze	1566,340	1,000	1566,340	7,494	,008	,118
FEHLPROZ * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	46,870	2	23,435	,224	,799	,004
	Greenhouse-Geisser	46,870	1,729	27,116	,224	,767	,004
	Huynh-Feldt	46,870	1,874	25,010	,224	,785	,004
	Untergrenze	46,870	1,000	46,870	,224	,638	,004
Fehler(FEHLPROZ)	Sphärizität angenommen	11704,341	112	104,503			
	Greenhouse-Geisser	11704,341	96,796	120,917			
	Huynh-Feldt	11704,341	104,950	111,524			
	Untergrenze	11704,341	56,000	209,006			

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

	F	df1	df2	Signifikanz
PD_3SFPR	14,019	3	56	,000
PD_3NFPR	10,224	3	56	,000
PB_FPROZ	4,002	3	56	,012

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

- a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: FEHLPROZ

**Tests der Zwischensubjekteffekte**

Maß: MASS\_1  
Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Eta-Quadrat
Intercept	13457,533	1	13457,533	149,359	,000	,727
ALTER_GR	2550,552	1	2550,552	28,307	,000	,336
LRS	3662,109	1	3662,109	40,644	,000	,421
ALTER_GR * LRS	302,876	1	302,876	3,361	,072	,057
Fehler	5045,707	56	90,102			

**zu Fragestellungen 3.1, 3.2, 3.4**  
**ANOVA m MW: Amplitude N400**  
**Vergleich LRS-Gruppen vs Kontrollgruppen**  
**über alle 5 Stimulationsbedingungen, über 6 ausgewählten Elektroden**

**Deskriptive Statistiken**

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
AT_N4_03	Gr2	Kontrolle	-2,5258	4,16413	11
		LRS	-,7196	4,60970	11
		Gesamt	-1,6227	4,38523	22
	Gr3	Kontrolle	,8157	2,52648	12
		LRS	1,0825	3,25931	15
		Gesamt	,9639	2,90498	27
Gesamt	Kontrolle	-,7824	3,73982	23	
	LRS	,3200	3,90808	26	
	Gesamt	-,1974	3,83068	49	
AT_N4_06	Gr2	Kontrolle	-2,3001	4,14315	11
		LRS	-1,9901	4,48464	11
		Gesamt	-2,1451	4,21622	22
	Gr3	Kontrolle	1,3792	3,14055	12
		LRS	1,1312	4,64466	15
		Gesamt	1,2414	3,97552	27
Gesamt	Kontrolle	-,3804	4,03307	23	
	LRS	-,1893	4,75381	26	
	Gesamt	-,2790	4,38572	49	
AT_N4_09	Gr2	Kontrolle	-2,2730	3,64264	11
		LRS	-1,1681	3,67788	11
		Gesamt	-1,7205	3,61657	22

**Deskriptive Statistiken**

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
AT_N4_09	Gr3	Kontrolle	1,1782	2,43763	12
		LRS	1,1363	2,84212	15
		Gesamt	1,1549	2,61990	27
	Gesamt	Kontrolle	-,4724	3,47986	23
		LRS	,1614	3,35890	26
		Gesamt	-,1361	3,39535	49
AT_N4_16	Gr2	Kontrolle	,9945	2,38025	11
		LRS	2,0788	2,36365	11
		Gesamt	1,5366	2,38039	22
	Gr3	Kontrolle	1,2524	1,83614	12
		LRS	1,8440	2,56080	15
		Gesamt	1,5811	2,24659	27
Gesamt	Kontrolle	1,1290	2,06841	23	
	LRS	1,9433	2,43332	26	
	Gesamt	1,5611	2,28328	49	
AT_N4_19	Gr2	Kontrolle	4,5957	3,56987	11
		LRS	4,1512	5,58103	11
		Gesamt	4,3735	4,57740	22
	Gr3	Kontrolle	3,6384	3,58769	12
		LRS	2,4651	6,11585	15
		Gesamt	2,9866	5,09304	27
Gesamt	Kontrolle	4,0963	3,53094	23	
	LRS	3,1785	5,84182	26	
	Gesamt	3,6093	4,86856	49	
AT_N4_22	Gr2	Kontrolle	-,1062	2,50419	11
		LRS	-,1621	3,10884	11
		Gesamt	-,1341	2,75487	22
	Gr3	Kontrolle	1,5756	1,57217	12
		LRS	1,4178	1,91259	15
		Gesamt	1,4879	1,73833	27
Gesamt	Kontrolle	,7713	2,19639	23	
	LRS	,7494	2,55891	26	
	Gesamt	,7597	2,37099	49	
BT_N4_03	Gr2	Kontrolle	-5,6311	4,53741	11
		LRS	-1,4530	4,49564	11
		Gesamt	-3,5420	4,89898	22
	Gr3	Kontrolle	-,1601	2,54723	12
		LRS	,9171	2,87236	15
		Gesamt	,4384	2,73590	27
Gesamt	Kontrolle	-2,7767	4,51783	23	
	LRS	-,0856	3,75906	26	
	Gesamt	-1,3488	4,30764	49	
BT_N4_06	Gr2	Kontrolle	-5,5189	6,35928	11
		LRS	-2,0193	5,07834	11
		Gesamt	-3,7691	5,89456	22
	Gr3	Kontrolle	,0173	2,96282	12
		LRS	,0143	4,84348	15
		Gesamt	,0156	4,04300	27
Gesamt	Kontrolle	-2,6305	5,54677	23	
	LRS	-,8460	4,95003	26	
	Gesamt	-1,6836	5,26050	49	
BT_N4_09	Gr2	Kontrolle	-5,2553	4,13271	11
		LRS	-1,6720	3,74521	11
		Gesamt	-3,4636	4,26323	22

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N	
BT_N4_09	Gr3	Kontrolle	-,5457	2,12976	12	
		LRS	,6560	2,97437	15	
		Gesamt	,1219	2,65575	27	
	Gesamt	Kontrolle	-2,7981	3,97712	23	
		LRS	-,3289	3,45552	26	
		Gesamt	-1,4879	3,87542	49	
BT_N4_16	Gr2	Kontrolle	-1,3749	4,17176	11	
		LRS	1,0645	3,36196	11	
		Gesamt	-,1552	3,90234	22	
	Gr3	Kontrolle	1,3722	1,46036	12	
		LRS	1,7441	1,94714	15	
		Gesamt	1,5788	1,72605	27	
	Gesamt	Kontrolle	,0583	3,30843	23	
		LRS	1,4566	2,60029	26	
		Gesamt	,8003	3,00590	49	
	BT_N4_19	Gr2	Kontrolle	-2,4953	6,06392	11
			LRS	,8091	4,47738	11
			Gesamt	-,8431	5,46955	22
Gr3		Kontrolle	1,4485	2,57969	12	
		LRS	-,0405	4,25719	15	
		Gesamt	,6213	3,62532	27	
Gesamt		Kontrolle	-,4377	4,90907	23	
		LRS	,3189	4,28384	26	
		Gesamt	-,0362	4,55509	49	
BT_N4_22		Gr2	Kontrolle	-1,4386	3,34387	11
			LRS	,3639	2,95557	11
			Gesamt	-,5374	3,21484	22
	Gr3	Kontrolle	,8856	1,27508	12	
		LRS	1,9279	1,93004	15	
		Gesamt	1,4647	1,72402	27	
	Gesamt	Kontrolle	-,2260	2,70271	23	
		LRS	1,2662	2,49021	26	
		Gesamt	,5658	2,67280	49	
	CT_N4_03	Gr2	Kontrolle	-4,8613	3,80993	11
			LRS	-2,4277	3,31736	11
			Gesamt	-3,6445	3,70184	22
Gr3		Kontrolle	-,6132	2,49160	12	
		LRS	,2252	2,37091	15	
		Gesamt	-,1474	2,41527	27	
Gesamt		Kontrolle	-2,6449	3,79600	23	
		LRS	-,8972	3,05555	26	
		Gesamt	-1,7176	3,49910	49	
CT_N4_06		Gr2	Kontrolle	-7,9551	5,60448	11
			LRS	-5,4987	4,19603	11
			Gesamt	-6,7269	4,99216	22
	Gr3	Kontrolle	-2,0673	2,91570	12	
		LRS	-2,1074	3,75192	15	
		Gesamt	-2,0896	3,34320	27	
	Gesamt	Kontrolle	-4,8832	5,25085	23	
		LRS	-3,5422	4,22436	26	
		Gesamt	-4,1716	4,73165	49	
	CT_N4_09	Gr2	Kontrolle	-5,9055	4,92569	11
			LRS	-3,5891	3,05037	11
			Gesamt	-4,7473	4,17010	22

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N	
CT_N4_09	Gr3	Kontrolle	-1,0897	2,42546	12	
		LRS	-,6471	2,70661	15	
		Gesamt	-,8438	2,54633	27	
	Gesamt	Kontrolle	-3,3929	4,47438	23	
		LRS	-1,8918	3,16567	26	
		Gesamt	-2,5964	3,86889	49	
CT_N4_16	Gr2	Kontrolle	-1,9053	3,94458	11	
		LRS	-,0455	3,59155	11	
		Gesamt	-,9754	3,80233	22	
	Gr3	Kontrolle	,7419	1,43398	12	
		LRS	1,1889	2,50156	15	
		Gesamt	,9902	2,07142	27	
	Gesamt	Kontrolle	-,5241	3,15100	23	
		LRS	,6666	3,00847	26	
		Gesamt	,1077	3,10245	49	
	CT_N4_19	Gr2	Kontrolle	-5,9502	3,50436	11
			LRS	-2,9528	3,34615	11
			Gesamt	-4,4515	3,67868	22
Gr3		Kontrolle	-1,4247	2,36690	12	
		LRS	-2,9185	3,89139	15	
		Gesamt	-2,2546	3,33110	27	
Gesamt		Kontrolle	-3,5890	3,70484	23	
		LRS	-2,9330	3,59986	26	
		Gesamt	-3,2409	3,62628	49	
CT_N4_22		Gr2	Kontrolle	-4,6643	3,44028	11
			LRS	-1,4392	2,75808	11
			Gesamt	-3,0517	3,46157	22
	Gr3	Kontrolle	-,7301	1,76758	12	
		LRS	,4743	1,67546	15	
		Gesamt	-,0610	1,79033	27	
	Gesamt	Kontrolle	-2,6117	3,31356	23	
		LRS	-,3353	2,35461	26	
		Gesamt	-1,4038	3,03932	49	
	DT_N4_03	Gr2	Kontrolle	-6,7548	3,65144	11
			LRS	-2,2072	3,80204	11
			Gesamt	-4,4810	4,31846	22
Gr3		Kontrolle	-,7085	1,94632	12	
		LRS	-,9062	2,95023	15	
		Gesamt	-,8183	2,50986	27	
Gesamt		Kontrolle	-3,6002	4,18227	23	
		LRS	-1,4566	3,32956	26	
		Gesamt	-2,4628	3,86770	49	
DT_N4_06		Gr2	Kontrolle	-8,7027	5,38450	11
			LRS	-4,5141	3,78801	11
			Gesamt	-6,6084	5,02334	22
	Gr3	Kontrolle	-2,4658	3,08998	12	
		LRS	-3,5011	3,52532	15	
		Gesamt	-3,0409	3,31758	27	
	Gesamt	Kontrolle	-5,4487	5,30097	23	
		LRS	-3,9297	3,59996	26	
		Gesamt	-4,6427	4,49620	49	
	DT_N4_09	Gr2	Kontrolle	-7,8433	3,68856	11
			LRS	-4,0981	2,88086	11
			Gesamt	-5,9707	3,75559	22

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
DT_N4_09	Gr3	Kontrolle	-1,3639	2,07002	12
		LRS	-1,8118	3,15703	15
		Gesamt	-1,6127	2,68906	27
Gesamt		Kontrolle	-4,4627	4,39075	23
		LRS	-2,7791	3,19813	26
		Gesamt	-3,5694	3,85796	49
DT_N4_16	Gr2	Kontrolle	-2,4533	3,70172	11
		LRS	,0750	3,40284	11
		Gesamt	-1,1891	3,70313	22
	Gr3	Kontrolle	,1918	1,46791	12
		LRS	,1624	2,60861	15
		Gesamt	,1754	2,13916	27
Gesamt		Kontrolle	-1,0733	3,02175	23
		LRS	,1254	2,90592	26
		Gesamt	-,4372	2,99140	49
DT_N4_19	Gr2	Kontrolle	-8,1300	5,03896	11
		LRS	-2,7829	3,30893	11
		Gesamt	-5,4565	4,97926	22
	Gr3	Kontrolle	-1,8402	2,82024	12
		LRS	-3,7581	4,33909	15
		Gesamt	-2,9057	3,80082	27
Gesamt		Kontrolle	-4,8483	5,08319	23
		LRS	-3,3455	3,89416	26
		Gesamt	-4,0509	4,50724	49
DT_N4_22	Gr2	Kontrolle	-4,8655	2,87212	11
		LRS	-2,1182	1,89825	11
		Gesamt	-3,4919	2,76059	22
	Gr3	Kontrolle	-,8277	1,74504	12
		LRS	-,0484	2,19418	15
		Gesamt	-,3947	2,00909	27
Gesamt		Kontrolle	-2,7588	3,08634	23
		LRS	-,9241	2,28580	26
		Gesamt	-1,7853	2,81834	49
ET_N4_03	Gr2	Kontrolle	-5,9800	3,47721	11
		LRS	-1,6414	3,69422	11
		Gesamt	-3,8107	4,14564	22
	Gr3	Kontrolle	-,5932	2,94849	12
		LRS	-,1799	2,33806	15
		Gesamt	-,3636	2,58174	27
Gesamt		Kontrolle	-3,1695	4,17284	23
		LRS	-,7982	3,01037	26
		Gesamt	-1,9113	3,75904	49
ET_N4_06	Gr2	Kontrolle	-6,9738	4,84849	11
		LRS	-3,7367	4,79841	11
		Gesamt	-5,3553	4,99027	22
	Gr3	Kontrolle	-2,2596	3,52688	12
		LRS	-2,7523	4,01922	15
		Gesamt	-2,5333	3,74476	27
Gesamt		Kontrolle	-4,5142	4,76470	23
		LRS	-3,1688	4,30142	26
		Gesamt	-3,8003	4,52792	49
ET_N4_09	Gr2	Kontrolle	-6,2268	3,10629	11
		LRS	-3,0250	3,01671	11
		Gesamt	-4,6259	3,40783	22

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
ET_N4_09	Gr3	Kontrolle	-1,2277	2,65840	12
		LRS	-1,1373	2,66830	15
		Gesamt	-1,1774	2,61262	27
Gesamt		Kontrolle	-3,6186	3,79987	23
		LRS	-1,9359	2,92094	26
		Gesamt	-2,7257	3,43241	49
ET_N4_16	Gr2	Kontrolle	-1,6432	3,62027	11
		LRS	1,2570	2,64346	11
		Gesamt	-,1931	3,43097	22
	Gr3	Kontrolle	,3896	1,96358	12
		LRS	,9211	2,30281	15
		Gesamt	,6849	2,13521	27
Gesamt		Kontrolle	-,5826	2,99386	23
		LRS	1,0632	2,40695	26
		Gesamt	,2907	2,79540	49
ET_N4_19	Gr2	Kontrolle	-5,3954	5,27079	11
		LRS	-1,5535	4,65757	11
		Gesamt	-3,4744	5,23688	22
	Gr3	Kontrolle	-1,5372	2,57581	12
		LRS	-3,1023	3,89323	15
		Gesamt	-2,4067	3,40538	27
Gesamt		Kontrolle	-3,3824	4,45290	23
		LRS	-2,4470	4,21594	26
		Gesamt	-2,8861	4,30904	49
ET_N4_22	Gr2	Kontrolle	-3,1419	2,93026	11
		LRS	,0809	2,42058	11
		Gesamt	-1,5305	3,09825	22
	Gr3	Kontrolle	-,1734	2,39111	12
		LRS	,3513	1,62769	15
		Gesamt	,1181	1,97891	27
Gesamt		Kontrolle	-1,5931	3,01005	23
		LRS	,2369	1,96109	26
		Gesamt	-,6221	2,64712	49

Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	,320	49,534	9	,000	,638	,725	,250
VOHI	1,000	,000	0	,	1,000	1,000	1,000
SEITE	,822	8,633	2	,013	,849	,937	,500
BED * VOHI	,506	29,566	9	,001	,748	,861	,250
BED * SEITE	,208	66,229	35	,001	,692	,853	,125
VOHI * SEITE	,868	6,223	2	,045	,883	,978	,500
BED * VOHI * SEITE	,129	86,257	35	,000	,681	,837	,125

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b.

Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: BED+VOHI+SEITE+BED\*VOHI+BED\*SEITE+VOHI\*SEITE+BED\*VOHI\*SEITE

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	2653,551	4	663,388	58,961	,000	,567
	Greenhouse-Geisser	2653,551	2,552	1039,688	58,961	,000	,567
	Huynh-Feldt	2653,551	2,899	915,299	58,961	,000	,567
	Untergrenze	2653,551	1,000	2653,551	58,961	,000	,567
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	138,980	4	34,745	3,088	,017	,064
	Greenhouse-Geisser	138,980	2,552	54,454	3,088	,037	,064
	Huynh-Feldt	138,980	2,899	47,939	3,088	,031	,064
	Untergrenze	138,980	1,000	138,980	3,088	,086	,064
BED * LRS	Sphärizität angenommen	115,162	4	28,790	2,559	,040	,054
	Greenhouse-Geisser	115,162	2,552	45,121	2,559	,068	,054
	Huynh-Feldt	115,162	2,899	39,723	2,559	,060	,054
	Untergrenze	115,162	1,000	115,162	2,559	,117	,054
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	131,107	4	32,777	2,913	,023	,061
	Greenhouse-Geisser	131,107	2,552	51,369	2,913	,046	,061
	Huynh-Feldt	131,107	2,899	45,223	2,913	,039	,061
	Untergrenze	131,107	1,000	131,107	2,913	,095	,061
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	2025,228	180	11,251			
	Greenhouse-Geisser	2025,228	114,852	17,633			
	Huynh-Feldt	2025,228	130,460	15,524			
	Untergrenze	2025,228	45,000	45,005			
VOHI	Sphärizität angenommen	1226,518	1	1226,518	41,708	,000	,481
	Greenhouse-Geisser	1226,518	1,000	1226,518	41,708	,000	,481
	Huynh-Feldt	1226,518	1,000	1226,518	41,708	,000	,481
	Untergrenze	1226,518	1,000	1226,518	41,708	,000	,481
VOHI * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	363,380	1	363,380	12,357	,001	,215
	Greenhouse-Geisser	363,380	1,000	363,380	12,357	,001	,215
	Huynh-Feldt	363,380	1,000	363,380	12,357	,001	,215
	Untergrenze	363,380	1,000	363,380	12,357	,001	,215
VOHI * LRS	Sphärizität angenommen	15,210	1	15,210	,517	,476	,011
	Greenhouse-Geisser	15,210	1,000	15,210	,517	,476	,011
	Huynh-Feldt	15,210	1,000	15,210	,517	,476	,011
	Untergrenze	15,210	1,000	15,210	,517	,476	,011
VOHI * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	1,599	1	1,599	,054	,817	,001
	Greenhouse-Geisser	1,599	1,000	1,599	,054	,817	,001
	Huynh-Feldt	1,599	1,000	1,599	,054	,817	,001
	Untergrenze	1,599	1,000	1,599	,054	,817	,001
Fehler(VOHI)	Sphärizität angenommen	1323,321	45	29,407			
	Greenhouse-Geisser	1323,321	45,000	29,407			
	Huynh-Feldt	1323,321	45,000	29,407			
	Untergrenze	1323,321	45,000	29,407			
SEITE	Sphärizität angenommen	581,828	2	290,914	11,218	,000	,200
	Greenhouse-Geisser	581,828	1,698	342,744	11,218	,000	,200
	Huynh-Feldt	581,828	1,875	310,353	11,218	,000	,200
	Untergrenze	581,828	1,000	581,828	11,218	,002	,200
SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	26,088	2	13,044	,503	,606	,011
	Greenhouse-Geisser	26,088	1,698	15,368	,503	,577	,011
	Huynh-Feldt	26,088	1,875	13,916	,503	,595	,011
	Untergrenze	26,088	1,000	26,088	,503	,482	,011
SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	28,763	2	14,381	,555	,576	,012
	Greenhouse-Geisser	28,763	1,698	16,943	,555	,548	,012
	Huynh-Feldt	28,763	1,875	15,342	,555	,565	,012
	Untergrenze	28,763	1,000	28,763	,555	,460	,012
SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	54,402	2	27,201	1,049	,355	,023
	Greenhouse-Geisser	54,402	1,698	32,047	1,049	,346	,023
	Huynh-Feldt	54,402	1,875	29,018	1,049	,351	,023
	Untergrenze	54,402	1,000	54,402	1,049	,311	,023
Fehler(SEITE)	Sphärizität angenommen	2333,903	90	25,932			
	Greenhouse-Geisser	2333,903	76,390	30,552			
	Huynh-Feldt	2333,903	84,363	27,665			
	Untergrenze	2333,903	45,000	51,865			

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED * VOHI	Sphärizität angenommen	41,563	4	10,391	4,262	,003	,087
	Greenhouse-Geisser	41,563	2,992	13,890	4,262	,007	,087
	Huynh-Feldt	41,563	3,443	12,072	4,262	,004	,087
	Untergrenze	41,563	1,000	41,563	4,262	,045	,087
BED * VOHI * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	19,560	4	4,890	2,006	,096	,043
	Greenhouse-Geisser	19,560	2,992	6,537	2,006	,116	,043
	Huynh-Feldt	19,560	3,443	5,682	2,006	,107	,043
	Untergrenze	19,560	1,000	19,560	2,006	,164	,043
BED * VOHI * LRS	Sphärizität angenommen	10,741	4	2,685	1,101	,357	,024
	Greenhouse-Geisser	10,741	2,992	3,589	1,101	,351	,024
	Huynh-Feldt	10,741	3,443	3,120	1,101	,354	,024
	Untergrenze	10,741	1,000	10,741	1,101	,300	,024
BED * VOHI * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	5,985	4	1,496	,614	,653	,013
	Greenhouse-Geisser	5,985	2,992	2,000	,614	,607	,013
	Huynh-Feldt	5,985	3,443	1,738	,614	,629	,013
	Untergrenze	5,985	1,000	5,985	,614	,437	,013
Fehler(BED*VOHI)	Sphärizität angenommen	438,816	180	2,438			
	Greenhouse-Geisser	438,816	134,654	3,259			
	Huynh-Feldt	438,816	154,925	2,832			
	Untergrenze	438,816	45,000	9,751			
BED * SEITE	Sphärizität angenommen	653,510	8	81,689	22,421	,000	,333
	Greenhouse-Geisser	653,510	5,538	118,004	22,421	,000	,333
	Huynh-Feldt	653,510	6,826	95,740	22,421	,000	,333
	Untergrenze	653,510	1,000	653,510	22,421	,000	,333
BED * SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	23,706	8	2,963	,813	,591	,018
	Greenhouse-Geisser	23,706	5,538	4,281	,813	,552	,018
	Huynh-Feldt	23,706	6,826	3,473	,813	,574	,018
	Untergrenze	23,706	1,000	23,706	,813	,372	,018
BED * SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	14,948	8	1,868	,513	,847	,011
	Greenhouse-Geisser	14,948	5,538	2,699	,513	,784	,011
	Huynh-Feldt	14,948	6,826	2,190	,513	,821	,011
	Untergrenze	14,948	1,000	14,948	,513	,478	,011
BED * SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	23,674	8	2,959	,812	,592	,018
	Greenhouse-Geisser	23,674	5,538	4,275	,812	,553	,018
	Huynh-Feldt	23,674	6,826	3,468	,812	,575	,018
	Untergrenze	23,674	1,000	23,674	,812	,372	,018
Fehler(BED*SEITE)	Sphärizität angenommen	1311,625	360	3,643			
	Greenhouse-Geisser	1311,625	249,211	5,263			
	Huynh-Feldt	1311,625	307,165	4,270			
	Untergrenze	1311,625	45,000	29,147			
VOHI * SEITE	Sphärizität angenommen	13,397	2	6,699	1,173	,314	,025
	Greenhouse-Geisser	13,397	1,767	7,582	1,173	,310	,025
	Huynh-Feldt	13,397	1,956	6,848	1,173	,314	,025
	Untergrenze	13,397	1,000	13,397	1,173	,285	,025
VOHI * SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	17,719	2	8,859	1,551	,218	,033
	Greenhouse-Geisser	17,719	1,767	10,028	1,551	,220	,033
	Huynh-Feldt	17,719	1,956	9,057	1,551	,218	,033
	Untergrenze	17,719	1,000	17,719	1,551	,219	,033
VOHI * SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	5,696	2	2,848	,499	,609	,011
	Greenhouse-Geisser	5,696	1,767	3,223	,499	,586	,011
	Huynh-Feldt	5,696	1,956	2,911	,499	,605	,011
	Untergrenze	5,696	1,000	5,696	,499	,484	,011
VOHI * SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	32,803	2	16,402	2,871	,062	,060
	Greenhouse-Geisser	32,803	1,767	18,565	2,871	,069	,060
	Huynh-Feldt	32,803	1,956	16,767	2,871	,063	,060
	Untergrenze	32,803	1,000	32,803	2,871	,097	,060
Fehler(VOHI*SEITE)	Sphärizität angenommen	514,130	90	5,713			
	Greenhouse-Geisser	514,130	79,513	6,466			
	Huynh-Feldt	514,130	88,038	5,840			
	Untergrenze	514,130	45,000	11,425			

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED * VOHI * SEITE	Sphärizität angenommen	182,429	8	22,804	28,616	,000	,389
	Greenhouse-Geisser	182,429	5,448	33,487	28,616	,000	,389
	Huynh-Feldt	182,429	6,699	27,234	28,616	,000	,389
	Untergrenze	182,429	1,000	182,429	28,616	,000	,389
BED * VOHI * SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	35,640	8	4,455	5,590	,000	,111
	Greenhouse-Geisser	35,640	5,448	6,542	5,590	,000	,111
	Huynh-Feldt	35,640	6,699	5,321	5,590	,000	,111
	Untergrenze	35,640	1,000	35,640	5,590	,022	,111
BED * VOHI * SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	9,720	8	1,215	1,525	,147	,033
	Greenhouse-Geisser	9,720	5,448	1,784	1,525	,177	,033
	Huynh-Feldt	9,720	6,699	1,451	1,525	,162	,033
	Untergrenze	9,720	1,000	9,720	1,525	,223	,033
BED * VOHI * SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	6,208	8	,776	,974	,456	,021
	Greenhouse-Geisser	6,208	5,448	1,140	,974	,439	,021
	Huynh-Feldt	6,208	6,699	,927	,974	,448	,021
	Untergrenze	6,208	1,000	6,208	,974	,329	,021
Fehler(BED*VOHI*SEITE)	Sphärizität angenommen	286,878	360	,797			
	Greenhouse-Geisser	286,878	245,151	1,170			
	Huynh-Feldt	286,878	301,435	,952			
	Untergrenze	286,878	45,000	6,375			

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

	F	df1	df2	Signifikanz
AT_N4_03	,926	3	45	,436
AT_N4_06	,802	3	45	,499
AT_N4_09	,657	3	45	,583
AT_N4_16	,363	3	45	,780
AT_N4_19	2,606	3	45	,063
AT_N4_22	3,806	3	45	,016
BT_N4_03	1,734	3	45	,174
BT_N4_06	3,513	3	45	,023
BT_N4_09	1,075	3	45	,369
BT_N4_16	4,717	3	45	,006
BT_N4_19	4,309	3	45	,009
BT_N4_22	2,695	3	45	,057
CT_N4_03	1,802	3	45	,160
CT_N4_06	1,732	3	45	,174
CT_N4_09	2,606	3	45	,063
CT_N4_16	3,874	3	45	,015
CT_N4_19	1,340	3	45	,273
CT_N4_22	3,832	3	45	,016
DT_N4_03	2,088	3	45	,115
DT_N4_06	1,900	3	45	,143
DT_N4_09	1,016	3	45	,394
DT_N4_16	2,176	3	45	,104
DT_N4_19	1,483	3	45	,232
DT_N4_22	1,792	3	45	,162
ET_N4_03	,549	3	45	,651
ET_N4_06	,555	3	45	,648
ET_N4_09	,060	3	45	,981
ET_N4_16	2,303	3	45	,090
ET_N4_19	1,743	3	45	,172
ET_N4_22	,480	3	45	,698

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS

Innersubjekt-Design:

BED+VOHI+SEITE+BED\*VOHI+BED\*SEITE+VOHI\*SEITE+BED\*VOHI\*SEITE

Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	201,849	1	201,849	18,008	,000	,286
ALTER_GR	158,051	1	158,051	14,100	,000	,239
LRS	44,198	1	44,198	3,943	,049	,081
ALTER_GR * LRS	45,314	1	45,314	4,043	,047	,082
Fehler	504,402	45	11,209			

**zu Fragestellungen 3.1, 3.2, 3.4**  
**ANOVA m MW: Peak-to-Peak N100-P200**  
**Vergleich LRS-Gruppen vs Kontrollgruppen**  
**über alle 5 Stimulationsbedingungen, über 6 ausgewählten Elektroden**

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
AT03N1P2	Gr2	Kontrolle	11,2001	3,53562	11
		LRS	10,5299	1,92714	11
		Gesamt	10,8650	2,79979	22
	Gr3	Kontrolle	5,8964	3,42489	12
		LRS	8,2918	3,70694	15
		Gesamt	7,2272	3,71929	27
	Gesamt	Kontrolle	8,4330	4,34569	23
		LRS	9,2387	3,23300	26
		Gesamt	8,8605	3,77685	49
AT06N1P2	Gr2	Kontrolle	16,9450	4,67202	11
		LRS	14,5085	3,85041	11
		Gesamt	15,7267	4,35992	22
	Gr3	Kontrolle	8,3739	5,04482	12
		LRS	11,4131	4,37461	15
		Gesamt	10,0624	4,84154	27
	Gesamt	Kontrolle	12,4731	6,46616	23
		LRS	12,7227	4,36797	26
		Gesamt	12,6056	5,39596	49
AT09N1P2	Gr2	Kontrolle	10,9796	3,95671	11
		LRS	10,2978	2,68524	11
		Gesamt	10,6387	3,31819	22
	Gr3	Kontrolle	5,9862	3,52290	12
		LRS	7,6386	3,83180	15
		Gesamt	6,9042	3,72249	27
	Gesamt	Kontrolle	8,3743	4,45267	23
		LRS	8,7637	3,59188	26
		Gesamt	8,5809	3,98060	49
AT16N1P2	Gr2	Kontrolle	7,4051	3,03004	11
		LRS	7,5503	1,10441	11
		Gesamt	7,4777	2,22672	22
	Gr3	Kontrolle	3,0302	2,68164	12
		LRS	5,3612	3,35681	15
		Gesamt	4,3252	3,24086	27
	Gesamt	Kontrolle	5,1225	3,57238	23
		LRS	6,2873	2,83099	26
		Gesamt	5,7406	3,22000	49
AT19N1P2	Gr2	Kontrolle	17,5454	5,27144	11
		LRS	16,0728	3,83718	11
		Gesamt	16,8091	4,56199	22
	Gr3	Kontrolle	7,5363	5,08960	12
		LRS	11,6523	4,86797	15
		Gesamt	9,8230	5,29748	27
	Gesamt	Kontrolle	12,3233	7,19145	23
		LRS	13,5225	4,91124	26
		Gesamt	12,9596	6,05244	49

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
AT22N1P2	Gr2	Kontrolle	5,4649	2,52565	11
		LRS	6,1319	3,78485	11
		Gesamt	5,7984	3,15841	22
	Gr3	Kontrolle	3,2163	3,14724	12
		LRS	4,3565	3,16386	15
		Gesamt	3,8497	3,14864	27
	Gesamt	Kontrolle	4,2917	3,02837	23
		LRS	5,1076	3,48365	26
		Gesamt	4,7247	3,27007	49
BT03N1P2	Gr2	Kontrolle	11,7350	3,84384	11
		LRS	10,6078	3,47630	11
		Gesamt	11,1714	3,62258	22
	Gr3	Kontrolle	7,3675	3,72465	12
		LRS	8,4053	3,99164	15
		Gesamt	7,9441	3,83731	27
	Gesamt	Kontrolle	9,4563	4,31608	23
		LRS	9,3372	3,87141	26
		Gesamt	9,3931	4,04325	49
BT06N1P2	Gr2	Kontrolle	16,4435	4,35491	11
		LRS	14,7915	4,04230	11
		Gesamt	15,6175	4,18652	22
	Gr3	Kontrolle	11,3022	6,18815	12
		LRS	11,4914	4,75766	15
		Gesamt	11,4073	5,32902	27
	Gesamt	Kontrolle	13,7611	5,88753	23
		LRS	12,8876	4,68789	26
		Gesamt	13,2976	5,24664	49
BT09N1P2	Gr2	Kontrolle	12,5462	4,21670	11
		LRS	10,7641	3,79294	11
		Gesamt	11,6551	4,01863	22
	Gr3	Kontrolle	8,1558	4,34021	12
		LRS	8,0376	4,33946	15
		Gesamt	8,0901	4,25594	27
	Gesamt	Kontrolle	10,2555	4,74650	23
		LRS	9,1911	4,26461	26
		Gesamt	9,6907	4,48178	49
BT16N1P2	Gr2	Kontrolle	7,7587	3,72557	11
		LRS	7,7023	1,88980	11
		Gesamt	7,7305	2,88287	22
	Gr3	Kontrolle	4,7004	3,24985	12
		LRS	5,6351	3,84497	15
		Gesamt	5,2197	3,55708	27
	Gesamt	Kontrolle	6,1631	3,74563	23
		LRS	6,5097	3,28515	26
		Gesamt	6,3470	3,47589	49
BT19N1P2	Gr2	Kontrolle	15,6946	4,99740	11
		LRS	15,5967	3,94214	11
		Gesamt	15,6457	4,39262	22
	Gr3	Kontrolle	10,8563	6,52236	12
		LRS	11,2803	5,49001	15
		Gesamt	11,0919	5,85437	27
	Gesamt	Kontrolle	13,1703	6,22327	23
		LRS	13,1065	5,27486	26
		Gesamt	13,1364	5,67835	49

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
BT22N1P2	Gr2	Kontrolle	7,5966	2,63396	11
		LRS	7,5760	3,38908	11
		Gesamt	7,5863	2,96197	22
	Gr3	Kontrolle	6,0162	4,11005	12
		LRS	5,1616	3,61055	15
		Gesamt	5,5414	3,78860	27
	Gesamt	Kontrolle	6,7720	3,50020	23
		LRS	6,1831	3,65709	26
		Gesamt	6,4595	3,55938	49
CT03N1P2	Gr2	Kontrolle	10,9661	4,37005	11
		LRS	8,4655	3,47711	11
		Gesamt	9,7158	4,06065	22
	Gr3	Kontrolle	5,8256	3,85950	12
		LRS	7,3653	3,27588	15
		Gesamt	6,6810	3,56208	27
	Gesamt	Kontrolle	8,2841	4,79812	23
		LRS	7,8308	3,33961	26
		Gesamt	8,0436	4,05127	49
CT06N1P2	Gr2	Kontrolle	14,1263	4,99245	11
		LRS	12,2181	4,79778	11
		Gesamt	13,1722	4,87686	22
	Gr3	Kontrolle	9,0723	5,39806	12
		LRS	9,5664	4,29263	15
		Gesamt	9,3468	4,72363	27
	Gesamt	Kontrolle	11,4894	5,70632	23
		LRS	10,6883	4,61642	26
		Gesamt	11,0643	5,11734	49
CT09N1P2	Gr2	Kontrolle	10,2410	4,58093	11
		LRS	8,5017	4,04106	11
		Gesamt	9,3714	4,30829	22
	Gr3	Kontrolle	6,6124	3,77063	12
		LRS	6,6389	3,56335	15
		Gesamt	6,6271	3,58503	27
	Gesamt	Kontrolle	8,3478	4,48131	23
		LRS	7,4270	3,81098	26
		Gesamt	7,8592	4,12120	49
CT16N1P2	Gr2	Kontrolle	6,8296	4,17437	11
		LRS	6,2040	2,77788	11
		Gesamt	6,5168	3,47490	22
	Gr3	Kontrolle	3,9547	3,20099	12
		LRS	5,0323	3,47595	15
		Gesamt	4,5533	3,33745	27
	Gesamt	Kontrolle	5,3297	3,89872	23
		LRS	5,5280	3,19394	26
		Gesamt	5,4349	3,50568	49
CT19N1P2	Gr2	Kontrolle	13,6813	5,44507	11
		LRS	12,7624	4,75484	11
		Gesamt	13,2218	5,01055	22
	Gr3	Kontrolle	9,5095	6,06047	12
		LRS	9,3876	4,74364	15
		Gesamt	9,4418	5,25925	27
	Gesamt	Kontrolle	11,5047	6,03171	23
		LRS	10,8154	4,95335	26
		Gesamt	11,1389	5,43826	49

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
CT22N1P2	Gr2	Kontrolle	5,2932	2,72020	11
		LRS	5,9734	3,04393	11
		Gesamt	5,6333	2,83847	22
	Gr3	Kontrolle	5,1993	3,24539	12
		LRS	4,0037	2,76154	15
		Gesamt	4,5351	2,98813	27
	Gesamt	Kontrolle	5,2442	2,93802	23
		LRS	4,8370	2,99360	26
		Gesamt	5,0281	2,94380	49
DT03N1P2	Gr2	Kontrolle	10,4047	3,94510	11
		LRS	7,9766	2,91727	11
		Gesamt	9,1907	3,60667	22
	Gr3	Kontrolle	5,5605	3,90833	12
		LRS	6,8609	3,47883	15
		Gesamt	6,2830	3,66234	27
	Gesamt	Kontrolle	7,8773	4,56440	23
		LRS	7,3330	3,23998	26
		Gesamt	7,5885	3,88478	49
DT06N1P2	Gr2	Kontrolle	15,0640	4,87288	11
		LRS	11,4562	4,13257	11
		Gesamt	13,2601	4,78002	22
	Gr3	Kontrolle	8,4736	5,58390	12
		LRS	8,8676	3,88837	15
		Gesamt	8,6925	4,62304	27
	Gesamt	Kontrolle	11,6255	6,14114	23
		LRS	9,9628	4,12299	26
		Gesamt	10,7432	5,18093	49
DT09N1P2	Gr2	Kontrolle	10,2098	3,63430	11
		LRS	8,1728	3,26325	11
		Gesamt	9,1913	3,52806	22
	Gr3	Kontrolle	5,9877	3,78958	12
		LRS	6,4819	3,49664	15
		Gesamt	6,2622	3,56677	27
	Gesamt	Kontrolle	8,0070	4,22310	23
		LRS	7,1973	3,43979	26
		Gesamt	7,5773	3,80834	49
DT16N1P2	Gr2	Kontrolle	6,7210	4,04047	11
		LRS	6,2585	1,53427	11
		Gesamt	6,4898	2,99181	22
	Gr3	Kontrolle	3,7219	2,92677	12
		LRS	4,4035	3,35222	15
		Gesamt	4,1006	3,12956	27
	Gesamt	Kontrolle	5,1563	3,74834	23
		LRS	5,1883	2,84746	26
		Gesamt	5,1733	3,26539	49
DT19N1P2	Gr2	Kontrolle	13,6269	5,95027	11
		LRS	12,0248	4,78164	11
		Gesamt	12,8259	5,33102	22
	Gr3	Kontrolle	9,1179	6,11891	12
		LRS	8,5387	4,66797	15
		Gesamt	8,7961	5,25923	27
	Gesamt	Kontrolle	11,2744	6,33386	23
		LRS	10,0136	4,94298	26
		Gesamt	10,6054	5,61400	49

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N	
DT22N1P2	Gr2	Kontrolle	5,5485	2,04954	11	
		LRS	5,7065	3,01533	11	
		Gesamt	5,6275	2,51723	22	
	Gr3	Kontrolle	4,3494	3,11257	12	
		LRS	3,7285	2,82261	15	
		Gesamt	4,0045	2,91336	27	
	ET03N1P2	Gr2	Kontrolle	11,2490	3,24173	11
			LRS	9,1901	3,59168	11
			Gesamt	10,2195	3,50105	22
Gr3		Kontrolle	6,4222	3,95353	12	
		LRS	8,2747	3,38167	15	
		Gesamt	7,4514	3,69466	27	
ET06N1P2		Gr2	Kontrolle	15,2349	4,86997	11
			LRS	13,2145	5,65361	11
			Gesamt	14,2247	5,25198	22
	Gr3	Kontrolle	9,6204	5,94031	12	
		LRS	10,7828	4,18461	15	
		Gesamt	10,2662	4,97038	27	
	ET09N1P2	Gr2	Kontrolle	12,3056	6,05369	23
			LRS	11,8116	4,90842	26
			Gesamt	12,0435	5,42281	49
ET16N1P2		Gr2	Kontrolle	11,2170	3,60028	11
			LRS	8,9906	4,08039	11
			Gesamt	10,1038	3,92415	22
		Gr3	Kontrolle	6,9643	4,08547	12
			LRS	7,6638	3,93756	15
			Gesamt	7,3529	3,94152	27
	ET19N1P2	Gr2	Kontrolle	8,9982	4,35379	23
			LRS	8,2252	3,97356	26
			Gesamt	8,5880	4,13078	49
ET16N1P2		Gr2	Kontrolle	7,5392	2,89633	11
			LRS	7,0890	2,72873	11
			Gesamt	7,3141	2,75561	22
		Gr3	Kontrolle	3,9566	2,71695	12
			LRS	5,3705	3,29449	15
			Gesamt	4,7421	3,07895	27
	ET19N1P2	Gr2	Kontrolle	5,6700	3,29427	23
			LRS	6,0975	3,13147	26
			Gesamt	5,8969	3,18242	49
ET19N1P2		Gr2	Kontrolle	13,8275	5,87942	11
			LRS	13,1387	5,81209	11
			Gesamt	13,4831	5,71584	22
		Gr3	Kontrolle	9,1844	5,07655	12
			LRS	10,1276	4,79347	15
			Gesamt	9,7084	4,84807	27
	Gesamt	Kontrolle	11,4050	5,84995	23	
		LRS	11,4015	5,35547	26	
		Gesamt	11,4032	5,53382	49	

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
ET22N1P2	Gr2	Kontrolle	6,7015	2,44182	11
		LRS	6,3611	3,59911	11
		Gesamt	6,5313	3,00632	22
	Gr3	Kontrolle	4,9258	3,55925	12
		LRS	5,0777	3,28576	15
		Gesamt	5,0102	3,34349	27
	Gesamt	Kontrolle	5,7750	3,14116	23
		LRS	5,6207	3,41253	26
		Gesamt	5,6931	3,25479	49

Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	,716	14,514	9	,105	,838	,974	,250
VOHI	1,000	,000	0	,	1,000	1,000	1,000
SEITE	,787	10,544	2	,005	,824	,909	,500
BED * VOHI	,562	25,014	9	,003	,773	,892	,250
BED * SEITE	,221	63,547	35	,002	,754	,942	,125
VOHI * SEITE	,847	7,286	2	,026	,868	,959	,500
BED * VOHI * SEITE	,265	55,917	35	,014	,770	,964	,125

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b.

Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS

Innersubjekt-Design: BED+VOHI+SEITE+BED\*VOHI+BED\*SEITE+VOHI\*SEITE+BED\*VOHI\*SEITE

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	696,067	4	174,017	14,344	,000	,242
	Greenhouse-Geisser	696,067	3,352	207,682	14,344	,000	,242
	Huynh-Feldt	696,067	3,895	178,699	14,344	,000	,242
	Untergrenze	696,067	1,000	696,067	14,344	,000	,242
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	109,431	4	27,358	2,255	,065	,048
	Greenhouse-Geisser	109,431	3,352	32,650	2,255	,077	,048
	Huynh-Feldt	109,431	3,895	28,094	2,255	,067	,048
	Untergrenze	109,431	1,000	109,431	2,255	,140	,048
BED * LRS	Sphärizität angenommen	100,495	4	25,124	2,071	,086	,044
	Greenhouse-Geisser	100,495	3,352	29,984	2,071	,099	,044
	Huynh-Feldt	100,495	3,895	25,800	2,071	,088	,044
	Untergrenze	100,495	1,000	100,495	2,071	,157	,044
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	48,649	4	12,162	1,003	,408	,022
	Greenhouse-Geisser	48,649	3,352	14,515	1,003	,399	,022
	Huynh-Feldt	48,649	3,895	12,490	1,003	,406	,022
	Untergrenze	48,649	1,000	48,649	1,003	,322	,022
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	2183,740	180	12,132			
	Greenhouse-Geisser	2183,740	150,822	14,479			
	Huynh-Feldt	2183,740	175,283	12,458			
	Untergrenze	2183,740	45,000	48,528			
VOHI	Sphärizität angenommen	1492,123	1	1492,123	106,379	,000	,703
	Greenhouse-Geisser	1492,123	1,000	1492,123	106,379	,000	,703
	Huynh-Feldt	1492,123	1,000	1492,123	106,379	,000	,703
	Untergrenze	1492,123	1,000	1492,123	106,379	,000	,703
VOHI * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	39,610	1	39,610	2,824	,100	,059
	Greenhouse-Geisser	39,610	1,000	39,610	2,824	,100	,059
	Huynh-Feldt	39,610	1,000	39,610	2,824	,100	,059
	Untergrenze	39,610	1,000	39,610	2,824	,100	,059
VOHI * LRS	Sphärizität angenommen	30,672	1	30,672	2,187	,146	,046
	Greenhouse-Geisser	30,672	1,000	30,672	2,187	,146	,046
	Huynh-Feldt	30,672	1,000	30,672	2,187	,146	,046
	Untergrenze	30,672	1,000	30,672	2,187	,146	,046
VOHI * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	91,065	1	91,065	6,492	,014	,126
	Greenhouse-Geisser	91,065	1,000	91,065	6,492	,014	,126
	Huynh-Feldt	91,065	1,000	91,065	6,492	,014	,126
	Untergrenze	91,065	1,000	91,065	6,492	,014	,126
Fehler(VOHI)	Sphärizität angenommen	631,189	45	14,026			
	Greenhouse-Geisser	631,189	45,000	14,026			
	Huynh-Feldt	631,189	45,000	14,026			
	Untergrenze	631,189	45,000	14,026			
SEITE	Sphärizität angenommen	8005,334	2	4002,667	224,404	,000	,833
	Greenhouse-Geisser	8005,334	1,649	4855,596	224,404	,000	,833
	Huynh-Feldt	8005,334	1,817	4404,899	224,404	,000	,833
	Untergrenze	8005,334	1,000	8005,334	224,404	,000	,833
SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	317,304	2	158,652	8,895	,000	,165
	Greenhouse-Geisser	317,304	1,649	192,459	8,895	,001	,165
	Huynh-Feldt	317,304	1,817	174,595	8,895	,000	,165
	Untergrenze	317,304	1,000	317,304	8,895	,005	,165
SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	22,072	2	11,036	,619	,541	,014
	Greenhouse-Geisser	22,072	1,649	13,388	,619	,511	,014
	Huynh-Feldt	22,072	1,817	12,145	,619	,526	,014
	Untergrenze	22,072	1,000	22,072	,619	,436	,014
SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	58,037	2	29,019	1,627	,202	,035
	Greenhouse-Geisser	58,037	1,649	35,202	1,627	,207	,035
	Huynh-Feldt	58,037	1,817	31,935	1,627	,205	,035
	Untergrenze	58,037	1,000	58,037	1,627	,209	,035
Fehler(SEITE)	Sphärizität angenommen	1605,323	90	17,837			
	Greenhouse-Geisser	1605,323	74,191	21,638			
	Huynh-Feldt	1605,323	81,782	19,629			
	Untergrenze	1605,323	45,000	35,674			

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED * VOHI	Sphärizität angenommen	11,736	4	2,934	2,304	,060	,049
	Greenhouse-Geisser	11,736	3,093	3,794	2,304	,078	,049
	Huynh-Feldt	11,736	3,569	3,288	2,304	,068	,049
	Untergrenze	11,736	1,000	11,736	2,304	,136	,049
BED * VOHI * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	4,677	4	1,169	,918	,455	,020
	Greenhouse-Geisser	4,677	3,093	1,512	,918	,436	,020
	Huynh-Feldt	4,677	3,569	1,310	,918	,447	,020
	Untergrenze	4,677	1,000	4,677	,918	,343	,020
BED * VOHI * LRS	Sphärizität angenommen	,190	4	4,754E-02	,037	,997	,001
	Greenhouse-Geisser	,190	3,093	6,147E-02	,037	,991	,001
	Huynh-Feldt	,190	3,569	5,328E-02	,037	,995	,001
	Untergrenze	,190	1,000	,190	,037	,848	,001
BED * VOHI * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	11,629	4	2,907	2,283	,062	,048
	Greenhouse-Geisser	11,629	3,093	3,759	2,283	,080	,048
	Huynh-Feldt	11,629	3,569	3,258	2,283	,070	,048
	Untergrenze	11,629	1,000	11,629	2,283	,138	,048
Fehler(BED*VOHI)	Sphärizität angenommen	229,204	180	1,273			
	Greenhouse-Geisser	229,204	139,198	1,647			
	Huynh-Feldt	229,204	160,612	1,427			
	Untergrenze	229,204	45,000	5,093			
BED * SEITE	Sphärizität angenommen	117,803	8	14,725	8,035	,000	,152
	Greenhouse-Geisser	117,803	6,031	19,532	8,035	,000	,152
	Huynh-Feldt	117,803	7,532	15,640	8,035	,000	,152
	Untergrenze	117,803	1,000	117,803	8,035	,007	,152
BED * SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	40,452	8	5,056	2,759	,006	,058
	Greenhouse-Geisser	40,452	6,031	6,707	2,759	,013	,058
	Huynh-Feldt	40,452	7,532	5,370	2,759	,007	,058
	Untergrenze	40,452	1,000	40,452	2,759	,104	,058
BED * SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	13,627	8	1,703	,929	,492	,020
	Greenhouse-Geisser	13,627	6,031	2,259	,929	,474	,020
	Huynh-Feldt	13,627	7,532	1,809	,929	,488	,020
	Untergrenze	13,627	1,000	13,627	,929	,340	,020
BED * SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	40,870	8	5,109	2,788	,005	,058
	Greenhouse-Geisser	40,870	6,031	6,776	2,788	,012	,058
	Huynh-Feldt	40,870	7,532	5,426	2,788	,006	,058
	Untergrenze	40,870	1,000	40,870	2,788	,102	,058
Fehler(BED*SEITE)	Sphärizität angenommen	659,744	360	1,833			
	Greenhouse-Geisser	659,744	271,402	2,431			
	Huynh-Feldt	659,744	338,956	1,946			
	Untergrenze	659,744	45,000	14,661			
VOHI * SEITE	Sphärizität angenommen	689,362	2	344,681	61,693	,000	,578
	Greenhouse-Geisser	689,362	1,735	397,281	61,693	,000	,578
	Huynh-Feldt	689,362	1,919	359,232	61,693	,000	,578
	Untergrenze	689,362	1,000	689,362	61,693	,000	,578
VOHI * SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	44,551	2	22,276	3,987	,022	,081
	Greenhouse-Geisser	44,551	1,735	25,675	3,987	,028	,081
	Huynh-Feldt	44,551	1,919	23,216	3,987	,024	,081
	Untergrenze	44,551	1,000	44,551	3,987	,052	,081
VOHI * SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	,128	2	6,412E-02	,011	,989	,000
	Greenhouse-Geisser	,128	1,735	7,391E-02	,011	,981	,000
	Huynh-Feldt	,128	1,919	6,683E-02	,011	,987	,000
	Untergrenze	,128	1,000	,128	,011	,915	,000
VOHI * SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	6,641	2	3,320	,594	,554	,013
	Greenhouse-Geisser	6,641	1,735	3,827	,594	,531	,013
	Huynh-Feldt	6,641	1,919	3,461	,594	,547	,013
	Untergrenze	6,641	1,000	6,641	,594	,445	,013
Fehler(VOHI*SEITE)	Sphärizität angenommen	502,837	90	5,587			
	Greenhouse-Geisser	502,837	78,084	6,440			
	Huynh-Feldt	502,837	86,355	5,823			
	Untergrenze	502,837	45,000	11,174			

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED * VOHI * SEITE	Sphärizität angenommen	30,427	8	3,803	9,687	,000	,177
	Greenhouse-Geisser	30,427	6,156	4,942	9,687	,000	,177
	Huynh-Feldt	30,427	7,715	3,944	9,687	,000	,177
	Untergrenze	30,427	1,000	30,427	9,687	,003	,177
BED * VOHI * SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	12,877	8	1,610	4,100	,000	,083
	Greenhouse-Geisser	12,877	6,156	2,092	4,100	,001	,083
	Huynh-Feldt	12,877	7,715	1,669	4,100	,000	,083
	Untergrenze	12,877	1,000	12,877	4,100	,049	,083
BED * VOHI * SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	3,108	8	,389	,990	,444	,022
	Greenhouse-Geisser	3,108	6,156	,505	,990	,434	,022
	Huynh-Feldt	3,108	7,715	,403	,990	,442	,022
	Untergrenze	3,108	1,000	3,108	,990	,325	,022
BED * VOHI * SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	2,077	8	,260	,661	,726	,014
	Greenhouse-Geisser	2,077	6,156	,337	,661	,685	,014
	Huynh-Feldt	2,077	7,715	,269	,661	,720	,014
	Untergrenze	2,077	1,000	2,077	,661	,420	,014
Fehler(BED*VOHI*SEITE)	Sphärizität angenommen	141,346	360	,393			
	Greenhouse-Geisser	141,346	277,040	,510			
	Huynh-Feldt	141,346	347,160	,407			
	Untergrenze	141,346	45,000	3,141			

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

	F	df1	df2	Signifikanz
AT03N1P2	1,234	3	45	,308
AT06N1P2	,372	3	45	,774
AT09N1P2	,457	3	45	,714
AT16N1P2	3,342	3	45	,027
AT19N1P2	,115	3	45	,951
AT22N1P2	,504	3	45	,682
BT03N1P2	,180	3	45	,909
BT06N1P2	1,029	3	45	,389
BT09N1P2	,090	3	45	,965
BT16N1P2	1,711	3	45	,178
BT19N1P2	1,289	3	45	,290
BT22N1P2	,539	3	45	,658
CT03N1P2	,364	3	45	,779
CT06N1P2	,736	3	45	,536
CT09N1P2	,448	3	45	,720
CT16N1P2	1,299	3	45	,286
CT19N1P2	,650	3	45	,587
CT22N1P2	,250	3	45	,861
DT03N1P2	,563	3	45	,642
DT06N1P2	,866	3	45	,466
DT09N1P2	,087	3	45	,967
DT16N1P2	2,701	3	45	,057
DT19N1P2	,485	3	45	,695
DT22N1P2	,638	3	45	,595
ET03N1P2	,126	3	45	,944
ET06N1P2	,764	3	45	,520
ET09N1P2	,155	3	45	,926
ET16N1P2	,228	3	45	,876
ET19N1P2	,174	3	45	,914
ET22N1P2	,353	3	45	,788

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS

Innersubjekt-Design:

BED+VOHI+SEITE+BED\*VOHI+BED\*SEITE+VOHI\*SEITE+BED\*VOHI\*SEITE

Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	7431,791	1	7431,791	311,710	,000	,874
ALTER_GR	262,121	1	262,121	10,994	,002	,196
LRS	,424	1	,424	,018	,894	,000
ALTER_GR * LRS	24,080	1	24,080	1,010	,320	,022
Fehler	1072,891	45	23,842			

zu Fragestellungen 3.1, 3.2, 3.4

ANOVA m MW: Peak-to-Peak P100-N100o

Vergleich LRS-Gruppen vs Kontrollgruppen

über alle 5 Stimulationsbedingungen, über 4 ausgewählten Elektroden

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
AT30P1NO	Gr2	Kontrolle	9,1379	5,34997	11
		LRS	8,7074	5,71541	11
		Gesamt	8,9226	5,40679	22
	Gr3	Kontrolle	6,6950	1,97100	12
		LRS	6,2157	2,97776	15
		Gesamt	6,4287	2,54501	27
Gesamt	Kontrolle	7,8633	4,06317	23	
	LRS	7,2698	4,42808	26	
	Gesamt	7,5484	4,22715	49	
AT34P1NO	Gr2	Kontrolle	9,9024	5,10341	11
		LRS	10,1438	3,84333	11
		Gesamt	10,0231	4,41038	22
	Gr3	Kontrolle	8,3493	2,57771	12
		LRS	7,3377	4,91365	15
		Gesamt	7,7873	4,00926	27
Gesamt	Kontrolle	9,0921	3,97367	23	
	LRS	8,5249	4,62903	26	
	Gesamt	8,7911	4,29875	49	
AT36P1NO	Gr2	Kontrolle	8,8906	5,64274	11
		LRS	6,6706	7,52575	11
		Gesamt	7,7806	6,58960	22
	Gr3	Kontrolle	5,5840	3,60797	12
		LRS	5,9595	4,71286	15
		Gesamt	5,7926	4,18370	27
Gesamt	Kontrolle	7,1654	4,88201	23	
	LRS	6,2604	5,93475	26	
	Gesamt	6,6852	5,42924	49	
AT38P1NO	Gr2	Kontrolle	8,2894	5,80630	11
		LRS	6,3007	3,84893	11
		Gesamt	7,2950	4,91366	22
	Gr3	Kontrolle	5,4228	3,74305	12
		LRS	5,6545	4,90282	15
		Gesamt	5,5516	4,34564	27

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
AT38P1NO	Gesamt	Kontrolle	6,7938	4,94701	23
		LRS	5,9279	4,41506	26
		Gesamt	6,3343	4,64326	49
BT30P1NO	Gr2	Kontrolle	8,5768	6,34892	11
		LRS	8,5037	8,08554	11
		Gesamt	8,5403	7,09419	22
	Gr3	Kontrolle	3,8630	2,39999	12
		LRS	4,3729	3,13580	15
		Gesamt	4,1463	2,79256	27
	Gesamt	Kontrolle	6,1174	5,19603	23
		LRS	6,1206	5,99904	26
		Gesamt	6,1191	5,57839	49
BT34P1NO	Gr2	Kontrolle	4,9438	4,95211	11
		LRS	5,9205	7,68108	11
		Gesamt	5,4321	6,32632	22
	Gr3	Kontrolle	2,0370	3,55862	12
		LRS	1,8233	5,05384	15
		Gesamt	1,9183	4,37292	27
	Gesamt	Kontrolle	3,4272	4,43656	23
		LRS	3,5567	6,49337	26
		Gesamt	3,4959	5,56651	49
BT36P1NO	Gr2	Kontrolle	7,1631	6,19296	11
		LRS	3,2035	10,88262	11
		Gesamt	5,1833	8,87499	22
	Gr3	Kontrolle	4,2856	5,38849	12
		LRS	3,7666	5,49776	15
		Gesamt	3,9973	5,35058	27
	Gesamt	Kontrolle	5,6618	5,84046	23
		LRS	3,5283	8,02367	26
		Gesamt	4,5298	7,09382	49
BT38P1NO	Gr2	Kontrolle	5,1653	5,68307	11
		LRS	1,7282	7,71824	11
		Gesamt	3,4467	6,84404	22
	Gr3	Kontrolle	3,0353	5,45440	12
		LRS	2,0505	5,20607	15
		Gesamt	2,4881	5,23731	27
	Gesamt	Kontrolle	4,0540	5,54431	23
		LRS	1,9141	6,24761	26
		Gesamt	2,9185	5,96511	49
CT30P1NO	Gr2	Kontrolle	8,3074	6,23921	11
		LRS	6,2158	6,60417	11
		Gesamt	7,2616	6,36018	22
	Gr3	Kontrolle	3,5405	2,45237	12
		LRS	4,1955	3,50078	15
		Gesamt	3,9044	3,04197	27
	Gesamt	Kontrolle	5,8203	5,16035	23
		LRS	5,0503	5,03440	26
		Gesamt	5,4117	5,05534	49
CT34P1NO	Gr2	Kontrolle	5,9629	7,02187	11
		LRS	4,9174	5,84346	11
		Gesamt	5,4401	6,32659	22
	Gr3	Kontrolle	3,3597	4,10242	12
		LRS	1,3367	5,33972	15
		Gesamt	2,2358	4,85001	27

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
CT34P1NO	Gesamt	Kontrolle	4,6047	5,70920	23
		LRS	2,8516	5,73411	26
		Gesamt	3,6745	5,73112	49
CT36P1NO	Gr2	Kontrolle	6,7326	5,52878	11
		LRS	1,2935	10,88779	11
		Gesamt	4,0130	8,87433	22
	Gr3	Kontrolle	3,0988	5,37944	12
		LRS	2,4457	6,30316	15
		Gesamt	2,7360	5,80909	27
Gesamt	Kontrolle	4,8367	5,63987	23	
	LRS	1,9582	8,36680	26	
	Gesamt	3,3093	7,29010	49	
CT38P1NO	Gr2	Kontrolle	4,7035	5,37516	11
		LRS	,0068	7,00496	11
		Gesamt	2,3551	6,54995	22
	Gr3	Kontrolle	2,5705	5,96711	12
		LRS	,5963	6,63386	15
		Gesamt	1,4737	6,30557	27
Gesamt	Kontrolle	3,5906	5,66771	23	
	LRS	,3469	6,66037	26	
	Gesamt	1,8694	6,36417	49	
DT30P1NO	Gr2	Kontrolle	9,1953	5,86123	11
		LRS	6,2875	7,15405	11
		Gesamt	7,7414	6,55326	22
	Gr3	Kontrolle	3,7729	2,28511	12
		LRS	4,2809	4,20671	15
		Gesamt	4,0551	3,43572	27
Gesamt	Kontrolle	6,3662	5,08885	23	
	LRS	5,1298	5,60395	26	
	Gesamt	5,7102	5,34923	49	
DT34P1NO	Gr2	Kontrolle	6,1848	7,35692	11
		LRS	5,1376	5,65859	11
		Gesamt	5,6612	6,42714	22
	Gr3	Kontrolle	2,8973	3,51622	12
		LRS	2,3456	4,65718	15
		Gesamt	2,5908	4,12163	27
Gesamt	Kontrolle	4,4696	5,79683	23	
	LRS	3,5268	5,18968	26	
	Gesamt	3,9694	5,44563	49	
DT36P1NO	Gr2	Kontrolle	6,7361	5,98549	11
		LRS	1,6906	12,07475	11
		Gesamt	4,2134	9,65172	22
	Gr3	Kontrolle	2,5647	4,33009	12
		LRS	1,8927	5,91388	15
		Gesamt	2,1914	5,18464	27
Gesamt	Kontrolle	4,5597	5,49534	23	
	LRS	1,8072	8,82698	26	
	Gesamt	3,0992	7,50656	49	
DT38P1NO	Gr2	Kontrolle	4,7594	5,64537	11
		LRS	,4542	7,41568	11
		Gesamt	2,6068	6,79834	22
	Gr3	Kontrolle	1,5734	4,70262	12
		LRS	,6633	5,71192	15
		Gesamt	1,0678	5,20927	27

**Deskriptive Statistiken**

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
DT38P1NO	Gesamt	Kontrolle	3,0971	5,30958	23
		LRS	,5748	6,34654	26
		Gesamt	1,7588	5,95963	49
ET30P1NO	Gr2	Kontrolle	8,6735	6,18654	11
		LRS	7,4968	6,37399	11
		Gesamt	8,0852	6,15910	22
	Gr3	Kontrolle	4,5628	2,88925	12
		LRS	4,8657	3,24051	15
		Gesamt	4,7310	3,03474	27
	Gesamt	Kontrolle	6,5288	5,09698	23
		LRS	5,9788	4,88763	26
		Gesamt	6,2370	4,94229	49
ET34P1NO	Gr2	Kontrolle	6,4072	6,91113	11
		LRS	6,4972	7,20851	11
		Gesamt	6,4522	6,89136	22
	Gr3	Kontrolle	3,6644	4,24410	12
		LRS	2,2489	4,79977	15
		Gesamt	2,8780	4,53204	27
	Gesamt	Kontrolle	4,9762	5,71659	23
		LRS	4,0463	6,18608	26
		Gesamt	4,4828	5,92697	49
ET36P1NO	Gr2	Kontrolle	7,3270	6,81528	11
		LRS	3,5630	7,88809	11
		Gesamt	5,4450	7,44703	22
	Gr3	Kontrolle	4,3341	5,01916	12
		LRS	4,1385	5,38169	15
		Gesamt	4,2254	5,12476	27
	Gesamt	Kontrolle	5,7655	6,00379	23
		LRS	3,8950	6,41809	26
		Gesamt	4,7730	6,23414	49
ET38P1NO	Gr2	Kontrolle	4,9850	5,81444	11
		LRS	1,5794	6,41034	11
		Gesamt	3,2822	6,22129	22
	Gr3	Kontrolle	3,3629	5,19212	12
		LRS	2,1897	5,49980	15
		Gesamt	2,7111	5,29580	27
	Gesamt	Kontrolle	4,1387	5,43439	23
		LRS	1,9315	5,78535	26
		Gesamt	2,9675	5,67511	49

**Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>**

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	,456	34,104	9	,000	,717	,822	,250
VOHI	1,000	,000	0	,	1,000	1,000	1,000
SEITE	1,000	,000	0	,	1,000	1,000	1,000
BED * VOHI	,407	39,017	9	,000	,700	,801	,250
BED * SEITE	,484	31,517	9	,000	,722	,828	,250
VOHI * SEITE	1,000	,000	0	,	1,000	1,000	1,000
BED * VOHI * SEITE	,434	36,202	9	,000	,677	,772	,250

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

**Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>**

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b.

Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS

Innersubjekt-Design: BED+VOHI+SEITE+BED\*VOHI+BED\*SEITE+VOHI\*SEITE+BED\*VOHI\*SEITE

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	1822,161	4	455,540	30,713	,000	,406
	Greenhouse-Geisser	1822,161	2,869	635,173	30,713	,000	,406
	Huynh-Feldt	1822,161	3,289	554,018	30,713	,000	,406
	Untergrenze	1822,161	1,000	1822,161	30,713	,000	,406
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	9,497	4	2,374	,160	,958	,004
	Greenhouse-Geisser	9,497	2,869	3,310	,160	,916	,004
	Huynh-Feldt	9,497	3,289	2,887	,160	,936	,004
	Untergrenze	9,497	1,000	9,497	,160	,691	,004
BED * LRS	Sphärizität angenommen	74,012	4	18,503	1,248	,293	,027
	Greenhouse-Geisser	74,012	2,869	25,799	1,248	,295	,027
	Huynh-Feldt	74,012	3,289	22,503	1,248	,295	,027
	Untergrenze	74,012	1,000	74,012	1,248	,270	,027
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	32,867	4	8,217	,554	,696	,012
	Greenhouse-Geisser	32,867	2,869	11,457	,554	,639	,012
	Huynh-Feldt	32,867	3,289	9,993	,554	,662	,012
	Untergrenze	32,867	1,000	32,867	,554	,461	,012
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	2669,756	180	14,832			
	Greenhouse-Geisser	2669,756	129,094	20,681			
	Huynh-Feldt	2669,756	148,005	18,038			
	Untergrenze	2669,756	45,000	59,328			
VOHI	Sphärizität angenommen	791,006	1	791,006	16,138	,000	,264
	Greenhouse-Geisser	791,006	1,000	791,006	16,138	,000	,264
	Huynh-Feldt	791,006	1,000	791,006	16,138	,000	,264
	Untergrenze	791,006	1,000	791,006	16,138	,000	,264
VOHI * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	232,752	1	232,752	4,749	,035	,095
	Greenhouse-Geisser	232,752	1,000	232,752	4,749	,035	,095
	Huynh-Feldt	232,752	1,000	232,752	4,749	,035	,095
	Untergrenze	232,752	1,000	232,752	4,749	,035	,095
VOHI * LRS	Sphärizität angenommen	169,641	1	169,641	3,461	,069	,071
	Greenhouse-Geisser	169,641	1,000	169,641	3,461	,069	,071
	Huynh-Feldt	169,641	1,000	169,641	3,461	,069	,071
	Untergrenze	169,641	1,000	169,641	3,461	,069	,071
VOHI * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	118,485	1	118,485	2,417	,127	,051
	Greenhouse-Geisser	118,485	1,000	118,485	2,417	,127	,051
	Huynh-Feldt	118,485	1,000	118,485	2,417	,127	,051
	Untergrenze	118,485	1,000	118,485	2,417	,127	,051
Fehler(VOHI)	Sphärizität angenommen	2205,676	45	49,015			
	Greenhouse-Geisser	2205,676	45,000	49,015			
	Huynh-Feldt	2205,676	45,000	49,015			
	Untergrenze	2205,676	45,000	49,015			
SEITE	Sphärizität angenommen	412,153	1	412,153	8,076	,007	,152
	Greenhouse-Geisser	412,153	1,000	412,153	8,076	,007	,152
	Huynh-Feldt	412,153	1,000	412,153	8,076	,007	,152
	Untergrenze	412,153	1,000	412,153	8,076	,007	,152
SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	10,805	1	10,805	,212	,648	,005
	Greenhouse-Geisser	10,805	1,000	10,805	,212	,648	,005
	Huynh-Feldt	10,805	1,000	10,805	,212	,648	,005
	Untergrenze	10,805	1,000	10,805	,212	,648	,005
SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	,282	1	,282	,006	,941	,000
	Greenhouse-Geisser	,282	1,000	,282	,006	,941	,000
	Huynh-Feldt	,282	1,000	,282	,006	,941	,000
	Untergrenze	,282	1,000	,282	,006	,941	,000
SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	50,731	1	50,731	,994	,324	,022
	Greenhouse-Geisser	50,731	1,000	50,731	,994	,324	,022
	Huynh-Feldt	50,731	1,000	50,731	,994	,324	,022
	Untergrenze	50,731	1,000	50,731	,994	,324	,022
Fehler(SEITE)	Sphärizität angenommen	2296,582	45	51,035			
	Greenhouse-Geisser	2296,582	45,000	51,035			
	Huynh-Feldt	2296,582	45,000	51,035			
	Untergrenze	2296,582	45,000	51,035			

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED * VOHI	Sphärizität angenommen	43,666	4	10,916	2,837	,026	,059
	Greenhouse-Geisser	43,666	2,800	15,596	2,837	,044	,059
	Huynh-Feldt	43,666	3,204	13,630	2,837	,037	,059
	Untergrenze	43,666	1,000	43,666	2,837	,099	,059
BED * VOHI * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	45,925	4	11,481	2,984	,020	,062
	Greenhouse-Geisser	45,925	2,800	16,403	2,984	,037	,062
	Huynh-Feldt	45,925	3,204	14,335	2,984	,030	,062
	Untergrenze	45,925	1,000	45,925	2,984	,091	,062
BED * VOHI * LRS	Sphärizität angenommen	27,884	4	6,971	1,812	,128	,039
	Greenhouse-Geisser	27,884	2,800	9,959	1,812	,152	,039
	Huynh-Feldt	27,884	3,204	8,704	1,812	,144	,039
	Untergrenze	27,884	1,000	27,884	1,812	,185	,039
BED * VOHI * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	3,153	4	,788	,205	,935	,005
	Greenhouse-Geisser	3,153	2,800	1,126	,205	,881	,005
	Huynh-Feldt	3,153	3,204	,984	,205	,904	,005
	Untergrenze	3,153	1,000	3,153	,205	,653	,005
Fehler(BED*VOHI)	Sphärizität angenommen	692,610	180	3,848			
	Greenhouse-Geisser	692,610	125,993	5,497			
	Huynh-Feldt	692,610	144,162	4,804			
	Untergrenze	692,610	45,000	15,391			
BED * SEITE	Sphärizität angenommen	195,406	4	48,852	17,786	,000	,283
	Greenhouse-Geisser	195,406	2,888	67,664	17,786	,000	,283
	Huynh-Feldt	195,406	3,313	58,987	17,786	,000	,283
	Untergrenze	195,406	1,000	195,406	17,786	,000	,283
BED * SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	1,157	4	,289	,105	,981	,002
	Greenhouse-Geisser	1,157	2,888	,400	,105	,953	,002
	Huynh-Feldt	1,157	3,313	,349	,105	,967	,002
	Untergrenze	1,157	1,000	1,157	,105	,747	,002
BED * SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	5,692	4	1,423	,518	,723	,011
	Greenhouse-Geisser	5,692	2,888	1,971	,518	,664	,011
	Huynh-Feldt	5,692	3,313	1,718	,518	,688	,011
	Untergrenze	5,692	1,000	5,692	,518	,475	,011
BED * SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	7,652	4	1,913	,696	,595	,015
	Greenhouse-Geisser	7,652	2,888	2,650	,696	,551	,015
	Huynh-Feldt	7,652	3,313	2,310	,696	,569	,015
	Untergrenze	7,652	1,000	7,652	,696	,408	,015
Fehler(BED*SEITE)	Sphärizität angenommen	494,404	180	2,747			
	Greenhouse-Geisser	494,404	129,954	3,804			
	Huynh-Feldt	494,404	149,073	3,317			
	Untergrenze	494,404	45,000	10,987			
VOHI * SEITE	Sphärizität angenommen	6,059E-03	1	6,059E-03	,000	,984	,000
	Greenhouse-Geisser	6,059E-03	1,000	6,059E-03	,000	,984	,000
	Huynh-Feldt	6,059E-03	1,000	6,059E-03	,000	,984	,000
	Untergrenze	6,059E-03	1,000	6,059E-03	,000	,984	,000
VOHI * SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	7,847E-03	1	7,847E-03	,001	,982	,000
	Greenhouse-Geisser	7,847E-03	1,000	7,847E-03	,001	,982	,000
	Huynh-Feldt	7,847E-03	1,000	7,847E-03	,001	,982	,000
	Untergrenze	7,847E-03	1,000	7,847E-03	,001	,982	,000
VOHI * SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	1,062E-02	1	1,062E-02	,001	,979	,000
	Greenhouse-Geisser	1,062E-02	1,000	1,062E-02	,001	,979	,000
	Huynh-Feldt	1,062E-02	1,000	1,062E-02	,001	,979	,000
	Untergrenze	1,062E-02	1,000	1,062E-02	,001	,979	,000
VOHI * SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	7,103	1	7,103	,489	,488	,011
	Greenhouse-Geisser	7,103	1,000	7,103	,489	,488	,011
	Huynh-Feldt	7,103	1,000	7,103	,489	,488	,011
	Untergrenze	7,103	1,000	7,103	,489	,488	,011
Fehler(VOHI*SEITE)	Sphärizität angenommen	653,101	45	14,513			
	Greenhouse-Geisser	653,101	45,000	14,513			
	Huynh-Feldt	653,101	45,000	14,513			
	Untergrenze	653,101	45,000	14,513			

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED * VOHI * SEITE	Sphärizität angenommen	46,666	4	11,667	14,893	,000	,249
	Greenhouse-Geisser	46,666	2,706	17,245	14,893	,000	,249
	Huynh-Feldt	46,666	3,088	15,113	14,893	,000	,249
	Untergrenze	46,666	1,000	46,666	14,893	,000	,249
BED * VOHI * SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	3,580	4	,895	1,143	,338	,025
	Greenhouse-Geisser	3,580	2,706	1,323	1,143	,332	,025
	Huynh-Feldt	3,580	3,088	1,159	1,143	,335	,025
	Untergrenze	3,580	1,000	3,580	1,143	,291	,025
BED * VOHI * SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	,971	4	,243	,310	,871	,007
	Greenhouse-Geisser	,971	2,706	,359	,310	,798	,007
	Huynh-Feldt	,971	3,088	,314	,310	,824	,007
	Untergrenze	,971	1,000	,971	,310	,581	,007
BED * VOHI * SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	,847	4	,212	,270	,897	,006
	Greenhouse-Geisser	,847	2,706	,313	,270	,827	,006
	Huynh-Feldt	,847	3,088	,274	,270	,852	,006
	Untergrenze	,847	1,000	,847	,270	,606	,006
Fehler(BED*VOHI*SEITE)	Sphärizität angenommen	141,001	180	,783			
	Greenhouse-Geisser	141,001	121,773	1,158			
	Huynh-Feldt	141,001	138,953	1,015			
	Untergrenze	141,001	45,000	3,133			

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

	F	df1	df2	Signifikanz
AT30P1NO	4,129	3	45	,011
AT34P1NO	1,245	3	45	,305
AT36P1NO	1,696	3	45	,181
AT38P1NO	1,010	3	45	,397
BT30P1NO	2,373	3	45	,083
BT34P1NO	1,338	3	45	,274
BT36P1NO	1,091	3	45	,363
BT38P1NO	,525	3	45	,667
CT30P1NO	2,158	3	45	,106
CT34P1NO	,939	3	45	,430
CT36P1NO	,811	3	45	,495
CT38P1NO	,193	3	45	,901
DT30P1NO	2,886	3	45	,046
DT34P1NO	2,217	3	45	,099
DT36P1NO	1,991	3	45	,129
DT38P1NO	,443	3	45	,724
ET30P1NO	1,624	3	45	,197
ET34P1NO	1,560	3	45	,212
ET36P1NO	,490	3	45	,691
ET38P1NO	,113	3	45	,952

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS

Innersubjekt-Design:

BED+VOHI+SEITE+BED\*VOHI+BED\*SEITE+VOHI\*SEITE+BED\*VOHI\*SEITE

Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	2237,199	1	2237,199	49,720	,000	,525
ALTER_GR	125,903	1	125,903	2,798	,101	,059
LRS	47,119	1	47,119	1,047	,312	,023
ALTER_GR * LRS	19,024	1	19,024	,423	,519	,009
Fehler	2024,801	45	44,996			

zu Fragestellungen 3.1, 3.2, 3.4

ANOVA m MW: Amplitude P300

Vergleich LRS-Gruppen vs Kontrollgruppen

über alle 5 Stimulationsbedingungen, über 2 ausgewählten Elektroden

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
AT_P3_30	Gr2	Kontrolle	11,7233	5,09039	11
		LRS	14,7506	8,23287	11
		Gesamt	13,2370	6,85680	22
	Gr3	Kontrolle	5,9537	3,94905	12
		LRS	6,8899	3,89491	15
		Gesamt	6,4738	3,87186	27
Gesamt	Kontrolle	8,7130	5,31598	23	
	LRS	10,2156	7,16190	26	
	Gesamt	9,5103	6,34361	49	
AT_P3_34	Gr2	Kontrolle	10,6689	7,08414	11
		LRS	9,4220	6,34092	11
		Gesamt	10,0455	6,59175	22
	Gr3	Kontrolle	5,9808	4,32254	12
		LRS	5,3579	4,03024	15
		Gesamt	5,6347	4,09275	27
Gesamt	Kontrolle	8,2230	6,15524	23	
	LRS	7,0773	5,41957	26	
	Gesamt	7,6151	5,74424	49	
BT_P3_30	Gr2	Kontrolle	12,6437	6,95848	11
		LRS	16,6336	7,98418	11
		Gesamt	14,6387	7,58831	22
	Gr3	Kontrolle	7,4654	2,61070	12
		LRS	8,5533	2,49777	15
		Gesamt	8,0698	2,55860	27
Gesamt	Kontrolle	9,9420	5,69319	23	
	LRS	11,9719	6,75032	26	
	Gesamt	11,0191	6,29571	49	
BT_P3_34	Gr2	Kontrolle	12,4817	5,82373	11
		LRS	14,2671	8,62285	11
		Gesamt	13,3744	7,23821	22
	Gr3	Kontrolle	9,1494	5,64274	12
		LRS	6,8251	2,59372	15
		Gesamt	7,8581	4,29868	27

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
BT_P3_34	Gesamt	Kontrolle	10,7431	5,85092	23
		LRS	9,9736	6,89693	26
		Gesamt	10,3348	6,37304	49
CT_P3_30	Gr2	Kontrolle	10,4925	6,37447	11
		LRS	14,8410	8,13117	11
		Gesamt	12,6667	7,46899	22
	Gr3	Kontrolle	6,8200	3,10541	12
		LRS	8,1404	2,86328	15
		Gesamt	7,5536	2,99024	27
	Gesamt	Kontrolle	8,5764	5,17784	23
		LRS	10,9753	6,51419	26
		Gesamt	9,8493	5,98769	49
CT_P3_34	Gr2	Kontrolle	9,0171	6,50703	11
		LRS	12,8164	7,79173	11
		Gesamt	10,9167	7,27001	22
	Gr3	Kontrolle	6,8356	5,72742	12
		LRS	7,2555	3,74520	15
		Gesamt	7,0689	4,63425	27
	Gesamt	Kontrolle	7,8789	6,07365	23
		LRS	9,6082	6,32369	26
		Gesamt	8,7965	6,20448	49
DT_P3_30	Gr2	Kontrolle	10,4582	5,99820	11
		LRS	15,3729	8,25288	11
		Gesamt	12,9155	7,47610	22
	Gr3	Kontrolle	6,4018	3,00811	12
		LRS	8,9952	2,87722	15
		Gesamt	7,8426	3,16394	27
	Gesamt	Kontrolle	8,3418	5,01704	23
		LRS	11,6935	6,49655	26
		Gesamt	10,1202	6,03114	49
DT_P3_34	Gr2	Kontrolle	9,0354	6,99936	11
		LRS	11,6857	7,18852	11
		Gesamt	10,3605	7,05520	22
	Gr3	Kontrolle	7,2921	5,32635	12
		LRS	7,8294	3,88013	15
		Gesamt	7,5906	4,49260	27
Gesamt	Kontrolle	8,1258	6,10299	23	
	LRS	9,4609	5,73376	26	
	Gesamt	8,8342	5,88620	49	
ET_P3_30	Gr2	Kontrolle	10,4475	7,14629	11
		LRS	16,3980	7,10193	11
		Gesamt	13,4228	7,59013	22
	Gr3	Kontrolle	6,2996	3,00151	12
		LRS	8,3547	2,75675	15
		Gesamt	7,4413	2,99777	27
	Gesamt	Kontrolle	8,2834	5,67506	23
		LRS	11,7577	6,39165	26
		Gesamt	10,1269	6,25363	49
ET_P3_34	Gr2	Kontrolle	8,6927	5,52256	11
		LRS	13,6611	7,85379	11
		Gesamt	11,1769	7,09652	22

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
ET_P3_34	Gr3	Kontrolle	6,1954	5,61555	12
		LRS	7,0535	2,93666	15
		Gesamt	6,6721	4,26309	27
Gesamt	Kontrolle	LRS	7,3898	5,59081	23
		LRS	9,8490	6,37066	26
		Gesamt	8,6947	6,08293	49

Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	,299	52,477	9	,000	,618	,700	,250
SEITE	1,000	,000	0	,	1,000	1,000	1,000
BED * SEITE	,502	29,956	9	,000	,721	,827	,250

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: BED+SEITE+BED\*SEITE

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	237,620	4	59,405	6,877	,000	,133
	Greenhouse-Geisser	237,620	2,470	96,191	6,877	,001	,133
	Huynh-Feldt	237,620	2,799	84,892	6,877	,000	,133
	Untergrenze	237,620	1,000	237,620	6,877	,012	,133
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	63,607	4	15,902	1,841	,123	,039
	Greenhouse-Geisser	63,607	2,470	25,749	1,841	,154	,039
	Huynh-Feldt	63,607	2,799	22,724	1,841	,147	,039
	Untergrenze	63,607	1,000	63,607	1,841	,182	,039
BED * LRS	Sphärizität angenommen	137,860	4	34,465	3,990	,004	,081
	Greenhouse-Geisser	137,860	2,470	55,807	3,990	,015	,081
	Huynh-Feldt	137,860	2,799	49,252	3,990	,011	,081
	Untergrenze	137,860	1,000	137,860	3,990	,052	,081
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	40,354	4	10,089	1,168	,327	,025
	Greenhouse-Geisser	40,354	2,470	16,336	1,168	,321	,025
	Huynh-Feldt	40,354	2,799	14,417	1,168	,323	,025
	Untergrenze	40,354	1,000	40,354	1,168	,286	,025
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	1554,937	180	8,639			
	Greenhouse-Geisser	1554,937	111,163	13,988			
	Huynh-Feldt	1554,937	125,959	12,345			
	Untergrenze	1554,937	45,000	34,554			
SEITE	Sphärizität angenommen	205,495	1	205,495	4,390	,042	,089
	Greenhouse-Geisser	205,495	1,000	205,495	4,390	,042	,089
	Huynh-Feldt	205,495	1,000	205,495	4,390	,042	,089
	Untergrenze	205,495	1,000	205,495	4,390	,042	,089
SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	96,712	1	96,712	2,066	,158	,044
	Greenhouse-Geisser	96,712	1,000	96,712	2,066	,158	,044
	Huynh-Feldt	96,712	1,000	96,712	2,066	,158	,044
	Untergrenze	96,712	1,000	96,712	2,066	,158	,044
SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	113,420	1	113,420	2,423	,127	,051
	Greenhouse-Geisser	113,420	1,000	113,420	2,423	,127	,051
	Huynh-Feldt	113,420	1,000	113,420	2,423	,127	,051
	Untergrenze	113,420	1,000	113,420	2,423	,127	,051
SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	,398	1	,398	,009	,927	,000
	Greenhouse-Geisser	,398	1,000	,398	,009	,927	,000
	Huynh-Feldt	,398	1,000	,398	,009	,927	,000
	Untergrenze	,398	1,000	,398	,009	,927	,000
Fehler(SEITE)	Sphärizität angenommen	2106,347	45	46,808			
	Greenhouse-Geisser	2106,347	45,000	46,808			
	Huynh-Feldt	2106,347	45,000	46,808			
	Untergrenze	2106,347	45,000	46,808			
BED * SEITE	Sphärizität angenommen	23,108	4	5,777	2,000	,096	,043
	Greenhouse-Geisser	23,108	2,885	8,009	2,000	,120	,043
	Huynh-Feldt	23,108	3,310	6,982	2,000	,110	,043
	Untergrenze	23,108	1,000	23,108	2,000	,164	,043
BED * SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	8,445	4	2,111	,731	,572	,016
	Greenhouse-Geisser	8,445	2,885	2,927	,731	,530	,016
	Huynh-Feldt	8,445	3,310	2,552	,731	,548	,016
	Untergrenze	8,445	1,000	8,445	,731	,397	,016
BED * SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	23,846	4	5,962	2,064	,087	,044
	Greenhouse-Geisser	23,846	2,885	8,264	2,064	,111	,044
	Huynh-Feldt	23,846	3,310	7,205	2,064	,101	,044
	Untergrenze	23,846	1,000	23,846	2,064	,158	,044
BED * SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	13,228	4	3,307	1,145	,337	,025
	Greenhouse-Geisser	13,228	2,885	4,584	1,145	,333	,025
	Huynh-Feldt	13,228	3,310	3,997	1,145	,335	,025
	Untergrenze	13,228	1,000	13,228	1,145	,290	,025
Fehler(BED*SEITE)	Sphärizität angenommen	519,940	180	2,889			
	Greenhouse-Geisser	519,940	129,842	4,004			
	Huynh-Feldt	519,940	148,934	3,491			
	Untergrenze	519,940	45,000	11,554			

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

	F	df1	df2	Signifikanz
AT_P3_30	4,856	3	45	,005
AT_P3_34	1,340	3	45	,273
BT_P3_30	10,400	3	45	,000
BT_P3_34	4,630	3	45	,007
CT_P3_30	6,358	3	45	,001
CT_P3_34	1,761	3	45	,168
DT_P3_30	7,675	3	45	,000
DT_P3_34	1,775	3	45	,166
ET_P3_30	8,635	3	45	,000
ET_P3_34	4,575	3	45	,007

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a.

Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: BED+SEITE+BED\*SEITE

Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	9128,129	1	9128,129	214,847	,000	,827
ALTER_GR	625,381	1	625,381	14,719	,000	,246
LRS	101,560	1	101,560	2,390	,129	,050
ALTER_GR * LRS	45,009	1	45,009	1,059	,309	,023
Fehler	1911,898	45	42,487			

**zu Fragestellungen 3.1, 3.2, 3.4**  
**ANOVA m MW: Latenz N100**  
**Vergleich LRS-Gruppen vs Kontrollgruppen**  
**über alle 5 Stimulationsbedingungen**

**Deskriptive Statistiken**

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
L_AT_N1	Gr2	Kontrolle	141,0909	9,31080	11
		LRS	143,6364	9,20079	11
		Gesamt	142,3636	9,12634	22
	Gr3	Kontrolle	123,3333	9,47085	12
		LRS	133,0667	14,05838	15
		Gesamt	128,7407	12,98695	27
	Gesamt	Kontrolle	131,8261	12,90402	23
		LRS	137,5385	13,14909	26
		Gesamt	134,8571	13,21615	49
L_BT_N1	Gr2	Kontrolle	143,6364	7,47359	11
		LRS	144,7273	7,76004	11
		Gesamt	144,1818	7,45550	22
	Gr3	Kontrolle	125,3333	17,16939	12
		LRS	136,8000	11,73030	15
		Gesamt	131,7037	15,24874	27
	Gesamt	Kontrolle	134,0870	16,12991	23
		LRS	140,1538	10,82106	26
		Gesamt	137,3061	13,76924	49
L_CT_N1	Gr2	Kontrolle	141,8182	8,07240	11
		LRS	142,5455	8,05436	11
		Gesamt	142,1818	7,87786	22
	Gr3	Kontrolle	122,6667	17,08446	12
		LRS	125,8667	17,16253	15
		Gesamt	124,4444	16,87359	27
	Gesamt	Kontrolle	131,8261	16,46940	23
		LRS	132,9231	16,17139	26
		Gesamt	132,4082	16,15023	49
L_DT_N1	Gr2	Kontrolle	143,6364	6,56160	11
		LRS	139,6364	11,09300	11
		Gesamt	141,6364	9,12634	22
	Gr3	Kontrolle	124,3333	17,84445	12
		LRS	133,6000	17,02435	15
		Gesamt	129,4815	17,68609	27
	Gesamt	Kontrolle	133,5652	16,61277	23
		LRS	136,1538	14,85851	26
		Gesamt	134,9388	15,59435	49
L_ET_N1	Gr2	Kontrolle	144,0000	8,39047	11
		LRS	138,9091	16,59792	11
		Gesamt	141,4545	13,09572	22
	Gr3	Kontrolle	126,6667	11,09737	12
		LRS	138,1333	11,69778	15
		Gesamt	133,0370	12,62927	27
	Gesamt	Kontrolle	134,9565	13,11307	23
		LRS	138,4615	13,67401	26
		Gesamt	136,8163	13,39103	49

**Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>**

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	,543	26,485	9	,002	,790	,913	,250

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: BED

**Tests der Innersubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	562,620	4	140,655	1,620	,171	,035
	Greenhouse-Geisser	562,620	3,161	178,001	1,620	,185	,035
	Huynh-Feldt	562,620	3,654	153,976	1,620	,177	,035
	Untergrenze	562,620	1,000	562,620	1,620	,210	,035
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	487,808	4	121,952	1,405	,234	,030
	Greenhouse-Geisser	487,808	3,161	154,331	1,405	,243	,030
	Huynh-Feldt	487,808	3,654	133,502	1,405	,238	,030
	Untergrenze	487,808	1,000	487,808	1,405	,242	,030
BED * LRS	Sphärizität angenommen	198,129	4	49,532	,571	,684	,013
	Greenhouse-Geisser	198,129	3,161	62,684	,571	,644	,013
	Huynh-Feldt	198,129	3,654	54,223	,571	,669	,013
	Untergrenze	198,129	1,000	198,129	,571	,454	,013
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	356,756	4	89,189	1,027	,395	,022
	Greenhouse-Geisser	356,756	3,161	112,870	1,027	,385	,022
	Huynh-Feldt	356,756	3,654	97,636	1,027	,391	,022
	Untergrenze	356,756	1,000	356,756	1,027	,316	,022
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	15627,326	180	86,818			
	Greenhouse-Geisser	15627,326	142,235	109,870			
	Huynh-Feldt	15627,326	164,427	95,041			
	Untergrenze	15627,326	45,000	347,274			

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

	F	df1	df2	Signifikanz
L_AT_N1	1,536	3	45	,218
L_BT_N1	,556	3	45	,647
L_CT_N1	1,920	3	45	,140
L_DT_N1	2,466	3	45	,074
L_ET_N1	,410	3	45	,747

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: BED

Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	887562,804	1	887562,804	9621,878	,000	,995
ALTER_GR	2159,276	1	2159,276	23,408	,000	,342
LRS	196,813	1	196,813	2,134	,151	,045
ALTER_GR * LRS	299,692	1	299,692	3,249	,078	,067
Fehler	4150,991	45	92,244			

zu Fragestellungen 3.1, 3.2, 3.4  
ANOVA m MW: Latenz P200  
Vergleich LRS-Gruppen vs Kontrollgruppen  
über alle 5 Stimulationsbedingungen

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
L_AT_P2	Gr2	Kontrolle	221,4545	18,78491	11
		LRS	238,5455	16,90186	11
		Gesamt	230,0000	19,50824	22
	Gr3	Kontrolle	229,0000	40,25826	12
		LRS	225,6000	33,18519	15
		Gesamt	227,1111	35,80001	27
	Gesamt	Kontrolle	225,3913	31,39447	23
		LRS	231,0769	27,81212	26
		Gesamt	228,4082	29,37397	49
L_BT_P2	Gr2	Kontrolle	226,5455	22,14662	11
		LRS	246,5455	21,63499	11
		Gesamt	236,5455	23,68992	22
	Gr3	Kontrolle	231,0000	41,36314	12
		LRS	230,4000	30,03997	15
		Gesamt	230,6667	34,78284	27
	Gesamt	Kontrolle	228,8696	32,91767	23
		LRS	237,2308	27,54532	26
		Gesamt	233,3061	30,15944	49
L_CT_P2	Gr2	Kontrolle	222,9091	20,79161	11
		LRS	231,6364	23,96361	11
		Gesamt	227,2727	22,34402	22
	Gr3	Kontrolle	237,0000	41,43341	12
		LRS	228,2667	30,17915	15
		Gesamt	232,1481	35,16084	27
	Gesamt	Kontrolle	230,2609	33,26644	23
		LRS	229,6923	27,25108	26
		Gesamt	229,9592	29,90120	49
L_DT_P2	Gr2	Kontrolle	218,9091	20,55945	11
		LRS	240,7273	15,78031	11
		Gesamt	229,8182	21,08404	22
	Gr3	Kontrolle	235,0000	38,89847	12
		LRS	229,0667	29,25618	15
		Gesamt	231,7037	33,31760	27
	Gesamt	Kontrolle	227,3043	31,87823	23
		LRS	234,0000	24,76772	26
		Gesamt	230,8571	28,22528	49
L_ET_P2	Gr2	Kontrolle	223,2727	25,66356	11
		LRS	241,4545	17,55200	11
		Gesamt	232,3636	23,38609	22
	Gr3	Kontrolle	233,6667	38,68599	12
		LRS	231,4667	29,27180	15
		Gesamt	232,4444	33,10279	27
	Gesamt	Kontrolle	228,6957	32,80027	23
		LRS	235,6923	25,06754	26
		Gesamt	232,4082	28,85879	49

### Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	,407	39,079	9	,000	,771	,890	,250

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: BED

### Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	750,940	4	187,735	,680	,607	,015
	Greenhouse-Geisser	750,940	3,085	243,413	,680	,570	,015
	Huynh-Feldt	750,940	3,559	211,009	,680	,590	,015
	Untergrenze	750,940	1,000	750,940	,680	,414	,015
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	904,423	4	226,106	,819	,515	,018
	Greenhouse-Geisser	904,423	3,085	293,164	,819	,488	,018
	Huynh-Feldt	904,423	3,559	254,137	,819	,503	,018
	Untergrenze	904,423	1,000	904,423	,819	,370	,018
BED * LRS	Sphärizität angenommen	686,545	4	171,636	,622	,648	,014
	Greenhouse-Geisser	686,545	3,085	222,540	,622	,607	,014
	Huynh-Feldt	686,545	3,559	192,915	,622	,629	,014
	Untergrenze	686,545	1,000	686,545	,622	,435	,014
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	175,831	4	43,958	,159	,959	,004
	Greenhouse-Geisser	175,831	3,085	56,995	,159	,928	,004
	Huynh-Feldt	175,831	3,559	49,407	,159	,946	,004
	Untergrenze	175,831	1,000	175,831	,159	,692	,004
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	49690,453	180	276,058			
	Greenhouse-Geisser	49690,453	138,827	357,931			
	Huynh-Feldt	49690,453	160,146	310,282			
	Untergrenze	49690,453	45,000	1104,232			

### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

	F	df1	df2	Signifikanz
L_AT_P2	2,816	3	45	,050
L_BT_P2	2,123	3	45	,111
L_CT_P2	2,159	3	45	,106
L_DT_P2	2,422	3	45	,078
L_ET_P2	1,592	3	45	,205

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: BED

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	2575771,824	1	2575771,8	3965,454	,000	,989
ALTER_GR	,283	1	,283	,000	,983	,000
LRS	508,556	1	508,556	,783	,381	,017
ALTER_GR * LRS	1372,035	1	1372,035	2,112	,153	,045
Fehler	29229,875	45	649,553			

**zu Fragestellungen 3.1, 3.2, 3.4**  
**ANOVA m MW: Latenz N400**  
**Vergleich LRS-Gruppen vs Kontrollgruppen**  
**über alle 5 Stimulationsbedingungen**

**Deskriptive Statistiken**

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
L_AT_N4	Gr2	Kontrolle	435,6364	89,91471	11
		LRS	418,9091	70,33840	11
		Gesamt	427,2727	79,24055	22
	Gr3	Kontrolle	437,3333	101,91381	12
		LRS	438,1333	102,01251	15
		Gesamt	437,7778	99,98974	27
	Gesamt	Kontrolle	436,5217	94,17434	23
		LRS	430,0000	88,88464	26
		Gesamt	433,0612	90,50148	49
L_BT_N4	Gr2	Kontrolle	421,4545	82,33148	11
		LRS	444,3636	81,73038	11
		Gesamt	432,9091	80,90848	22
	Gr3	Kontrolle	453,6667	100,36237	12
		LRS	465,3333	83,84566	15
		Gesamt	460,1481	89,89896	27
	Gesamt	Kontrolle	438,2609	91,58663	23
		LRS	456,4615	81,97816	26
		Gesamt	447,9184	86,19161	49
L_CT_N4	Gr2	Kontrolle	439,2727	70,05868	11
		LRS	492,7273	77,74457	11
		Gesamt	466,0000	77,22571	22
	Gr3	Kontrolle	483,0000	50,34066	12
		LRS	458,1333	99,25283	15
		Gesamt	469,1852	80,84032	27
	Gesamt	Kontrolle	462,0870	63,22105	23
		LRS	472,7692	90,76401	26
		Gesamt	467,7551	78,43217	49
L_DT_N4	Gr2	Kontrolle	445,0909	56,31599	11
		LRS	475,6364	114,61874	11
		Gesamt	460,3636	89,50155	22
	Gr3	Kontrolle	435,0000	106,14741	12
		LRS	431,7333	102,67805	15
		Gesamt	433,1852	102,20832	27
	Gesamt	Kontrolle	439,8261	84,27210	23
		LRS	450,3077	107,92693	26
		Gesamt	445,3878	96,69385	49
L_ET_N4	Gr2	Kontrolle	451,6364	56,75081	11
		LRS	496,0000	47,86648	11
		Gesamt	473,8182	56,03709	22
	Gr3	Kontrolle	468,3333	98,56362	12
		LRS	447,7333	69,19070	15
		Gesamt	456,8889	82,44221	27
	Gesamt	Kontrolle	460,3478	79,96284	23
		LRS	468,1538	64,72075	26
		Gesamt	464,4898	71,60835	49

**Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>**

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	,745	12,792	9	,173	,872	1,000	,250

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: BED

**Tests der Innersubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	43356,271	4	10839,068	1,890	,114	,040
	Greenhouse-Geisser	43356,271	3,490	12424,704	1,890	,124	,040
	Huynh-Feldt	43356,271	4,000	10839,068	1,890	,114	,040
	Untergrenze	43356,271	1,000	43356,271	1,890	,176	,040
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	21880,443	4	5470,111	,954	,434	,021
	Greenhouse-Geisser	21880,443	3,490	6270,328	,954	,426	,021
	Huynh-Feldt	21880,443	4,000	5470,111	,954	,434	,021
	Untergrenze	21880,443	1,000	21880,443	,954	,334	,021
BED * LRS	Sphärizität angenommen	4953,094	4	1238,273	,216	,929	,005
	Greenhouse-Geisser	4953,094	3,490	1419,419	,216	,910	,005
	Huynh-Feldt	4953,094	4,000	1238,273	,216	,929	,005
	Untergrenze	4953,094	1,000	4953,094	,216	,644	,005
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	18371,468	4	4592,867	,801	,526	,017
	Greenhouse-Geisser	18371,468	3,490	5264,753	,801	,512	,017
	Huynh-Feldt	18371,468	4,000	4592,867	,801	,526	,017
	Untergrenze	18371,468	1,000	18371,468	,801	,376	,017
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	1032424,747	180	5735,693			
	Greenhouse-Geisser	1032424,747	157,028	6574,762			
	Huynh-Feldt	1032424,747	180,000	5735,693			
	Untergrenze	1032424,747	45,000	22942,772			

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

	F	df1	df2	Signifikanz
L_AT_N4	1,084	3	45	,366
L_BT_N4	,425	3	45	,736
L_CT_N4	1,871	3	45	,148
L_DT_N4	4,311	3	45	,009
L_ET_N4	2,543	3	45	,068

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: BED

Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	9849468,936	1	9849468,9	3459,509	,000	,987
ALTER_GR	,653	1	,653	,000	,988	,000
LRS	1164,339	1	1164,339	,409	,526	,009
ALTER_GR * LRS	3517,201	1	3517,201	1,235	,272	,027
Fehler	128118,202	45	2847,071			

zu Fragestellungen 3.1, 3.2, 3.4  
ANOVA m MW: Latenz P100  
Vergleich LRS-Gruppen vs Kontrollgruppen  
über alle 5 Stimulationsbedingungen

Deskriptive Statistiken

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
L_AT_P1	Gr2	Kontrolle	137,8182	22,08084	11
		LRS	144,7273	14,40202	11
		Gesamt	141,2727	18,53229	22
	Gr3	Kontrolle	127,3333	16,16581	12
		LRS	138,6667	17,73885	15
		Gesamt	133,6296	17,68995	27
	Gesamt	Kontrolle	132,3478	19,51831	23
		LRS	141,2308	16,38611	26
		Gesamt	137,0612	18,28981	49
L_BT_P1	Gr2	Kontrolle	156,7273	19,33438	11
		LRS	149,8182	14,23951	11
		Gesamt	153,2727	16,94299	22
	Gr3	Kontrolle	136,3333	27,42041	12
		LRS	146,4000	22,20939	15
		Gesamt	141,9259	24,69183	27
	Gesamt	Kontrolle	146,0870	25,58038	23
		LRS	147,8462	18,98145	26
		Gesamt	147,0204	22,09873	49
L_CT_P1	Gr2	Kontrolle	153,8182	19,54389	11
		LRS	151,2727	15,05384	11
		Gesamt	152,5455	17,07331	22
	Gr3	Kontrolle	142,6667	30,47900	12
		LRS	146,9333	21,24506	15
		Gesamt	145,0370	25,31263	27
	Gesamt	Kontrolle	148,0000	25,89489	23
		LRS	148,7692	18,65971	26
		Gesamt	148,4082	22,10950	49
L_DT_P1	Gr2	Kontrolle	157,8182	19,37946	11
		LRS	148,3636	14,36156	11
		Gesamt	153,0909	17,33400	22
	Gr3	Kontrolle	150,3333	31,19246	12
		LRS	158,1333	23,89820	15
		Gesamt	154,6667	27,10663	27
	Gesamt	Kontrolle	153,9130	25,91930	23
		LRS	154,0000	20,65333	26
		Gesamt	153,9592	23,02350	49
L_ET_P1	Gr2	Kontrolle	152,3636	19,87598	11
		LRS	150,9091	12,78636	11
		Gesamt	151,6364	16,32569	22
	Gr3	Kontrolle	144,3333	30,67523	12
		LRS	146,1333	22,41768	15
		Gesamt	145,3333	25,87544	27
	Gesamt	Kontrolle	148,1739	25,82397	23
		LRS	148,1538	18,77806	26
		Gesamt	148,1633	22,12026	49

### Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	,464	33,340	9	,000	,775	,894	,250

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: BED

### Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	7070,089	4	1767,522	8,165	,000	,154
	Greenhouse-Geisser	7070,089	3,098	2281,859	8,165	,000	,154
	Huynh-Feldt	7070,089	3,576	1977,345	8,165	,000	,154
	Untergrenze	7070,089	1,000	7070,089	8,165	,006	,154
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	1111,952	4	277,988	1,284	,278	,028
	Greenhouse-Geisser	1111,952	3,098	358,880	1,284	,282	,028
	Huynh-Feldt	1111,952	3,576	310,988	1,284	,280	,028
	Untergrenze	1111,952	1,000	1111,952	1,284	,263	,028
BED * LRS	Sphärizität angenommen	763,738	4	190,934	,882	,476	,019
	Greenhouse-Geisser	763,738	3,098	246,495	,882	,455	,019
	Huynh-Feldt	763,738	3,576	213,600	,882	,467	,019
	Untergrenze	763,738	1,000	763,738	,882	,353	,019
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	565,718	4	141,429	,653	,625	,014
	Greenhouse-Geisser	565,718	3,098	182,584	,653	,587	,014
	Huynh-Feldt	565,718	3,576	158,219	,653	,608	,014
	Untergrenze	565,718	1,000	565,718	,653	,423	,014
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	38967,244	180	216,485			
	Greenhouse-Geisser	38967,244	139,428	279,480			
	Huynh-Feldt	38967,244	160,900	242,184			
	Untergrenze	38967,244	45,000	865,939			

### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

	F	df1	df2	Signifikanz
L_AT_P1	1,004	3	45	,400
L_BT_P1	2,021	3	45	,124
L_CT_P1	2,367	3	45	,083
L_DT_P1	3,036	3	45	,039
L_ET_P1	2,484	3	45	,073

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: BED

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	1042608,405	1	1042608,4	3537,383	,000	,987
ALTER_GR	531,006	1	531,006	1,802	,186	,038
LRS	57,353	1	57,353	,195	,661	,004
ALTER_GR * LRS	286,151	1	286,151	,971	,330	,021
Fehler	13263,303	45	294,740			

**zu Fragestellungen 3.1, 3.2, 3.4**  
**ANOVA m MW: Latenz P300**  
**Vergleich LRS-Gruppen vs Kontrollgruppen**  
**über alle 5 Stimulationsbedingungen**

**Deskriptive Statistiken**

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
L_AT_P3	Gr2	Kontrolle	327,2727	48,82026	11
		LRS	312,0000	44,72136	11
		Gesamt	319,6364	46,35119	22
	Gr3	Kontrolle	297,3333	28,19843	12
		LRS	315,7333	52,92510	15
		Gesamt	307,5556	43,94869	27
	Gesamt	Kontrolle	311,6522	41,40993	23
		LRS	314,1538	48,70457	26
		Gesamt	312,9796	44,97800	49
L_BT_P3	Gr2	Kontrolle	296,7273	32,19034	11
		LRS	297,8182	39,57226	11
		Gesamt	297,2727	35,20576	22
	Gr3	Kontrolle	293,0000	44,41539	12
		LRS	292,8000	38,49156	15
		Gesamt	292,8889	40,40310	27
	Gesamt	Kontrolle	294,7826	38,22298	23
		LRS	294,9231	38,24230	26
		Gesamt	294,8571	37,83297	49
L_CT_P3	Gr2	Kontrolle	286,1818	25,51007	11
		LRS	296,3636	40,13794	11
		Gesamt	291,2727	33,22962	22
	Gr3	Kontrolle	284,0000	31,90896	12
		LRS	288,5333	36,12254	15
		Gesamt	286,5185	33,74380	27
	Gesamt	Kontrolle	285,0435	28,39251	23
		LRS	291,8462	37,29203	26
		Gesamt	288,6531	33,25003	49
L_DT_P3	Gr2	Kontrolle	298,5455	43,86425	11
		LRS	288,7273	40,74578	11
		Gesamt	293,6364	41,61793	22
	Gr3	Kontrolle	278,0000	28,41255	12
		LRS	292,2667	35,95129	15
		Gesamt	285,9259	33,01040	27
	Gesamt	Kontrolle	287,8261	37,26033	23
		LRS	290,7692	37,29698	26
		Gesamt	289,3878	36,91929	49
L_ET_P3	Gr2	Kontrolle	296,3636	38,71763	11
		LRS	299,6364	41,89337	11
		Gesamt	298,0000	39,40027	22
	Gr3	Kontrolle	286,0000	32,56323	12
		LRS	296,5333	38,89522	15
		Gesamt	291,8519	35,93980	27
	Gesamt	Kontrolle	290,9565	35,20780	23
		LRS	297,8462	39,39106	26
		Gesamt	294,6122	37,26080	49

**Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>**

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	,511	29,142	9	,001	,765	,882	,250

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: BED

**Tests der Innersubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	18827,086	4	4706,772	7,022	,000	,135
	Greenhouse-Geisser	18827,086	3,061	6150,111	7,022	,000	,135
	Huynh-Feldt	18827,086	3,529	5334,967	7,022	,000	,135
	Untergrenze	18827,086	1,000	18827,086	7,022	,011	,135
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	590,418	4	147,604	,220	,927	,005
	Greenhouse-Geisser	590,418	3,061	192,868	,220	,886	,005
	Huynh-Feldt	590,418	3,529	167,305	,220	,909	,005
	Untergrenze	590,418	1,000	590,418	,220	,641	,005
BED * LRS	Sphärizität angenommen	493,900	4	123,475	,184	,946	,004
	Greenhouse-Geisser	493,900	3,061	161,339	,184	,910	,004
	Huynh-Feldt	493,900	3,529	139,955	,184	,931	,004
	Untergrenze	493,900	1,000	493,900	,184	,670	,004
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	3392,194	4	848,048	1,265	,285	,027
	Greenhouse-Geisser	3392,194	3,061	1108,104	1,265	,289	,027
	Huynh-Feldt	3392,194	3,529	961,234	1,265	,287	,027
	Untergrenze	3392,194	1,000	3392,194	1,265	,267	,027
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	120659,375	180	670,330			
	Greenhouse-Geisser	120659,375	137,757	875,888			
	Huynh-Feldt	120659,375	158,805	759,796			
	Untergrenze	120659,375	45,000	2681,319			

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

	F	df1	df2	Signifikanz
L_AT_P3	3,019	3	45	,039
L_BT_P3	,730	3	45	,539
L_CT_P3	1,736	3	45	,173
L_DT_P3	1,766	3	45	,167
L_ET_P3	,700	3	45	,557

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: BED

**Tests der Zwischensubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	4230248,876	1	4230248,9	4328,571	,000	,990
ALTER_GR	685,996	1	685,996	,702	,407	,015
LRS	164,922	1	164,922	,169	,683	,004
ALTER_GR * LRS	406,626	1	406,626	,416	,522	,009
Fehler	43977,841	45	977,285			

**zu Fragestellung 3.3**

**ANOVA m MW: Wortlisten/Fehler / unterscheidet sich assembliert/adressiert  
Vergleich der LRS-Gruppen vs Kontroll-Gruppen  
über Wortlesen und Nonwortlesen**

**Deskriptive Statistiken**

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
PD_3SFPR	Gr2	Kontrolle	3,5556	4,26627	15
		LRS	16,8889	15,09056	15
		Gesamt	10,2222	12,83354	30
	Gr3	Kontrolle	1,0222	2,70938	15
	LRS	3,1722	3,90772	15	
	Gesamt	2,0972	3,48011	30	
Gesamt	Kontrolle	2,2889	3,74036	30	
	LRS	10,0306	12,88281	30	
	Gesamt	6,1597	10,18287	60	
PD_3NFPR	Gr2	Kontrolle	17,7556	6,52281	15
		LRS	44,4444	25,15560	15
		Gesamt	31,1000	22,58863	30
	Gr3	Kontrolle	4,6500	4,34136	15
	LRS	21,8278	15,03067	15	
	Gesamt	13,2389	13,94550	30	
Gesamt	Kontrolle	11,2028	8,60571	30	
	LRS	33,1361	23,38472	30	
	Gesamt	22,1694	20,67598	60	

**Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>**

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	1,000	,000	0		1,000	1,000	1,000

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: BED

**Tests der Innersubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	7689,336	1	7689,336	107,127	,000	,657
	Greenhouse-Geisser	7689,336	1,000	7689,336	107,127	,000	,657
	Huynh-Feldt	7689,336	1,000	7689,336	107,127	,000	,657
	Untergrenze	7689,336	1,000	7689,336	107,127	,000	,657
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	710,939	1	710,939	9,905	,003	,150
	Greenhouse-Geisser	710,939	1,000	710,939	9,905	,003	,150
	Huynh-Feldt	710,939	1,000	710,939	9,905	,003	,150
	Untergrenze	710,939	1,000	710,939	9,905	,003	,150
BED * LRS	Sphärizität angenommen	1510,526	1	1510,526	21,044	,000	,273
	Greenhouse-Geisser	1510,526	1,000	1510,526	21,044	,000	,273
	Huynh-Feldt	1510,526	1,000	1510,526	21,044	,000	,273
	Untergrenze	1510,526	1,000	1510,526	21,044	,000	,273
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	5,243	1	5,243	,073	,788	,001
	Greenhouse-Geisser	5,243	1,000	5,243	,073	,788	,001
	Huynh-Feldt	5,243	1,000	5,243	,073	,788	,001
	Untergrenze	5,243	1,000	5,243	,073	,788	,001
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	4019,564	56	71,778			
	Greenhouse-Geisser	4019,564	56,000	71,778			
	Huynh-Feldt	4019,564	56,000	71,778			
	Untergrenze	4019,564	56,000	71,778			

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

	F	df1	df2	Signifikanz
PD_3SFPR	14,019	3	56	,000
PD_3NFPR	10,224	3	56	,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a.

Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: BED

**Tests der Zwischensubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	24076,251	1	24076,251	106,822	,000	,656
ALTER_GR	5064,585	1	5064,585	22,471	,000	,286
LRS	6604,542	1	6604,542	29,303	,000	,344
ALTER_GR * LRS	802,988	1	802,988	3,563	,064	,060
Fehler	12621,631	56	225,386			

**zu Fragestellung 3.3**  
**ANOVA m MW: Wortlisten/Zeit / unterscheidet sich assembliert/adressiert**  
**Vergleich der LRS-Gruppen vs Kontroll-Gruppen**  
**über Wortlesen und Nonwortlesen**

**Deskriptive Statistiken**

	ALTER_GR	LRS	Mittelwert	Standardabweichung	N
PD_3SZ	Gr2	Kontrolle	,9400	,18048	15
		LRS	2,9733	1,58270	15
		Gesamt	1,9567	1,51468	30
	Gr3	Kontrolle	,7987	,35731	15
		LRS	1,0920	,23746	15
		Gesamt	,9453	,33333	30
	Gesamt	Kontrolle	,8693	,28727	30
		LRS	2,0327	1,46693	30
		Gesamt	1,4510	1,20097	60
PD_3NZ	Gr2	Kontrolle	1,9333	,59121	15
		LRS	4,5933	1,81441	15
		Gesamt	3,2633	1,89418	30
	Gr3	Kontrolle	1,5960	,36482	15
		LRS	2,9867	1,13507	15
		Gesamt	2,2913	1,08922	30
	Gesamt	Kontrolle	1,7647	,51227	30
		LRS	3,7900	1,69672	30
		Gesamt	2,7773	1,60838	60

**Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>**

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	1,000	,000	0		1,000	1,000	1,000

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: BED

**Tests der Innersubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	52,775	1	52,775	175,372	,000	,758
	Greenhouse-Geisser	52,775	1,000	52,775	175,372	,000	,758
	Huynh-Feldt	52,775	1,000	52,775	175,372	,000	,758
	Untergrenze	52,775	1,000	52,775	175,372	,000	,758
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	1,160E-02	1	1,160E-02	,039	,845	,001
	Greenhouse-Geisser	1,160E-02	1,000	1,160E-02	,039	,845	,001
	Huynh-Feldt	1,160E-02	1,000	1,160E-02	,039	,845	,001
	Untergrenze	1,160E-02	1,000	1,160E-02	,039	,845	,001
BED * LRS	Sphärizität angenommen	5,573	1	5,573	18,519	,000	,249
	Greenhouse-Geisser	5,573	1,000	5,573	18,519	,000	,249
	Huynh-Feldt	5,573	1,000	5,573	18,519	,000	,249
	Untergrenze	5,573	1,000	5,573	18,519	,000	,249
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	,415	1	,415	1,380	,245	,024
	Greenhouse-Geisser	,415	1,000	,415	1,380	,245	,024
	Huynh-Feldt	,415	1,000	,415	1,380	,245	,024
	Untergrenze	,415	1,000	,415	1,380	,245	,024
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	16,852	56	,301			
	Greenhouse-Geisser	16,852	56,000	,301			
	Huynh-Feldt	16,852	56,000	,301			
	Untergrenze	16,852	56,000	,301			

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

	F	df1	df2	Signifikanz
PD_3SZ	24,894	3	56	,000
PD_3NZ	5,475	3	56	,002

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: BED

**Tests der Zwischensubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	536,364	1	536,364	326,010	,000	,853
ALTER_GR	29,502	1	29,502	17,932	,000	,243
LRS	76,257	1	76,257	46,350	,000	,453
ALTER_GR * LRS	16,980	1	16,980	10,321	,002	,156
Fehler	92,133	56	1,645			

**zu Fragestellung 3.3**  
**ANOVA m MW: Amplitude N400 / unterscheidet sich adressiert/assembliert**  
**Vergleich LRS-Gruppen vs. Kontroll-Gruppen**  
**über Stimulationsbedingungen Wortlesen, Nonwortlesen, Nonwortreimen**  
**über 6 Elektroden**

**Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>**

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	,988	,523	2	,770	,988	1,000	,500
VOHI	1,000	,000	0	,	1,000	1,000	1,000
SEITE	,889	5,174	2	,075	,900	,998	,500
BED * VOHI	,983	,762	2	,683	,983	1,000	,500
BED * SEITE	,886	5,265	9	,811	,943	1,000	,250
VOHI * SEITE	,943	2,594	2	,273	,946	1,000	,500
BED * VOHI * SEITE	,457	33,955	9	,000	,720	,825	,250

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: BED+VOHI+SEITE+BED\*VOHI+BED\*SEITE+VOHI\*SEITE+BED\*VOHI\*SEITE

**Tests der Innersubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	127,131	2	63,566	13,261	,000	,228
	Greenhouse-Geisser	127,131	1,977	64,317	13,261	,000	,228
	Huynh-Feldt	127,131	2,000	63,566	13,261	,000	,228
	Untergrenze	127,131	1,000	127,131	13,261	,001	,228
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	42,082	2	21,041	4,390	,015	,089
	Greenhouse-Geisser	42,082	1,977	21,290	4,390	,016	,089
	Huynh-Feldt	42,082	2,000	21,041	4,390	,015	,089
	Untergrenze	42,082	1,000	42,082	4,390	,042	,089
BED * LRS	Sphärizität angenommen	4,251	2	2,126	,443	,643	,010
	Greenhouse-Geisser	4,251	1,977	2,151	,443	,641	,010
	Huynh-Feldt	4,251	2,000	2,126	,443	,643	,010
	Untergrenze	4,251	1,000	4,251	,443	,509	,010
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	37,127	2	18,563	3,873	,024	,079
	Greenhouse-Geisser	37,127	1,977	18,783	3,873	,025	,079
	Huynh-Feldt	37,127	2,000	18,563	3,873	,024	,079
	Untergrenze	37,127	1,000	37,127	3,873	,055	,079
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	431,402	90	4,793			
	Greenhouse-Geisser	431,402	88,948	4,850			
	Huynh-Feldt	431,402	90,000	4,793			
	Untergrenze	431,402	45,000	9,587			
VOHI	Sphärizität angenommen	555,108	1	555,108	26,376	,000	,370
	Greenhouse-Geisser	555,108	1,000	555,108	26,376	,000	,370
	Huynh-Feldt	555,108	1,000	555,108	26,376	,000	,370
	Untergrenze	555,108	1,000	555,108	26,376	,000	,370
VOHI * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	161,375	1	161,375	7,668	,008	,146
	Greenhouse-Geisser	161,375	1,000	161,375	7,668	,008	,146
	Huynh-Feldt	161,375	1,000	161,375	7,668	,008	,146
	Untergrenze	161,375	1,000	161,375	7,668	,008	,146
VOHI * LRS	Sphärizität angenommen	1,394	1	1,394	,066	,798	,001
	Greenhouse-Geisser	1,394	1,000	1,394	,066	,798	,001
	Huynh-Feldt	1,394	1,000	1,394	,066	,798	,001
	Untergrenze	1,394	1,000	1,394	,066	,798	,001
VOHI * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	8,329E-02	1	8,329E-02	,004	,950	,000
	Greenhouse-Geisser	8,329E-02	1,000	8,329E-02	,004	,950	,000
	Huynh-Feldt	8,329E-02	1,000	8,329E-02	,004	,950	,000
	Untergrenze	8,329E-02	1,000	8,329E-02	,004	,950	,000
Fehler(VOHI)	Sphärizität angenommen	947,060	45	21,046			
	Greenhouse-Geisser	947,060	45,000	21,046			
	Huynh-Feldt	947,060	45,000	21,046			
	Untergrenze	947,060	45,000	21,046			
SEITE	Sphärizität angenommen	1108,794	2	554,397	28,338	,000	,386
	Greenhouse-Geisser	1108,794	1,800	615,907	28,338	,000	,386
	Huynh-Feldt	1108,794	1,996	555,597	28,338	,000	,386
	Untergrenze	1108,794	1,000	1108,794	28,338	,000	,386
SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	21,299	2	10,649	,544	,582	,012
	Greenhouse-Geisser	21,299	1,800	11,831	,544	,564	,012
	Huynh-Feldt	21,299	1,996	10,672	,544	,582	,012
	Untergrenze	21,299	1,000	21,299	,544	,464	,012
SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	9,484	2	4,742	,242	,785	,005
	Greenhouse-Geisser	9,484	1,800	5,268	,242	,762	,005
	Huynh-Feldt	9,484	1,996	4,752	,242	,785	,005
	Untergrenze	9,484	1,000	9,484	,242	,625	,005
SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	51,444	2	25,722	1,315	,274	,028
	Greenhouse-Geisser	51,444	1,800	28,576	1,315	,273	,028
	Huynh-Feldt	51,444	1,996	25,778	1,315	,274	,028
	Untergrenze	51,444	1,000	51,444	1,315	,258	,028
Fehler(SEITE)	Sphärizität angenommen	1760,725	90	19,564			
	Greenhouse-Geisser	1760,725	81,012	21,734			
	Huynh-Feldt	1760,725	89,806	19,606			
	Untergrenze	1760,725	45,000	39,127			

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED * VOHI	Sphärizität angenommen	7,370	2	3,685	2,217	,115	,047
	Greenhouse-Geisser	7,370	1,966	3,748	2,217	,116	,047
	Huynh-Feldt	7,370	2,000	3,685	2,217	,115	,047
	Untergrenze	7,370	1,000	7,370	2,217	,143	,047
BED * VOHI * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	2,600	2	1,300	,782	,460	,017
	Greenhouse-Geisser	2,600	1,966	1,322	,782	,459	,017
	Huynh-Feldt	2,600	2,000	1,300	,782	,460	,017
	Untergrenze	2,600	1,000	2,600	,782	,381	,017
BED * VOHI * LRS	Sphärizität angenommen	,429	2	,214	,129	,879	,003
	Greenhouse-Geisser	,429	1,966	,218	,129	,876	,003
	Huynh-Feldt	,429	2,000	,214	,129	,879	,003
	Untergrenze	,429	1,000	,429	,129	,721	,003
BED * VOHI * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	4,713	2	2,357	1,418	,248	,031
	Greenhouse-Geisser	4,713	1,966	2,397	1,418	,248	,031
	Huynh-Feldt	4,713	2,000	2,357	1,418	,248	,031
	Untergrenze	4,713	1,000	4,713	1,418	,240	,031
Fehler(BED*VOHI)	Sphärizität angenommen	149,570	90	1,662			
	Greenhouse-Geisser	149,570	88,482	1,690			
	Huynh-Feldt	149,570	90,000	1,662			
	Untergrenze	149,570	45,000	3,324			
BED * SEITE	Sphärizität angenommen	7,016	4	1,754	,702	,592	,015
	Greenhouse-Geisser	7,016	3,772	1,860	,702	,583	,015
	Huynh-Feldt	7,016	4,000	1,754	,702	,592	,015
	Untergrenze	7,016	1,000	7,016	,702	,407	,015
BED * SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	8,397	4	2,099	,840	,501	,018
	Greenhouse-Geisser	8,397	3,772	2,226	,840	,496	,018
	Huynh-Feldt	8,397	4,000	2,099	,840	,501	,018
	Untergrenze	8,397	1,000	8,397	,840	,364	,018
BED * SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	6,359	4	1,590	,636	,637	,014
	Greenhouse-Geisser	6,359	3,772	1,686	,636	,628	,014
	Huynh-Feldt	6,359	4,000	1,590	,636	,637	,014
	Untergrenze	6,359	1,000	6,359	,636	,429	,014
BED * SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	5,724	4	1,431	,573	,683	,013
	Greenhouse-Geisser	5,724	3,772	1,517	,573	,673	,013
	Huynh-Feldt	5,724	4,000	1,431	,573	,683	,013
	Untergrenze	5,724	1,000	5,724	,573	,453	,013
Fehler(BED*SEITE)	Sphärizität angenommen	449,760	180	2,499			
	Greenhouse-Geisser	449,760	169,746	2,650			
	Huynh-Feldt	449,760	180,000	2,499			
	Untergrenze	449,760	45,000	9,995			
VOHI * SEITE	Sphärizität angenommen	53,741	2	26,871	6,457	,002	,125
	Greenhouse-Geisser	53,741	1,892	28,409	6,457	,003	,125
	Huynh-Feldt	53,741	2,000	26,871	6,457	,002	,125
	Untergrenze	53,741	1,000	53,741	6,457	,015	,125
VOHI * SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	5,313	2	2,657	,638	,531	,014
	Greenhouse-Geisser	5,313	1,892	2,809	,638	,522	,014
	Huynh-Feldt	5,313	2,000	2,657	,638	,531	,014
	Untergrenze	5,313	1,000	5,313	,638	,428	,014
VOHI * SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	10,598	2	5,299	1,273	,285	,028
	Greenhouse-Geisser	10,598	1,892	5,602	1,273	,284	,028
	Huynh-Feldt	10,598	2,000	5,299	1,273	,285	,028
	Untergrenze	10,598	1,000	10,598	1,273	,265	,028
VOHI * SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	27,172	2	13,586	3,265	,043	,068
	Greenhouse-Geisser	27,172	1,892	14,364	3,265	,046	,068
	Huynh-Feldt	27,172	2,000	13,586	3,265	,043	,068
	Untergrenze	27,172	1,000	27,172	3,265	,077	,068
Fehler(VOHI*SEITE)	Sphärizität angenommen	374,524	90	4,161			
	Greenhouse-Geisser	374,524	85,126	4,400			
	Huynh-Feldt	374,524	90,000	4,161			
	Untergrenze	374,524	45,000	8,323			

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED * VOHI * SEITE	Sphärizität angenommen	8,730	4	2,182	3,361	,011	,069
	Greenhouse-Geisser	8,730	2,879	3,033	3,361	,022	,069
	Huynh-Feldt	8,730	3,301	2,644	3,361	,017	,069
	Untergrenze	8,730	1,000	8,730	3,361	,073	,069
BED * VOHI * SEITE * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	9,240	4	2,310	3,557	,008	,073
	Greenhouse-Geisser	9,240	2,879	3,210	3,557	,018	,073
	Huynh-Feldt	9,240	3,301	2,799	3,557	,013	,073
	Untergrenze	9,240	1,000	9,240	3,557	,066	,073
BED * VOHI * SEITE * LRS	Sphärizität angenommen	3,067	4	,767	1,181	,321	,026
	Greenhouse-Geisser	3,067	2,879	1,065	1,181	,319	,026
	Huynh-Feldt	3,067	3,301	,929	1,181	,320	,026
	Untergrenze	3,067	1,000	3,067	1,181	,283	,026
BED * VOHI * SEITE * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	3,206	4	,801	1,234	,298	,027
	Greenhouse-Geisser	3,206	2,879	1,114	1,234	,300	,027
	Huynh-Feldt	3,206	3,301	,971	1,234	,300	,027
	Untergrenze	3,206	1,000	3,206	1,234	,273	,027
Fehler(BED*VOHI*SEITE)	Sphärizität angenommen	116,896	180	,649			
	Greenhouse-Geisser	116,896	129,541	,902			
	Huynh-Feldt	116,896	148,559	,787			
	Untergrenze	116,896	45,000	2,598			

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

	F	df1	df2	Signifikanz
CT_N4_03	1,802	3	45	,160
CT_N4_06	1,732	3	45	,174
CT_N4_09	2,606	3	45	,063
CT_N4_16	3,874	3	45	,015
CT_N4_19	1,340	3	45	,273
CT_N4_22	3,832	3	45	,016
DT_N4_03	2,088	3	45	,115
DT_N4_06	1,900	3	45	,143
DT_N4_09	1,016	3	45	,394
DT_N4_16	2,176	3	45	,104
DT_N4_19	1,483	3	45	,232
DT_N4_22	1,792	3	45	,162
ET_N4_03	,549	3	45	,651
ET_N4_06	,555	3	45	,648
ET_N4_09	,060	3	45	,981
ET_N4_16	2,303	3	45	,090
ET_N4_19	1,743	3	45	,172
ET_N4_22	,480	3	45	,698

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

- a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design:  
 BED+VOHI+SEITE+BED\*VOHI+BED\*SEITE+VOHI\*SEITE+BED\*VOHI\*SEITE

**Tests der Zwischensubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	580,943	1	580,943	52,786	,000	,540
ALTER_GR	195,158	1	195,158	17,733	,000	,283
LRS	60,838	1	60,838	5,528	,023	,109
ALTER_GR * LRS	69,412	1	69,412	6,307	,016	,123
Fehler	495,250	45	11,006			

**zu Fragestellung 3.3**

**ANOVA m MW: Latenz N400 / unterscheidet sich adressiert/assembliert  
Vergleich LRS-Gruppen vs. Kontroll-Gruppen  
über Stimulationsbedingungen Wortlesen, Nonwortlesen, Nonwortreimen**

**Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>**

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	,974	1,167	2	,558	,975	1,000	,500

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: BED

**Tests der Innersubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	13302,118	2	6651,059	1,265	,287	,027
	Greenhouse-Geisser	13302,118	1,949	6825,093	1,265	,287	,027
	Huynh-Feldt	13302,118	2,000	6651,059	1,265	,287	,027
	Untergrenze	13302,118	1,000	13302,118	1,265	,267	,027
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	6172,694	2	3086,347	,587	,558	,013
	Greenhouse-Geisser	6172,694	1,949	3167,105	,587	,554	,013
	Huynh-Feldt	6172,694	2,000	3086,347	,587	,558	,013
	Untergrenze	6172,694	1,000	6172,694	,587	,447	,013
BED * LRS	Sphärizität angenommen	37,514	2	18,757	,004	,996	,000
	Greenhouse-Geisser	37,514	1,949	19,248	,004	,996	,000
	Huynh-Feldt	37,514	2,000	18,757	,004	,996	,000
	Untergrenze	37,514	1,000	37,514	,004	,953	,000
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	3144,193	2	1572,096	,299	,742	,007
	Greenhouse-Geisser	3144,193	1,949	1613,232	,299	,737	,007
	Huynh-Feldt	3144,193	2,000	1572,096	,299	,742	,007
	Untergrenze	3144,193	1,000	3144,193	,299	,587	,007
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	473031,693	90	5255,908			
	Greenhouse-Geisser	473031,693	87,705	5393,435			
	Huynh-Feldt	473031,693	90,000	5255,908			
	Untergrenze	473031,693	45,000	10511,815			

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

	F	df1	df2	Signifikanz
L_CT_N4	1,871	3	45	,148
L_DT_N4	4,311	3	45	,009
L_ET_N4	2,543	3	45	,068

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: BED

**Tests der Zwischensubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	10219069,318	1	10219069	2960,988	,000	,985
ALTER_GR	1956,088	1	1956,088	,567	,455	,012
LRS	2123,313	1	2123,313	,615	,437	,013
ALTER_GR * LRS	10502,183	1	10502,183	3,043	,088	,063
Fehler	155305,646	45	3451,237			

### zu Fragestellung 3.3

## ANOVA m MW: ERTS/Fehler / unterscheidet sich adressiert/assembliert Vergleich LRS-Gruppen vs. Kontroll-Gruppen über Stimulationsbedingungen Wortlesen, Nonwortlesen, Nonwortreimen

#### Mauchly-Test auf Sphärität<sup>b</sup>

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	,946	3,045	2	,218	,949	1,000	,500

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: BED

#### Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärität angenommen	93,257	2	46,629	11,423	,000	,169
	Greenhouse-Geisser	93,257	1,898	49,140	11,423	,000	,169
	Huynh-Feldt	93,257	2,000	46,629	11,423	,000	,169
	Untergrenze	93,257	1,000	93,257	11,423	,001	,169
BED * ALTER_GR	Sphärität angenommen	14,339	2	7,169	1,756	,177	,030
	Greenhouse-Geisser	14,339	1,898	7,556	1,756	,179	,030
	Huynh-Feldt	14,339	2,000	7,169	1,756	,177	,030
	Untergrenze	14,339	1,000	14,339	1,756	,190	,030
BED * LRS	Sphärität angenommen	51,719	2	25,859	6,335	,002	,102
	Greenhouse-Geisser	51,719	1,898	27,252	6,335	,003	,102
	Huynh-Feldt	51,719	2,000	25,859	6,335	,002	,102
	Untergrenze	51,719	1,000	51,719	6,335	,015	,102
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärität angenommen	2,401	2	1,200	,294	,746	,005
	Greenhouse-Geisser	2,401	1,898	1,265	,294	,734	,005
	Huynh-Feldt	2,401	2,000	1,200	,294	,746	,005
	Untergrenze	2,401	1,000	2,401	,294	,590	,005
Fehler(BED)	Sphärität angenommen	457,176	112	4,082			
	Greenhouse-Geisser	457,176	106,276	4,302			
	Huynh-Feldt	457,176	112,000	4,082			
	Untergrenze	457,176	56,000	8,164			

#### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

	F	df1	df2	Signifikanz
HLFPROZ	1,334	3	56	,273
NLFPROZ	,595	3	56	,621
NRFPPOZ	4,213	3	56	,009

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
Innersubjekt-Design: BED

#### Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	775,734	1	775,734	193,766	,000	,776
ALTER_GR	37,166	1	37,166	9,283	,004	,142
LRS	22,294	1	22,294	5,569	,022	,090
ALTER_GR * LRS	4,890	1	4,890	1,222	,274	,021
Fehler	224,194	56	4,003			

**zu Fragestellung 3.3**  
**ANOVA m MW: ERTS/Zeit / unterscheidet sich adressiert/assembliert**  
**Vergleich LRS-Gruppen vs. Kontroll-Gruppen**  
**über Stimulationsbedingungen Wortlesen, Nonwortlesen, Nonwortreimen**

**Mauchly-Test auf Sphärizität<sup>b</sup>**

Maß: MASS\_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
BED	,918	4,683	2	,096	,925	1,000	,500

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

b. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: BED

**Tests der Innersubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
BED	Sphärizität angenommen	14607470,157	2	7303735,1	101,768	,000	,645
	Greenhouse-Geisser	14607470,157	1,849	7899844,2	101,768	,000	,645
	Huynh-Feldt	14607470,157	2,000	7303735,1	101,768	,000	,645
	Untergrenze	14607470,157	1,000	14607470	101,768	,000	,645
BED * ALTER_GR	Sphärizität angenommen	819463,821	2	409731,911	5,709	,004	,093
	Greenhouse-Geisser	819463,821	1,849	443173,011	5,709	,005	,093
	Huynh-Feldt	819463,821	2,000	409731,911	5,709	,004	,093
	Untergrenze	819463,821	1,000	819463,821	5,709	,020	,093
BED * LRS	Sphärizität angenommen	1192895,438	2	596447,719	8,311	,000	,129
	Greenhouse-Geisser	1192895,438	1,849	645128,009	8,311	,001	,129
	Huynh-Feldt	1192895,438	2,000	596447,719	8,311	,000	,129
	Untergrenze	1192895,438	1,000	1192895,4	8,311	,006	,129
BED * ALTER_GR * LRS	Sphärizität angenommen	947986,898	2	473993,449	6,604	,002	,105
	Greenhouse-Geisser	947986,898	1,849	512679,385	6,604	,003	,105
	Huynh-Feldt	947986,898	2,000	473993,449	6,604	,002	,105
	Untergrenze	947986,898	1,000	947986,898	6,604	,013	,105
Fehler(BED)	Sphärizität angenommen	8038090,524	112	71768,665			
	Greenhouse-Geisser	8038090,524	103,549	77626,211			
	Huynh-Feldt	8038090,524	112,000	71768,665			
	Untergrenze	8038090,524	56,000	143537,331			

**Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>**

	F	df1	df2	Signifikanz
HL_M_CU	4,850	3	56	,005
NL_M_CU	,602	3	56	,616
NR_M_CU	1,301	3	56	,283

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Intercept+ALTER\_GR+LRS+ALTER\_GR \* LRS  
 Innersubjekt-Design: BED

**Tests der Zwischensubjekteffekte**

Maß: MASS\_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Intercept	205315141,313	1	205315141	1066,152	,000	,950
ALTER_GR	1213134,273	1	1213134,3	6,300	,015	,101
LRS	11771946,987	1	11771947	61,129	,000	,522
ALTER_GR * LRS	57618,158	1	57618,158	,299	,587	,005
Fehler	10784245,686	56	192575,816			

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit, dass mir die geltende Promotionsordnung der Fakultät für Sozial- und Verhaltenswissenschaften der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist.

Die vorliegende Arbeit wurde von mir ohne unzulässige Hilfe Dritter angefertigt. Alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönliche Mitteilungen und Quellen sind in der Arbeit angegeben. Bei der Umsetzung der Stimulation für das elektrophysiologische EEG-Experiment hat mir Herr Dr. U. Möller durch die ERTS-Programmierung unentgeltlich geholfen.

Ferner erkläre ich, dass ich nicht die Hilfe eines Promotionsberaters in Anspruch genommen habe und Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Tätigkeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Arbeit stehen.

Die Arbeit wurde weder im In- noch Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt. Weder früher noch gegenwärtig habe ich an einer anderen Hochschule eine Dissertation eingereicht.

Ich versichere, dass ich nach bestem Wissen und Gewissen die Wahrheit gesagt und nichts verschwiegen habe.

Jena, im Juni 2002

Carolin Grünling