

Aus der Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie,  
Psychosomatik und Psychotherapie  
Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. Gerd Schulte-Körne

**Orthografische Verarbeitung bei Kindern  
mit Lese- und/oder Rechtschreibstörung:  
Neurophysiologische Korrelate und Lernprozesse**

Kumulative Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Humanbiologie  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Heike Mehlhase

aus  
Berlin

Jahr  
2021

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. Gerd Schulte-Körne
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. Antje Grosche
	Prof. Dr. Markus Jäger
Mitbetreuung durch die promovierte Mitarbeiterin:	PD. Dr. Kristina Moll
Dekan:	Prof. Dr. med. Thomas Gudermann
Tag der mündlichen Prüfung:	20.12.2021

## Eidesstattliche Versicherung

Ich, Heike Mehlhase, erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel „Orthografische Verarbeitung bei Kindern mit Lese- und/oder Rechtschreibstörung: Neurophysiologische Korrelate und Lernprozesse“ selbstständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 13.01.2022  
Ort, Datum

Heike Mehlhase  
Heike Mehlhase



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>SUMMARY</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>EINLEITUNG ZUR KUMULATIVEN DISSERTATION</b> .....	<b>11</b>
3.1	LESE- UND RECHTSCHREIBENTWICKLUNG.....	11
3.2	MERKMALE VON LESE- UND RECHTSCHREIBSTÖRUNGEN.....	15
3.3	ORTHOGRAFISCHE VERARBEITUNG VON WÖRTERN .....	16
3.4	ÜBERGEORDNETES ZIEL DER DISSERTATION UND ERGEBNISZUSAMMENFASSUNG .....	19
3.5	ZUSAMMENFASSENDEN DISKUSSION UND AUSBLICK .....	25
3.6	STUDIENABLAUF UND DARSTELLUNG DES EIGENEN BEITRAGS.....	30
3.7	LITERATURVERZEICHNIS.....	32
3.8	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	36
<b>4</b>	<b>VERÖFFENTLICHUNG I</b> .....	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>VERÖFFENTLICHUNG II</b> .....	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>DANKSAGUNG</b> .....	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>PUBLIKATIONSLISTE</b> .....	<b>43</b>



# 1 Zusammenfassung

Die Forschung zu den schulischen Lernstörungen ging bisher von einem Störungskonzept, der Legasthenie, aus, mit dem die Probleme im Lesen und Rechtschreiben zusammengefasst wurden. Die aktuelle Forschung aber zeigte, dass sich drei Störungen schulischer Lernstörungen abgrenzen lassen, nämlich eine Lese-, eine Rechtschreib-, und eine Lese- und Rechtschreibstörung. Diese Unterteilung wurde sowohl in epidemiologischen Studien als auch in den Studien zu den Ursachen dieser Störungen bestätigt. Letztendlich unterscheidet auch das DSM-5 zwischen Lese- und Rechtschreibstörung. Unklar bisher aber ist, was sind die neurokognitiven und neurophysiologischen Korrelate, die diese Lernstörungsgruppen unterscheiden. Es wird vermutet, dass die Probleme im Rechtschreiben (Rechtschreibstörung) und Lesen (Lesestörung) auf Unterschiede in der orthografischen Verarbeitung zurückzuführen sind. Um die Dissoziationen besser verstehen zu können, wurden Kinder mit isolierten Lese-, isolierten Rechtschreib- und kombinierten Lese- und Rechtschreibstörungen mit Kindern ohne Probleme im Schriftspracherwerb (Kontrollgruppe) sowohl in ihrer Leistung beim Lernen neuer Wörter (orthografisches Lernen) als auch hinsichtlich der neurophysiologischen Aktivierung bei der automatischen orthografischen Wortverarbeitung verglichen.

Die Ergebnisse im Hinblick auf das orthografische Lernen zeigten, dass Kinder mit isolierter Lesestörung keine Schwierigkeiten im kurzzeitigen Merken und im Einspeichern orthografischer Repräsentationen im Langzeitgedächtnis hatten. Kinder mit Lesestörung zeigten allerdings ein verlangsamtes Lesetempo, welches auf einen verzögerten Zugriff oder eine längere Verarbeitungsdauer der gespeicherten Repräsentationen zurückzuführen sein könnte. Kinder mit isolierter Rechtschreibstörung hingegen scheinen Probleme beim Einspeichern spezifischer Wortbilder inklusive der orthografischen Marker im Langzeitgedächtnis zu haben. Im Hinblick auf die automatische orthografische Verarbeitung von Wörtern zeigten die Kinder aller Gruppen den „word superiority effect“ (ein Buchstabe wird besser erkannt, wenn er zuvor in einem sehr kurz präsentierten Wort eingebettet ist im Vergleich zu einem Nichtwort) sowohl auf Verhaltens- als auch auf neurophysiologischer Ebene. Unterschiede zeigten sich bei der neurophysiologischen Aktivierung der N400-Amplitude (EKP-Komponente) hinsichtlich der phonologischen Wortverarbeitung. Kinder mit isolierten Lesedefiziten zeigten keine Probleme in der phonologischen Wortverarbeitung (gleiche Aktivierungsunterschiede wie die Kontrollgruppe), während Kinder mit isolierten Rechtschreibdefiziten eine reduzierte Sensitivität bei der phonologischen Wortverarbeitung zeigten (keine Unterschiede in der N400-Aktivierung). Dissoziationen zwischen Lese- und Rechtschreibstörungen sind demnach mit Unterschieden sowohl im orthografischen Lernen als auch in der automatischen orthografischen Wortverarbeitung verbunden.





## 2 Summary

Current research has shown that learning disorders can be distinguished between reading, spelling and combined reading and spelling disorders. Isolated reading and isolated spelling deficits are as frequent as combined reading and spelling disorders. It is unclear what underlying neurocognitive and neurophysiological deficits are likely to be associated with dissociations between reading and spelling. It is suggested that problems in spelling and reading are probably due to distinct deficits in orthographic word processing. To better understand these dissociations, children with isolated reading fluency deficits, isolated spelling deficits, and combined reading and spelling deficits were compared to children with age appropriate reading and spelling skills (controls), both in their performance in learning new words (orthographic learning) and in their neurophysiological activation of automatic orthographic word processing. The results in terms of orthographic learning showed that children with isolated deficits in reading had no problems in storing orthographic representations in long-term memory. The data suggest that the dysfluent reading of children with isolated reading fluency deficits is probably due to a disrupted or slowed down access to the stored intact representations. Children with isolated spelling deficits, on the other hand, seem to have problems in storing precise representations in long-term memory. With regard to automatic orthographic processing of words, the children of all groups showed a “word superiority effect” (a letter is better identified if it is embedded in a very briefly presented word in comparison to a nonword), both on the behavioral and the neurophysiological level. Group differences occurred in the N400 activation regarding phonological processing. Children with isolated reading deficits showed no problems in phonological word processing (same differences in N400 activation as controls), while children with isolated spelling deficits seem to have a reduced sensitivity for phonological word processing (missing N400 activation differences). In sum, dissociations between reading and spelling problems are associated with differences, both in orthographic learning and automatic orthographic word processing.



### 3 Einleitung zur kumulativen Dissertation

#### 3.1 Lese- und Rechtschreibentwicklung

Entwicklungsmodelle des Lesens und des Rechtschreibens (u.a., Frith, 1985; Ehri, 1997; Valentin, 1997) weisen darauf hin, dass der Erwerb des Lesens und des Rechtschreibens eng miteinander verbunden sind. In der vorliegenden Arbeit wird exemplarisch auf das sehr etablierte und empirisch validierte Modell von Uta Frith (1985) eingegangen, in welchem drei Stufen unterschieden werden: die logografische, alphabetische und orthografische Schriftsprachverarbeitung (vgl. Abb. 1).

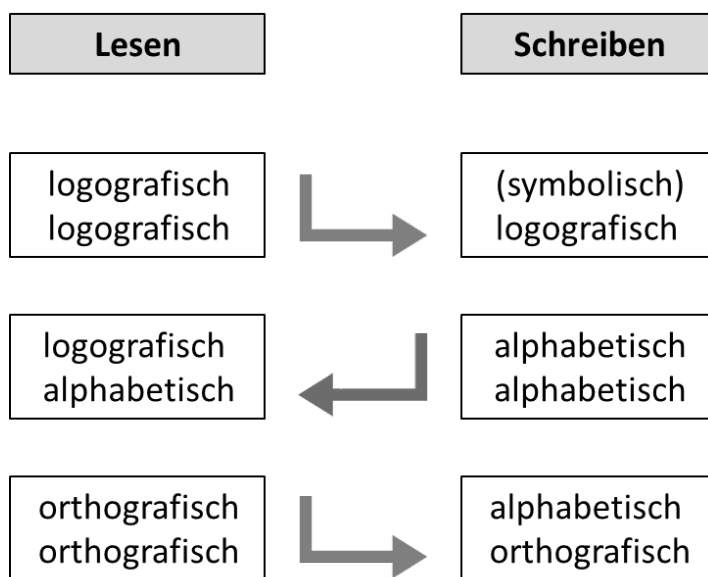


Abb. 1\_ Schriftsprachentwicklung nach Frith (1985)

Auf der *logografischen Stufe* orientieren sich Kinder an visuellen Merkmalen wie Farbe und Form. Sie erkennen Wörter, die sie häufig sehen (z.B. Name eines Supermarkts), ohne richtig lesen zu können. Das beginnende Schreiben leitet dann den Übergang zur *alphabetischen Stufe* ein. Beim Schreiben auf alphabetischer Stufe wird ein Wort in seine Laute (Phoneme) zerlegt und diesen die entsprechenden Buchstaben (Grapheme) zugeordnet (Phonem-Graphem-Korrespondenz (PGK)). Dies führt oft zu lautgetreuen, aber orthografisch falschen Schreibungen (z.B. „Buta“ für „Butter“). Beim Lesen auf der alphabetischen Stufe werden die einzelnen Buchstaben eines Wortes einer nach dem anderen, also sequentiell produziert und die Graphem-Phonem-Korrespondenz erlernt (Buchstaben bilden Laute, z.B. der Buchstabe m entspricht dem Laut /m/). Das Lesen von Wörtern erfolgt auf dieser Stufe durch Zusammenschleifen der einzelnen Laute. Mit der Zeit jedoch müssen dann häufig gelesene

Wörter nicht mehr seriell Buchstabe für Buchstabe erlesen werden, sondern können als Ganzes oder größere Einheiten (z.B. häufige Vor- und Endsilben oder Morpheme) erfasst werden, weil sie im Gedächtnis gespeichert werden. Dies bildet den Übergang zur *orthografischen Stufe*. Nach der „self-teaching“ Hypothese von Share (1995) erfolgt der Aufbau eines orthografischen Lexikons im Gedächtnis durch das wiederholte Anwenden der Regeln zur Graphem-Phonem-Korrespondenz (GPK) beim Lesen von Wörtern oder Buchstabengruppen. Dieses häufige Lesen von anfangs unbekanntem Wörtern führt zum Abspeichern wortspezifischer Repräsentationen im Gedächtnis. In der orthografischen Stufe lernen die Kinder zudem, die orthografischen Muster von häufigen Wortschreibungen zu beachten (wie Doppelkonsonantenschreibung, Vokallänge oder „Auslautverhärtung“). Die beschriebenen drei Stufen in Friths Modell können in der Entwicklung häufig nicht klar voneinander getrennt werden, sondern können sich überlappen.

Auch wenn Entwicklungsmodelle wie das von Frith einen engen Zusammenhang zwischen dem Lese- und Rechtschreiberwerb beschreiben, so weisen Korrelationsstudien anhand populations-basierter Stichproben darauf hin, dass Lese- und Rechtschreibleistungen nicht immer Hand-in-Hand gehen. Die Korrelationen zwischen Lesen und Schreiben in Orthografien wie dem Deutschen (weitgehend konsistente Buchstabe-Laut-Beziehungen), in denen die Leseleistung primär anhand der Leseflüssigkeit bestimmt wird, sind nur moderat (0,4 - 0,6) (Moll & Landerl, 2009; Landerl & Moll, 2010). Dies liefert einen Hinweis, dass dem Rechtschreiben und der Leseflüssigkeit zumindest teilweise unterschiedliche Prozesse zugrunde liegen.

Auch in der atypischen Entwicklung wurde zunächst von einem engen Zusammenhang zwischen Störungen im Lesen und im Rechtschreiben ausgegangen. So wird von einer Lese- und Rechtschreibstörung (LRS) gemäß dem Internationalen Klassifikationssystem ICD-10 (Dilling, Mombour & Schmidt, 2008) gesprochen, wenn eine „eindeutige Beeinträchtigung in der Entwicklung der Lesefertigkeiten (vorliegt), die nicht allein durch das Entwicklungsalter, durch Visus-Probleme oder unangemessene Beschulung erklärbar ist, [...] (welche) häufig (mit) Rechtschreibstörungen einher(geht)“ (vgl. ICD, unter F81.0). Lese- und Rechtschreibstörungen gehören nach dem ICD-10 zu den umschriebenen Entwicklungsstörungen schulischer Fertigkeiten (F81). Bei diesen Entwicklungsstörungen handelt es sich um Störungen, „bei denen die normalen Muster des Fertigkeitserwerbs von frühen Entwicklungsstadien an gestört sind. Dies ist nicht einfach Folge eines Mangels an Gelegenheit zu lernen; es ist auch nicht allein als Folge einer Intelligenzminderung oder irgendeiner erworbenen Hirnschädigung oder -krankheit aufzufassen“ (ICD-10, unter F81). Oft gehen Entwicklungsstörungen des Sprechens und der Sprache voraus. Die Prävalenz der kombinierten Lese-Rechtschreibstörung liegt bei 8% (Galuschka & Schulte-Körne; 2016).

Während das ICD-10 lediglich auf isolierte Störungen im Bereich des Rechtschreibens verweist (F81.1 Isolierte Rechtschreibstörung), wird in der neuen Version ICD-11 die Dissoziation berücksichtigt und das Vorliegen isolierter Störungen sowohl im Rechtschreiben als auch im Lesen beschrieben. Die kombinierte Lese-Rechtschreibstörung wird im ICD-11 nicht mehr als eigene Kategorie erfasst. Kinder mit beiden Störungen erhalten sowohl die Diagnose der Lesestörung als auch die der Rechtschreibstörung. Auch Prävalenzstudien bestätigen, dass Defizite im Lesen und Defizite im Rechtschreiben unabhängig voneinander auftreten können (Fayol, Zorman, & Lété, 2009; Landerl & Moll, 2010; Moll, Kunze, Neuhoff, Bruder, & Schulte-Körne, 2014; Moll & Landerl, 2009). Es gibt demnach Kinder mit schwacher Leseleistung, aber intakten Rechtschreibfähigkeiten und auch Kinder mit altersgerechter Leseleistung, aber schwachen Rechtschreibfähigkeiten. Ferner legen Prävalenzstudien nahe, dass isolierte Lesestörungen und isolierte Rechtschreibstörungen fast so häufig vorkommen wie kombinierte Lese- und Rechtschreibstörungen (Moll & Landerl, 2009; Wimmer & Mayringer, 2002). Das häufige Auftreten isolierter Störungen des Lesens bzw. Rechtschreibens wirft die Frage auf, wie sich diese Dissoziationen erklären lassen.

Es wird vermutet, dass Dissoziationen von Lese- und Rechtschreibproblemen durch unterschiedliche kognitive Defizite erklärt werden können. Die erste Längsschnittstudie zur Erfassung kognitiver Defizite bei Kindern mit isolierten Lese- bzw. Rechtschreibstörungen führten Wimmer und Mayringer (2002) durch. In dieser Studie wurden zunächst Vorläuferfertigkeiten des Lesens und Rechtschreibens, wie die phonologische Bewusstheit (engl. PA = phonological awareness) und das schnelle Benennen (engl. RAN = rapid automatized naming) bei Eintritt in die Grundschule, also vor dem systematischen Schriftspracherwerb, untersucht, und dann mit den Lese- und Rechtschreibfertigkeiten in der 3. Klassenstufe verglichen. Die Autoren konnten zeigen, dass isolierte Leseprobleme mit frühen Defiziten im schnellen, automatisierten Benennen (RAN) und isolierte Rechtschreibprobleme mit Defiziten in der phonologischen Bewusstheit (PA) in Verbindung stehen. Rechtschreibprobleme werden demnach mit frühen Schwierigkeiten in der phonologischen Bewusstheit in Verbindung gebracht (Moll & Landerl, 2009; Wimmer & Mayringer, 2002). Hierzu gehören verschiedene Fähigkeiten der Phonemwahrnehmung und –verarbeitung (z.B. Laute erkennen, Laute weglassen, Reime bilden). Leseprobleme hingegen werden mit Schwierigkeiten im schnellen Benennen assoziiert. Beim schnellen Benennen (RAN) müssen seriell dargebotene visuelle Stimuli (Bilder, Farben, Zahlen oder Buchstaben) schnell abgerufen und benannt werden. Die genauen Mechanismen bzgl. des Zusammenhangs zwischen Leseflüssigkeit und RAN werden nach wie vor diskutiert. Es wird aber vermutet, dass RAN den schnellen Zugriff bzw. Abruf aus dem Langzeitgedächtnis (LZG) von seriell dargebotenen Stimuli (z.B. Wörter, Bilder, Zahlen etc.) widerspiegelt.

Die beobachteten Dissoziationen erfordern auch eine Anpassung bestehender Entwicklungsmodelle des Schriftspracherwerbs. Es sind demnach Entwicklungsmodelle gefragt, welche sowohl Zusammenhänge als auch Dissoziationen zwischen Rechtschreiben und Leseflüssigkeit erklären können. Abbildung 2 zeigt ein vorgeschlagenes Modell, welches als theoretische Grundlage der hier vorliegenden Arbeiten entwickelt wurde. Das Modell stellt dar, auf welcher Verarbeitungsebene die parallele Entwicklung des Lesens und Rechtschreibens möglicherweise auseinandergeht und wie sich die auf Verhaltensebene beobachteten Dissoziationen der Lese- und Rechtschreibleistung erklären lassen.

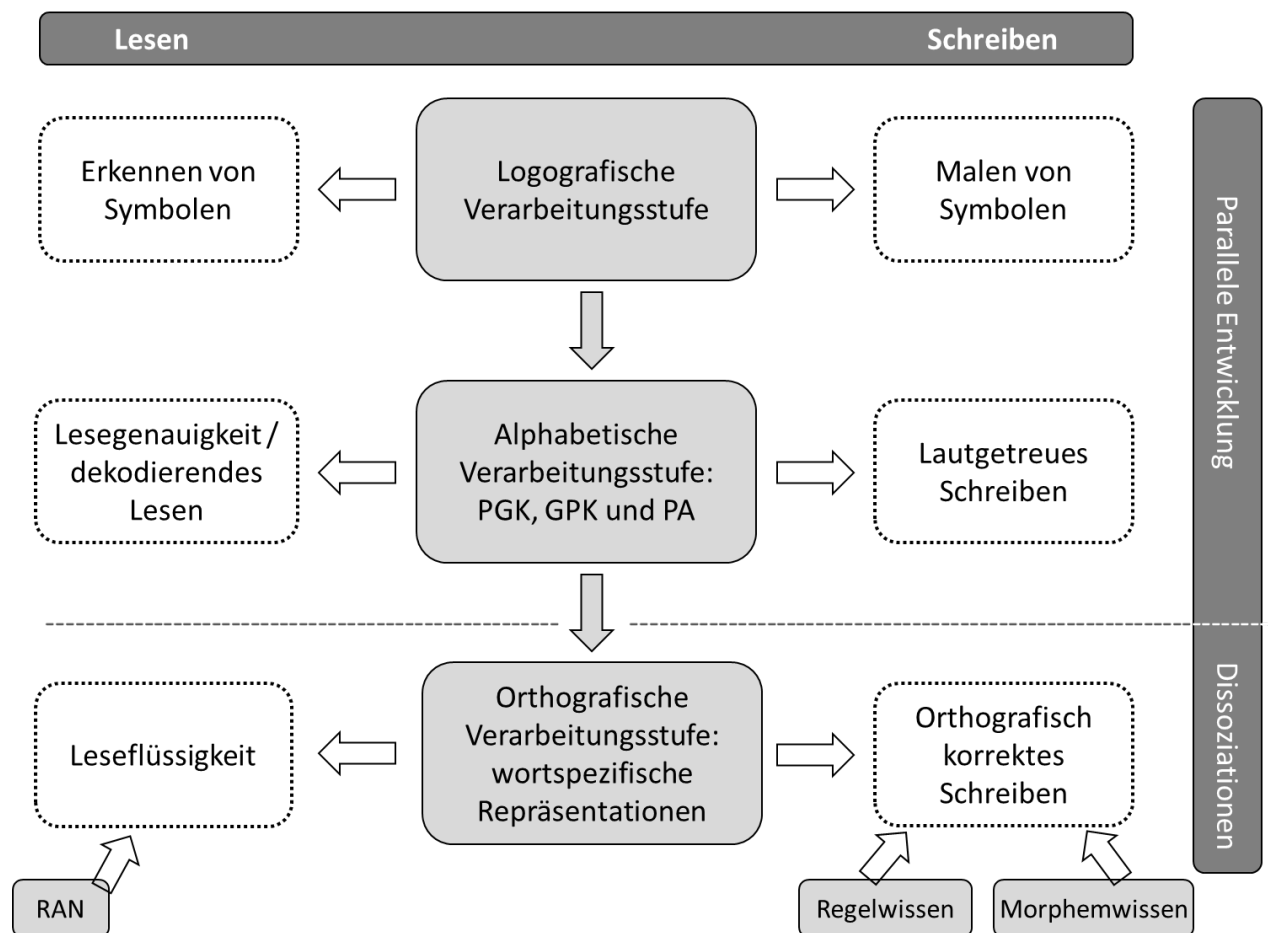


Abb. 2\_Vorgeschlagenes Modell der Lese- und Rechtschreibentwicklung (PGK=Phonem-Graphem-Korrespondenz, GPK=Graphem-Phonem-Korrespondenz, PA=phonologische Bewusstheit, RAN=rapid automatized naming)

Es ist davon auszugehen, dass die ersten Entwicklungsschritte (logografische und alphabetische Stufe, siehe auch Frith Modell, Abb. 1) sowohl für das Lesen (Abb. 2: links im Modell) als auch für das Rechtschreiben (Abb. 2: rechts im Modell) weitgehend ähnlich verlaufen. Die Phonem-Graphem-Korrespondenz (PGK), die Graphem-Phonem-Korrespondenz

(GPK) und auch die Phonologische Bewusstheit (PA) sind zu Beginn der Entwicklung auf der Stufe der alphabetischen Verarbeitung sowohl für die Lesegenauigkeit als auch für das lauttreue Schreiben wichtig. Um im nächsten Schritt (3. Stufe) dann effizient und flüssig zu lesen bzw. orthographisch korrekt zu schreiben, sind wortspezifische Repräsentationen im orthografischen Lexikon notwendig (orthografische Verarbeitungsstufe). Es wird vermutet, dass auf dieser Stufe die parallele Entwicklung auseinandergeht. Um diese Annahme zu überprüfen wird in der vorliegenden Dissertation die Bedeutung von orthographischen Prozessen für das Lesen und Rechtschreiben untersucht. Es wird sowohl das Lernen (Merken, Einspeichern und Verarbeitung) orthografischer Repräsentationen (Studie I) als auch die automatische orthografische Verarbeitung (Studie II) untersucht. Im Kapitel 3.3 unter „orthografische Verarbeitung von Wörtern“ wird auf die Dissoziationen bei der orthografischen Verarbeitung näher eingegangen.

### **3.2 Merkmale von Lese- und Rechtschreibstörungen**

Da im Deutschen die Graphem-Phonem-Korrespondenz weitestgehend konsistent ist, können bereits Leseanfänger nach wenigen Monaten Unterrichtung einfache Wörter oft fehlerfrei lesen, was in Orthografien mit inkonsistenten Buchstabe-Laut-Beziehungen, wie im Englischen, häufig nicht der Fall ist (Frith, Wimmer, & Landerl, 1998; Seymour, Aro, Erskine, & Network, 2003). Das zentrale Kennzeichen einer Lesestörung im Deutschen ist daher die deutlich verlangsamte Lesegeschwindigkeit (Schulte-Körne, 2011; Wimmer & Schurz, 2010). Weitere Kennzeichen einer Lesestörung sind zudem die folgenden Probleme, die in Kombination oder einzeln auftreten können (vgl. ICD10): Auslassen, Ersetzen, Verdrehungen oder Hinzufügen von Worten oder Wortteilen; Startschwierigkeiten beim Vorlesen, langes Zögern oder Verlieren der Zeile im Text; Vertauschung von Wörtern im Satz oder von Buchstaben in den Wörtern; Ersetzen von Wörtern durch ein in der Bedeutung ähnliches Wort sowie die Unfähigkeit, Gelesenes zu wiederholen und die Unfähigkeit, aus dem Gelesenen Zusammenhänge zu erkennen und Schlüsse zu ziehen. Probleme der Worterkennung (d.h. des genauen und flüssigen Lesens von Wörtern und Texten) und des Leseverständnisses (d.h. des sinnentnehmenden Lesens) können jedoch dissoziieren und müssen differenziert betrachtet werden. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Worterkennung.

Eine Rechtschreibstörung ist durch folgende Probleme gekennzeichnet (vgl. BVL, 2018 und ICD 10): Schwierigkeiten beim Schreiben von Buchstaben, Wörtern und Sätzen; hohe Fehlerzahl bei ungeübten Diktaten; hohe Fehlerzahl beim Abschreiben von Texten; Grammatik- und Interpunktionsfehler und eine häufig unleserliche Handschrift.

In der S3-Leitlinie zur Diagnostik und Behandlung von Kindern und Jugendlichen mit Lese- und/oder Rechtschreibstörung finden sich folgende diagnostische Kriterien: Die Leitlinie empfiehlt, dass zur Diagnostik der Lese- und/oder Rechtschreibstörung das Kriterium der Alters- oder Klassennormdiskrepanz oder das Kriterium der IQ-Diskrepanz herangezogen werden soll. Es sollte eine Abweichung von 1,5 Standardabweichungen ( $\leq$  PR 7) von der Alters- oder Klassennorm oder von der Intelligenz bei mindestens unterdurchschnittlichen Leistungen ( $\leq$  PR 16) in dem jeweiligen Lernbereich vorliegen. Eine geringere Abweichung von 1 SD von der Alters- oder Klassennorm kann dann herangezogen werden, wenn die Anamnese / klinische Untersuchung die Ergebnisse der psychometrischen Verfahren stützen (Galuschka & Schulte-Körne, 2016).

Für die betroffenen Kinder sind die Störungen im Lesen und/oder Rechtschreiben oft mit erheblichen Folgen und deutlichen Einschränkungen verbunden. Im Laufe der Schulzeit werden sie vermehrt zu Schulversagern (Korhonen, Linnanmäki, & Aunio, 2014) und sind weniger in der Lage zur gesellschaftlichen Teilhabe als Kinder ohne LRS (Goldston et al., 2007). Kinder mit LRS weisen oft begleitende emotionale Probleme und Verhaltensstörungen auf. Besonders häufig sind Aufmerksamkeitsdefizit-(Hyperaktivitäts)-Störung (AD(H)S), Störung des Sozialverhaltens, Angststörungen, und depressive Störungen (Bäcker & Neuhäuser, 2003; Carroll, Maughan, Goodman, & Meltzer, 2005; Goldston et al., 2007; Visser, Kalmar, Linkersdörfer, Görgen, Rothe, Hasselhorn, & Schulte-Körne, 2020). Zudem ist die Stabilität schriftsprachlicher Beeinträchtigungen sehr gut belegt (Klicpera, Schabmann, & Gasteiger-Klicpera, 2006; Kohn, Wyschkon, Ballaschk, Ihle, & Esser, 2013; Landerl & Wimmer, 2008; Shaywitz et al., 1999).

### **3.3 Orthografische Verarbeitung von Wörtern**

Dreh- und Angelpunkt verschiedener Erklärungsansätze bzgl. der Dissoziation von Lese- und Rechtschreibleistung ist das orthografische Lexikon. Wie im ersten Kapitel unter 3.1. („normale“ Schriftsprachentwicklung) aufgeführt, bauen Kinder mit zunehmender Leseerfahrung ein orthografisches Gedächtnis/Lexikon für häufig gelesene Wörter oder Wortteile (wie z.B. häufige Vor- und Endsilben) auf.

Diese wortspezifischen orthografischen Repräsentationen spielen u.a. eine entscheidende Rolle für das orthografisch korrekte Schreiben. Zwar gilt das Deutsche als eine relativ konsistente Orthografie (v.a. im Vergleich zum Englischen), jedoch trifft dies nur für die Leserichtung zu. Wie in den meisten alphabetischen Orthografien ist auch im Deutschen die Phonem-Graphem-Korrespondenz (Laut-Buchstabe-Zuordnung) beim Schreiben eher inkonsistent und damit deutlich komplexer als die Graphem-Phonem-Zuordnung beim Lesen.



Besonders inkonsistent ist hierbei die Kennzeichnung der Vokallänge (Landerl & Reitsma, 2005) und daher ist die korrekte Schreibung der Vokallänge eines der Hauptprobleme in der deutschen Rechtschreibung (Klicpera & Gasteiger-Klicpera, 1998). Voraussetzung für die richtige Markierung ist die korrekte Differenzierung der Vokallänge, d.h. das Erkennen von langen und kurzen Vokalen. Doch auch wenn die Vokallänge richtig erkannt wird, z.B. der Vokal „a“ als langes /a:/, gibt es in der deutschen Orthografie immer noch drei Möglichkeiten, den Langvokal /a:/ zu verschriftlichen: *ah* wie in *Wahl*, *a* wie in *Tal* und *aa* wie in *Saal*. Viele Wörter im Deutschen können daher nur orthografisch richtig geschrieben werden, wenn die Schreibweise des Wortes oder der Wortfamilie (z.B. ‚ah‘ in fahren – Fahrrad, Fahrer, Fahrzeug etc.) verinnerlicht wurde, also die Wörter im orthografischen Lexikon gespeichert wurden.

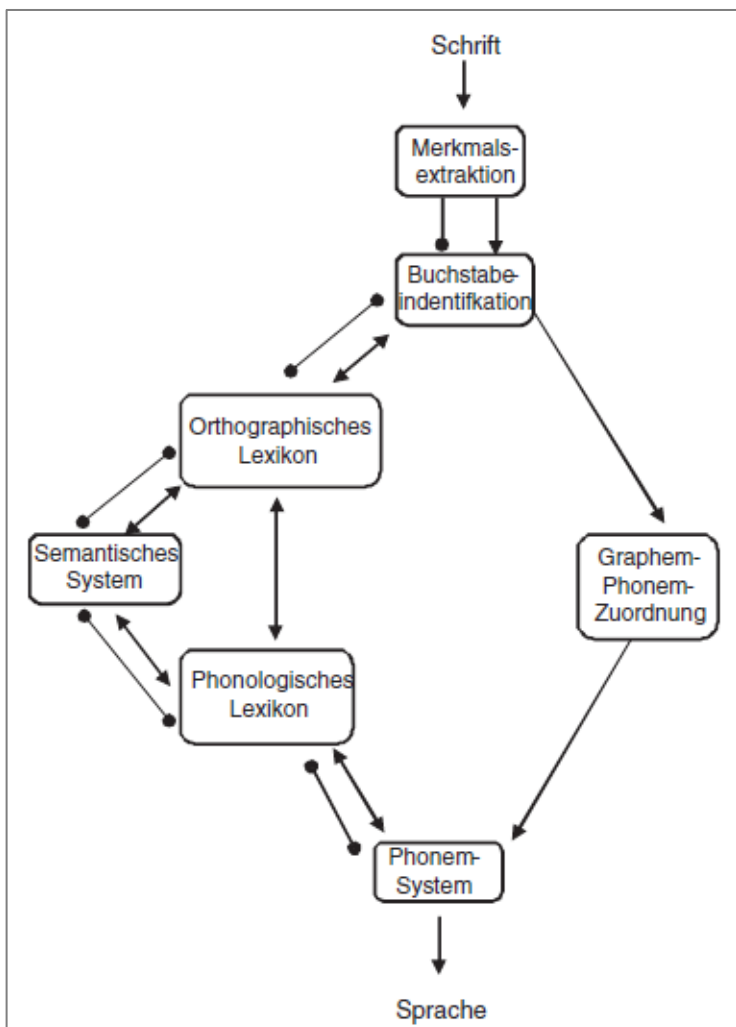


Abb. 3\_Zwei-Wege-Modell des Lesens (in Anlehnung an „dual-route model of reading aloud“ von Coltheart (1978))

Die wortspezifischen orthografischen Repräsentationen spielen jedoch nicht nur eine wichtige Rolle für die Rechtschreibung, sondern sind zudem wichtig für das flüssige und effiziente Lesen, weil die Kinder die Wörter nicht mehr Buchstabe für Buchstabe erlesen müssen, sondern weil die Wörter durch den Zugriff auf das orthografische Lexikon direkt und damit schnell als Ganzes abgerufen werden können (direkter Weg im „Zwei-Wege-Modell des Lesens“, Abb. 3).

Im „Zwei-Wege-Modell des Lesens“ (siehe Abbildung 3 aus Schulte-Körne, 2011; im Englischen „Dual-Route-Model of reading“ (Coltheart, Curtis, Atkins, & Haller, 1993; Ziegler, Perry & Coltheart, 2000)) kann die visuelle Wortverarbeitung, ausgehend von der Schrift bis zur Sprache auf zwei verschiedene Arten (Wege) erfolgen. Unbekannte, neue Wörter und auch unbekannte Wortformen (z.B. Pseudowörter) werden demnach seriell gelesen, indem Buchstaben oder Buchstabengruppen in einzelne Laute umgewandelt werden unter Anwendung der Regeln zur Graphem-Phonem-Korrespondenz (indirekter oder nicht lexikalischer Weg). Bekannte Wörter hingegen, die einen Eintrag im orthografischen Lexikon haben, werden durch den Zugriff auf die entsprechende orthografische Repräsentation gelesen (direkte oder lexikalische Route), die wiederum die entsprechende phonologische und semantische Repräsentation aktiviert.

Das „Zwei-Wege-Modell“ von Coltheart wurde von Scheerer-Neumann (1990) auf die Leseentwicklung und auf die frühen Lesestrategien von Kindern übertragen. Leseanfänger nutzen hauptsächlich den indirekten Weg, was aufgrund der hohen Graphem-Phonem-Konsistenz in der deutschen Orthografie bereits zu fehlerfreien, aber langsamen Wortlesungen führt. Im Verlauf der Leseentwicklung verlassen sich die Kinder zunehmend auf den lexikalischen Weg, da immer mehr Wörter im orthografischen Lexikon gespeichert sind. Der lexikalische Weg ist schneller, weniger fehleranfällig und weniger anstrengend als die indirekte, nicht lexikalische Route. Beide Wege werden auch parallel genutzt bei komplexen, seltenen Wörtern und greifen ineinander.

Es wird angenommen, dass Störungen im Lesen bzw. im Rechtschreiben mit unterschiedlichen Defiziten in der orthografischen Verarbeitung verbunden sind. Wie unter 3.1 beschrieben, wird davon ausgegangen, dass die Schriftsprachentwicklung bis zur orthografischen Verarbeitungsstufe weitgehend parallel verläuft (siehe Abb. 2). Zu Dissoziationen zwischen Lesen und Schreiben kommt es dann jedoch vermutlich auf der orthographischen Stufe, wenn es um die Leseflüssigkeit und die orthografisch korrekte Rechtschreibung geht.

Bei Kindern mit einer isolierten Lesestörung wird angenommen, dass sie über ein intaktes orthografisches Lexikon verfügen, also in der Lage sind, orthografische Repräsentationen von Wörtern im Langzeitgedächtnis einzuspeichern, da sie keine Schwierigkeiten zeigen, orthografisch korrekt zu schreiben. Es wird vermutet, dass die Probleme im flüssigen Lesen

auf einen verlangsamten Zugriff auf die intakten orthografischen Repräsentationen zurückzuführen sind bzw. die Verarbeitung der im Gedächtnis abgespeicherten Wörter länger dauert (Gangl, Moll, Jones, Banfi, Schulte-Körne, & Landerl, 2018; Moll & Landerl, 2009; Wimmer, 1993).

Kinder mit einer Rechtschreibstörung hingegen haben vermutlich Schwierigkeiten beim kurzzeitigen Merken und/oder Einspeichern von präzisen wortspezifischen Repräsentationen im Langzeitgedächtnis, da sie nicht in der Lage sind, orthografisch korrekt zu schreiben. Die vermutlich ungenauen Repräsentationen könnten ausreichen, um ein Wort während des Lesens zu erkennen (Frith, 1980), sind jedoch nicht präzise genug, um die richtige Buchstabenfolge beim Schreiben vollständig abzurufen. Dies würde erklären, warum Kinder mit Schwierigkeiten im Rechtschreiben zwar flüssig lesen können, aber orthografisch falsche Schreibungen produzieren. Da die orthografische Verarbeitung somit eine zentrale Bedeutung für das Entstehen der Dissoziationen zwischen Leseflüssigkeit und Rechtschreiben einnimmt, beschäftigt sich die vorliegende Dissertation mit unterschiedlichen Aspekten der orthografischen Verarbeitung.

### ***3.4 Übergeordnetes Ziel der Dissertation und Ergebniszusammenfassung***

Das übergeordnete Ziel der Dissertation war, die orthografische Verarbeitung bei Kindern mit isolierten Störungen des Lesens und isolierten Störungen des Rechtschreibens näher zu untersuchen, um auf Basis möglicher Unterschiede in der orthografischen Verarbeitung die auf Verhaltensebene beobachteten Dissoziationen erklären zu können. Wie unter 3.3 beschrieben, spielen die wortspezifischen orthografischen Repräsentationen sowohl beim flüssigen Lesen als auch beim orthografisch korrekten Schreiben eine entscheidende Rolle. Allerdings wird angenommen, dass unterschiedliche Aspekte in der orthografischen Verarbeitung beim Lesen versus Rechtschreiben im Vordergrund stehen, so dass Dissoziationen von Lese- und Rechtschreibdefiziten vermutlich mit unterschiedlichen Schwierigkeiten in der orthografischen Verarbeitung assoziiert sind. Es wird angenommen, dass Rechtschreibstörungen mit Problemen beim kurzzeitigen Merken und /oder Einspeichern wortspezifischer Repräsentationen im Langzeitgedächtnis verbunden sind, während Lesestörungen mit einem verzögerten Zugriff oder längerer Wortverarbeitungsdauer einhergehen. Um diese Annahmen zu überprüfen und um die mit den Problemen im Lesen vs. Schreiben assoziierten orthografischen Verarbeitungsdefizite genauer zu identifizieren, lag der Fokus in den vorliegenden zwei Veröffentlichungen auf unterschiedlichen Aspekten der orthografischen Verarbeitung: (1) dem orthografischen Lernen in Studie I (Mehlhase, Bakos, Landerl, Schulte-Körne, & Moll, 2019) und (2) der Untersuchung neurophysiologischer Korrelate bei der automatischen orthografischen Wortverarbeitung in Studie II (Mehlhase, Bakos, Bartling, Schulte-Körne, & Moll, 2020).

Es wurden auf Basis eines Schulscreenings 4 Gruppen von Kindern in der 4. Klassestufe untersucht. Die Kinder hatten entweder eine isolierte Lesestörung (iLS, N=17), eine isolierte Rechtschreibstörung (iRS, N=21), eine kombinierte Lese-Rechtschreibstörung (LRS, N=35) oder alterstypische Lese-Rechtschreibfähigkeiten (KG, N=35).

Das Ziel von Studie I war herauszufinden, wie wortspezifische orthografische Repräsentationen erworben werden und bei welchen Schritten in diesem Lernprozess (kurzzeitiges Merken, Einspeicherung im Langzeitgedächtnis, Zugriff und Dauer der Verarbeitung) eventuelle Schwierigkeiten in den verschiedenen Gruppen auftreten. Mit Hilfe eines Lernexperiments wurde das orthografische Lernen von unbekanntem Wörtern (Pseudowörtern) erfasst. Den Kindern wurden hierzu zunächst der jeweilige Name und die Schreibweise von acht außerirdischen Lebewesen vorgestellt (siehe Abb. 4, initial exposure). In der darauffolgenden Lernphase (Abb. 4, learning trials) sollten die Kinder den jeweiligen Namen den gezeigten Lebewesen in einer Zuordnungsaufgabe zuordnen, wobei jedes Lebewesen 5mal gezeigt wurde. Hierbei wird der Lernprozess, wie im Entwicklungsmodell beschrieben, simuliert. Es wird demnach davon ausgegangen, dass bei typischer Schriftsprachentwicklung wiederholtes Lesen des zunächst unbekanntem Wortes zu einer Einspeicherung des Schriftwortes im Gedächtnis führt. Um die typischen Rechtschreibschwierigkeiten untersuchen zu können, wurden die verwendeten acht Pseudowörter so konstruiert, dass sie je eine orthografische Besonderheit enthielten (wie z.B. einen Doppelvokal oder ein Dehnungs-h). Um diese Wörter orthografisch korrekt schreiben zu können, mussten sich die Kinder die Schreibweise merken, d.h. eine wortspezifische Gedächtnisrepräsentation aufbauen. Zudem gab es eine nicht-verbale Kontrollbedingung, in der die Kinder nicht den Namen, sondern jeweils das Symbol des entsprechenden außerirdischen Wesens lernen und zuordnen sollten (Abb 4 unterer Teil = b). Die Kontrollbedingung diente der Differenzierung, ob eventuelle Lernprobleme nur beim Lernen von Schriftsprache auftreten oder ob generelle Lernschwierigkeiten bei den Kindern vorliegen. Das orthografische Lernen wurde mithilfe einer Schreib- und einer Leseaufgabe geprüft, einmal direkt nach der Lernphase (Posttest 1, kurzzeitiges Merken orthografischer Repräsentationen) sowie noch einmal 2 Stunden später (Posttest 2, Einspeicherung orthografischer Repräsentationen im Langzeitgedächtnis). In der nicht-verbale Kontrollbedingung sollten die Kinder die Symbole zeichnen.

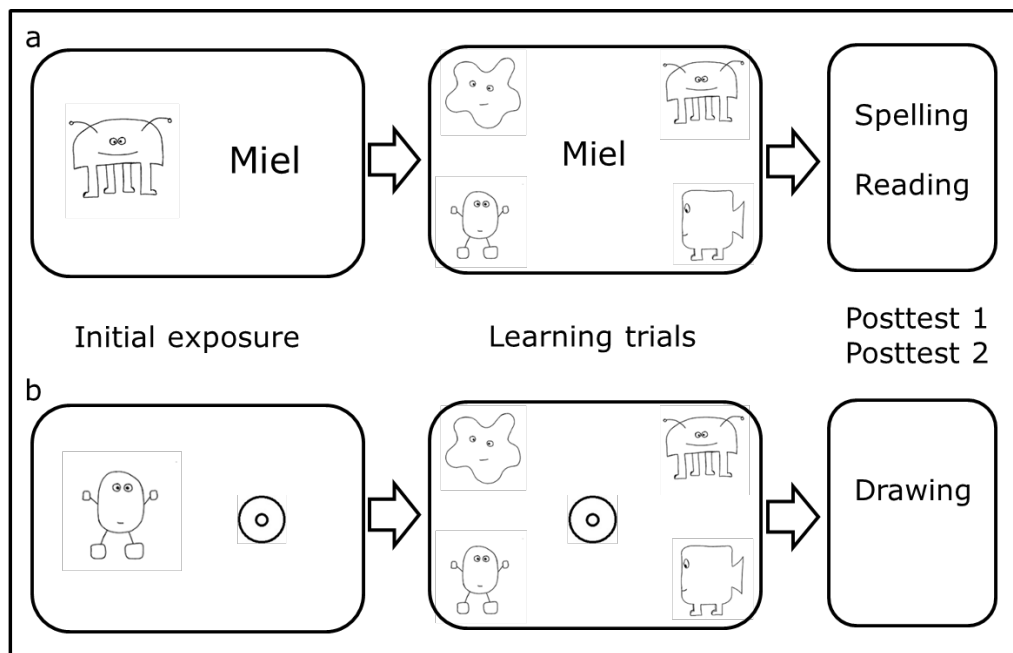


Abb. 4\_Ablauf des Lernexperiments (a = Pseudowörter lernen, b = Symbole lernen)

Während der Lernphase zeigten sich beim Zuordnen keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Alle Kinder konnten sowohl die Namen als auch die Symbole den Wesen gleich gut zuordnen. Unterschiede fanden sich hingegen sowohl beim kurzfristigen Merken als auch beim Einspeichern wortspezifischer Repräsentationen im Langzeitgedächtnis. Kinder mit iLS zeigten keine Probleme beim kurzzeitigen Merken und beim Speichern wortspezifischer Repräsentationen im Langzeitgedächtnis, denn sie konnten die Namen orthografisch sowohl bei Posttest 1 als auch bei Posttest 2 korrekt schreiben. Trotzdem waren sie beim Lesen der gelernten Namen langsamer (bei beiden Posttests), was auf Probleme im schnellen Zugriff auf die Repräsentationen oder auf eine längere Verarbeitung der gespeicherten Wörter hindeutet. Kinder mit iRS zeigten auch keine Probleme im kurzzeitigen Merken wortspezifischer Repräsentationen, denn sie konnten die Namen bei Posttest 1 orthografisch richtig schreiben. Sie hatten jedoch signifikant mehr Rechtschreibfehler bei Posttest 2, was auf Probleme beim Speichern der Repräsentationen im Langzeitgedächtnis hindeutet. Interessanterweise zeigten Kinder mit LRS bereits Probleme im kurzzeitigen Merken wortspezifischer Repräsentationen, denn sie hatten schon bei Posttest 1 Schwierigkeiten, die Namen korrekt zu schreiben und waren auch beim Lesen der Namen verlangsamt. Die Analyse der Rechtschreibfehler ergab zudem, dass Kinder mit iRS im Vergleich zu den anderen drei Gruppen von Kindern mehr Fehler in Bezug auf die Vokallänge machten, also spezifische Probleme bei der Diskriminierung der Vokallänge zeigten. Basierend auf der Hypothese von Perfetti & Hart (2002, „lexical quality hypotheses“) sind orthografische Repräsentationen von hoher Qualität, wenn sie sowohl präzise als auch über die Zeit stabil sind. Das Fehlermuster von Kindern mit iRS könnte daher widerspiegeln, dass sie über instabile orthogra-

fische Repräsentationen verfügen, die ihnen erlauben, ein Wort unmittelbar nach dem Lernen (kurzzeitiges Merken) exakt zu schreiben, aber nicht die Stabilität der korrekten Schreibweise über die Zeit gewährleisten. Das Verwenden unpräziser Repräsentationen führt dazu, dass orthographische Marker und Vokallängen nicht berücksichtigt werden. Im Gegensatz dazu zeigten Kinder mit LRS bereits Probleme im kurzzeitigen Merken orthographischer Repräsentationen (mehr Rechtschreibfehler bei Posttest 1). Eine Erklärung hierfür wäre, dass Kinder mit LRS sich in erster Linie auf alphabetische Strategien beim Lesen und Rechtschreiben verlassen, also zusammenlautend lesen und das diktierte Wort beim Schreiben in seine Laute zerlegen. Dies würde dann zu langsamem Lesen und zu phonologisch korrekten Schreibweisen führen, jedoch ohne Berücksichtigung der orthografischen Marker. Diese Interpretation wird gestützt von Befunden aus einer kürzlich veröffentlichten Eyetracking-Studie, die zeigt, dass Kinder mit LRS im Vergleich zu Kindern mit iLS, iRS und Kontrollkindern tatsächlich beim Lesen vermehrt auf alphabetische Strategien (zusammenlauten) zurückgreifen (Gangl, Moll, Jones, et al., 2018). In der nicht-verbalen Kontrollbedingung fanden sich keinerlei Gruppenunterschiede. Alle Kinder hatten demnach keine Schwierigkeiten, die Symbole kurzfristig zu merken, einzuspeichern und zu verarbeiten. Zusammenfassend konnte in der Studie gezeigt werden, dass isolierte Störungen im Lesen und Rechtschreiben mit unterschiedlichen Prozessen im orthografischen Lernen (kurzfristiges Merken, Einspeicherung im Langzeitgedächtnis, Zugriff und Dauer der Verarbeitung) verbunden sind. Hervorzuheben ist, dass die Kinder mit Lese- und/oder Rechtschreibstörungen keine Schwierigkeiten beim Lernen von nicht-verbalem Material (Symbollernen) hatten. Die Annahmen über das kurzzeitige Merken, die Einspeicherung im Langzeitgedächtnis und den Zugriff und Dauer der Verarbeitung orthografischer Repräsentationen konnten bestätigt und neue Erkenntnisse über die kognitiven Profile isolierter Störungen gewonnen werden. Kinder mit Lesestörung zeigten keine Probleme im kurzzeitigen Merken und in der Einspeicherung im Langzeitgedächtnis, aber bei ihnen war der Zugriff verspätet oder die Verarbeitungsdauer länger. Kinder mit Rechtschreibstörung zeigten Probleme in der Einspeicherung orthografischer Repräsentationen im Langzeitgedächtnis und verfügen anscheinend nur über unpräzise orthografische Repräsentationen, da sie Defizite bei der Differenzierung von Vokallängen hatten. Eine ausführliche Beschreibung von Hintergrund, Ablauf und den Ergebnissen der Studie sowie eine weitergehende Diskussion findet sich in der Publikation (Mehlhasse et al., 2019).

Ziel der Studie II war die Untersuchung der automatischen orthografischen Verarbeitung von Wörtern mit Hilfe von neurophysiologischen Korrelaten, um Informationen über den genauen zeitlichen Ablauf der zugrundeliegenden Prozesse bei der visuellen Wortverarbeitung zu erhalten. Um die angenommenen unterschiedlichen Defizite in der orthografischen Verarbeitung, die mit iLS und iRS in Verbindung gebracht werden (siehe 3.3) näher zu spezifizieren, wurden in der vorliegenden Studie zum einen verschiedene Prozesse der Wort-

verarbeitung (lexikalisch orthografisch, sublexikalisch orthografisch und phonologisch) untersucht und zum anderen konnten durch die hohe zeitliche Auflösung des EEGs die mit den verschiedenen Wortverarbeitungsprozessen assoziierten ereigniskorrelierten Potentiale (EKPs: N200 und N400) analysiert werden. Die N200 spielt eine wesentliche Rolle bei der visuellen Verarbeitung von Buchstaben (Unterscheidung zwischen Wörtern und Symbolen) (vgl. Bentin, Mouchetant-Rostaing, Giard, Echallier, & Pernier, 1999; Hauk, Patterson, et al., 2006; Maurer, Brem, Bucher, & Brandeis, 2005) und wurde auch mit der orthografischen Verarbeitung assoziiert (Unterscheidung zwischen Wörtern und Pseudowörtern) (u.a. Araújo, Faisca, Bramão, Reis, & Petersson, 2015; Coch & Meade, 2016; Hauk, Davis, Ford, Pulvermüller, & Marslen-Wilson, 2006; Hauk, Patterson, et al., 2006; Mahé, Bonnefond, Gavens, Dufour, & Doignon-Camus, 2012). Die N400 konnte sowohl mit der orthografischen Verarbeitung (höhere Aktivierung für orthografisch unbekannte als für orthografisch bekannte Wortformen) (Braun et al., 2006; Briesemeister et al., 2009) als auch mit der phonologischen Verarbeitung (Unterscheidung zwischen phonologisch legalen und illegalen Stimuli) (Bentin et al., 1999; Grossi, Coch, Coffey-Corina, Holcomb, & Neville, 2001; Holcomb, 1993) von visuell präsentierten Wörtern in Verbindung gebracht werden. Zur Erfassung der automatischen orthografischen Verarbeitung bei der Erkennung visueller Wörter wurde eine Variante des bereits gut etablierten Reicher-Wheeler-Paradigmas (RWP) genutzt. Die Kinder mussten im vorliegenden Experiment angeben, welcher von zwei gezeigten Buchstaben an einer bestimmten Position vorkam (siehe Abbildung 5) in einem zuvor sehr kurz gesehenen Wort (ein im Deutschen existierendes Nomen, z.B. ARZT), einem legalen Pseudowort (orthografisch unbekanntes Fantasiewort, z.B. ALZT), illegalem Pseudowort (Fantasiewort, das die orthografischen Regeln verletzt, z.B. AVZT) oder Nichtwort (bestehend nur aus Konsonanten und damit sowohl orthografisch illegal als auch unaussprechbar, z.B. BRZT).

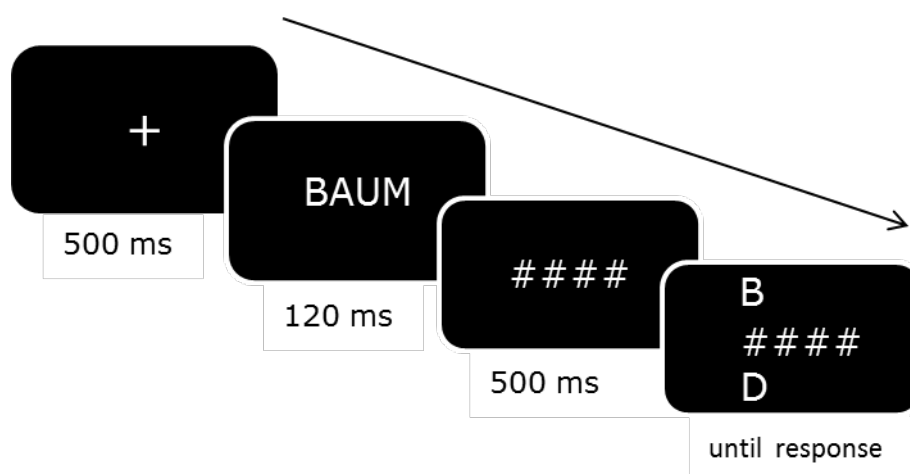


Abb. 5\_Ablauf der Präsentation eines Stimulus

Theoriegeleitet wurden dann die folgenden drei Vergleiche untersucht: auf (1) lexikalischer Wortverarbeitungsebene der Vergleich zwischen Wörtern und legalen Pseudowörtern (weil nur die Wörter einen Eintrag ins orthografische Lexikon haben), auf (2) sublexikalischer Ebene der Vergleich zwischen legalen Pseudowörtern und illegalen Pseudowörtern (weil nur die illegalen aber nicht die legalen Pseudowörter Buchstabenfolgen enthalten, die die deutsche Orthografie verletzen) und auf (3) phonologischer Ebene der Vergleich zwischen illegalen Pseudowörtern und Nichtwörtern (= Konsonantenfolgen) (weil beide Wortformen illegale Buchstabenkombinationen enthalten, aber nur die Nichtwörter nicht aussprechbar sind).

Neben Kindern mit iLS (N=17) und iRS (N=20) wurden auch Kinder mit LRS (N=35) und Kinder mit altersentsprechender Lese- und Rechtschreibleistung (KG; N=35) untersucht. Alle Gruppen zeigten den bereits in der Literatur bekannten „word superiority effect“ (WSE), also den Effekt, dass ein Buchstabe besser erkannt wird, wenn er zuvor in einem sehr kurz präsentierten Wort im Vergleich zu einem Nichtwort eingebettet war. Somit konnte für alle Gruppen gezeigt werden, dass Wörter im Vergleich zu Nichtwörtern auch bei kurzer Darbietung anders verarbeitet werden. Dieser Effekt zeigte sich auch auf neurophysiologischer Ebene in einer höheren N200 und N400 Aktivierung (Amplitude) bei Wörtern im Vergleich zu Nichtwörtern. Hinsichtlich der drei verschiedenen Verarbeitungsstufen (lexikalisch orthografisch, sublexikalisch orthografisch und phonologisch) zeigten alle Gruppen eine geringere Fehlerrate auf Verhaltensebene bei Wörtern im Vergleich zu legalen Pseudowörtern (lexikalische Verarbeitung) und bei illegalen Pseudowörtern im Vergleich zu Nichtwörtern (phonologische Verarbeitung). Zudem zeigten sich Gruppenunterschiede in der phonologischen Wortverarbeitung auf neurophysiologischer Ebene: während die Kinder der Kontrollgruppe und die Kinder mit isolierter Lesestörung, die eine unauffällige Rechtschreibleistung hatten (KG und iLS), eine höhere N400 Aktivierung bei illegalen Pseudowörtern im Vergleich zu Nichtwörtern aufwiesen, zeigten sich keine Unterschiede in der N400 Aktivierung zwischen diesen beiden Wortbedingungen in den beiden Gruppen von Kindern mit Rechtschreibproblemen (iRS und LRS). Die Befunde deuten darauf hin, dass Probleme im Rechtschreiben mit Schwierigkeiten in der phonologischen Verarbeitung assoziiert sind, da Kinder mit iRS eine reduzierte Sensitivität (keine Unterschiede in der N400 Aktivierung) bezüglich der phonologischen Wortverarbeitung zeigten, während bei Kindern mit iLS (gleiches N400-Aktivierungsmuster wie die KG) diese Schwierigkeiten nicht auftraten. Neben der Höhe bzw. Stärke der Aktivierung (Amplitude) haben wir uns auch die Dauer der Verarbeitung (Latenz) angesehen, um insbesondere bei den Kindern mit iLS (reduzierter Lesefluss) zu untersuchen, ob das langsame Lesen eventuell durch eine verzögerte (also später einsetzende) Verarbeitung oder durch eine langsamere (also länger andauernde) Verarbeitungsdauer zu erklären ist. Entgegen unserer Annahmen wiesen die Kinder mit iLS auch hinsichtlich der Latenzen die gleiche neurophysiologische Verarbeitung wie die Kinder



der Kontrollgruppe auf. Demnach ließ sich kein Zusammenhang zwischen langsamen Lesen und einer längeren Verarbeitung in den frühen EEG-Komponenten (N200 und N400) zeigen. Zusammenfassend weisen die Ergebnisse der Studie II daraufhin, dass isolierte Störungen im Lesen und Rechtschreiben mit spezifischen Unterschieden in der automatischen Wortverarbeitung verbunden sind. Eine ausführliche Darstellung des Hintergrunds, Ablaufs und der Ergebnisse der Studie sowie eine weitergehende Diskussion findet sich in der Publikation (Mehlhase et al., 2020).

### **3.5 Zusammenfassende Diskussion und Ausblick**

Defizite im Lesen und Defizite im Rechtschreiben können unabhängig voneinander auftreten (Fayol et al., 2009; Landerl & Moll, 2010; Moll et al., 2014; Moll & Landerl, 2009) und weisen vergleichbare Prävalenzen wie kombinierte Störungen im Lesen und Rechtschreiben auf (Moll & Landerl, 2009; Wimmer & Mayringer, 2002). Trotz dieser hohen Prävalenzen von isolierten Lese- bzw. Rechtschreibstörungen gibt es bisher nur wenige Studien, die mögliche Erklärungsansätze zu isolierten Störungen des Lesens und Rechtschreibens untersucht haben. Die wenigen bisherigen Studien zu isolierten Störungen (z.B. Moll, Gangl, Banfi, Schulte-Körne, & Landerl, 2020; Moll & Landerl, 2009; Wimmer & Mayringer, 2002; Wolf & Bowers, 1999) weisen darauf hin, dass Lese- versus Rechtschreibdefizite mit unterschiedlichen kognitiven Defiziten assoziiert sind. Die phonologische Bewusstheit (PA) spielt eine Rolle beim dekodierenden Lesen, der Lesegenauigkeit und dem Aufbau orthografischer Repräsentationen via self-teaching. RAN hingegen steht im Zusammenhang mit Leseflüssigkeit und spiegelt vermutlich den schnellen Zugriff bzw. die effiziente visuell-phonologische Verarbeitung wider. Es wird angenommen (vgl. Abbildung 2), dass die ersten beiden Verarbeitungsstufen (logografische und alphabetische Stufe) für die Entwicklung der Lese- und Rechtschreibleistung weitgehend parallel verlaufen. Zu Unterschieden kommt es dann vermutlich in der orthografischen Verarbeitungsstufe, weshalb in den beiden vorliegenden Studien die orthografische Verarbeitung näher untersucht wurde, um die Dissoziationen von Lese- und Rechtschreibproblemen besser verstehen zu können. Die beiden Studien konzentrierten sich auf verschiedene Aspekte der orthografischen Verarbeitung (orthografisches Lernen und automatische orthografische Verarbeitung) und liefern neue Erkenntnisse, sowohl über die verschiedenen Prozesse beim orthografischen Lernen (kurzzeitiges Merken, Einspeicherung im Langzeitgedächtnis und Zugriff und Verarbeitung orthografischer Repräsentationen), als auch über die schnelle automatische orthografische Verarbeitung bei der visuellen Worterkennung. In Studie II konnten durch die hohe zeitliche Auflösung der EEG-Messungen neue Erkenntnisse über die Verhaltensdaten hinaus gewonnen werden und die Stärke und Länge der Aktivierung auf unterschiedlichen Verarbeitungsebenen (lexikalisch orthografisch, sublexikalisch orthografisch und phonologisch) untersucht werden. Soweit bekannt, existierten zuvor keine Studien zum orthografischen Lernen und zur automatischen

Wortverarbeitung bei Kindern mit isolierten Defiziten im Lesen und Rechtschreiben. Die vorliegende Dissertation liefert damit einen wesentlichen Beitrag zur Erklärung von Dissoziationen zwischen Lese- und Rechtschreibstörungen.

	<b>Lernexperiment / orthografisches Lernen</b>	<b>automatische orthografische Wortverarbeitung / neurophysiologische Aktivierung</b>	<b>automatische orthografische Wortverarbeitung / Verhaltensebene</b>
<b>Isolierte Lesestörung</b>	keine Probleme im kurzzeitigen Merken und Einspeichern orthografischer Repräsentationen im Langzeitgedächtnis	keine Probleme in der phonologischen Wortverarbeitung	Lexikalisches Wissen wird genutzt
<b>Isolierte Rechtschreibstörung</b>	Probleme beim Einspeichern präziser orthografischer Repräsentationen im Langzeitgedächtnis	reduzierte Sensitivität bei der phonologischen Wortverarbeitung	Lexikalisches Wissen wird genutzt
<b>Kombinierte Lese-Rechtschreibstörung</b>	Probleme bereits im kurzzeitigen Merken von Wortschreibungen	reduzierte Sensitivität bei der phonologischen Wortverarbeitung	Lexikalisches Wissen wird genutzt

Tabelle 1\_Überblick über die wichtigsten Befunde

Obwohl Defizite im Lesen und Rechtschreiben getrennt voneinander auftreten (können), konnte in den beiden vorliegenden Studien gezeigt werden, dass Kinder mit isolierten Defiziten im Lesen oder im Rechtschreiben Ähnlichkeiten in einigen Aspekten der orthografischen Verarbeitung aufweisen. Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse beider Studien. So zeigten die Kinder beider Gruppen (iLS und iRS) im Lernexperiment keine Probleme beim kurzzeitigen Merken orthografischer Repräsentationen, was eine sehr bedeutende neue Erkenntnis für Kinder mit iRS darstellt. Kinder mit LRS hingegen wiesen Probleme bereits beim kurzzeitigen Merken auf. Zudem wurde in der Kontrollbedingung gezeigt, dass Kinder mit Problemen im Schriftspracherwerb (iLS, iRS und LRS) keine Probleme beim kurzzeitigen Merken, Speichern oder der Verarbeitung von nicht-verbalen

visuellen Informationen (z.B. Symbolen) hatten. Defizite treten demnach spezifisch bei verbalem Material auf und stehen nicht in Verbindung mit generellen Lernschwierigkeiten. Mit diesem wichtigen Befund konnten Erkenntnisse aus früheren Lernstudien von Kindern mit LRS bestätigt werden (Litt, de Jong, van Bergen & Nation, 2013; Litt & Nation, 2014; Messbauer & de Jong, 2003) und für Kinder mit isolierten Problemen erweitert werden. Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass auch Kinder mit isolierten Defiziten im Lesen oder Rechtschreiben in gleicher Weise den „word superiority effect“ (WSE) zeigten wie bereits Kinder mit LRS in früheren Studien (Grainger, Bouttevin, Truc, Bastien, & Ziegler, 2003; Lété & Ducrot, 2008) und daher einen Buchstaben besser identifizieren konnten, wenn dieser in zuvor gesehenen Wörtern im Vergleich zu Nichtwörtern (Konsonantenstrings) eingebettet war. Erstmals wurde der WSE auch auf neurophysiologischer Ebene bei Kindern mit Problemen im Schriftspracherwerb untersucht. So wie Kinder ohne Probleme im Schriftspracherwerb (Coch, Mitra, & George, 2012) zeigten die Kinder aller Gruppen im vorliegenden Experiment zur automatischen orthografischen Verarbeitung im Reicher-Wheeler-Paradigma (RWP) eine höhere Aktivierung für Wörter im Vergleich zu Nichtwörtern. Die vorliegende Studie konnte daher erstmals nachweisen, dass auch Kinder mit isolierten Defiziten den klassischen WSE sowohl auf Verhaltensebene als auch auf neurophysiologischer Ebene zeigen und liefert neue Erkenntnisse der automatischen Wortverarbeitung. Keine Unterschiede zwischen Kindern mit iLS und iRS fanden sich zudem auf der Verhaltensebene bzgl. der lexikalischen und phonologischen Verarbeitung visueller Wörter. Sowohl Kinder mit Defiziten im Lesen als auch Kinder mit Defiziten im Rechtschreiben machten weniger Fehler bei Wörtern im Vergleich zu legalen Pseudowörtern (lexikalisch orthografische Verarbeitungsebene) und auch weniger Fehler bei illegalen Pseudowörtern im Vergleich zu Nichtwörtern (phonologische Verarbeitung) und zeigten daher die gleichen Bedingungsunterschiede bei der visuellen Worterkennung wie die Kinder der Kontrollgruppe. Auf lexikalischer Verarbeitungsebene konnte somit gezeigt werden, dass auch Kinder mit isolierten Defiziten lexikalisches Wissen (also wortspezifische Repräsentationen) bei der Wortverarbeitung nutzen, da nur die Wörter und nicht die Pseudowörter einen Eintrag im orthografischen Lexikon haben.

Zusammenfassend konnte im Hinblick auf Kinder mit iLS gezeigt werden, dass die langsame Lesegeschwindigkeit nicht von Schwierigkeiten im kurzzeitigen Merken und Einspeichern wortspezifischer Repräsentationen im Langzeitgedächtnis herrührt, da die Kinder mit iLS keine Probleme beim orthografisch korrekten Schreiben der gelernten Pseudowörter im Lernexperiment (zu beiden Posttestzeitpunkten) aufwiesen. Diese wichtige und neue Erkenntnis wurde zudem gestützt durch den Befund, dass die Kinder mit iLS keine Schwierigkeiten in der Lesegenauigkeit der gelernten Pseudowörter zeigten und auch die gelernten Pseudowörter schneller als die nicht gelernten Alternativen lesen konnten. Die exakte Einspeicherung der Schreibung zeigt sich v.a. beim Vergleich der gelernten und nicht gelernten

Pseudowörter mit gleicher Aussprache (Mihl versus Miel). Dies weist auf die exakte Einspeicherung der Wortschreibungen im Langzeitgedächtnis hin. Zudem wird die Annahme der intakten lexikalischen Verarbeitung bestätigt durch die Ergebnisse auf Verhaltensebene bei der Untersuchung der automatischen orthografischen Verarbeitung von Wörtern und legalen Pseudowörtern. Demnach beruht das langsame Lesen, wie vermutet, auf einen verzögerten Zugriff bzw. einer längeren Verarbeitungsdauer der intakten Wortrepräsentationen. In Übereinstimmung mit unseren Annahmen zeigten die Kinder mit iLS die gleichen neurophysiologischen Aktivitätsmuster (Amplitude) wie Kinder mit alterstypischer Schriftsprachentwicklung, sowohl bei der N200 als auch der N400 bezüglich der Verarbeitung der verschiedenen visuellen Wortbedingungen. In Bezug auf die phonologische Wortverarbeitung zeigten die Kinder mit iLS genau wie die Kontrollgruppe eine höhere N400 Aktivierung für illegale Pseudowörter im Vergleich zu Nichtwörtern und zeigten somit wie die Kinder der KG, Unterschiede in der automatischen Verarbeitung von phonologisch legalen von phonologisch illegalen Stimuli. Entgegen unserer Annahmen wiesen die Kinder mit iLS auch hinsichtlich der Latenzen die gleiche neurophysiologische Verarbeitung wie die Kinder der Kontrollgruppe auf, obwohl verzögerte EKPs bei den langsamen Lesern erwartet wurden. Die Befunde deuten somit darauf hin, dass langsames Lesen nicht mit einer verzögerten Verarbeitung von Wörtern oder Pseudowörtern bei frühen EEG-Komponenten (N200 und N400) in Verbindung steht. Da das gewählte Paradigma nur die frühe automatisierte Verarbeitung und nicht die späteren Komponenten misst, welche in Verbindung mit der bewussten orthografischen Verarbeitung stehen, können keine Aussagen bzgl. der späten expliziten orthografischen Verarbeitung getroffen werden. Befunde aus einer früheren Studie (Bakos, Landerl, Bartling, Schulte-Körne, & Moll, 2018) zeigten tatsächlich Gruppenunterschiede in der späteren EKP-Komponente, der „Late Positive Component (LPC)“, in der sich eine längere Verarbeitungsdauer bei Kindern mit iLS zeigte.

In Hinblick auf Kinder mit iRS konnte erstmals gezeigt werden, dass die Probleme beim Rechtschreiben nicht von Schwierigkeiten im kurzzeitigen Merken wortspezifischer Repräsentationen herrühren, da die Kinder mit iRS im Lernexperiment direkt nach der Lernphase die neu gelernten Pseudowörter orthografisch korrekt schreiben und auch schnell lesen konnten. Allerdings sprechen die Ergebnisse von Posttest 2 dafür, dass die Kinder mit iRS Schwierigkeiten haben, die Repräsentationen im Langzeitgedächtnis zu speichern, da sie bereits 2 Stunden nach der Lernphase signifikant mehr Rechtschreibfehler aufwiesen als die Gruppe der Kontrollkinder. Zudem scheint es, dass die aufgebauten Repräsentationen ungenau bzw. zu unspezifisch sind, da die Kinder mit iRS viele Rechtschreibfehler bzgl. der Vokallänge machten und auch eine geringere Lesegenauigkeit in Hinblick auf die gelernten Pseudowörter zeigten. Diese neuen Erkenntnisse über das Merken und Einspeichern wortspezifischer Repräsentationen bei Kindern mit iRS wurden durch die Befunde zur automatischen orthografischen Verarbeitung in Studie II ergänzt. Hinsichtlich der lexikalischen

Wortverarbeitung legen die Verhaltensdaten nahe, dass zumindest für kurze und häufig vorkommende Wörter auch Kinder mit iRS in der Lage sind, wortspezifische Repräsentationen aufzubauen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass sie zwischen phonologisch legalen und illegalen Stimuli auf der Verhaltensebene unterscheiden können, aber sich diese phonologische Sensitivität nicht auf neurophysiologischer Ebene widerspiegelt. Demnach verarbeiten Kinder mit iRS aussprechbare und unaussprechliche Wortarten zwar unterschiedlich, aber nicht im selben automatisierten Ausmaß wie Kontrollkinder oder Kinder mit iLS.

In einem nächsten Schritt wäre interessant, die Unterschiede beim Speichern orthografischer Repräsentationen zwischen Kindern mit iRS und LRS noch genauer zu untersuchen. Obwohl in den vorgestellten Studien beide Gruppen gleich stark von Rechtschreibstörungen betroffen waren, scheinen unterschiedliche Aspekte der orthografischen Verarbeitung beeinträchtigt zu sein. Da, soweit bekannt, die beiden vorliegenden Studien die ersten sind, die orthografisches Lernen bzw. automatische Wortverarbeitung bei Kindern mit isolierten Defiziten im Lesen und Rechtschreiben untersucht haben, sind weitere Studien mit Kindern anderer Altersgruppen und eventuell anderer Orthografien notwendig, um über die Allgemeingültigkeit der Aussagen zu informieren. Studien mit älteren Kindern bzw. Längsschnittstudien könnten Aufschluss über entwicklungspezifische Aspekte und Veränderungen in der orthografischen Verarbeitung geben. Zudem könnten bei der Studie I (Lernexperiment) geringfügige Verbesserungen am Studiendesign vorgenommen werden, z.B. die Anzahl der zu lernenden Pseudowörter erhöhen bzw. das phonologische/verbale Gedächtnis miteinbeziehen, also prüfen, ob die Kinder die Pseudowörter hätten sagen können.

Die Erkenntnisse beider Studien zeigen zudem die Wichtigkeit, zwischen Kindern mit isolierten Störungen im Lesen, isolierten Störungen im Rechtschreiben und Kindern mit kombinierten Störungen im Lesen und Rechtschreiben zu unterscheiden und liefern einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis der spezifischen Störungsbilder. Über die theoretischen Implikationen hinaus wäre es außerdem wichtig, die Befunde in die praktische Arbeit mit Kindern einfließen zu lassen. Die unterschiedlichen kognitiven Profile von Kindern mit iLS (Schwierigkeiten mit RAN) und Kindern mit iRS (Schwierigkeiten in PA) zeigen sich schon im Vorschulalter und liefern wichtige Informationen im Hinblick auf die Früherkennung der isolierten Störungen. Diagnostisch muss auch im Grundschulalter genau untersucht werden, ob Probleme nur im Lesen, nur im Rechtschreiben oder im Lesen und Rechtschreiben vorliegen, da wie im Lernexperiment gezeigt, unterschiedliche Aspekte des orthografischen Lernens, also Abruf, Speicherung oder Aufbau wortspezifischer Repräsentationen beeinträchtigt sein können und somit unterschiedliche Förderansätze nach sich ziehen. Viele Förderansätze fokussieren z.B. bei Kindern mit iRS auf Aspekte der phonologischen Bewusstheit, jedoch spielt diese mit zunehmender Schriftspracherfahrung der Kinder nur noch eine untergeordnete Rolle, da die Kinder meist lauttreu schreiben können. Daher ist es bei Kin-

dem mit iRS wichtiger, z.B. das Einspeichern von Wortbildern und das Markieren der Vokallänge zu trainieren. Bei Kindern mit Problemen in der Leseflüssigkeit ist es wichtig, symptomorientiert den schnellen Zugriff auf häufige Buchstabencluster zu trainieren.

### **3.6 Studienablauf und Darstellung des eigenen Beitrags**

Die beiden Studien/Veröffentlichungen der vorliegenden Dissertation waren Teil des Forschungsprojektes „Ursachen spezifischer Probleme im Lesen oder Rechtschreiben (UsLeR)“, welches in Zusammenarbeit mit dem Institut für Psychologie der Karl-Franzens-Universität Graz von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und dem Österreichischen Wissenschaftsfond FWF (Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung) vom 01.04.2015 bis zum 31.03.2018 gefördert wurde. Das Projekt wurde gemeinsam von Prof. Dr. Karin Landerl, PD Dr. Kristina Moll und Prof. Dr. Gerd Schulte-Körne unter der Leitung von PD Dr. Kristina Moll initiiert. Zudem wurden die Studien, da sie eine Erweiterung des ursprünglichen UsLeR-Projektes darstellten, von der Friedrich-Baur-Stiftung gefördert.

#### **Studienübergreifender Beitrag**

Im Februar 2016 wurde ich als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Rahmen des UsLeR-Projektes eingestellt. Herr Prof. Dr. Schulte-Körne und Frau PD Dr. Moll übernahmen die Betreuung meiner Dissertation. Da es sich bei den beiden vorliegenden Studien um eine Erweiterung des ursprünglichen UsLeR-Projektes handelte, war ich nicht nur verantwortlich für die Durchführung und Auswertung beider Studien, sondern war auch maßgeblich an der Planung und Entwicklung des Studiendesigns beider Experimente beteiligt, inklusive der Mitarbeit an der Änderung des Ethikantrages (Amendment des UsLeR-Projektes). Zudem war ich zuständig für die Probandenrekrutierung sowie für die Durchführung und Auswertung individueller Verhaltenstestungen (u.a. standardisierte Tests zur Erhebung der Lese- und Rechtschreibleistung sowie Tests zu PA und RAN). Außerdem führte ich Anamnese- und Beratungsgespräche mit den Eltern von Kindern mit iLS, iRS und LRS durch.

#### **Beitrag zu Veröffentlichung I**

Im Folgenden sind meine Verantwortlichkeiten im Rahmen der Studie I aufgelistet:

- Planung und Entwicklung des Studiendesigns (orthografisches Lernexperiment)
- Programmierung und Pilotierung des experimentellen Paradigmas
- Durchführung und Auswertung der Aufgaben des Lernexperimentes
- Dateneingabe in SPSS und statistische Analysen/Datenauswertung
- Verfassen des Studienmanuskriptes und Publikation der Ergebnisse

## **Beitrag zu Veröffentlichung II**

Im Folgenden sind meine Verantwortlichkeiten im Rahmen der Studie II aufgelistet:

- Planung und Entwicklung des Studiendesigns (automatische orthografische Verarbeitung)
- Programmierung und Pilotierung des experimentellen Paradigmas
- Ableitung und Bearbeitung der EEG-Messungen
- Aufbereitung der EEG-Daten und statistische Analysen/Datenauswertung in SPSS
- Verfassen des Studienmanuskriptes und Publikation der Ergebnisse

Bei allen aufgelisteten Punkten erhielt ich Supervision durch Frau PD Dr. Moll und konnte mich bei Fragen aller Art an sie wenden. Bei der Entwicklung, Programmierung und Pilotierung der experimentellen Aufgaben sowie bei der Aufbereitung und Auswertung der EEG-Daten wurde ich von Frau Dr. Sarolta Bakos unterstützt. Bei der Probandenrekrutierung und den individuellen Testungen halfen Studienassistentinnen und eine studentische Hilfskraft mit. Zeitweise wurde die Datenerhebung und -eingabe durch eine Forschungspraktikantin unterstützt, welche durch mich eingearbeitet und supervidiert wurde. Zudem unterstützte mich Dipl.-Phys. Jürgen Bartling bei technischen Fragen im Rahmen der EEG-Ableitungen. Die beiden Veröffentlichungen wurden von mir selbstständig verfasst und nach Rückmeldung der Koautoren überarbeitet und publiziert.

### 3.7 Literaturverzeichnis

- Araújo, S., Faisca, L., Bramão, I., Reis, A., & Petersson, K. M. (2015). Lexical and sublexical orthographic processing: An ERP study with skilled and dyslexic adult readers. *Brain and language, 141*, 16-27. doi:10.1016/j.bandl.2014.11.007
- Bäcker, A., & Neuhäuser, G. (2003). Internalisierende und externalisierende Syndrome bei Lese- und Rechtschreibstörungen.
- Bakos, S., Landerl, K., Bartling, J., Schulte-Körne, G., & Moll, K. (2018). Neurophysiological correlates of word processing deficits in isolated reading and isolated spelling disorders. *Clinical Neurophysiology, 129*(3), 526-540. doi:10.1016/j.clinph.2017.12.010
- Bentin, S., Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M.-H., Echallier, J.-F., & Pernier, J. (1999). ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels: time course and scalp distribution. *Journal of Cognitive Neuroscience, 11*(3), 235-260. doi:10.1162/089892999563373
- Braun, M., Jacobs, A. M., Hahne, A., Ricker, B., Hofmann, M., & Hutzler, F. (2006). Model-generated lexical activity predicts graded ERP amplitudes in lexical decision. *Brain Research, 1073*, 431-439. doi:10.1016/j.brainres.2005.12.078
- Briesemeister, B. B., Hofmann, M. J., Tamm, S., Kuchinke, L., Braun, M., & Jacobs, A. M. (2009). The pseudohomophone effect: evidence for an orthography-phonology-conflict. *Neuroscience letters, 455*(2), 124-128. doi:10.1016/j.neulet.2009.03.010
- Carroll, J. M., Maughan, B., Goodman, R., & Meltzer, H. (2005). Literacy difficulties and psychiatric disorders: Evidence for comorbidity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 46*(5), 524-532. doi:10.1111/j.1469-7610.2004.00366.x
- Coch, D., & Meade, G. (2016). N1 and P2 to words and wordlike stimuli in late elementary school children and adults. *Psychophysiology, 53*(2), 115-128. doi:10.1111/psyp.12567
- Coch, D., Mitra, P., & George, E. (2012). Behavioral and ERP evidence of word and pseudoword superiority effects in 7- and 11-year-olds. *Brain Research, 1486*, 68-81. doi:10.1016/j.brainres.2012.09.041
- Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., & Haller, M. (1993). Models of reading aloud: Dual-route and parallel-distributed-processing approaches. *Psychological review, 100*(4), 589. doi:10.1037/0033-295X.100.4.589
- Dilling, H., Mombour, W., & Schmidt, M. (2008). Internationale Klassifikation psychischer Erkrankungen-ICD 10: Bern: Weltgesundheitsorganisation.
- Ehri, L. C. (1997). Learning to read and learning to spell are one and the same, almost. *Learning to spell: Research, theory, and practice across languages, 13*, 237-268.
- Fayol, M., Zorman, M., & Lété, B. (2009). Associations and dissociations in reading and spelling French: Unexpectedly poor and good spellers. *British Journal of Educational Psychology, 6*, 63-75. doi:10.1348/000709909X421973
- Frith, U. (1980). Unexpected spelling problems. *Group, 83*, 9.
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. *Surface dyslexia, 32*, 301-330.
- Frith, U., Wimmer, H., & Landerl, K. (1998). Differences in phonological recoding in German- and English-speaking children. *Scientific Studies of Reading, 2*(1), 31-54. doi:10.1207/s1532799xssr0201\_2
- Galuschka, K., & Schulte-Koerne, G. (2016). The diagnosis and treatment of reading and/or spelling disorders in children and adolescents. *Deutsches Ärzteblatt International, 113*(16), 279. doi:10.3238/arztebl.2016.0279



- Gangl, M., Moll, K., Banfi, C., Huber, S., Schulte-Körne, G., & Landerl, K. (2018). Reading strategies of good and poor readers of German with different spelling abilities. *Journal of experimental child psychology*, *174*, 150-169. doi:10.1016/j.jecp.2018.05.012
- Gangl, M., Moll, K., Jones, M. W., Banfi, C., Schulte-Körne, G., & Landerl, K. (2018). Lexical reading in dysfluent readers of German. *Scientific Studies of Reading*, *22*(1), 24-40. doi:10.1080/10888438.2017.1339709
- Goldston, D. B., Walsh, A., Arnold, E. M., Reboussin, B., Daniel, S. S., Erkanli, A., . . . Snider, E. (2007). Reading problems, psychiatric disorders, and functional impairment from mid-to late adolescence. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *46*(1), 25-32. doi:10.1097/01.chi.0000242241.77302.f4
- Grainger, J., Bouttevin, S., Truc, C., Bastien, M., & Ziegler, J. (2003). Word superiority, pseudoword superiority, and learning to read: A comparison of dyslexic and normal readers. *Brain and language*, *87*(3), 432-440. doi:10.1016/S0093-934X(03)00145-7
- 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*(5), 610-625. doi:10.1162/089892901750363190
- Hauk, O., Davis, M. H., Ford, M., Pulvermüller, F., & Marslen-Wilson, W. D. (2006). The time course of visual word recognition as revealed by linear regression analysis of ERP data. *Neuroimage*, *30*(4), 1383-1400. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.11.048
- Hauk, O., Patterson, K., Woollams, A., Watling, L., Pulvermüller, F., & Rogers, T. T. (2006). [Q:] When would you prefer a SOSSAGE to a SAUSAGE?[A:] At about 100 msec. ERP correlates of orthographic typicality and lexicality in written word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*(5), 818-832. doi:10.1162/jocn.2006.18.5.818
- Holcomb, P. J. (1993). Semantic priming and stimulus degradation: Implications for the role of the N400 in language processing. *Psychophysiology*, *30*(1), 47-61. doi:10.1111/j.1469-8986.1993.tb03204.x
- Klicpera, C., & Gasteiger-Klicpera, B. (1998). *Psychologie der Lese- und Schreibschwierigkeiten–Entwicklung, Ursachen, Förderung*. 2. Aufl. Beltz und Psychologie Verlags Union: Weinheim.
- Klicpera, C., Schabmann, A., & Gasteiger-Klicpera, B. (2006). Die mittelfristige Entwicklung von Schülern mit Teilleistungsschwierigkeiten im Bereich der Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten. *Kindheit und Entwicklung*, *15*(4), 216-227. doi:10.1026/0942-5403.15.4.216
- Kohn, J., Wyszkon, A., Ballaschk, K., Ihle, W., & Esser, G. (2013). Verlauf von umschriebenen entwicklungsstörungen: eine 30-monats-follow-up-studie. *Lernen und Lernstörungen*. doi:10.1024/2235-0977/a000032.
- Korhonen, J., Linnanmäki, K., & Aunio, P. (2014). Learning difficulties, academic well-being and educational dropout: A person-centred approach. *Learning and individual differences*, *31*, 1-10. doi:10.1016/j.lindif.2013.12.011
- Landerl, K., & Moll, K. (2010). Comorbidity of learning disorders: prevalence and familial transmission. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *51*(3), 287-294. doi:10.1111/j.1469-7610.2009.02164.x
- Landerl, K., & Reitsma, P. (2005). Phonological and morphological consistency in the acquisition of vowel duration spelling in Dutch and German. *Journal of experimental child psychology*, *92*(4), 322-344. doi:10.1016/j.jecp.2005.04.005
- Landerl, K., & Wimmer, H. (2008). Development of word reading fluency and spelling in a consistent orthography: An 8-year follow-up. *Journal of educational psychology*, *100*(1), 150. doi:10.1037/0022-0663.100.1.150

- Lété, B., & Ducrot, S. (2008). Visuo-attentional processing by dyslexic readers on the Reicher-Wheeler task. *Current psychology letters. Behaviour, brain & cognition*, 24(1, 2008). doi:10.4000/cpl.3523
- Litt, R. A., de Jong, P. F., van Bergen, E., & Nation, K. (2013). Dissociating crossmodal and verbal demands in paired associate learning (PAL): What drives the PAL–reading relationship? *Journal of experimental child psychology*, 115(1), 137-149. doi:10.1016/j.jecp.2012.11.012
- Litt, R. A., & Nation, K. (2014). The nature and specificity of paired associate learning deficits in children with dyslexia. *Journal of Memory and Language*, 71(1), 71-88. doi:10.1016/j.jml.2013.10.005
- Mahé, G., Bonnefond, A., Gavens, N., Dufour, A., & Doignon-Camus, N. (2012). Impaired visual expertise for print in French adults with dyslexia as shown by N170 tuning. *Neuropsychologia*, 50(14), 3200-3206. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2012.10.013
- Maurer, U., Brem, S., Bucher, K., & Brandeis, D. (2005). Emerging neurophysiological specialization for letter strings. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(10), 1532-1552. doi:10.1162/089892905774597218
- Mehlhase, H., Bakos, S., Bartling, J., Schulte-Körne, G., & Moll, K. (2020). Word processing deficits in children with isolated and combined reading and spelling deficits: an ERP-Study. *Brain Research*, 146811. doi:10.1016/j.brainres.2020.146811
- Mehlhase, H., Bakos, S., Landerl, K., Schulte-Körne, G., & Moll, K. (2019). Orthographic learning in children with isolated and combined reading and spelling deficits. *Child Neuropsychology*, 25(3), 370-393. doi:10.1080/09297049.2018.1470611
- Messbauer, V. C., & de Jong, P. F. (2003). Word, nonword, and visual paired associate learning in Dutch dyslexic children. *Journal of experimental child psychology*, 84(2), 77-96. doi:10.1016/S0022-0965(02)00179-0
- Moll, K., Gangl, M., Banfi, C., Schulte-Körne, G., & Landerl, K. (2020). Stability of Deficits in Reading Fluency and/or Spelling. *Scientific Studies of Reading*, 24(3), 241-251. doi:10.1080/10888438.2019.1659277
- Moll, K., Kunze, S., Neuhoff, N., Bruder, J., & Schulte-Körne, G. (2014). Specific learning disorder: Prevalence and gender differences. *PLoS one*, 9(7), e103537. doi:10.1371/journal.pone.0103537
- Moll, K., & Landerl, K. (2009). Double dissociation between reading and spelling deficits. *Scientific Studies of Reading*, 13(5), 359-382. doi:10.1080/10888430903162878
- Perfetti, C. A., & Hart, L. (2002). The lexical quality hypothesis. *Precursors of functional literacy*, 11, 67-86.
- Scheerer-Neumann, G. (1990). „Sa: Sa: tä: l Sattel “: Leseprotokolle unter der Lupe. *Brügelmann, H. & Balhorn, H. (1990) (Hrsg.): Das Gehirn, sein Alphabet und andere Geschichten. Konstanz.*
- Schulte-Körne, G. (2011). Lese- und Rechtschreibstörung im Schulalter. *Zeitschrift für Psychiatrie, Psychologie und Psychotherapie*, 59(1), 47-55. doi:doi:10.1024/1661-4747/a000051
- Schulte-Körne, G., & Galuschka, K. (2015). Lese-und/oder Rechtschreibstörung bei Kindern und Jugendlichen, Diagnostik und Behandlung. S3-Leitlinie AWMF-Register-Nr. 028/044. [www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/028-044.html](http://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/028-044.html).
- Seymour, P. H., Aro, M., Erskine, J. M., & Network, C. w. C. A. A. (2003). Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of psychology*, 94(2), 143-174. doi:10.1348/000712603321661859
- Share, D. L. (1995). Phonological recoding and self-teaching: sine qua non of reading acquisition. *Cognition*, 55(2), 151-218. doi:10.1016/0010-0277(94)00645-2

- Shaywitz, S. E., Fletcher, J. M., Holahan, J. M., Shneider, A. E., Marchione, K. E., Stuebing, K. K., . . . Shaywitz, B. A. (1999). Persistence of dyslexia: The Connecticut longitudinal study at adolescence. *Pediatrics*, *104*(6), 1351-1359. doi:10.1542/peds.104.6.1351
- Valtin, R. (1997). Stufen des Lesen-und Schreibenlernens. Schriftspracherwerb als Entwicklungsprozess. *Handbuch Grundschule*, *2*, 76-78.
- Visser, L., Kalmar, J., Linkersdörfer, J., Görge, R., Rothe, J., Hasselhorn, M., & Schulte-Körne, G. (2020). Comorbidities between specific learning disorders and psychopathology in elementary school children in Germany. *Frontiers in Psychiatry*, *11*, 292. doi:10.3389/fpsy.2020.00292
- Wimmer, H. (1993). Characteristics of developmental dyslexia in a regular writing system. *Applied psycholinguistics*, *14*(1), 1-33. doi:10.1017/S0142716400010122
- Wimmer, H., & Mayringer, H. (2002). Dysfluent reading in the absence of spelling difficulties: A specific disability in regular orthographies. *Journal of educational psychology*, *94*(2), 272-277. doi:10.1037/0022-0663.94.2.272
- Wimmer, H., & Schurz, M. (2010). Dyslexia in regular orthographies: manifestation and causation. *Dyslexia*, *16*(4), 283-299. doi:10.1002/dys.411
- Wolf, M., & Bowers, P. G. (1999). The double-deficit hypothesis for the developmental dyslexias. *Journal of educational psychology*, *91*(3), 415. doi:10.1037/0022-0663.91.3.415
- Ziegler, J. C., Perry, C., & Coltheart, M. (2000). The DRC model of visual word recognition and reading aloud: An extension to German. *European Journal of Cognitive Psychology*, *12*(3), 413-430. doi:10.1080/09541440050114570

### 3.8 *Abkürzungsverzeichnis*

EEG	–	Elektroenzephalogramm
EKP	–	ereigniskorreliertes Potential
GPK	–	Graphem-Phonem-Korrespondenz
illegPW	–	illegales Pseudowort
iLS	–	isolierte Lesestörung
iRS	–	isolierte Rechtschreibstörung
legPW	–	legales Pseudowort
LPC	–	late positive complex
LRS	–	Lese-Rechtschreibstörung
LZG	–	Langzeitgedächtnis
PA	–	„phoneme awareness“ = Phonologische Bewusstheit
PGK	–	Phonem-Graphem-Korrespondenz
RAN	–	rapid automatized naming
RWP	–	Reicher-Wheeler-Paradigma
W	–	Wort
WSE	–	word superiority effect

## 4 Veröffentlichung I

### **Orthographic learning in children with isolated and combined reading and spelling deficits**

Literaturangabe:

Mehlhase, H., Bakos, S., Landerl, K., Schulte-Körne, G., & Moll, K. (2019). Orthographic learning in children with isolated and combined reading and spelling deficits. *Child Neuropsychology*, 25(3), 370-393. DOI: 10.1080/09297049.2018.1470611

Erhalten am 04. Januar 2018

Akzeptiert am 21. April 2018

Online publiziert am 07. Mai 2018



## 5 Veröffentlichung II

### **Word processing deficits in children with isolated and combined reading and spelling deficits: an ERP-Study**

Literaturangabe:

Mehlhase, H., Bakos, S., Bartling, J., Schulte-Körne, G., & Moll, K. (2020). Word processing deficits in children with isolated and combined reading and spelling deficits: An ERP-study. *Brain Research*, 1738. DOI: [10.1016/j.brainres.2020.146811](https://doi.org/10.1016/j.brainres.2020.146811)

Erhalten am 19. Juli 2019

Akzeptiert am 26. März 2020

Online verfügbar am 29. März 2020





## 6 Danksagung

Ich möchte an dieser Stelle allen danken, die mir während meiner Zeit als Doktorandin zur Seite standen.

Mein ausdrücklicher Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. Gerd Schulte-Körne für sein Vertrauen in meine Leistung. Nicht nur für die Bereitstellung der Rahmenbedingungen dieses Projektes, sondern vor allem für die Unterstützung und Begleitung meiner Doktorarbeit möchte ich mich hiermit herzlich bedanken!

Bei Frau PD Dr. Kristina Moll möchte ich mich für ihre herausragende Betreuung herzlich bedanken. Frau Moll stand mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite und trägt einen wesentlichen Anteil am Gelingen dieser Arbeit. Ich möchte mich ganz herzlich bei ihr für die große Unterstützung, das mir entgegengebrachte Vertrauen, die investierte Zeit und Geduld sowie die unzähligen sehr guten Anregungen bedanken, die mich nicht nur fachlich vorwärtsgebracht haben.

Ich möchte mich auch bei allen weiteren Personen, die an diesem Projekt mitgewirkt haben, bedanken. Die gute Arbeitsatmosphäre, Kollegialität und Hilfsbereitschaft während des gesamten Vorhabens war von unschätzbarem Wert und hat die Zeit meiner Promotion sehr bereichert. Mein ausdrücklicher Dank gilt hier den Studienassistentinnen (allen voran Frau C. Silberbauer, Frau P. Wagenbüchler und Frau V. Jäger), den studentischen Hilfskräften und Praktikantinnen, ohne deren Hilfe die Durchführung des Projektes nicht möglich gewesen wäre. Ich danke auch Herrn Dipl.-Phys. J. Bartling und Herrn S. Busch für den technischen Support.

Selbstverständlich möchte ich mich an dieser Stelle auch bei allen Kindern und Eltern bedanken, die an den Studien teilgenommen haben – ohne ihr Mitwirken wäre meine Promotion nicht zu Stande gekommen.

Zu guter Letzt gilt mein Dank meinem Mann, meiner Familie und meinen Freunden, die mich nicht nur während des Entstehens der Doktorarbeit, sondern auch in allen Lebenslagen unterstützt und an mich geglaubt haben.



## 7 Publikationsliste

### Zeitschriftenbeiträge

**Mehlhase, H.**, Bakos, S., Bartling, J., Schulte-Körne, G., & Moll, K. (2020). Word processing deficits in children with isolated and combined reading and spelling deficits: An ERP-study. *Brain Research*, 1738. DOI: 10.1016/j.brainres.2020.146811

Bakos, S., **Mehlhase, H.**, Landerl, K., Bartling, J., Schulte-Körne, G., & Moll, K. (2020). Naming processes in reading and spelling disorders: An electrophysiological investigation. *Clinical Neurophysiology*, 131 (2), 351 – 360. DOI: 10.1016/j.clinph.2019.11.017

**Mehlhase, H.**, Bakos, S., Landerl, K., Schulte-Körne, G., & Moll, K. (2019). Orthographic learning in children with isolated and combined reading and spelling deficits. *Child Neuropsychology*, 25 (3). 370-393. DOI: 10.1080/09297049.2018.1470611

Smith-Nielsen, J., Tharner, A., Steele, H., Cordes, K., **Mehlhase, H.**, & Vaever, M. S. (2016). Postpartum depression and infant-mother attachment security at one year: The impact of co-morbid maternal personality disorders. *Infant Behavior and Development*, 44, 148-158.

Smith-Nielsen, J., Steele, H., **Mehlhase, H.**, Cordes, K., Steele, M., Harder, S., & Væver, M. S. (2015). Links among high EPDS scores, state of mind regarding attachment, and symptoms of personality disorder. *Journal of personality disorders*, 29(6), 771-793.

**Mehlhase, H.**, Bethge, G., Kocalevent, R. & Kleiber, D. (2010). Gesundheitsförderung in Kindertagesstätten: Ein Vergleich der Ergebnisse zweier Untersuchungen zum Thema Ernährung in Berlin und Brandenburg. In D. Kleiber (Hrsg) S.N. Willich (Hrsg). *Jahrbuch HealthCapital Berlin-Brandenburg 2009/2010: Ernährung im Fokus der Prävention* (S. 85-95). Berlin: Akademie Verlag.

Bethge, G., **Mehlhase, H.**, Kocalevent, R. & Kleiber, D. (2010). Ernährungsprojekte in Kitas: Eine Dokumentation von Projekten in Berlin und Brandenburg. In D. Kleiber (Hrsg) S.N. Willich (Hrsg). *Jahrbuch HealthCapital Berlin-Brandenburg 2009/2010: Ernährung im Fokus der Prävention* (S. 97-117). Berlin: Akademie Verlag.

### Ausgewählte Kongressbeiträge

04.2018 Vortrag: 13. Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Psychologie (ÖGP), Linz, Österreich – “*Orthographic learning in children with isolated and combined reading and spelling deficits*”

03.2018 Poster: DGKJP-Forschungstagung, Tübingen, Deutschland - “*Orthographic learning in children with isolated and combined reading and spelling deficits*”

09.2017 Poster: 20<sup>th</sup> Conference of the European Society for Cognitive Psychology (ESCoP), Potsdam, Deutschland - “*Orthographic processing deficits in children with isolated and combined reading and spelling deficits: an ERP-Study*”

05.2017 Poster: International Symposium on Dyslexia and Dyscalculia (ISDD), München, Deutschland - “*Orthographic learning in children with isolated and combined reading and spelling deficits*”

09.2016 Vortrag: Lehrstuhljubiläum Kinder- und Jugendpsychiatrie LMU, München, Deutschland - “*Orthographic learning in children with isolated and combined reading and spelling deficits*”