

**Die Rolle von Buchstabenwissen und phonemischer Bewusstheit in
der Entwicklungsplastizität phonologischer Repräsentationen bei
Kindern vor und während des Schriftspracherwerbs**

Dissertation

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard Karls Universität Tübingen
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt von
Frau Anne Bauch
aus Gera

Tübingen
2020

Gedruckt mit Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Eberhard Karls Universität Tübingen.

Tag der mündlichen Qualifikation:

08.05.2020

Dekan:

Prof. Dr. Wolfgang Rosenstiel

1. Berichterstatter:

Prof. Dr. Claudia Friedrich

2. Berichterstatter:

Dr. Ulrike Schild

Für Dich von Deiner Mücke. ❤️

Danksagung

Mein größter Dank geht an die beiden besten Betreuerinnen, die man sich wünschen kann.

Danke an Prof. Dr. Claudia Friedrich, nicht nur für die fachliche, sondern vor allem auch die menschliche Betreuung und Unterstützung. Danke dafür, dass du mir so viele Möglichkeiten eröffnest, die mich fachlich und persönlich weiterbringen und reifen lassen. Das ist etwas, wofür ich nie genug Worte finde, um dir zu danken. Danke an Dr. Ulrike Schild, nicht nur für die Betreuung in deinem Projekt, sondern auch für einfach die gesamten bisherigen fast 10 Jahre, die wir uns schon kennen. Danke dafür, dass ich mit dir immer lachen kann und du immer ein offenes Ohr hast, auch wenn es mal nicht so voranging.

Auch danken möchte ich all meinen national verstreuten liebsten Kolleginnen der Entwicklungspsychologie:

Danke an #TeamTübingen: Ruth Keßler, meiner liebsten und einzigen Doktorschwester, dass du das Kleinstadtleben für mich doch zu einem Highlight machst. Danke an Dr. Anne Rau, dafür, dass du so eine große menschliche Unterstützung und einfach die beste Ansprechpartnerin für Kitas, Schulen, Marbello und Risiko bist. Danke an Dr. Katarzyna Patro-Nürk, dass du mir so viel Mut und Zuversicht gibst. Danke, dass ihr mir so viel abnehmt.

Danke auch an #TeamNordlicht: Dr. Claudia Zierul, dem Forge zu meinem Gred. Danke dafür, dass du mir so viel beigebracht hast, dass du mich immer wieder geebnet hast, dass ich mit dir so frei lachen kann und danke für das Durchleben der Ricktatorship. Auch danke an Dr. Angelika Becker, meinem Geburtstagszwilling, für die wunderschöne Zeit in der BPN und dafür, dass du jemand bist, zu dem ich immer kommen kann.

Danke auch an meine treuen Helfer, ohne die die Datenerhebung für dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre. Insbesondere danken möchte ich Charlotte Veil, Birte Herter, Stella Gellner, Johanna Lechner und Miriam Wild für all die grandiose Zeit, die

neben der Datenerhebung stattgefunden hat. Ihr alle macht diese Arbeitsgruppe zu meiner persönlichen Harmonie-Blase.

Vielen Dank an die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die dieses Projekt (SCHI 1335/1-1) finanziert hat, sowie all den Eltern und Kinder, die uns durch die Studien jahrelang so treu unterstützt haben.

Schließlich möchte ich meiner gesamten Familie danken, dass ihr mir immer den Rücken gestärkt habt und zu meinen Entscheidungen steht und vor allem danken möchte ich meiner Omi, die mir den Grundstein dafür gelegt hat, dass ich heute hier stehe. Ich hoffe, ich mache euch stolz.

Abkürzungsverzeichnis

ADULT GROUP	Erwachsenenkontrollgruppe (adult control group)
ANOVA	Varianzanalyse (Analysis of Variance)
BIA-Modell	Bidirektionales interaktives Aktivierungsmodell (bidirectional interactive activation model)
cNEG	Central Negativity
CON	Trainings-Kontrollgruppe (control group)
EEG	Elektroencephalogramm
EKP (engl. ERP)	Ereignis-korreliertes Potential (event-related potential)
MMN	Mismatch Negativity
PHON	Phonemische Gruppe (Experimentalgruppe; phonemic-only group)
PHORT	Phonemisch-orthographische Gruppe (Experimentalgruppe; phonemic-orthographic group)
PMN	Phonological Mismatch Negativity
ROI	Region of Interest
VOT	Voice Onset Time

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1.	Exemplarische Auflistung von Aufgaben zur Messung phonologischer und phonemischer Bewusstheit.....	23
Tabelle 5.1.	Hypothesen für die expliziten Tests für alle drei Trainingsgruppen.....	53
Tabelle 5.2.	Hypothesen für die N100 und cNEG für die Trainingsgruppen und der erwachsenen Kontrollgruppe (Studie 1).....	55
Tabelle 5.3.	Spezifische Hypothesen für die P350 und Reaktionszeiten für die Trainingsgruppen und der erwachsenen Kontrollgruppe (Studie 1).....	57
Tabelle 5.4.	Hypothesen zu den EKP für die drei Altersgruppen (Studie 2).	59
Table 6.1.	Demographic data of the three training groups.....	68
Table 6.2.	List of games used in the phonemic trainings.....	96
Table 6.3.	List of stimuli.....	97
Table 6.4.	Test scores of explicit measurements.....	99
Table 6.5.	Reaction times in ms.....	100
Table 7.1.	Demographic data for all age groups.....	111
Tabelle 8.1.	Reaktionszeitmuster aus Wort Fragment Priming Studien mit Teilnehmern im Vor- und Grundschulalter.....	147

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1.	Theoretischer Aufbau des bimodalen interaktiven Aktivierungs-Modells.....	37
Abbildung 5.1.	Ablauf der Trainings- und Längsschnittstudie.....	45
Figure 6.1.	Reaction times.....	77
Figure 6.2.	ERP effects in the first time window (100 - 300 ms).....	79
Figure 6.3.	ERP effects in the second time window (300 - 400 ms).....	80
Figure 7.1.	Reaction times age groups.....	117
Figure 7.2.	ERP effects over anterior and posterior regions across all age groups.....	119

Abstrakt

Bisherige Forschungsbefunde legen nahe, dass durch den Schriftspracherwerb implizite Aspekte der Sprachwahrnehmung modifiziert werden. In einer früheren Studie zeigte sich, dass lesende Kinder bei der auditiven Worterkennung mehr phonemische Details berücksichtigen als Kinder, die noch nicht lesen konnten (Schild, Röder, & Friedrich, 2011). Der Schriftspracherwerb ist vorrangig mit zwei Aspekten assoziiert: Buchstabenwissen und phonologischer bzw. phonemischer Bewusstheit. In dieser Dissertation wurde untersucht, welcher dieser Aspekte des Schriftspracherwerbs zu einer detaillierteren phonologischen Verarbeitung bei nicht-lesenden Vorschulkindern und beginnenden Lesern führt.

Deutschsprachige nicht-lesende Vorschul Kinder im Alter von 5 - 6 Jahren nahmen an einer Trainingsstudie teil, in der sie entweder a) in phonemischer Bewusstheit, b) in einem kombinierten Training aus phonemischer Bewusstheit und Buchstabenwissen oder c) in einem Kontrolltraining trainiert wurden. In den Trainings wurde vor allem das Erkennen des Kontrastes zwischen zwei Phonemen trainiert, die sich nur in der Stimmhaftigkeit unterschieden (/g/ und /k/). Vor und nach dem Training wurde phonologische und phonemische Bewusstheit und Buchstabenwissen erhoben. Im Anschluss an das Training wurde mittels Wort Fragment Priming getestet, wie sensitiv die Kinder phonemische Variationen in der gesprochenen Sprache verarbeiteten. Die Kinder hörten Primes, die entweder identisch mit einem Zielwort waren (z.B. „Ki - Kino“), im ersten Phonem in der Stimmhaftigkeit abwichen (z.B. „Gi - Kino“) oder unrelatiert waren (z.B. „Ba - Kino“). Neben dem trainierten Kontrast wurden auch ein untrainierter Phonemkontrast präsentiert (/b/ und /p/). Es wurden Reaktionszeiten und ereigniskorrelierte Potentiale erhoben. Zusätzlich wurden Erwachsene als Kontrolle erhoben.

Es wurde erwartet, dass sich beide Gruppen mit phonemischen Trainings in den Tests zur phonemischen und phonologischen Bewusstheit nach dem Training verbesserten. Zusätzlich wurde erwartet, dass die kombinierte Gruppe sich im Buchstabenwissen verbessern würde. Die Aktivierungsmuster der Reaktionszeiten und ereigniskorrelierten Potentiale wurden herangezogen um zu messen, wie detailliert die Vorschul Kinder phonemische Variationen verarbeiteten. Es wurde erwartet, dass

Vorschulkinder aus beiden Sprachgruppen detailliert Unterschiede zwischen den initialen Phonemen von Prime und Zielwort verarbeiten würden. Für die Kontrollgruppe wurde dies nicht erwartet. Der Vergleich der beiden Sprachgruppen sollte Aufschluss darüber geben, welcher Faktor des Lesenlernens zu einer detaillierteren Verarbeitung phonemischer Variationen führen würde. Sollte phonemische Bewusstheit die Sprachwahrnehmung modulieren, wurden vergleichbare Aktivierungsmuster für beide Sprachgruppen erwartet. Sollte die kombinierte Sprachgruppe detaillierter phonemische Variationen verarbeiten, würde dies dafürsprechen, dass Buchstabenwissen zusätzlich zur phonemischen Bewusstheit die Sprachverarbeitung modifiziert. In diesem Fall sollte sich der Effekt vor allem für das Paar an trainierten Buchstaben zeigen.

Beide Gruppen, die ein Training zur phonemischen Bewusstheit erhielten, verbesserten sich erwartungsgemäß in der phonologischen Bewusstheit. Entgegen der Erwartungen verbesserten jedoch alle Gruppen ihre phonemische Bewusstheit und ihr Buchstabenwissen. Reaktionszeiten indizierten eine differenzierte Wortverarbeitung in allen Gruppen. Die ereigniskorrelierten Potentiale zeigten jedoch, dass nur die Gruppen mit phonemischen Training phonemische Variationen in der Stimmhaftigkeit detailliert verarbeiteten. Es fand sich kein Unterschied in der Verarbeitung phonemischer Variationen zwischen den beiden Sprachgruppen. Die Verarbeitung von trainierten und untrainierten Phonemkontrasten unterschied sich nicht.

In einer zweiten Studie wurde untersucht, inwieweit sich die Sensitivität für phonemische Variationen entwickelt, sobald die Kinder mit dem formalen Leseerwerb begonnen hatten. Kinder, die an einem der beiden Sprachtrainings teilgenommen hatten, wurden nach der ersten und zweiten Klasse erneut zur Untersuchung eingeladen. Maße zur phonologischen und phonemischen Bewusstheit sowie zur Lesefertigkeit wurden erhoben. Das Wort Fragment Priming Experiment wurde zu beiden Folgeterminen wiederholt, um die implizite auditive Worterkennung zu testen.

Es wurde erwartet, dass phonologische und phonemische Bewusstheit sowie Lesefertigkeiten mit dem Alter zunehmen würden. Es wurde dabei davon ausgegangen, dass Kinder im Zuge des Leseerwerbs lernen, welche Phoneme zu welchen Buchstaben korrespondieren. Kinder mit mehr Leseerfahrung sollten daher

geübter darin sein, Phoneme mit Buchstaben zu assoziieren. Sollten diese stabileren Phonem-Graphem-Korrespondenzen in geübten Lesern zu einer Modifikation von phonologischen Repräsentationen führen, wurde erwartet, dass Kinder mit mehr Leseerfahrung phonemische Variationen detaillierter verarbeiten würden als ungeübtere Leser.

Phonologische und phonemische Bewusstheit nahmen mit dem Alter zu. Reaktionszeiten und ereigniskorrelierte Potentiale zeigten eine differenzierte Verarbeitung phonemischer Variationen in allen Altersgruppen. Bereits Vorschulkinder, die zuvor ein Training zur phonemischen Bewusstheit erhalten hatten, wiesen eine ausreichend differenzierte prälexikalische Verarbeitung auf. Mehr Erfahrung mit dem Schriftspracherwerb schien sich nicht auf die implizite Sprachverarbeitung auszuwirken. Nicht-lesende Vorschulkinder als auch Grundschul Kinder scheinen sensitiver phonemische Variationen zu berücksichtigen, wenn sie über hohe phonologische Bewusstheit verfügen. Fortgeschrittene Lesefertigkeiten im Grundschulalter scheinen diese Sensitivität nicht weiter zu verändern. Der Vergleich zwischen den vorliegenden Ergebnissen und denen aus vorherigen Studien weisen zudem darauf hin, dass verschiedene phonemische Merkmale unterschiedlich stark in der Sprachverarbeitung berücksichtigt werden. Variationen in der Stimmhaftigkeit scheinen demnach von Hörern gesprochener Sprache weniger stark für den lexikalischen Zugriff berücksichtigt zu werden. Weiterhin ergaben sich Hinweise darauf, dass Reaktionszeiten und ereigniskorrelierte Potentiale mit unterschiedlichen Stadien der Sprachverarbeitung assoziiert sind. Reaktionszeiten scheinen vorrangig postlexikalische Verarbeitungsprozesse zu indizieren. Diese könnten durch strategische Mechanismen modifiziert sein. Ereigniskorrelierte Potentiale hingegen erwiesen sich als Maß prälexikalischer Verarbeitung.

Abstract

Literacy acquisition might modulate implicit aspects of speech recognition. A former study revealed that reading children commanded more fine-grained word form representations than children who were not able to read yet (Schild et al., 2011). Here, in two studies it was investigated which factor of reading acquisition – grapheme knowledge or phonological awareness – might foremost modulate implicit speech perception in preliterate children and beginning readers.

German preschoolers (5 - 6 years old) participated either 1) in a phonemic awareness-only training, 2) in a combined phonemic awareness training with instruction of the corresponding letters, 3) in a finger-number associations training as control group. All children completed tests on explicit phonological awareness and letter knowledge before and after the training. Additionally, we tested children's sensitivity to phoneme variation in trained and untrained phonemes. By means of word onset priming, we recorded lexical decision latencies and event-related potentials (ERP) to spoken words (targets) preceded by spoken word onsets (primes). Prime-target combinations either matched in the initial phoneme (e.g., "ki - kino"), differed in the initial phoneme (e.g., "gi - kino") or were unrelated (e.g., "ba - kino"). Additionally, a group of young adults served as control.

It was expected that both phonemic groups would increase their performance in phonological and phonemic awareness after the training compared to the control group. Additionally it was expected that the combined phonemic-orthographic group would increase their knowledge on letters. Reaction times and event-related potentials were analyzed to obtain measurements for implicit speech processing. It was expected that children from both phonemic trainings would process phonemic variations in more detail than the control group. Comparisons between the two phonemic groups should reveal which factor of reading acquisition might modify implicit speech processing. Comparable activation patterns between both phonemic groups would indicate that phonemic awareness might modify implicit speech processing. If letter knowledge additionally contributed to a more detailed processing of phonemic variations, the activation effect should be most prominent in the combined phonemic-orthographic group. In this case, the effect should be found for a trained phoneme contrast, but not

for an untrained contrast. Both phonemic awareness groups increased in their performance on explicit phonological awareness tasks compared to the control group after the training. However, all groups increased in phonemic awareness and in their letter knowledge. While decision latencies to the targets suggested fine-grained spoken word processing in all groups, ERP indicated that both phonemic training groups processed subtle phonemic information in more detail. There was no different processing of trained and untrained phonemes.

Further, we tested children's sensitivity to phoneme variations once they gained prolonged reading expertise after the 1st and 2nd grade. Children from both phonemic training groups participated in the longitudinal study. Measures of phonological awareness and reading measurements were obtained. Word Fragment Priming experiment was again conducted with the children in order to obtain information about implicit aspects of speech processing.

We expected that phonological and phonemic awareness as well as reading performance would increase with age. We assumed that reading experience would train the children in the knowledge which phoneme corresponds to which letter. Therefore, children with more prolonged reading experience should depict more stable grapheme-phoneme correspondences than children with less reading experience. If reading experience and more stable grapheme-phoneme correspondences modify phonological representations, children with more reading experience should process phonemic variations in more detail. Explicit phonological awareness increased with age. Response times and ERP revealed less effective priming exerted by phonologically deviating primes with no different patterns of results between age groups. Preliterate preschoolers seemed to process phonemic detail at an optimal level if they had received a phonemic training in preschool. Prolonged reading experience did not increase sensitivity for phonemic detail.

The general results indicate that neither rudimentary letter knowledge nor enhanced reading abilities correspond to enhanced use of phonological detail. Overall, enhanced phonological sensitivity in preschool age might relate to the development of pre-cursor functions of reading, such as phonemic awareness. The comparison between the present results and results obtained in previous studies further suggest that different phonemic features are differently processed. The present results indicate that variation

in voicing is less considered for lexical access. Additionally, speech processing seemed to differ on pre- and post-lexical stages. Reaction times seem to be foremost associated with post-lexical speech processing and might modulated by strategic mechanisms. Event-related potentials seem to point to early pre-lexical stages of speech processing.

Inhalt

Danksagung	I
Abkürzungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Abstrakt	VI
Einleitung	1
1. Grundlegende Prinzipien der auditiven Worterkennung	3
1.1. Das menschliche Sprachsignal und phonemische Merkmale	3
1.2. Ausgewählte Modelle der auditiven Worterkennung	7
1.3. Messmethoden.....	11
1.3.1. Lexikalische Entscheidungsaufgabe	12
1.3.2. Priming	13
1.3.3. Elektroencephalogramm und ereigniskorrelierte Potentiale	15
2. Entwicklung von impliziten und expliziten phonologischen Repräsentationen	20
2.1. Entwicklung von lexikalischen Repräsentationen	20
2.2. Definition und Entwicklung von phonologischer und phonemischer Bewusstheit	22
2.3. Phonemische Bewusstheit und Schriftspracherwerb	24
3. Phonologische Verarbeitung gesprochener Sprache und der Schriftspracherwerb	29
3.1. Empirische Befunde zum Zusammenhang zwischen Verarbeitung gesprochener Sprache und dem Schriftspracherwerb auf postlexikalischer Ebene	30
3.2. Empirische Befunde zum Zusammenhang zwischen Verarbeitung gesprochener Sprache und dem Schriftspracherwerb auf prälexikalischer Ebene	33
4. Zielsetzung	42
5. Ablauf des Projektes	43
5.1. Trainingsstudie	44
5.2. Längsschnittstudie	47
5.3. Pilotstudie.....	48
5.4. Beschreibung des experimentellen Aufbaus Studie 1 und Studie 2	49
5.5. Hypothesen.....	50
6. Studie 1: Trainingsstudie	60
6.1. Abstract	61

6.2. Introduction	61
6.3. Method.....	66
6.3.1. Training study.....	66
6.3.2. Participants.....	67
6.3.3. Training material	69
6.3.4. Tests	70
6.3.5. Experimental stimuli and procedure	72
6.3.6. Electrophysiological recording.....	73
6.3.7. Data analysis.....	74
6.4. Results.....	75
6.4.1. Explicit tests.....	75
6.4.2. Reaction time and error analysis.....	76
6.4.3. Event-related potentials	78
6.5. Discussion.....	81
6.6. Conclusion	87
6.7. References.....	88
6. 8. Appendix	96
7. Studie 2: Längsschnittstudie.....	101
7.1. Abstract	102
7.2. Introduction	102
7.3. Method.....	108
7.3.1. Participants.....	108
7.3.2. Training of phonemic awareness	111
7.3.3. Test materials.....	112
7.3.4. Experimental stimuli and procedure	113
7.3.5. Electrophysiological recording.....	114
7.3.6. Data analysis.....	115
7.4. Results.....	116
7.4.1. Explicit tests.....	116
7.4.2. Reaction time and error analysis.....	116
7.4.3. Event-related potentials	117
7.5. Discussion.....	120
7.6. Conclusion	124
7.7. References.....	125
8. Zusammenfassende Diskussion	131

8.1. Merkmalsbasierte Verarbeitung (EKP).....	133
8.2. Phonemische Bewusstheit oder Buchstabenwissen: Zusammenhang zur prälexikalischen Verarbeitung.....	139
8.3. Prä- vs. Postlexikalische Verarbeitung.....	145
8.4. Limitationen.....	150
9. Zusammenfassung und Ausblick	155
10. Literaturverzeichnis.....	158
11. Anhang	177

Einleitung

Wenn Kinder mit dem Schriftspracherwerb beginnen, lernen sie von Anfang an eine wichtige Eigenschaft von alphabetischen Schriftsprachsystemen: Alle Laute, die sie aus ihrer Muttersprache kennen, können durch Buchstaben symbolisiert werden. Zu dem Laut /g/ gehört der Buchstabe „G“ und dem Laut /k/ gehört der Buchstabe „K“. Kinder eignen sich damit nicht nur das Buchstabenwissen an, sondern sie lernen auch auf phonologische Unterschiede zwischen den Lauten zu achten. So hören sich die Laute /g/ und /k/ zwar sehr ähnlich an, sie werden aber durch zwei verschiedene Buchstaben repräsentiert. Doch Kinder reichern nicht nur ihr explizites Verständnis über Laute und Buchstaben an, wenn sie mit dem Lesen beginnen. Auch unbewusste Aspekte der Wahrnehmung gesprochener Sprache scheinen sich mit dem Beginn des Schriftspracherwerbs zu verändern und detaillierter zu werden (Schild et al., 2011). Aber warum verarbeiten Leser gesprochene Sprache und Laute detaillierter? Sind sie geübter darin, auf Unterschiede zwischen Lauten wie /g/ und /k/ zu achten oder nutzen sie das zusätzliche Wissen, dass es Buchstaben wie „G“ und „K“ gibt, wenn sie gesprochene Sprache verarbeiten?

In der vorliegenden Dissertation wurde untersucht, welche Faktoren des Schriftspracherwerbs mit entwicklungsbezogener Plastizität neuronaler Repräsentationen der Sprache einhergehen. Befunde aus bisherigen Studien legen nahe, dass Erwachsene (Friedrich, Schild, & Röder, 2009; Schild & Friedrich, 2018; Schild, Röder, & Friedrich, 2012) als auch lesende Kinder (Schild et al., 2011) bei der Verarbeitung von gesprochener Sprache und der Worterkennung detailliert auf phonemische Informationen zurückgreifen. Unklar ist jedoch, welche Aspekte des Lesenlernens eine verfeinerte Verarbeitung phonemischer Variationen modulieren.

Phonemische Bewusstheit und Buchstabenwissen werden hierbei als zwei wesentliche Faktoren des Schriftspracherwerbs diskutiert. Bei beiden Aspekten handelt es sich um kognitive Fertigkeiten, die durch das Lesenlernen erworben und gefördert werden. Die Entwicklung von phonemischer Bewusstheit und Buchstabenwissen erfolgt im Zuge des Schriftspracherwerbs parallel und interdependent (Perfetti, Beck, Bell, & Hughes, 1987), das heißt, dass beide Faktoren bei Lesern konfundiert sind. Sowohl phonemische Bewusstheit als auch

Buchstabenwissen werden als Modulatoren in der Entwicklung der Sprachwahrnehmung diskutiert (siehe Punkt 3.2).

Das Ziel des Forschungsprojektes war es, die Interdependenz von phonemischer Bewusstheit und Buchstabenwissen experimentell aufzuheben, um so ihre individuelle Rolle in der Plastizität neuronaler Repräsentationen im Vor- und Grundschulalter zu untersuchen. Dies wurde anhand einer Interventionsstudie realisiert, in der noch nicht lesende Vorschulkinder über 10 Wochen lang täglich in Kindertagesstätten der Universitätsstadt Tübingen trainiert wurden. Dabei wurden die Kinder in einer von drei verschiedenen Trainingsformen unterrichtet: 1) In einem Sprachtraining für phonemische Bewusstheit, in dem die Kinder für phonemische Variationen eines ausgewählten Sets an Phonemen sensibilisiert wurden oder 2) in einem Sprachtraining für phonemische Bewusstheit für das gleiche Set an Phonemen, in der die Kinder zusätzlich die korrespondierenden Buchstaben lernten oder 3) in einem Kontrolltraining, in dem die Kinder in arithmetischen Vorläuferfertigkeiten unterrichtet wurden. Zusätzlich wurde eine erwachsene Kontrollgruppe getestet, um die Ergebnisse aus den Kindergruppen und die Ergebnisse aus früheren Studien mit Erwachsenen in Beziehung setzen zu können. Im Anschluss an das Training wurde mittels eines Wort Fragment Priming Experiments getestet, inwiefern sich die verschiedenen Trainingsarten auf die Verarbeitung phonemischer Variationen in der Stimmhaftigkeit auswirkten. Dies wurde anhand von Reaktionszeiten als auch ereigniskorrelierten Potentialen (EKP) evaluiert (Bauch, Friedrich, & Schild, Kapitel 6). Weitergehend wurde untersucht, inwiefern sich neuronale Repräsentationen verändern, nachdem die Kinder eingeschult und formal mit dem Schriftspracherwerb begonnen hatten. Dazu wurden die Kinder der Sprachtrainings in einem Längsschnittdesign nach der ersten und der zweiten Klasse erneut mit demselben experimentellen Design getestet (Bauch, Friedrich, & Schild, eingereichtes Manuskript, Kapitel 7).

Beide Studien werden in Kapitel 6 und 7 vorgestellt. Zuvor erfolgt eine theoretische Einleitung sowie eine Zusammenfassung über den Ablauf des Projektes. Im Anschluss erfolgt eine zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse, Limitationen und Ausblick.

1. Grundlegende Prinzipien der auditiven Worterkennung

1.1. Das menschliche Sprachsignal und phonemische Merkmale

Physikalisch betrachtet handelt es sich beim Sprachsignal um eine Schallwelle, die über Druckveränderungen und -bewegungen in der Luft Schallschwingungen vom Sprecher zum Ohr des Hörers übertragen wird. Der Sprachstrom setzt sich aus Segmenten zusammen. Die Größe der Segmente ist variabel und reicht von ganzen Wörtern, zu Silben und Phonemen. Das Phonem ist die kleinste zu unterscheidende bedeutungstragende Spracheinheit. Beispielsweise bestehen die beiden Wörter „Tube“ und „Bube“ aus der gleichen Anzahl an Phonemen (vier, /'t/, /u:/, /b/, /ə/, bzw. /'b/, /u:/, /b/, /ə/), aber sie unterscheiden sich in ihrem ersten Phonem, das den Bedeutungsunterschied zwischen den beiden Wörtern trägt. Phonemen wird daher in vielen Modellen der auditiven Worterkennung eine entscheidende Rolle zugewiesen (siehe Punkt 1.2.). In der alphabetischen Schriftsprache werden Phoneme durch Grapheme repräsentiert, die aus einem oder mehreren Buchstaben bestehen können. So besteht das Wort „Decke“ aus vier Phonemen (/d/, /ɛ/, /k/, /ə/) und aus vier korrespondierenden Graphemen (D, E, CK, E).

Phoneme werden von Hörern kategorial wahrgenommen. Nach Definition ist die Wahrnehmung von Sprachlauten dann kategorial, wenn Unterschiede zwischen Lauten unterschiedlicher Kategorien (z.B. /b/ und /p/) besser wahrgenommen werden, als Unterschiede von Lauten innerhalb einer Kategorien (z.B. unterschiedliche akustische Realisationen von /b/; Liberman, Harris, Hoffman, & Griffith, 1957). Für die Worterkennung hat die kategoriale Wahrnehmung den Vorteil, dass natürliche Variationen eines Lautes (die zum Beispiel durch unterschiedliche Sprecher oder in einer akustisch-ambigen Umgebung auftreten), den lexikalischen Zugriff und damit das Erkennen von Wörtern nicht behindern.

Alle Wörter, die ein Mensch gelernt hat, sind im sogenannten mentalen Lexikon im Langzeitgedächtnis des Gehirns abgespeichert. Diese Gedächtniseinträge werden auch als *lexikalische Repräsentationen* bezeichnet. Eine lexikalische Repräsentation enthält Informationen über die phonologischen, morphologischen, semantischen und nach dem Lernen der Buchstaben auch orthografische Informationen eines Wortes.

Ein abgespeichertes Wort im mentalen Lexikon muss nicht zwangsläufig mit einer Bedeutung verknüpft sein. Bezieht man sich nur auf phonologische Informationen wird auch von einer phonologischen Wortform gesprochen. Als phonologische Repräsentationen werden diejenigen Aspekte der lexikalischen Repräsentation bezeichnet, die als Träger der phonologisch-akustischen Informationen eines Sprachsegments fungieren. Beim lexikalischen Zugriff (siehe Punkt 1.2.) können verschiedene phonetische Informationen aus dem Sprachstrom bei der Verarbeitung gesprochener Sprache von Bedeutung sein. Darunter fallen zum Beispiel suprasegmentale Informationen wie Prosodie (z.B. Cooper, Cutler, & Wales, 2002; Reinisch, Jesse, & McQueen, 2010; Schild, Becker, & Friedrich, 2014) oder segmentale Informationen wie phonemische Merkmale (Andruski, Blumstein, & Burton, 1994; Connine, Blasko, & Titone, 1993; Friedrich, Schild, & Röder, 2009; Marslen-Wilson & Warren, 1994; Schild, Röder, & Friedrich, 2012).

Phoneme können durch bestimmte Merkmale (engl. *phonemic features*) charakterisiert werden. Der Mensch produziert einzelne Laute, indem er beispielsweise die Stellung der Zunge im Mundraum verändert oder den Ausstoß des Luftstroms variiert. Bewegliche Anteile des Sprechapparates werden als (aktive) Artikulatoren bezeichnet. Dabei handelt es sich zum Beispiel um die Unterlippe und Zunge. Demgegenüber stehen unbewegliche Anteile des Sprechapparates, die sogenannten Artikulationsstellen (passive Artikulatoren). Dazu zählen die Oberlippe, Gaumen, Zähne des Oberkiefers, Rachenwand, Zäpfchen und Stimmbänder. Je nachdem, wie Laute mit Hilfe des Sprechapparates artikuliert werden, lassen sich Laute und Phoneme zu verschiedenen phonemischen Merkmalen zuweisen. Konsonanten können klassischerweise anhand folgender Merkmale beschrieben werden:

Artikulationsort (engl. *place of articulation*): Mit dem Artikulationsort ist die Engstelle gemeint, in der im Sprachapparat der Artikulator auf die Artikulationsstelle trifft. Spricht man beispielsweise das Wort „Mut“ aus, wird der Laut /m/ durch den Verschluss von Unterlippe auf Oberlippe gebildet (bilabialer Artikulationsort), während bei dem Wort „Tag“ der Laut /t/ durch das Zusammenführen von Zungenspitze auf den Zahndamm erfolgt (alveolarer Artikulationsort).

Artikulationsart (engl. *manner of articulation*): Die Artikulationsart beschreibt, in welcher Weise der Luftstrom an der Engstelle im Sprachapparat vorbei strömt. Bei dem Wort „Mut“ wird der Luftstrom durch die Nase abgeleitet (nasale Artikulationsart). Hingegen wird bei der Produktion des ersten Lautes in „Tag“ (/t/) der Luftstrom zunächst vollständig blockiert, bevor sie anschließend komplett gelöst wird (plosive Artikulationsart).

Stimmhaftigkeit (engl. *voicing*): Es werden bei der Stimmhaftigkeit zwischen stimmlosen und stimmhaften Lauten unterschieden. Stimmlose Laute (z.B. /t/ in „Tag“) werden artikuliert, ohne dass die Stimmbänder dabei vibrieren, wenn der Luftstrom nach außen gedrückt wird. Die Stimmbänder sind in dem Fall offen und locker. Sind die Stimmbänder gespannt, wird durch den Luftstrom die Glottisöffnung zum Vibrieren gebracht. In diesem Fall spricht man von einem stimmhaften Laut, z.B. in /g/ in „Glück“). Ob ein Konsonant als stimmhaft oder stimmlos wahrgenommen wird, hängt von der Zeit ab, welche vom Ausstoß des Luftstoßes bis zum Eintritt der Vibration der Stimmbänder benötigt wird. Man spricht hierbei von der *Voice Onset Time* (VOT).

Konsonanten können aufgrund dieser phonemischen Merkmale in Kategorien unterteilt werden und charakterisieren sich durch die Zusammensetzung dieser Merkmale. So ist das /t/ in „Tag“ alveolar (Artikulationsort), plosiv (Artikulationsart) und stimmlos (Stimmhaftigkeit). Hörer berücksichtigen diese Informationen über die phonemischen Merkmale bei der auditiven Worterkennung. Dies zeigten Studien, in denen die akustischen Details dieser Merkmale variiert wurden (z.B. Andruski et al., 1994; Connine et al., 1993; Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012; Studie 1, Kapitel 6; Studie 2, Kapitel 7; Pilotstudie, Anhang I). Beispielsweise spielt die Ähnlichkeit zwischen Phonemen bei der Wortaktivierung eine Rolle: Aus Priming-Studien geht hervor, dass Zielwörter (z.B. „number“, dt. Nummer), die von einem Pseudowort-Prime in mehreren phonemischen Merkmalen abwichen (z.B. „kumber“), weniger stark aktiviert wurden, als Wörter, die nur in einem phonemischen Merkmal zum Prime unterschiedlich waren (z.B. „mumber“, Connine et al., 1993; Connine, Titone, Deelman, & Blasko, 1997; Pilotstudie, Anhang I). Allerdings wurde auch gezeigt, dass bereits die Variation in einem phonemischen Merkmal ausreicht, um die Aktivierung von lexikalischen Repräsentationen abzuschwächen. Wörter ließen sich stärker von vorangestellten Primes aktivieren, wenn diese phonologisch übereinstimmten (z.B.

„Mün – Münze“), als wenn sie im Artikulationsort voneinander abwichen (z.B. „Nün – Münze“; Friedrich et al., 2009; siehe auch Punkt 1.3.2.).

Auch Kinder sind sensitiv für Variationen in phonemischen Merkmalen (Gerken, Murphy, & Aslin, 1995; Schild, Röder, & Friedrich, 2011; Swingley, 2003). Bei Experimenten zur kategorialen Wahrnehmung werden Probanden beispielsweise Sprachlaute auf einem akustischen Kontinuum präsentiert, die stufenweise von einer Phonemkategorie (z.B. /b/, stimmhaft) in eine andere Phonemkategorie (z.B. /p/, stimmlos) übergehen. Die Aufgabe der Probanden besteht darin zu entscheiden, zu welcher Phonemkategorie der präsentierte Laut gehört. Anhand von Habituationsexperimenten, in denen beispielsweise die Änderung der Nuckelrate gemessen wurde, ist gut belegt, dass bereits Säuglinge ab einem Alter von einem Monat in der Lage sind, Unterschiede zwischen Lauten einer Kategorie wahrzunehmen (Eimas, Siqueland, Jusczyk, & Vigorito, 1971). Wie detailliert Babys dabei phonemische Details bereits abgespeichert haben, ist jedoch umstritten (siehe auch Punkt 2.1.). Auch ältere Kinder nutzen phonemische Merkmale bei der Worterkennung. Beispielsweise fiel es Dritt- und Fünftklässlern schwerer, Pseudowörter in einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe abzulehnen, die sich von einem realen Wort nur in einem phonemischen Merkmal unterschieden (z.B. „tiano - piano“), als wenn mehrere Merkmale unterschiedlich waren (z.B. „liano - piano“; Sauval, Perre, & Casalis, 2018). Allerdings haben sich nur wenige Studien damit beschäftigt, inwiefern Kinder im Laufe ihrer Entwicklung – und insbesondere im Übergang zwischen Kleinkind- und Grundschulalter – phonemische Merkmale auf bereits, impliziten Stadien des Wahrnehmungsprozesses verarbeiten.

Eine Möglichkeit, Sprachwahrnehmung implizit und früh im Verarbeitungsprozess zu untersuchen, besteht darin, neurophysiologische Methoden wie ereigniskorrelierte Potentiale (EKP) zu evaluieren (für eine genauere Darstellung der Methode, siehe Punkt 1.3.3.). Schild et al. (2011) untersuchten mittels eines auditiven Wort Fragment Priming Paradigmas, inwiefern 6-jährige Vorschulkinder und 8-jährige Zweitklässler phonemische Variationen im Artikulationsort für den lexikalischen Zugriff berücksichtigten. Die Ergebnisse der Studie lieferten einen Beleg für die Plastizität phonologischer Repräsentationen in der Übergangszeit zwischen Vor- und Grundschulalter: Zweitklässler wiesen sowohl in den Aktivierungsmustern der

Reaktionszeiten als auch EKP-Komponenten Sensitivität für Variationen im Artikulationsort auf und berücksichtigten diese Informationen für den lexikalischen Zugriff. Dies zeigte sich darin, dass Zielwörter einfacher verarbeitet wurden, wenn sie einem Prime folgten, der phonologisch identisch war (z.B. „Mon – Monster“), als wenn das erste Phonem von Prime und Zielwort im Artikulationsort abwich (z.B. „Non – Monster“). Vorschulkinder ohne Leseerfahrung tolerierten diesen Unterschied. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass der Schriftspracherwerb die Detailliertheit phonologischer Repräsentationen moduliert (siehe auch Punkt 3.2.).

1.2. Ausgewählte Modelle der auditiven Worterkennung

Es gibt unterschiedliche Annahmen darüber, wie im mentalen Lexikon auf die lexikalischen Repräsentationen zugegriffen werden kann. Während z.B. die Theorie des episodischen Lexikons (Goldinger, 1998) davon ausgeht, dass die lexikalischen Repräsentationen direkt durch das einkommende auditive Signal aktiviert werden, wird auch die Aktivierung einer zwischengeschalteten Ebene, der prälexikalischen Ebene diskutiert (McQueen, 2012). Auf der prälexikalischen Ebene werden abstrakte Spracheinheiten wie aus dem Sprachsignal extrahiert und auf phonologisch-akustische Eigenschaften überprüft, bevor eine Integration zur Gedächtnisspur erfolgt. Welche Spracheinheiten zu einer prälexikalischen Ebene gezählt werden, ist umstritten. Während von einigen Vertretern des Ansatzes Phoneme als zentrale Einheit der prälexikalischen Ebene vorgeschlagen wird (Cutler, 2012; McQueen, 2012), wurden in der Vergangenheit auch größere Sprachsegmente wie z.B. Silben diskutiert (Cutler, Mehler, Norris, & Segui, 1986; Cutler & Norris, 1988).

Bei der Wahrnehmung von gesprochener Sprache aktivieren die phonologisch-akustischen Informationen die im mentalen Lexikon gespeicherten Repräsentationen indem sie phonologisch, morphologisch und semantisch abgeglichen werden. Da in der vorliegenden Arbeit der lexikalische Zugriff auf phonologische Repräsentationen untersucht wurde, werden kurz diejenigen Modelle der Spracherkennung zusammengefasst, die auf dem Abgleich von akustischen Informationen auf Phonemebene aufbauen. Hierbei soll exemplarisch lediglich auf prominente Modelle

der Spracherkennung eingegangen werden (für eine umfassendere Darstellung siehe z.B. Weber & Scharenborg, 2012).

Klassische Modelle der Sprachwahrnehmung wie das Kohortenmodell I (Marslen-Wilson & Welsh, 1978) und seine revidierten Fassungen Kohortenmodell II und III (Marslen-Wilson, 1987; Marslen-Wilson & Zwisserlood, 1989), TRACE (McClelland & Elman, 1986), Shortlist (Norris, 1994) und Shortlist B (Norris & McQueen, 2008) teilen das grundlegende Prinzip der multiplen Aktivierung von Wortkandidaten. Diese Annahme wird durch Belege aus der empirischen Forschung gestützt. Beispielsweise wurde mittels crossmodalen semantischen Primings gezeigt, dass ein Wortanfang wie „cap“, der sowohl für „capital“ (dt. Kapital) als auch „captain“ (dt. Kapitän) stehen kann, den Wortzugriff auf semantisch-relatierte Begriffe für z.B. „money“ (dt. Geld) und „ship“ (dt. Schiff) vereinfachte (Zwisserlood, 1989). Auch Studien mit Eye-Tracking (Tanenhaus, Magnuson, Dahan, & Chambers, 2000) und Mousetracking (Spivey, Grosjean, & Knoblich, 2005) legen nahe, dass phonologische Informationen kontinuierlich abgeglichen und phonologisch ähnliche lexikalische Einträge parallel aktiviert werden. Beispielsweise benötigten Probanden länger Zeit um ein Objekt auf einem Bildschirm zu finden, wenn neben dem Zielobjekt (z.B. „candy“, dt. Süßigkeit) ein phonologisch ähnliches Ablenkerbild gezeigt wurde (z.B. „candle“, dt. Kerze, Tanenhaus, Spivey-Knowlton, Eberhard, & Sedivy, 1995).

Das Konzept der multiplen Aktivierung geht auf das ursprüngliche Kohortenmodell I (Marslen-Wilson & Welsh, 1978) zurück. Es werden dabei drei Stufen der Aktivierung beschrieben: Der *Zugriff*, die *Selektion* und die *Integration*. Das Modell geht davon aus, dass die akustisch-phonologischen Informationen des Sprachstroms mit den lexikalischen Einträgen sequentiell abgeglichen werden. Beim *Zugriff* werden initial all diejenigen Einträge aktiviert, die mit den einkommenden akustischen Informationen übereinstimmen. Demnach aktiviert der Wortanfang *Ta-* alle Einträge, die mit dieser Silbe beginnen, wie *Tag*, *Tante* oder *Tannenbaum*, welche kurzzeitig simultan aktiviert sind (die sogenannte Kohorte). Hierbei wird aber nicht von einer direkten Konkurrenz der Wortkandidaten ausgegangen (das heißt, die Stärke der Aktivierung eines Eintrages hängt nicht von der Aktivierung eines anderen Eintrages aus der Kohorte ab). Nach diesem Schritt erfolgt die *Selektion*. Indem das Sprachsignal sich weiter über die Zeit entfaltet, werden nach und nach alle Wortkandidaten von der Aktivierung

ausgeschlossen, die nicht mehr mit den akustischen Informationen des Signals übereinstimmen. Demnach würde *Tan-* nur noch *Tante* oder *Tannenbaum* aktivieren, aber nicht mehr *Tag*. In dem Moment, in dem alle anderen Wortkandidaten ausgeschlossen sind, wird das Wort erkannt. In der abschließenden Stufe der *Integration* werden die semantischen und syntaktischen Informationen mit dem Wortkandidaten abgeglichen.

Durch die Annahme der sequentiellen Aktivierung wird dem Wortanfang im Kohortenmodell eine entscheidende Rolle im lexikalischen Zugriff zugeschrieben. Da zudem davon ausgegangen wird, dass die Aktivierung der Wortkandidaten aufgrund der Übereinstimmung mit den akustischen Informationen des Sprachstroms erfolgt, liegt zusätzlich die Annahme eines bottom-up Informationsflusses vor. Insbesondere diese Annahmen wurden in der Forschung kritisch diskutiert. Der Annahme, dass insbesondere der Wortanfang bei der Worterkennung entscheidend ist, stehen z.B. Forschungsbefunde entgegen, die zeigten, dass Probanden auch Wörter erkannten, die akustisch vom Sprachstrom abwichen, ungeachtet davon an welcher Stelle im Sprachsignal der Mismatch auftrat. Beispielsweise aktivierte das Wort „Baprika“ trotz leichter phonologischer Abweichung am Wortanfang das Wort „Paprika“ (Bölte & Coenen, 2002). Aber auch Variationen in der Wortmitte verhinderten nicht das Erkennen eines Wortes (z.B. „messemger“ an Stelle von „messenger“ [dt. Bote]; Cole, 1973). Auch Wortfrequenzeffekte, das heißt das erleichterte Erkennen von häufig im Sprachgebrauch vorkommenden Wörtern im Vergleich zu weniger häufigen Wörtern (für ein Review siehe Brysbaert, Mandera, & Keuleers, 2017), konnten durch das Kohortenmodell I nicht erklärt werden. In den Kohortenmodellen II und III wurden die Annahmen dementsprechend angepasst, sodass nun der Zugriff und die Selektion nach dem Prinzip des „Goodness of fit“ erfolgte, also minimale Abweichungen des akustischen Signals vom lexikalischen Eintrag auch zu einer Aktivierung folgen kann. Zudem wurde den Einträgen unterschiedliche Level an Grundaktivierung zugeschrieben, mit der versucht wurde, Wortfrequenzeffekte zu erklären.

Anderen Worterkennungsmodellen wie TRACE (McClelland & Elman, 1986) oder Shortlist (Norris, 1994; Überarbeitung „Shortlist B“, Norris & McQueen, 2008) liegt ein konnektionistischer Ansatz zu Grunde. Auch Wortkandidaten mit gleichem Wortende können in diesen Modellen aktiviert werden. Sowohl TRACE als auch Shortlist nehmen

an, dass Wörter im mentalen Lexikon als eine Abfolge von Phonemen (Strings) repräsentiert sind. Die Worterkennung erfolgt bei beiden Modellen über die simultane Aktivierung mehrerer Knotenpunkte. In TRACE repräsentieren diese Knotenpunkte drei verschiedene Ebenen: Eine *Merkmalsebene*, eine *Phonemebene* und eine *Wortebene*. Die Knoten werden auch hier nach dem „Goodness of fit“ Prinzip durch das akustische Signal aktiviert: Je höher die Übereinstimmung, desto höher der Grad der Aktivierung. Es wird dabei angenommen, dass sich die Aktivierung durch die drei Ebenen exzitatorisch verteilt (die Merkmalsebene also passende Einheiten der Phonemebene aktiviert, die wiederum passende Einträge auf der Wortebene aktivieren, aber auch umgedreht von der Wortebene zur Phonem- und Merkmalsebene). Dadurch können parallel Worteinträge aktiviert werden, die an beliebiger Stelle Übereinstimmungen mit dem gehörten Wort aufweisen (z.B. aktiviert das Wort „beaker“ [dt. Becher] auch das Wort „speaker“ [dt. Sprecher]; Allopenna, Magnuson, & Tanenhaus, 1998). Auf jeder Ebene liegt eine laterale Hemmung vor. Dadurch werden Worteinträge, die weniger gut mit dem Sprachinput übereinstimmen, von besser passenden Kandidaten inhibiert. Je weniger Wortkandidaten zur Auswahl stehen, desto einfacher ist demnach die Erkennung des Wortes. Dadurch kann TRACE z.B. Wortfrequenzeffekte erklären. Im Gegensatz zu TRACE handelt es sich bei Shortlist um ein Zwei-Ebenenmodell. Wird ein Wort gehört, werden zunächst auf einer ersten Ebene Phoneme aktiviert. Nach dem „Goodness of fit“ Prinzip wird in der Folge dann eine Liste („Shortlist“) an geeigneten Wortkandidaten zusammengestellt, die zu dem aktivierten Phonem passen. Phoneme können Wörter dabei an jeder Stelle aktivieren. Die Wortkandidaten, die in diese Liste aufgenommen werden, konkurrieren um Aktivierung. Indem mehr akustische Informationen mit dem Sprachsignal ankommen, wird die Liste kontinuierlich aktualisiert und Einträge, die weniger zum Sprachsignal passen, scheiden aus. Nach Shortlist erfolgt die Aktivierung nach dem bottom-up Prinzip. Die überarbeitete Version von Shortlist, Shortlist B (Norris & McQueen, 2008) verknüpfte erstmalig die Aktivierung von Wortkandidaten mit Wahrscheinlichkeitsprinzipien des Bayes-Theorems. In Shortlist wurde noch davon ausgegangen, dass Wörter erkannt werden, indem sie unterschiedliche Grade an Aktivierung zugesprochen bekommen. In Shortlist B werden hingegen Wörter erkannt, indem bestimmte Auftrittswahrscheinlichkeiten für die Worteinträge berücksichtigt werden. Der Hörer kalkuliert demnach auf Grundlage des bisherigen und aktuellen

Sprachinputs, wie wahrscheinlich ein Worteintrag ist. Shortlist B berücksichtigt demnach, dass es z.B. bei einigen Wörtern aufgrund von phonetischen Ähnlichkeiten häufiger zu Versprechern kommt, als bei anderen Wörtern, was in die Kalkulation miteingeschlossen wird.

In den bisherigen Abschnitten wurden grundlegende Prinzipien der auditiven Worterkennung vorgestellt. Diese dienen als theoretische Grundlage für das Wort Fragment Priming Experiment, das in den Studien der vorliegenden Arbeit verwendet wurde (siehe Punkt 1.3.2.). Innerhalb der Studien sollte untersucht werden, inwiefern Aspekte des Lesenlernens auf die Entwicklungsplastizität von phonologischen Repräsentationen wirken und ihre Aktivierung modulieren könnten. Dies setzt die Annahme voraus, dass durch den Schriftspracherwerb die Wahrnehmung gesprochener Sprache modifiziert werden kann. Allen drei genannten klassischen Modellen der Sprachwahrnehmung (Kohortenmodell, TRACE und Shortlist und ihren Überarbeitungen) ist neben der Annahme der multiplen Wortaktivierung gemein, dass sie von einem rein phonologischen Input ausgehen. Orthographische Informationen werden explizit in keinem dieser Modelle bei der Wortaktivierung eingeschlossen. Dennoch ist inzwischen gut belegt, dass Hörer bei der phonologischen Verarbeitung von auditiven Input auch orthographische Informationen berücksichtigen. Eine Zusammenfassung an Befunden, die eine Beteiligung orthographischer Informationen bei der Wortverarbeitung nahelegen, erfolgt in Punkt 3.2. In diesem Zusammenhang werden auch Ansätze erörtert, die eine theoretische Einbettung der Daten ermöglichen.

1.3. Messmethoden

Im folgenden Abschnitt werden die experimentellen Messmethoden beschrieben, die in den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit genutzt wurden. Es handelt sich dabei um klassische behaviorale und neurophysiologische Methoden, die in der Sprachforschung etabliert sind. Sie bieten die Möglichkeit, den lexikalischen Zugriff bei der auditiven Sprachwahrnehmung zu untersuchen und kamen auch mit Kindern im Vor- und Grundschulalter in der Vergangenheit zur Anwendung.

1.3.1. Lexikalische Entscheidungsaufgabe

Die lexikalische Entscheidungsaufgabe ist ein häufig verwendetes behaviorales Verfahren, das genutzt werden kann um Prozesse des Worterkennens zu erfassen. Sie kann bei der auditiven, aber auch bei visueller Worterkennung oder crossmodalen Anordnungen verwendet werden (z.B. Friedrich, 2005; Friedrich, Felder, Lahiri, & Eulitz, 2013; Friedrich et al., 2009; López Zunini, Baart, Samuel, & Armstrong, 2020; Milberg, Blumstein, & Dworetzky, 1988). Der Proband wird gebeten, durch Tastendruck den lexikalischen Status eines präsentierten Wortes zu klassifizieren, indem er angibt, ob es sich bei dem gehörten Wort um ein reales Wort (z.B. Puppe) oder ein Pseudowort (z.B. Puppke) handelt. Die Antworten des Probanden können hinsichtlich der Reaktionszeiten (wie schnell eine Antwort gegeben wurde) und anhand der Fehleranzahl (Anzahl der falsch ausgelassenen realen Wörter/Anzahl der falsch gedrückten Pseudowörter) ausgewertet werden.

Die Reaktionszeiten bei der lexikalischen Entscheidungsaufgabe können von Wortfrequenzen beeinflusst werden (Gardner, Rothkopf, Lapan, & Lafferty, 1987; Goh, Suárez, Yap, & Tan, 2009). Ferner ergaben Studienergebnisse, dass auch die Dichte der phonologischen Nachbarschaft eine Rolle spielt, wie schnell Wörter erkannt werden können, wenn sie z.B. rein auditiv dargeboten werden (z.B. Chumbley & Balota, 1984; Goh et al., 2009). Die phonologische Nachbarschaft eines Wortes bezeichnet die Gruppe an Wörtern, die sich lediglich minimal (z.B. in einem Phonem) vom Zielwort unterscheiden (z.B. Haus, Maus). Die Dichte der phonologischen Nachbarschaft wirkt sich dabei inhibitorisch auf die Reaktionszeiten aus: Je mehr Wörter in der phonologischen Nachbarschaft vorhanden sind, desto langsamer werden die Wörter erkannt, da es mehr lexikalische Kandidaten gibt, die bei der Worterkennung zur Auswahl stehen (siehe Punkt 1.2). Zudem können lexikalische Entscheidungen von anderen strategischen Mechanismen moduliert werden (siehe Punkt 3.1.).

1.3.2. Priming

Eine klassische experimentelle Methode in der Psycholinguistik ist das Priming (dt. Voraktivierung/Bahnung). Das Verfahren kann genutzt werden um die Wahrnehmung und Verarbeitung von Reizen experimentell zu manipulieren. In Kombination mit z.B. einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe wird dem Probanden vor der Präsentation des Zielwortes ein Prime vorgeschaltet. In verschiedenen Versuchsanordnungen kann dann analysiert werden, inwiefern der Prime die Entscheidung auf das Zielwort, die Schnelligkeit der Bearbeitung oder die neurophysiologischen Antworten auf das Zielwort beeinflusst. Erleichtert der Prime die Verarbeitung des Zielwortes, spricht man von einem positiven (erleichternden) Priming-Effekt. Ein negativer (inhibitorischer) Priming-Effekt liegt dann vor, wenn durch den vorgeschalteten Prime die lexikalische Entscheidung erschwert wird (Höhle, 2012). Das Priming kann unimodal (d.h. Prime und Zielwort werden beide auditiv oder beide visuell dargeboten) oder crossmodal (Prime wird auditiv dargeboten, Zielwort visuell, oder vice versa) durchgeführt werden. Dadurch können beispielsweise modalspezifische Verarbeitungsprozesse (unimodales Priming), aber auch Prozesse der multisensorischen Integration und Interaktion (crossmodales Priming) untersucht werden.

Mit dem Priming können unterschiedliche Aspekte der Sprachverarbeitung betrachtet werden. Bei einem semantischen Priming wird z.B. dem Zielwort (z.B. „Meer“) ein semantisch relatierter Prime (z.B. „Strand“) oder ein semantisch unrelatierter Prime (z.B. „Stift“) vorgeschaltet. Es konnte gezeigt werden, dass Zielwörter schneller erkannt wurden, wenn vorher ein semantisch relatierter Prime präsentiert wurde (für eine Meta-Analyse siehe Lucas, 2000). Wörter ließen sich zudem auch semantisch voraktivieren, wenn der Prime nicht aus einem ganzen Wort, sondern z.B. nur aus einem Fragment bestand (z.B. „cap“ von „capital“ oder „captain“ als Prime für sowohl „money“ als auch „ship“; Zwitserlood, 1989). Beim phonologischen Priming besteht der Kern der Manipulation nicht in der Bedeutung oder wissensbasierten Informationen, sondern in den phonologisch-akustisch physikalischen Parametern. Dem Zielwort wird beispielsweise ein Prime vorgeschaltet, der sich dem Zielwort phonologisch ähnlich ist (z.B. „Glut - Blut“). Beim phonologischen Form Fragment Priming unterscheidet sich

der Prime vom Zielwort in der Manipulationsbedingung zum Beispiel im initialen Phonem (z.B. „Io - Dose“).

In den Studien der vorliegenden Arbeit wurde ein unimodales auditives Wort Fragment Priming durchgeführt. Es basiert auf der Annahme, dass die Verarbeitung von Prime-Zielwort-Paaren erleichtert ist, wenn der vorangegangene Prime mit dem Zielwort phonologisch identisch ist (z.B. „Ga - Garten“) und erschwert wird, wenn z.B. das initiale Phonem von Prime und Zielwort phonologisch voneinander abweichen (z.B. „Ka - Garten“). Im Sinne einer multiplen Aktivierung mehrerer Wortkandidaten (siehe Punkt 1.2.) wird erwartet, dass das eingehende Sprachsignal mehrere Wortkandidaten aktiviert, darunter auch Einträge, die vom Sprachsignal leicht abweichen. Die Wortkandidaten, die am meisten mit dem Input übereinstimmen, erhalten den größten Grad an Aktivierung. Je stärker die Abweichung vom Input ist, desto geringer die Aktivierung des Eintrags im mentalen Lexikon (Marslen-Wilson, 1990; Soto-Faraco, Sebastián-Gallés, & Cutler, 2001).

Das Form Priming wurde bereits in vorangegangenen Studien genutzt, um den lexikalischen Zugriff und die Detailliertheit lexikalischer Repräsentationen zu untersuchen; dabei wurden sowohl cross- als auch unimodale Anordnungen gewählt (z.B. Friedrich, 2005; Friedrich, Kotz, Friederici, & Alter, 2004; Friedrich, Kotz, Friederici, & Gunter, 2004; Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012; Soto-Faraco et al., 2001). In Reaktionszeiten auf eine lexikalische Entscheidungsaufgabe wurde dabei ein gradueller Priming-Effekt angezeigt, der in Relation zum Grad der Übereinstimmung zwischen Prime und Zielwort stand. Probanden reagierten schneller auf phonologisch identische Prime-Zielwort-Kombinationen auf (z.B. „Trep - Treppe“), als auf eine Bedingung, in der das initiale Phonem im Artikulationsort variierte (z.B. „Krep - Treppe“). Am langsamsten reagierten die Probanden in einer unrelatierten Kontrollbedingung (z.B. „Dra - Treppe“; Friedrich et al., 2009). Ähnliche Aktivierungsmuster in den Reaktionszeiten konnten auch bei 6- und 8-jährigen Vor- und Grundschulkindern beobachtet werden (Schild et al., 2011). Inwiefern Reaktionszeiten tatsächlich Rückschlüsse auf die Aktivierung lexikalischer Repräsentationen zulassen, ist jedoch umstritten (siehe Punkt 3.1.). Insbesondere um frühe und prälexikalische Prozesse abzubilden, kann das Priming zusätzlich mit neurophysiologischen Messmethoden wie dem Elektroencephalogramm (EEG)

durchgeführt werden. Die kombinierte Anordnung von Fragment-Priming mit Ableitung eines EEGs wurde auch in dieser Arbeit als Messmethode gewählt (für Studie 1 siehe Kapitel 6 und für Studie 2 siehe Kapitel 7).

1.3.3. Elektroencephalogramm und ereigniskorrelierte Potentiale

Die Messung eines EEGs ist eine neurowissenschaftliche Methode, die unter anderem in der Sprachforschung zur Anwendung kommt, um neuronale und kognitive Prozesse im Gehirn zu erfassen. Mittels Elektroden, die auf einer Kappe oder direkt am Kopf angebracht werden, werden die elektrischen Signale des Gehirns an der Schädeloberfläche erfasst und gemessen. Bei den elektrischen Signalen handelt es sich um Unterschiede in der Spannung, die entstehen, wenn Neuronencluster im Gehirn Aktivität aufweisen. Spannungsunterschiede, die aufgrund bestimmter Reize entstehen, werden als ereigniskorrelierte Potentiale (EKP, engl. *event-related potentials*, ERP) bezeichnet. Sie sind an zeitlich festgelegte Ereignisse gebunden. Diese sind zu unterscheiden von der Grundaktivität des Gehirns, welche auch u.a. als „Rauschen“ bezeichnet wird. Bei der Messung eines EEGs werden die EKP von der Grundaktivität des Gehirns extrahiert, indem das Signal über mehrere Durchgänge gemittelt wird. Dies basiert auf der Grundannahme, dass die Spontanaktivität des Gehirnes zufällig auftritt und bei einer Mittelung des Signals rausgerechnet wird (Höhle, 2012). EKP weisen eine hohe zeitliche Auflösung auf, weshalb sie sich dafür eignen, Verarbeitungsprozesse im Millisekundenbereich abzubilden. Im Gegensatz zu Verhaltensdaten wie Reaktionszeiten, deren Antworten erst erfasst werden, nachdem der Stimulus voll abgespielt wurde, können durch die EKP-Analyse bereits sehr frühe Stadien der Sprachverarbeitung im zeitlichen Verlauf abgebildet werden. Weiterhin bieten EKP den Vorteil, dass sie kognitive Prozesse erfassen, die nicht oder nur minimal von strategischen Mechanismen (z.B. Antwortverhalten, motorische Bewegungen) beeinflusst werden.

Dadurch, dass die EKP aufgezeichnet werden können, auch wenn die Probanden nur passiv den vorgespielten Stimuli zuhören, hat sich die EKP-Analyse in der Psycholinguistik insbesondere in der Säuglings- und Kleinkindforschung etabliert (Hoehl & Wahl, 2012). Auch bei älteren Kindern im Vor- und Grundschulalter eignet

sich die EEG-Messmethode, da behaviorale Antworten wie Tastendrücke stark von Aufmerksamkeitschwankungen, aber auch motorischer Geschicklichkeit abhängig sein können (Miller & Vernon, 1997). Schwierigkeiten bei der Analyse von EKP insbesondere bei Säuglingen als auch bei älteren Kindern im Vor- und Grundschulbereich liegen u.a. in der erhöhten Anfälligkeit für Artefakte, die durch Muskelbewegungen im Kopfbereich (z.B. Mund- oder Augenbewegungen) zu Stande kommen können. Ideale Messbedingungen (das heißt eine Aufnahme mit möglichst wenig Bewegungen) kann vor allem für jüngere Kinder in Abhängigkeit der Dauer des Experimentes schwierig sein. Aufgrund der erhöhten motorischen Unruhe bei Kindern kann es zu einem verstärkten Auftreten von Bewegungsartefakten im Messsignal kommen, die vor der eigentlichen Analyse aus der Ausnahme herausgeschnitten oder rechnerisch bereinigt (z.B. Augenbewegungskorrektur) werden müssen.

In der Sprachforschung werden charakteristische EKP beschrieben, die in der Regel auf bestimmte Ereignisse bzw. Manipulationen im Sprachsignal auftreten (Höhle, 2012). Diese EKP werden als Komponenten bezeichnet, die aufgrund ihrer Topografie (Verteilung), Polarität (Ausschwenkrichtung), Latenz (Zeitpunkt des Auftretens) und der Amplitude (Stärke des Ausschlages) klassifiziert werden können. Unterschiede in diesen Parametern werden betrachtet, um Aussagen über kognitive Prozesse im Gehirn treffen zu können. Im Folgenden werden EKP-Komponenten beschrieben, die für die vorliegende Arbeit von Interesse waren. Es handelt sich dabei um Komponenten, die auf Einzelwortebene auftreten und im Zusammenhang mit der Durchführung eines Wort Fragment Priming Paradigmas bereits in früheren Studien beobachtet wurden.

N100. Die N100 ist ein negativer Ausschlag der Amplitude, der etwa 100 - 150 ms nach Einsetzen des Stimulus auftritt. Sie wird mit sehr frühen Stadien der akustischen Analyse des auditiven Inputs in Verbindung gebracht (Connolly, 1993; Naatanen & Picton, 1987). Die N100 ist dabei nicht nur sprachspezifisch, sondern kann neben Vokalen, Silben und Wortanfängen auch durch Töne ausgelöst werden (Diesch & Luce, 2000). Ferner wird sie als Marker für das Wiedererkennen von sich wiederholenden auditiven Mustern interpretiert (Naatanen & Winkler, 1999). Die N100 scheint von Aufmerksamkeitsprozessen moduliert zu werden (Sanders & Neville, 2003; Sanders, Newport, & Neville, 2002). Sie wird topografisch auf der linken Hemisphäre verortet

(Eulitz, Diesch, Pantev, Hampson, & Elbert, 1995). Das Auftreten einer N100 konnte bei Erwachsenen in unimodal auditiven Fragment Priming Studien nachgewiesen werden (Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012). Im unimodalen Wort Fragment Priming schien die N100-Komponente sensitiv auf die Verarbeitung eines unerwarteten auditorischen Inputs zu reagieren (z.B. Friedrich et al., 2009), was sich in einem erhöhten Ausschlag bei unrelatierten Prime-Zielwort-Kombinationen (z.B. „Dra - Treppe“) im Vergleich zu relatierten Bedingungen darlegte. Jedoch schien sie nicht sensitiv auf phonologische Variationen im Artikulationsort zu reagieren (z.B. „Trep - Treppe“ vs. „Krep - Treppe“). Ein vergleichbares Potential zur N100, ein sogenannter PNP-Komplex, konnte ebenfalls mit Hilfe von Fragment Priming bei 6 - 24 Monate alten Babys und Kleinkindern festgestellt werden (Becker, Schild, & Friedrich, 2014). Bei Vor- und Grundschulkindern mit normativer Entwicklung konnte die N100 bisher nicht zuverlässig nachgewiesen werden (Bonte & Blomert, 2004; Schild et al., 2011).

P350. Die P350 ist eine Positivierung, die etwa zwischen 300 - 400 ms linkslateral nach dem Eintreten des Zielwortes beobachtet werden kann. Bei Erwachsenen wurde die P350 in crossmodalen (visuell-auditiven) Fragment-Priming Studien nachgewiesen (Friedrich, 2005; Friedrich, Kotz, Friederici, & Alter, 2004; Friedrich, Kotz, Friederici, & Gunter, 2004; Friedrich, Lahiri, & Eulitz, 2008). Aber auch bei rein auditiver Darbietung der Fragment-Wortpaaren wurde die Komponente beobachtet (Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012). Die P350 wird als Marker für den frühen lexikalischen Zugriff diskutiert. Die Komponente wurde im Rahmen des Fragment-Primings als Antwort auf phonologische Abweichungen zwischen Fragment-Wortpaaren auf Phonemebene beschrieben (Friedrich et al., 2008, 2009; Schild et al., 2012). Sie tritt auch auf, wenn die Betonung der Silbe manipuliert wurde (z.B. ein unbetonter Prime „Fa“ gefolgt von einer betonten ersten Silbe in „Faden“, Friedrich, Kotz, Friederici, & Alter, 2004). Nach dem „Goodness-of-fit“-Prinzip reflektiert die P350 vermutlich die phonologische Passung zwischen Prime und Zielwort. Der Ausschlag der Amplitude zeigte sich in den vorherigen Untersuchungen dabei negativer bei übereinstimmenden Prime-Zielwort-Kombinationen (z.B. „Trep - Treppe“), weniger negativ bei variierenden Prime-Zielwort-Kombinationen (z.B. „Krep - Treppe“) und am wenigsten negativ bei unrelatierten Prime-Zielwort-Paaren (z.B. „Dra - Treppe“, Friedrich et al., 2009). Aufgrund dieser Ergebnisse wurde argumentiert, dass es sich bei der P350 um ein neuronales Korrelat

handelt, das die graduelle Aktivierung von neuronalen Wortformrepräsentationen im mentalen Lexikon anzeigt (Friedrich, 2005; Friedrich et al., 2009). Auch in Vor- und Grundschulkindern konnte eine P350 bei der Anwendung eines auditiven Fragment-Priming-Paradigmas beobachtet werden (Schild et al. 2011). Bei lesenden Kindern im Alter von 6 und 8 Jahren zeigte sich ähnlich wie bei Erwachsenen dabei ein gradueller Priming Effekt, der sich in Form einer abgestuften P350 widerspiegelte. Bei 6-jährigen Kindern, die noch nicht lesen konnten, wurde diese Abstufung im gleichen Zeitfenster nicht gefunden: Prime-Zielwort Paare, die im ersten Phonem identisch waren (z.B. „Mon - Monster“), lösten vergleichbare Amplituden aus wie Paare, die im ersten Phonem im Artikulationsort abwichen (z.B. „Non - Monster“). Aufgrund dieser Ergebnisse wurde argumentiert, dass die neuronalen lexikalischen Repräsentationen durch Leseerfahrung moduliert werden und Leser bereits in frühen Stadien der Sprachverarbeitung detaillierter phonologische Informationen verarbeiten (Schild et al., 2011). Der graduelle P350-Effekt wurde dahingehend als neuronaler Marker für die sensitivere Verarbeitung phonemischer Variationen im Artikulationsort bei lesenden Vor- und Grundschulkindern interpretiert.

N400/Central Negativity (cNEG). Die N400 stellt eine klassische Komponente in der Sprachforschung dar (Höhle, 2012) und kann in die semantische und die phonologische N400 unterteilt werden. Sie wird zumeist über der zentral parietalen Region lokalisiert und tritt in einem Range zwischen 200 und 600 ms nach Einsetzen des Zielwortes ein (Kutas & Federmeier, 2011). Die semantische N400 kann als Index für die Verarbeitung von semantischen Anomalien als auch für den Grad der semantischen Erwartung eines Wortes herangezogen werden (Baggio & Hagoort, 2011; Kutas & Federmeier, 2011). Für die Studien, die im Rahmen der Dissertation durchgeführt wurden, ist vorrangig die phonologische N400 von Interesse.

Die phonologische N400 wurde u.a. in Priming-Studien gefunden, in denen Probanden beurteilen sollten, ob es sich bei den beiden gehörten Wörtern um ein Reimpaar handelte (Praamstra, Meyer, & Levelt, 1994; Praamstra & Stegeman, 1993). Dabei evozierten nicht-reimende Wortpaare eine größere Negativierung als Reimpaare. Dahingehend wurde angenommen, dass die phonologische N400 bei zwei Wörtern einen Index der phonologischen Ähnlichkeit anzeigt (Praamsta & Stegeman, 1993). Ähnlich zur phonologischen N400 wird auch die *Phonological Mapping Negativity*

(PMN) als neuronales Korrelat der phonologischen Analyse diskutiert. Hierbei handelt es sich um eine Negativierung über der frontal-zentralen Region, welche etwa 250 ms post-stimulus Beginn einsetzt (Desroches, Newman, & Joanisse, 2008). Sie wird daher als Index für eine frühe, prälexikalische Sprachverarbeitung angesehen. Die PMN tritt auf, wenn es zu einer phonologischen Abweichung kommt, die aufgrund des phonologischen Kontextes nicht erwartet ist. Connolly und Phillips (1994) präsentierten beispielsweise erwachsenen Probanden Sätze wie „Sie ließen das dreckige Geschirr in der *Spüle*“ (engl. “They left the dirty dishes in the **s**ink”). Wurde dann ein semantisch relatierter, aber phonologisch abweichender Satz präsentiert („Sie ließen das dreckige Geschirr in der *Küche*“, engl. “They left the dirty dishes in the **k**itchen”), löste dies eine PMN aus.

In Fragment-Priming-Experimenten wurde eine weitere Komponente beschrieben, die sogenannte *Central Negativity* (cNEG, z.B. Friedrich, 2005; Friedrich et al., 2013; Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012, aber siehe auch Becker et al. 2014 für Erwachsene). Die cNEG tritt in der Regel über zentral-posterioren Regionen auf und weist zeitliche und topographische Ähnlichkeiten zur phonologischen N400 als auch zur PMN auf. Sie wird im Rahmen von Fragment-Priming Experimenten mit dem phonologischen Abgleich zwischen Prime und Zielwort in Verbindung gebracht. Anders als die P350 scheint die cNEG nicht sensitiv für detaillierte Variationen zwischen Prime und Zielwort zu sein. In den Priming-Studien zeigte die cNEG eine größere Negativierung für unrelatierte Prime-Zielwort-Kombinationen (z.B. „Trep - Münze“) im Vergleich zu relatierten Paaren. Einen Unterschied zwischen Prime-Zielwort-Paaren, die sich nur in einem phonemischen Merkmal unterschieden (z.B. „Mün - Münze“ vs. „Nün - Münze“) wurde durch die cNEG nicht angezeigt (Friedrich et al., 2009). Es wurde argumentiert, dass die cNEG als Marker für einen schnellen, groben phonologischen Abgleich zwischen Prime und Zielwort herangezogen werden kann. Das Fragment aktiviert eine Liste an Wortkandidaten, die aufgrund der phonologischen Eigenschaften des Primes in Betracht gezogen werden können. Erfolgt nach dem Hören des Zielwortes der phonologische Abgleich, erfolgt bei unrelatierten Prime-Zielwort-Kombinationen ein erhöhter Aufwand bei der phonologischen Analyse. Dadurch, dass sie in einem ähnlichen zeitlichen Intervall wie die P350 auftritt, wurde argumentiert, dass die Sprachverarbeitung in den Priming Experimenten auf zwei Prozesspfaden stattfindet (Schild et al., 2011). Die cNEG

scheint dabei einen phonologischen Pfad darzustellen, während die P350 den Pfad des lexikalischen Zugriffs indiziert. Die cNEG konnte auch bei Säuglingen und Kleinkindern im Alter von 6 - 24 Monaten nachgewiesen werden (Becker et al., 2014). In der Studie von Schild et al. (2011) zeigte sich eine cNEG ähnlich wie bei Erwachsenen bei nicht-lesenden Vorschulkindern, als auch bei lesenden Zweitklässlern. Im Gegensatz indizierte die cNEG bei lesenden Vorschulkindern einen detaillierten phonologischen Abgleich, der sich in einem Unterschied zwischen der Variationsbedingung und Kontrollbedingung zur Identifikationsbedingung zeigte. Als eine mögliche Erklärung wurde darauf verwiesen, dass insbesondere bei Lesern, die sich in einem sehr frühen Stadium des Leseerwerbs befinden, die phonologische Route sehr sensitiv für etwaige phonologische Variationen sein könnte, was sich in einer differenzierteren cNEG widerspiegelte.

2. Entwicklung von impliziten und expliziten phonologischen Repräsentationen

2.1. Entwicklung von lexikalischen Repräsentationen

Es wird in der Forschung darüber diskutiert, wie sich lexikalische Repräsentationen im Laufe der Sprachentwicklung bei Kindern verändern und wie und wann Kinder auf phonemische Details zugreifen können. Eine sehr verbreitete Ansicht ist die *Lexical Restructuring Hypothesis* (Goswami, 2000; Metsala, 1997; Walley, 1993). Diese besagt, dass phonologische als auch semantische mentale Repräsentationen zu Beginn der Sprachentwicklung holistisch, d.h. ganzheitlich, abgespeichert sind. Mit steigendem Wortschatz werden diese Einträge zunehmend differenzierter: Auch einzelne Segmente von Wörtern wie Silben und Phoneme sind dann repräsentiert. Nach dieser Hypothese wird das Phonem erst infolge von Erfahrungen mit der Sprache repräsentiert und ist nicht von Geburt an integrierter Bestandteil der impliziten phonologischen Repräsentationen (Goswami, 2000). Es wird davon ausgegangen, dass die Hauptphase der lexikalischen Restrukturierung in der mittleren Kindheit liegt und mit der Wortschatzexplosion im Alter von etwa 2 Jahren einhergeht.

Es gibt einige Befunde vor allem aus empirischen Verhaltensstudien, die die *Lexical Restructuring Hypothesis* stützen. Beispielsweise wurde gezeigt, dass jüngere Kinder im Vergleich zu älteren Kindern und Erwachsenen weniger phonetische Merkmale differenzieren können, welche innerhalb eines Phonemes liegen (wie z.B. Voice Onset Time) und eher phonetische Hinweise nutzen/differenzieren, die über verschiedene Phonemklassen existieren (z.B. Kooartikulation, Nittrouer & Studdert-Kennedy, 1987). Auch tendierten 4-jährige Kinder eher dazu, Pseudowörter als richtige Wörter zu akzeptieren, wenn sich diese nur im initialen Phonem von einem realen Wort unterschieden, während 5-jährige Kinder diese Pseudowörter eher ablehnten (Walley, 1988). Es gibt jedoch auch Befunde, die gegen die Annahmen der *Lexical Restructuring Hypothesis* sprechen. Beispielsweise fanden Swingley und Aslin (2002, auch Swingley, 2003), dass Kleinkinder im Alter von 14 - 15 Monaten bereits in der Lage waren, geringe Variationen im Sprachsignal zu erkennen, auch wenn die Variation nur in einem phonemischen Merkmal auftrat (z.B. „vyaby“ anstatt „baby“) und die Wörter nur eine kleine Anzahl an phonologischen Nachbarn enthielten. Dies deutet darauf hin, dass auch bei jüngeren Kindern (vor der Wortschatzexplosion) sprachliche Informationen segmental abgespeichert werden können. Obgleich damit Uneinigkeit darüber herrscht, in welchem Ausmaß in der frühen Kindheit lexikalische Repräsentationen differenzierter werden, so belegen diese Befunde, dass dieser Prozess bereits früh im Säuglings- und Kleinkindalter und damit weit vor dem Beginn des Lesenlernens beobachtet werden kann. Im folgenden Abschnitt der Dissertation wird diskutiert, inwiefern der Erwerb eines alphabetischen Schriftsprachsystems *zusätzlich* mit einer Differenzierung mentaler phonologischer Repräsentationen im Vor- und Grundschulalter zusammenhängen könnte, sodass Leser gesprochene Sprache detaillierter verarbeiten. Zwei Faktoren des Lesenlernens könnten dabei eine Rolle spielen: Phonemische Bewusstheit und Buchstabenwissen. Im Folgenden wird zunächst auf das Konzept der phonemischen Bewusstheit, ihrer Entwicklung und insbesondere auf ihren Zusammenhang zum Schriftspracherwerb eingegangen.

2.2. Definition und Entwicklung von phonologischer und phonemischer Bewusstheit

Mentale Repräsentationen von Spracheinheiten sind implizit oder epilinguistisch, das heißt, sie sind dem Bewusstsein nicht direkt zugänglich. Jedoch können sich phonologische Repräsentationen verschiedenen bewussten oder metalinguistischen Leveln von *phonologischer Bewusstheit* zugeordnet werden. Der Terminus der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinne bezeichnet die Fähigkeit, die Lautstruktur der eigenen Sprache bewusst zu reflektieren, wahrzunehmen und manipulieren zu können (Anthony & Francis, 2005; Wagner & Torgesen, 1987). Gemeint sind damit alle sprachspezifischen Fertigkeiten, die die bewusste, explizite und aktive Manipulation von Spracheinheiten wie ganzen Wörtern, Silben und Phonemen ermöglichen, ungeachtet der semantischen Bedeutung des Gehörten. Eine Person, die über eine hohe phonologische Bewusstheit verfügt, ist zum Beispiel in der Lage, Reimbeziehungen zwischen Wörtern zu erkennen und zu bilden (z.B. „Haus - Maus“) oder ganze Wörter in einzelne Silben zu zerlegen (z.B. „Papagei“- „Pa“, „pa“, „gei“). Wird sich im Speziellen auf die bewusste Manipulation von Phonemen bezogen, wird auch von der *phonemischen Bewusstheit* gesprochen. Dies meint beispielsweise das Verständnis einer Person, dass Wörter aus einzelnen Lauten bestehen und in diese segmentiert werden können (z.B. „Kanone“: /k/, /a/, /n/, /o/, /n/, /e/) oder Anlaute vom Wortstamm abstrahiert werden können „Tanne“: /t/ - anne).

Um den Ausprägungsgrad der phonologischen Bewusstheit einer Testperson zu bestimmen, werden explizite Aufgaben zur Erfassung der Fertigkeiten eingesetzt. Diese lassen sich zum einen nach der Größe der zu manipulierenden Spracheinheit (z.B. Silben, Reime oder Phoneme) einordnen. Zum anderen können sie nach ihrer Zugehörigkeit zu zwei latenten Variablen der phonologischen Bewusstheit zugeordnet werden (Wagner, Torgesen, & Rashotte, 1994): Der *phonologischen Analyse*, zu welcher Aufgabentypen wie Phonemelision, -kategorisierung oder -segmentierung gezählt werden und zum anderen der *phonologischen Synthese*, worunter Aufgaben des Phonemblendings fallen, bei denen z.B. einzelne Phoneme erkannt und zu einem Wort zusammengefügt werden (z.B. /k/, /i/, /w/, /i/ - „Kiwi“). Überblicksartig sind derartige Aufgaben in Tabelle 2.1 beispielhaft zusammengetragen.

Tabelle 2.1.

Exemplarische Auflistung von Aufgaben zur Messung phonologischer und phonemischer Bewusstheit.

Name der Aufgabe	Art der Aufgabe	Beispiel
Reimpaarbildung	Identifizierung von sich reimenden Wörtern	Haus - Maus; Last - Rast; Mund - Hund
Phonemelision	Löschen eines einzelnen Phonems (z.B. das erste Phonem) von einem Wort	Tisch → isch; Durst → urst; Wolke → olke
Phonemsegmentierung	Zerlegung eines Wortes in seine einzelnen Phoneme	Glas → /g, /l, /a/, /s/; Hand → /h/, /a/, /n/, /d/; Bär → /b/, /ae/, /r/
Anlauterkennung	Erkennen des ersten Phonems in einem Wort	Gitarre → /g/; Maus → /m/; Kaktus → /k/

Es wird davon ausgegangen, dass sich phonologische Bewusstheit sequentiell von größeren zu kleinen Spracheinheiten entwickelt, angefangen von ganzen Wörtern zu Silben und Onset-Rime-Beziehungen bis hin zu einzelnen Phonemen (Anthony & Lonigan, 2005): Im Alter von etwa 3 - 4 Jahren können Kinder beispielsweise Silben manipulieren und Reimbeziehungen zwischen Wörtern erkennen. Erst später folgt das Bewusstsein für Wortanfänge und der Stellung einzelner Phoneme innerhalb eines Wortes (Carroll, Snowling, Stevenson, & Hulme, 2003). Der normative Entwicklungsverlauf phonologischer Bewusstheit spiegelt demnach den Entwicklungsverlauf lexikalischer Repräsentationen wieder, wie es die *Lexical Restructuring Hypothesis* annehmen würde (Goswami, 2005). Die zunehmende Sensibilisierung von größeren zu kleineren Spracheinheiten scheint dabei insgesamt universell zu sein (vgl. Anthony & Francis, 2005). Dennoch kann es z.B. zwischen den Sprachen Unterschiede geben, wie schnell sich phonologische bzw. phonemische Bewusstheit entwickelt. Eine Rolle bei der Entwicklung spielen beispielsweise auch linguistische Eigenschaften der Sprache, wie z.B. Salienz von einzelnen Segmenten (z.B. von Silben, Cossu, Shankweiler, Liberman, Katz, & Tola, 1988; Durgunoğlu &

Öney, 1999) oder Wortkomplexität (Caravolas & Bruck, 1993). Schließlich wird die Entwicklung phonologischer und phonemischer Bewusstheit auch von allgemeinen, intraindividuellen Faktoren wie der Größe des Wortschatzes und Exekutivfunktionen (Blair & Razza, 2007; Carroll et al., 2003; Wasserstein & Lipka, 2019) gesteuert.

Unabhängig vom Entwicklungsverlauf sind Fertigkeiten der phonologischen bzw. phonemischen Bewusstheit bereits im Vorschulalter und auch im Grundschulalter trainierbar. Beispielsweise wurden in einer Interventionsstudie von Lundberg, Frost, und Petersen (1988) dänische Vorschulkinder ohne Lesekenntnisse 8 Monate lang täglich ca. 15 - 20 Minuten in verschiedenen Aufgaben zur phonologischen Bewusstheit trainiert, darunter Reimaufgaben, Silbenklatschen und Phonemsegmentierung. Nach dem Training zeigten sich bei den Kindern die im Training erhalten hatten Effekte des Trainings auf die Leistungen in den Tests zur phonologischen Bewusstheit, die sich vor allem in den Aufgaben zur Phonemsegmentierung widerspiegelten. Ähnliche Ergebnisse konnten in einer Trainingsstudie auch für deutschsprachige Vorschulkinder repliziert werden (Schneider, Kuspert, Roth, Vise, & Marx, 1997).

2.3. Phonemische Bewusstheit und Schriftspracherwerb

Der Ausprägungsgrad von Fertigkeiten, die mit der expliziten phonologischen Verarbeitung verbunden sind, ist eng assoziiert mit späteren Lesefertigkeiten (siehe z.B. Ehri, Nunes, Stahl, & Willows, 2001; Melby-Lervag, Lyster, & Hulme, 2012 für Meta-Analysen). Eine große Anzahl an Studien dokumentierte, dass zwischen dem Ausprägungsgrad von phonologischer Bewusstheit und Lesefertigkeiten ein positiver Zusammenhang besteht (Wagner & Torgesen, 1987, für ein Review). Robuste Zusammenhänge zur Leseperformanz bei Kindern ließen sich jedoch hauptsächlich mit der Fähigkeit zur Manipulation von Phonemen (Phonemanalyse und Phonemsynthese) nachweisen (Melby-Lervag et al., 2012). Diese Zusammenhänge blieben laut der Meta-Analyse auch bestehen, nachdem für Drittvariablen wie frühe Lesefertigkeiten bei Vorschulkindern, Wortschatz oder allgemeine Intelligenz kontrolliert wurde. Bezüglich der größerer Spracheinheiten wie Silben oder Reimbeziehungen gibt es widersprüchliche Ergebnisse; insgesamt deutet die

Forschungslage hier eher auf geringe Zusammenhänge hin, obgleich auch diskutiert wird, ob Silben und Reime weniger für die erste Lesephase wichtig sind, sondern eher erst in späteren Stadien des Leseerwerbs zum Tragen kommen (Castles & Coltheart, 2004). Festzuhalten ist dabei, dass ein Großteil der Studien (insbesondere derer, die in Meta-Analysen untersucht wurden) im englischsprachigen Raum durchgeführt wurden. Inwiefern Kinder verschieden große Sprachsegmente (Phoneme, Silben etc.) mit geschriebener Sprache verknüpfen wird jedoch auch vom Grad der orthographischen Konsistenz der Sprache bestimmt. Mit der orthographischen Konsistenz ist gemeint, wie verlässlich ein Laut mit einem Graphem verknüpft werden kann. Orthographisch-konsistentere Sprachen (wie z.B. die finnische oder auch die deutsche Sprache) weisen Graphemcluster auf, die in der Regel immer gleich ausgesprochen werden können. In weniger konsistenten Sprachen, dabei vor allem das Englische, können Graphemcluster wie „-ough“ viele unterschiedliche Aussprachemöglichkeiten aufweisen (z.B. „bough“, dt. Ast; „cough“, dt. Husten; „dough“, dt. Knete; Ziegler, Stone, & Jacobs, 1997) oder gleiche Phoneme unterschiedliche Schreibweisen besitzen (z.B. „bear“ [dt. Bär] und „bare“ [dt. nackt]). Die Dichte der orthographischen Konsistenz wirkt sich dabei möglicherweise darauf aus, wie stark prädiktiv phonologische Bewusstheit für die Lesefertigkeiten wirkt. So fanden beispielweise Georgiou et al. (2012), dass phonologische Bewusstheit, Buchstabenwissen und Benennungsgeschwindigkeit bei englischsprachigen Vorschulkindern gleichermaßen prädiktiv für die Leseleistung von Pseudowörtern in der zweiten Klasse wirkten. Bei finnischsprachigen Vorschulkindern, in deren Sprache Phoneme und Grapheme konsistent korrespondieren, hielt phonemische Bewusstheit keinen prädiktiven Wert für die Leseleistung von Pseudowörtern in der zweiten Klasse. In diesem Zusammenhang wurden für auch für den deutschsprachigen Raum Meta-Analysen angefertigt (Fischer & Pfost, 2015; Wolf, Schroeders, & Kriegbaum, 2016). Hierbei wurden Wirksamkeitsnachweise von Trainingsstudien zur phonologischen und phonemischen Bewusstheit zusammengetragen, die mit deutschsprachigen Vorschulkindern durchgeführt wurden. Diese Meta-Analysen bestätigten die Ergebnisse internationaler Meta-Analysen insofern, als dass sich die Trainings positiv sowohl kurzfristig auf die phonologische Bewusstheit, als auch langfristig auf spätere Leseleistungen auswirkten. Jedoch zeigte sich, dass Trainings im deutschsprachigen Raum deutlich geringere Effektstärken aufwiesen, als Studien aus dem internationalen

(meist englischsprachigen) Raum. Gut ausgeprägte Fähigkeiten in der phonologischen und phonemischen Bewusstheit könnten demnach insbesondere bei orthographisch-inkonsistenten Sprachen wie dem Englischen wichtig sein, da die Graphem-Phonem-Korrespondenzen weniger eindeutig ausfallen als in orthographisch-konsistenten Sprachen.

In der Literatur wird der Zusammenhang zwischen metalinguistischen Fertigkeiten der phonologischen Bewusstheit und späteren Lesefertigkeiten oft als Kausalzusammenhang bezeichnet (z.B. Lundberg, 1991). Grundlage für diese Annahme waren dabei die Befunde aus groß angelegten Trainings- und Längsschnittstudien, in denen Vorschulkinder in phonologischer Bewusstheit trainiert wurden und die Effekte des Trainings auf die Lesefertigkeiten in späteren Messzeitpunkten evaluiert wurde (Castles & Coltheart, 2004). Die Trainings wirkten hierbei spezifisch auf die Leseleistungen und phonologische Bewusstheit, nicht aber auf mathematische Leistungen oder allgemeine Sprachfertigkeiten wie Vokabelwissen oder verbales Textverständnis (Lundberg et al., 1988; Schneider et al., 1997). Die Annahme des Kausalzusammenhangs wird jedoch sehr kritisch diskutiert, da in vielen der durchgeführten Längsschnittstudien methodische oder konzeptuelle Schwächen (z.B. Fehlen einer Kontrollgruppe oder geeigneter Lesemaße) die Schlussfolgerung einer Kausalität nicht zulassen. Auch gibt es viele Trainingsstudien, in denen keine Effekte auf die späteren Leseleistungen gefunden wurden (für eine ausführliche Diskussion siehe Castles & Coltheart, 2004). Insgesamt scheint die Wirksamkeit von Trainingsstudien daher stark von der methodischen Konzeption abzuhängen. Im Dunkelfeld bleibt dabei zudem auch, wie groß der Anteil an Trainingsstudien ist, die aufgrund von Nulleffekten nicht veröffentlicht wurden.

Auch die andere Richtung des Wirkungszusammenhangs zwischen phonologischer Bewusstheit und Schriftspracherwerb wurde ausführlich in der Vergangenheit untersucht. Es gilt als gesichert, dass der Schriftspracherwerb und die damit einhergehende Aneignung von Buchstabenwissen die Entwicklung von phonemischer Bewusstheit begünstigt. Diese Annahme wurde insbesondere durch Ergebnisse aus Studien mit erwachsenen Analphabeten unterstützt. Eine der bekanntesten Studien aus diesem Bereich wurde von Morais, Cary, Alegria und Bertelson (1979) mit portugiesischen Probanden durchgeführt. Hierbei wurde untersucht, inwieweit sich

erwachsene Analphabeten in ihren Leistungen zur Phonemsegmentierung von gleichaltrigen Ex-Analphabeten unterschieden. Die Probanden wurden dabei gebeten, einzelne Phoneme am Wortanfang von Pseudowörtern zu addieren oder zu entfernen. In dieser Untersuchung zeigte sich, dass Ex-Analphabeten deutlich bessere Leistungen in diesen Aufgaben abriefen als Probanden, die nicht lesen konnten. Morais et al. (1979) argumentierten, dass die Ergebnisse ihrer Studie darauf hindeuten, dass sich phonemische Bewusstheit nicht in Zuge allgemeiner kognitiven Reifung, sondern durch die Aneignung der Schriftsprache entwickle. Neben Phonemaddition und -eliminierung (Lukatela, Carello, Shankweiler, & Liberman, 1995; Morais et al., 1979) wiesen Analphabeten verminderte Leistungen bei weiteren Aufgabentypen auf, insbesondere dann, wenn Phoneme manipuliert werden sollten (z.B. Phonemtausch, Adrián, Alegria, & Morais, 1995; Wortlängenbestimmung, Kolinsky, Cary, & Morais, 1987; Pseudowortwiederholung, Reis & Castro-Caldas, 1997).

Auch Ergebnisse aus crosslinguistischen Vergleichen belegen, dass Buchstabenwissen sich positiv auf die Entwicklung phonemischer Bewusstheit auswirkt: So erzielten amerikanische Vorschulkinder, welche im Kindertagcurriculum explizit Buchstaben und Buchstaben-Laut-Korrespondenzen lernten, deutlich höhere Leistungen in Aufgaben wie Phonemerkennung und -löschung als Kinder aus Deutschland, die über kein Buchstabenwissen verfügten (Mann & Wimmer, 2002). Außerdem konnte gezeigt werden, dass vor allem die Aneignung eines alphabetischen Schriftsprachsystems entscheidend für die Entwicklung phonemischer Bewusstheit ist (Cheung, Chen, Lai, Wong, & Hills, 2001; Read, Zhang, Nie, & Ding, 1986). So fanden Read et al. (1986), dass chinesischesprachige Probanden, die über Kenntnisse der alphabetischen Schrift verfügten, besser darin waren, Phoneme an Wortanfänge von Pseudowörtern zu addieren oder zu entfernen als chinesischesprachige Probanden, die ausschließlich Kenntnisse im logographischen Schriftsystem aufwiesen. Dieses Ergebnis spricht dafür, dass die phonemische Bewusstheit sich in alphabetischen Schriftsystemen, in denen einzelne Phoneme durch Grapheme repräsentiert werden, verbessert.

Die Ergebnisse von Studien wie Morais et al. (1979) wurden dahingehend interpretiert, phonemische Bewusstheit im Zuge des Schriftspracherwerbs erworben wird und daher ein „Produkt“ orthographischen Wissens sei. Beispielsweise argumentierten Castles

und Coltheart (2004), dass Leser möglicherweise das abgespeicherte „Bild“ des Buchstabens als Referenzhilfe nutzen, wenn sie Aufgaben bearbeiten, in denen einzelne Phoneme manipuliert werden sollten. Nach dieser Ansicht könnte phonemische Bewusstheit nicht vor dem Erwerb von orthographischen Wissens auftreten. Dieser Ansicht widersprechen jedoch Ergebnisse aus Studien wie Hulme, Caravolas, Malkova und Brigstocke (2005), in der Kinder im Alter von 5 - 6 Jahren in der Lage waren, Phoneme von Wörtern zu isolieren, auch wenn sie den Buchstaben zu dem Laut nicht kannten (siehe auch z.B. Caravolas & Bruck, 1993; Cossu et al., 1988 für Nachweise von phonemischer Bewusstheit in Kindern ab einem Alter von 4 Jahren; Duncan, Colé, Seymour, & Magnan, 2006). Auch zeigten sich positive Trainingseffekte auf die Leistungen in der phonemischen Bewusstheit in Interventionsstudien, die ausschließlich phonemische Bewusstheit bei nicht-lesenden Vorschulkindern trainierten, aber keine Buchstabenrelationen als Bestandteil der Trainingseinheiten enthielten (Lundberg et al., 1988). Derartige Ergebnisse sprechen dafür, dass sich phonemische Bewusstheit auch in Abwesenheit von Buchstabenwissen entwickeln kann.

Der enge Zusammenhang zwischen phonemischer Bewusstheit und Buchstabenwissen erfolgt aus der Laut-Buchstaben-Konversion, die in alphabetischen Schriftsystemen vorliegt. In der initialen Phase des Schriftspracherwerbs lernen Kinder zunächst die Korrespondenzen, die zwischen einzelnen Lauten und Buchstaben liegen. Damit Kinder das alphabetische Prinzip ihrer Schriftsprache verstehen, muss ein Grundverständnis dafür bestehen, dass sich Wörter aus einzelnen Lauten zusammensetzen (z.B. dass das Wort „Garten“ aus sechs Phonemen besteht, /g/, /a/, /r/, /t/, /e/, /n/). Daraufhin lernen Leseanfänger, dass jedem dieser Laute ein Buchstabe bzw. ein Graphem zugeordnet werden kann (G, A, R, T, E, N). Es wird angenommen, dass phonemische Bewusstheit vom Erlernen der Graphem-Phonem-Korrespondenz profitiert, da Phoneme in der gesprochenen Sprache keine unabhängige Realisation haben und durch Koartikulation nur bedingt voneinander trennbar sind (Anthony & Francis, 2005). Grapheme stellen in diesem Kontext eine konkrete Realisation eines Phonems dar, die beginnende Leser nutzen können, um Phoneme segmentiert verarbeiten zu können.

Der aktuelle Forschungsstand geht von einer bidirektionalen Beziehung zwischen der Entwicklung phonemischer Bewusstheit und dem Schriftspracherwerb bzw. der Aneignung orthographischen Wissens aus (Castles & Coltheart, 2004; Perfetti et al., 1987; Wagner et al., 1994). Sowohl phonemische Bewusstheit als auch Buchstabenwissen stellen dabei Kompetenzen dar, die im Zuge des Schriftspracherwerbs angeeignet werden. Ihre Entwicklung verläuft damit in Teilen parallel.

Der enge Zusammenhang zwischen phonemischer Bewusstheit und Buchstabenwissen stellte den Ausgangspunkt der empirischen Arbeiten dar, die im Rahmen des Dissertationsprojektes durchgeführt wurden. Im folgenden Abschnitt werden empirische Befunde vorgestellt, die den Zusammenhang zwischen dem Schriftspracherwerb und phonologischer Verarbeitung gesprochener Sprache untersuchen. Dabei ist es jedoch unklar, ob der Schriftspracherwerb auditive Sprachverarbeitung über phonologische Aspekte des Lesenlernens (phonemische Bewusstheit) oder über graphemische Informationen (Buchstabenwissen) modifiziert, da beide Faktoren sich gegenseitig begünstigen.

3. Phonologische Verarbeitung gesprochener Sprache und der Schriftspracherwerb

Seit etwa 30 - 40 Jahren wird in zunehmend mehr Studien untersucht, inwiefern sich der Schriftspracherwerb auf die Wahrnehmung und Verarbeitung gesprochener Sprache auswirkt. Obwohl orthographische Informationen in den gängigen Modellen des lexikalischen Zugriffs nicht explizit berücksichtigt werden (siehe Punkt 1.2.), weist eine wachsende Anzahl an Befunden darauf hin, dass bei Lesern orthographische Informationen mit der Verarbeitung gesprochener Sprache zu interferieren scheinen. Theoretische Annahmen, die diese Effekte zu erklären versuchen, unterscheiden sich zum einen darin, auf welchem Level der Sprachverarbeitung (früh oder spät) orthographische Interferenzen mit der Sprachverarbeitung anzusiedeln seien. Zum anderen gibt es verschiedene Annahmen darüber, ob graphemische Repräsentationen direkt beim Hören gesprochener Sprache mitaktiviert werden oder es im Zuge des Schriftspracherwerbs zu einer Restrukturierung des phonologischen

Systems kommt, die sich auch auf die Struktur der zugrundeliegenden phonologischen Repräsentationen auswirkt.

3.1. Empirische Befunde zum Zusammenhang zwischen Verarbeitung gesprochener Sprache und dem Schriftspracherwerb auf postlexikalischer Ebene

Verschiedene experimental-empirische Studien liefern Belege, dass orthographisches Wissen mit der Verarbeitung von gesprochener Sprache interferiert. Dies wurde insbesondere in Studien nachgewiesen, die metalinguistische Aufgaben anwendeten. In einer der ersten Studien in diesem Bereich präsentierten Seidenberg und Tanenhaus (1979) mittels einer Reimüberwachungsaufgabe in mehreren Experimenten den Probanden zunächst auditiv eine Liste an Zielwörtern (z.B. „knee“, dt. Knie). Im Anschluss hörten die Versuchsteilnehmer eine Liste von semantisch unrelatierten Wörtern, von denen sie ein Wort auswählen sollten, welches sich mit dem Zielwort reimte. Reimwörter, die dem Zielwort orthographisch ähnelten (z.B. „tree“, dt. Baum) wurden schneller erkannt, als Reimwörter, die orthographisch unähnlich waren (z.B. „key“, dt. Schlüssel). Neben Reimüberwachungsaufgaben wurden orthographische Effekte auch in anderen experimentellen metalinguistischen Aufgaben wie Phonem-Monitoring (Dijkstra, Roelofs, & Fieuchs, 1995; Hallé, Chéreau, & Segui, 2000), lexikalischen Entscheidungsaufgaben (Petrova, Gaskell, & Ferrand, 2011; Ventura, Morais, & Kolinsky, 2007) und Blending Tasks (Ventura, Kolinsky, Brito-Mendes, & Morais, 2001) gefunden.

Auch bei Kindern konnte nachgewiesen werden, dass es bei der Wahrnehmung gesprochener Sprache bei metalinguistischen Aufgaben zu Interferenzen durch das erworbene orthographische Wissen kommt (Castles, Holmes, Neath, & Kinoshita, 2003; Ehri & Wilce, 1980; Tunmer & Nesdale, 1985; Ventura et al., 2007). In einer Studie von Ehri und Wilce (1980) wurde untersucht, inwiefern die Kenntnis von Buchstaben und die Schreibweise von Wörtern einen Effekt darauf hatte, wie Viertklässler die phonemische Struktur eines Wortes konzeptualisierten. Den Kindern wurden auditiv Wörter wie „pitch“ (dt. Tonhöhe) und „rich“ (dt. reich) präsentiert und gebeten, die Anzahl der Phoneme in den Wörtern zu bestimmen. In beiden Wörtern

findet sich eine artikulatorische Realisation des Phonems /t/, jedoch ist dies in der Schreibweise nur bei „pit̥ch“ orthographisch realisiert. Die Ergebnisse zeigten, dass die Kinder die zusätzliche artikulatorische Realisation von z.B. /t/ in den Wörtern erkannten bzw. ignorierten in Abhängigkeit davon, ob das Segment auch orthographisch im Wort realisiert war. Die Autoren schlossen, dass Kinder bei der Verarbeitung der gesprochenen Sprache zusätzliche Informationen wie das Wissen über die Schreibweise des Wortes berücksichtigten. Ähnliche Ergebnisse wurden auch mit Erstklässlern repliziert (Tunmer & Nesdale, 1985), was darauf schließen lässt, dass bereits in einem frühen Stadium des Leseerwerbs Kinder orthographisches Wissen nutzen, wenn sie gesprochene Sprache bewusst verarbeiten.

Als eines der bekanntesten Ergebnisse aus der Forschung in diesem Gebiet gilt der *orthographische Konsistenzeffekt*. Mittels einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe zeigten Ziegler und Ferrand (1998), dass Probanden schneller und akkurater reagierten, wenn Reimpaare sich sowohl phonologisch als auch orthographisch ähnlich waren (z.B. „house - mouse“, dt. Haus - Maus) als wenn die Reimpaare zwar ähnlich klangen, aber eine unterschiedliche Schreibweise aufwiesen (z.B. „flow - though“, dt. fließen - dennoch). Der orthographische Konsistenzeffekt wurde vor allem in der Forschungsgruppe um Johannes Ziegler in zahlreichen Studien mit Erwachsenen in verschiedenen Sprachen repliziert (z.B. Pattamadilok, Morais, Colin, & Kolinsky, 2014; Pattamadilok, Morais, Ventura, & Kolinsky, 2007; Perre, Bertrand, & Ziegler, 2011; Ventura, Morais, Pattamadilok, & Kolinsky, 2004; Ziegler, Ferrand, & Montant, 2004; Ziegler, Petrova, & Ferrand, 2008). Auch wurde er bei beginnenden Lesern nachgewiesen, jedoch nicht bei Vorschulkindern, die noch nicht lesen konnten (z.B. Goswami, Ziegler, & Richardson, 2005; Ventura et al., 2007). Der orthographische Konsistenzeffekt scheint zudem weniger stark oder abwesend in Kindern mit Leseschwierigkeiten zu sein (Desroches et al., 2010; Zecker, 1991; Ziegler & Muneaux, 2007).

Metalinguistische Aufgaben (wie Reimüberwachungsaufgaben, die lexikalische Entscheidungsaufgabe, etc.) erfordern vom Probanden die bewusste Manipulation bzw. Verarbeitung der gehörten Sprachinhalte. Die Verarbeitung erfolgt dabei postlexikalisch, das heißt in einem Zeitfenster, in dem der lexikalische Zugriff bereits abgeschlossen und das Wort erkannt ist. Auf Grundlage dessen wird von einigen

Forschern argumentiert, dass sogenannte „orthographische Effekte“ mit der Verarbeitung von gesprochener Sprache vordergründig offline, d.h. indirekt *ohne* Beteiligung mentaler unterliegender Repräsentationen, interferieren (Cutler & Davis, 2012; Cutler, Treiman, & van Ooijen, 2010; Mitterer & Reinisch, 2015). Im Folgenden wird diese Argumentation als der *explizit phonologische Ansatz* bezeichnet.

Vertreter des explizit phonologischen Ansatzes sehen geringfügige Relevanz von orthographischen Wissen für frühe, implizite Verarbeitungsprozesse, die den lexikalischen Zugriff einschließen. Demnach würden orthographische Repräsentationen erst dann aktiviert, nachdem der lexikalische Zugriff bereits abgeschlossen ist. Dies bedeutet, dass orthographische Repräsentationen keine Rolle bei der frühen Worterkennung spielen (Mitterer & Reinisch, 2015). Stattdessen liegt der Kern der Annahme darin, dass orthographisches Wissen mit späten, strategischen Mechanismen interferiert, die sich auf die Performanz in explizit metalinguistischen Aufgaben auswirken. Dies schließt alle Typen von Aufgaben ein, bei denen der Proband eine bewusste Analyse des Sprachmaterials durchführen muss, wie es zum Beispiel bei Aufgaben zur phonologischen Bewusstheit der Fall ist. Castles et al. (2003) argumentieren, dass durch den Schriftspracherwerb nicht die Detailliertheit der expliziten Sprachverarbeitung im Kern verändert wird (d.h. die Fähigkeiten z.B. zur Phonemidentifikation werden nicht besser), sondern die Art und Weise, wie Leser metalinguistische Aufgaben bearbeiten. In diesem Falle würde es durch den Schriftspracherwerb beispielsweise nicht zu einer Restrukturierung phonologischer Repräsentationen kommen. Stattdessen könnten laut Castles et al. (2003) orthographische Informationen kurzfristig im Arbeitsgedächtnis genutzt werden. Indirekt könnte der Schriftspracherwerb außerdem dazu führen, dass lesende Kinder über einen größeren Wortschatz verfügen als nicht-lesende Kinder (Stanovich & Cunningham, 2001). Dadurch könnten im mentalen Lexikon der Leser also mehr Wortkandidaten beim lexikalischen Zugriff zur Auswahl und in Konkurrenz bei der Aktivierung stehen, was die Schnelligkeit bei der Worterkennung modulieren könnte.

Dass orthographische Informationen bei der frühen automatisierten Worterkennung keine oder eine geringfügige Rolle spielen, sehen Vertreter des expliziten Ansatzes wie Mitterer und Reinisch (2015) darin begründet, dass orthographische Effekte in experimentellen Studien aufgabenspezifisch auftreten. Sie kritisieren, dass in den

meisten Studien, die Nachweise von orthografischen Effekten bei der auditiven Sprachwahrnehmung erbracht haben, Aufgabentypen verwendet wurden, die im Kern metalinguistische Fähigkeiten, aber nicht implizite Sprachverarbeitung testen. Eine bewusste Bearbeitung des Sprachinhaltes erfolgt demnach auch z.B. bei der lexikalischen Entscheidungsaufgabe, welche auch in den Studien der vorliegenden Dissertation zum Einsatz kam. Lassen sich bei derartigen Aufgaben orthographische Effekte auf Reaktionszeiten finden, könne nicht ausgeschlossen werden, dass diese vordergründig auf strategische Mechanismen bei der Bearbeitung der Aufgaben zurückgehen (Mitterer & Reinisch, 2015). Für diese Argumentation spricht, dass beispielsweise der orthographische Konsistenzeffekt in einigen Studien nicht oder nur sehr schwach nachgewiesen werden konnte, wenn eine implizite Aufgabe wie das Shadowing verwendet wurden (Pattamadilok, Morais, Vyllder, Ventura, & Kolinsky, 2009; Ventura et al., 2004; Ziegler et al., 2004). Beim Shadowing wird der Proband gebeten, auditiv präsentierte Wörter mündlich zu wiederholen, wobei keine bewusste Manipulation oder Entscheidung über den lexikalischen Status des Wortes vorgenommen werden muss. Allerdings ist die Befundlage zum Shadowing nicht eindeutig, da in manchen Studien der orthographische Konsistenzeffekt oder orthographische Nachbarschaftseffekte in Shadowing-Aufgaben gefunden werden konnten (Ventura et al., 2007; Ziegler, Muneaux, & Grainger, 2003).

3.2. Empirische Befunde zum Zusammenhang zwischen Verarbeitung gesprochener Sprache und dem Schriftspracherwerb auf prälexikalischer Ebene

Andere Befunde sprechen dafür, dass die Verarbeitung der auditiven Sprachwahrnehmung bei Lesern bereits auf frühen, prälexikalischen Verarbeitungsstufen erfolgt. Um etwaige strategische Einflüsse zu minimieren, wurden dabei Aufgaben durchgeführt, die Rückschlüsse auf eine Aktivierung lexikalischer Repräsentationen zulassen. Beispielsweise konnten in unimodal auditiven Priming-Studien orthographische Effekte nachgewiesen werden (Chéreau, Gaskell, & Dumay, 2007; Jakimik, Cole, & Rudnicky, 1985; Slowiaczek, Soltano, Wieting, & Bishop, 2003). Wörter wurden hierbei schneller erkannt, wenn z.B. der vorangegangene auditiv dargebotene Prime phonologisch und orthographisch ähnlich zum Zielwort war (z.B.

„pie - tie“, dt. Pastete - Krawatte), als wenn der Prime nur phonologisch ähnlich war (z.B. „guy - tie“, dt. Kerl - Krawatte). Taft, Castles, Davis, Lazendic und Nguyen-Hoan (2008) argumentierten, dass eine Priming-Anordnung zwar prinzipiell eine Möglichkeit dargestellt, Rückschlüsse auf den Zugriff mentaler Repräsentationen zu schließen, da die experimentelle Manipulation am Prime vorgenommen wird und nicht am lexikalischen Status des Zielwortes. Allerdings könne nicht ausgeschlossen werden, dass strategische Mechanismen auf die Reaktionszeiten wirken. Dies könne dadurch geschehen, dass sich Probanden der orthographischen Relation zwischen Prime und Zielwort bewusst sind und diese Informationen für die lexikalische Entscheidung nutzen.

In der Studie von Taft et al. (2008) wurde versucht, diese strategischen Effekte zu minimieren, indem mit den Probanden ein maskiertes pseudohomographisches Priming durchgeführt wurde. Dadurch sollte erreicht werden, dass die Probanden nicht auf Beziehung zwischen Prime und Zielwort schließen konnten. Unter einem Pseudohomograph werden gesprochene Pseudowörter verstanden, die geschrieben werden können wie real existierende Wörter (z.B. das Pseudowort /dri:d/, das sich mit „bead“ [dt. Perle] reimt und wie „dread“, [dt. Furcht] geschrieben werden kann). Den Teilnehmern wurden Prime-Zielwort-Kombinationen präsentiert, bei denen Zielwörtern entweder ein Pseudohomograph als Prime (z.B. „/dri:d/ - dread“) vorgeschaltet wurde oder ein Pseudowort, das dem Zielwortphonologisch aber nicht orthographisch ähnelte (z.B. /ʃri:d/, das sich mit „bead“ reimt, aber nicht wie „dread“ geschrieben werden kann). Zusätzlich wurden die Primes bei der Präsentation auditiv maskiert. Es zeigte sich, dass Zielwörter schneller erkannt wurden, wenn sie mit dem Prime phonologisch und orthographisch übereinstimmten, als wenn die Übereinstimmung nur phonologisch war. Dies spricht für eine Beteiligung orthographischer Informationen bei der Aktivierung mentaler Repräsentationen.

Für die Untersuchung früher impliziter Sprachprozesse eignen sich neurophysiologische Messmethoden wie das EEG (siehe Punkt 1.3.3.). So konnte der zeitliche Punkt des orthographischen Konsistenzeffektes auf etwa 300 ms nach Einsetzen des Zielwortes lokalisiert werden (Perre et al., 2011; Perre, Pattamadilok, Montant, & Ziegler, 2009; Perre & Ziegler, 2008). Der orthographische Konsistenzeffekt tritt demnach noch vor dem Wortfrequenzeffekt auf (Perre et al.,

2009), der als Marker für den lexikalischen Zugriff (ab ca. 400 ms) interpretiert wird. Es scheint also, dass orthographische Informationen bereits in einem sehr frühen Zeitfenster in der phonologischen Verarbeitung und vor dem postlexikalischen Level berücksichtigt werden.

Studien, die auf Wortlevel z.B. den orthographischen Konsistenzeffekt untersuchten, bezogen sich vordergründig darauf, inwiefern konsistente oder variierende Schreibweise das Erkennen eines gesprochenen Wortes beeinflusst. Inwiefern orthographische Effekte mit der Sprachverarbeitung interferieren, kann neben dem Wortlevel auch auf dem Phonemlevel betrachtet werden. Hierbei können vor allem Prozesse in der initialen Phase des Schriftspracherwerbs betrachtet werden, die sich auf die Bildung von Graphem-Phonem-Korrespondenzen beziehen. Untersucht werden kann dadurch beispielsweise, inwiefern einzelne Buchstaben durch das gezielte Mapping die mentalen Repräsentationen der Phoneme modifizieren könnten.

In einer Studie von Schild et al. (2011) wurde dabei indirekte Evidenz für eine Beteiligung des Schriftspracherwerbs bei der Modifikation von phonologischen Repräsentationen auf Phonemebene gefunden. In einem Querschnitt wurden in dieser Studie deutschsprachige beginnende Leser (Zweitklässler und 6-jährige Vorschulkinder, die bereits vor dem Eintritt in die Schule das Lesen erlernt hatten) und noch nicht-lesende 6-jährige Vorschulkinder darauf hin getestet, inwiefern sie phonologische Variationen im Sprachsignal für den lexikalischen Zugriff nutzten. Unter Verwendung eines Wort Fragment Primings (siehe Punkt 1.3.2.) wurden den Kindern Prime-Zielwort-Kombinationen vorgespielt, die phonologisch identisch waren (z.B. „Mon - Monster“), im initialen Phonem im Artikulationsort abwichen (z.B. „Non - Monster“) oder unrelatiert waren (z.B. „Dak - Monster“). Als abhängige Variablen dienten Reaktionszeiten und EKP. Hierbei wurde in einem Zeitfenster von 300 bis 400 ms nach Beginn des Zielwortes (siehe Punkt 1.3.3. P350-Effekt) ein gradueller Priming-Effekt bei lesenden Kindern (Zweitklässler und lesende Vorschulkinder) gefunden. Identische Prime-Zielwort-Kombinationen wurden daher leichter verarbeitet, als Kombinationen mit initialer Variation im Artikulationsort. Dies replizierte frühere Ergebnisse mit Erwachsenen (z.B. Friedrich et al., 2009; Schild, Röder, & Friedrich, 2012). Im Gegensatz dazu unterschieden sich bei noch nicht-lesenden Vorschulkindern identischen und abweichenden Prime-Zielwort-Kombinationen nicht.

Dies spricht für eine Toleranz von phonemischer Variation beim lexikalischen Zugriff. Weil gleichaltrige lesende Vorschulkinder eine ähnliche phonemische Sensitivität wie lesende Grundschüler und Erwachsene aufwiesen, wurden die Gruppenunterschiede auf die Erfahrungen mit dem Schriftspracherwerb zurückgeführt (Schild et al., 2011). In einer weiteren Studie wurde untersucht, inwiefern nicht-lesende 6-jährige Vorschulkinder und 8-jährige beginnende Leser nicht nur phonemische Variationen, sondern auch Variationen in der Betonung verarbeiteten. Dabei wurden den Kindern Prime-Zielwort-Kombinationen präsentiert, bei denen entweder die Betonung und die Phoneme zwischen Prime und Zielwort identisch waren (z.B. „MON – MONster“, erste Silbe betont, Phonem identisch), nur die Betonung übereinstimmte, aber nicht die Phoneme (z.B. „TEP - MONster“), die Betonung nicht übereinstimmte, aber die Phoneme (z.B. „mon – MONster“) oder in der Prime und Zielwort weder in Betonung noch in den Phonemen passten (z.B. „tep – MONster“). Hierbei wurden für lesende und nicht-lesende Kinder lediglich Effekte des Phonem-Primings gefunden, jedoch keine Effekte für Manipulationen in der Betonung (Schild et al., 2014). Da Betonung im deutschen Schriftsprachsystem nicht enkodiert ist, wurde argumentiert, dass insbesondere Variationen in schriftsprachrelevanten Elementen wie Phoneme von Lesern und nicht-Lesern unterschiedlich verarbeitet werden.

Es ist bis dato in der Literatur umstritten wie sich der Schriftspracherwerb auf die Wahrnehmung gesprochener Sprache bereits auf früherer Verarbeitungsebene auswirkt. In der Literatur werden insbesondere zwei Erklärungsansätze diskutiert. Eine Position nimmt die direkte und automatische Aktivierung graphemischer Repräsentationen an und wird im Folgenden als *implizit orthographisch-phonologischer Ansatz* vorgestellt.

Der implizit orthographisch-phonologische Ansatz geht davon aus, dass bei der Verarbeitung gesprochener Sprache auf der prälexikalischen Ebene neben phonologischen auch graphemische Repräsentationen automatisch mitaktiviert werden und sie so den lexikalischen Zugriff modulieren (Ziegler & Ferrand, 1998; Ziegler et al., 2003). Die Annahme einer automatischen Aktivierung von orthographischen Repräsentationen ist im bimodalen interaktiven Aktivierungs-Modell (engl. *Bimodal Interactive Activation Model*, BIA-Modell) implementiert, welches auf dem interaktiven Aktivierungs-Modell von McClelland und Rumelhart (1981) beruht

und erstmalig in dieser Form von Grainger und Ferrand (1994) vorgeschlagen wurde. Die theoretischen Überlegungen des Modells basieren ursprünglich auf Befunden zur visuellen Sprachwahrnehmung, die zeigten, dass phonologische Repräsentationen mit der Verarbeitung visuell dargebotener Wörter interferieren (z.B. Grainger & Ferrand, 1994). Der theoretische Aufbau des Modells ist in Abbildung 3.1. veranschaulicht.

Abbildung 3.1. Theoretischer Aufbau des bimodalen interaktiven Aktivierungs-Modells

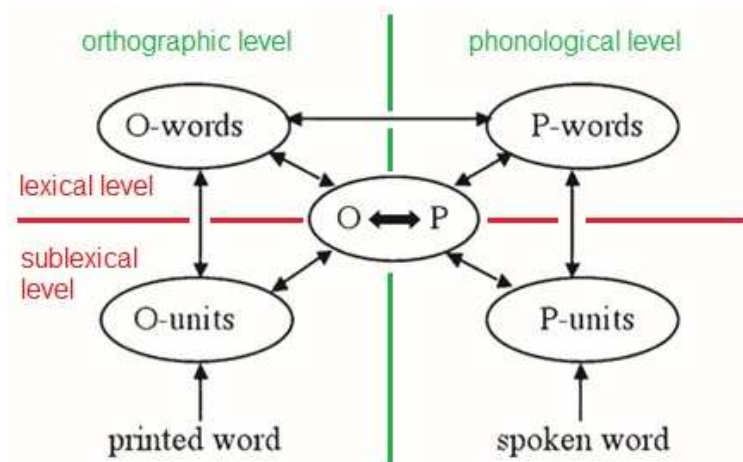


Abbildung 3.1. Theoretischer Grundaufbau des bimodalen interaktiven Aktivierungs-Modells, modifiziert nach Grainger, Muneaux, Farioli und Ziegler (2005). Zusätzlich eingefügt sind die Markierungen für die lexikalische und prälexikalische Ebene (in roter Farbe: lexical/sublexical level) sowie für die orthographische und phonologische Ebene (in grüner Farbe: orthographic/phonological level) für eine bessere Visualisierung. Die einzelnen Bestandteile des Modells sind dabei das zentrale Interface (O ↔ P) sowie orthographische und phonologische Einheiten auf lexikalischer Ebene (O-words/P-words) als auch prälexikalischer Ebene (O-units/P-units).

Das Modell besteht aus einem orthographischen und einem phonologischen Pfad mit prälexikalischer und lexikalischer Ebene. Die Verbindungen innerhalb der lexikalischen Ebenen sind inhibitorisch, während die Verbindungen zwischen der prälexikalischen und lexikalischen Ebenen exzitatorisch wirken. Im zentralen Interface (O ↔ P) werden phonologische auf orthographische Informationen und vice versa über Graphem-Phonem-Korrespondenzen verbunden. Nach der Vorstellung des Modells können orthographische Repräsentationen bei der auditiven Sprachverarbeitung über das zentrale Interface und die exzitatorischen Verbindungen zwischen den Ebenen mitaktiviert werden. Wird ein Wort (z.B. „Blume“) gehört, wird demnach zunächst die prälexikalische phonologische Repräsentation (P-units; /b/, /l/, /u/, /m/, /e/) aktiviert.

Über exzitatorische Verbindungen wird dann auf die phonologisch lexikalische Ebene (P-words; /blume/) und die phonologische Wortform im mentalen Lexikon zugegriffen. Gleichzeitig werden über das zentrale Interface auch die korrespondierenden orthographischen Informationen zum phonologischen Input abgerufen (O ↔ P; B, L, U, M, E), was durch die Graphem-Phonem-Korrespondenzen in alphabetischen Sprachen ermöglicht wird. Über exzitatorische Verbindungen vom zentralen Interface werden dann orthographische Repräsentationen auf prälexikalischer (O-units), aber auch lexikalischer Wortebene (O-words) aktiviert. Wie im Aufbau des Modells deutlich wird, wird durch die zwei Ebenen gleichermaßen angenommen, dass auch phonologische Repräsentationen bei visuellem Sprachinput (printed words) automatisch mitaktiviert werden.

Graphemische Repräsentationen werden abgespeichert, sobald Kinder die Buchstaben zu den korrespondierenden Lauten lernen. Im Falle des Wort Fragment Primings (vgl. Schild et al., 2011) würde dies bedeuten, dass beim Hören z.B. des Wortes „Monster“ zunächst die prälexikalische phonologische Ebene am initialen Phonem /m/ aktiviert wird. Das Phonem /m/ ist phonologisch sehr ähnlich zu dem Phonem /n/ und unterscheidet sich nur im Artikulationsort. Wird eine Prime-Zielwort-Kombination präsentiert, in der sich das initiale Phonem nur im Artikulationsort unterscheidet („Non - Monster“), kann der Prime „non“ das Wort „Monster“ partiell aktivieren (siehe auch Punkt 1.2. und Punkt 1.3.2.). Bei Kindern, die noch nicht lesen können, erfolgt die lexikalische Aktivierung und Selektion einzig anhand phonologischer Informationen. Bei lesenden Kindern hingegen würde über das zentrale Interface auch die korrespondierende graphemische Repräsentation abgerufen werden. Wird lesenden Kindern der Prime „non“ präsentiert, würde das initiale Phonem /n/ demnach auch die mentale Repräsentation des Buchstabens „N“ abrufen. Diese sendet zusätzliche Aktivierung über die exzitatorischen Verbindungen an die phonologischen Worteinträge, die ebenfalls mit /n/ beginnen. Dies hätte zur Folge, dass der Prime „non“ das Wort „Monster“ bei Lesern stärker inhibiert als bei nicht lesenden Kindern, da Leser die zusätzliche graphemische Repräsentation als Information im lexikalischen Zugriff nutzen.

Der implizit orthographisch-phonologische Ansatz wird vor allem als Erklärungsansatz für den orthographischen Konsistenzeffekt und orthographische Nachbarschaftseffekte herangezogen (z.B. Pattamadilok et al., 2014; Ziegler & Ferrand, 1998; Ziegler et al., 2003). Indirekt gestützt wird der Ansatz auch durch Ergebnisse aus Studien mit bildgebenden Verfahren. Beispielsweise wurde gefunden, dass Leser im Vergleich zu Analphabeten eine erhöhte Aktivität im visuellen Wort-Form Areal (VWFA) aufweisen, wenn sie zum Beispiel Reimpaare hören, die inkonsistente Schreibweisen aufweisen (Booth et al., 2004; Burton, Locasto, Krebs-Noble, & Gullapalli, 2005; Desroches et al., 2010). Aktivierung im VWFA wird u.a. in Verbindung mit dem Erkennen von orthographischen Stimuli gebracht; einhergehend damit wurde vermutet, dass die Aktivierung in dem Areal indiziert, dass graphemische Informationen aktiv bei der auditiven Wortverarbeitung genutzt werden (Dehaene & Cohen, 2011).

Eine weitere Annahme ist, dass die Beteiligung orthographischer Informationen durch eine grundsätzliche Restrukturierung des phonologischen Systems erfolgt. Diese Theorie wird im Folgenden als *implizit phonologischer Ansatz* diskutiert. Der implizit phonologische Ansatz (Dehaene, Cohen, Morais, & Kolinsky, 2015; Harm & Seidenberg, 2004; Taft, 2006) verortet ebenso wie der implizit orthographisch-phonologische Ansatz orthographische Effekte auf prälexikalischer Ebene der auditiven Sprachverarbeitung. Der Kern des Ansatzes sieht jedoch keine direkte Beteiligung graphemischer Repräsentationen beim lexikalischen Zugriff, sondern eine strukturelle Veränderung phonologischer Repräsentationen durch den Schriftspracherwerb. Lernen Kinder die Assoziationen zwischen Buchstaben und den korrespondierenden Lauten, werden beginnende Leser für phonologische Unterschiede zwischen den Lauten sensitiviert (z.B. zwischen /g/ und /k/, die sich nur in der Stimmhaftigkeit unterscheiden). Dies entspricht der Entwicklung phonemischer Bewusstheit, die im Zusammenhang mit der Aneignung orthographischen Wissens diskutiert wird (siehe Punkt 2.3.).

Die zunehmende segmentierte Wahrnehmung von Phonemen wirkt sich demnach auch auf die Qualität der zugrunde liegenden phonologischer Repräsentationen aus, die durch den Restrukturierungsprozess detaillierter werden. Der implizit phonologische Ansatz wird daher auch im Zusammenhang mit der *Lexical*

Restructuring Hypothesis (siehe Punkt 2.1.) diskutiert, auch wenn diese in ihrer Grundkonzeption keinen direkten Bezug zwischen dem Schriftspracherwerb und der Restrukturierung mentaler Repräsentationen getroffen hat (z.B. Goswami, 2000; Metsala, 1997).

Für die Ergebnisse aus der Studie von Schild et al. (2011) würde dies bedeuten, dass lesende Kinder auf detailliertere phonologische Repräsentationen zurückgreifen als nicht-lesende Kinder. Das heißt, lesende Kinder nehmen phonemische Variationen (z.B. im Artikulationsort, „Non - Monster“) sensitiver wahr und berücksichtigen diese stärker im lexikalischen Zugriff. Nicht-lesende Kinder hingegen, die über weniger detailliertere phonologische Repräsentationen verfügen, tolerieren diesen minimalen phonemischen Unterschied zwischen Prime und Zielwort und verarbeiten ihn ähnlich effizient wie identische Prime- Zielwort-Kombinationen (z.B. „Mon - Monster“).

Es bleibt jedoch unklar, wie eine Restrukturierung der phonologischen Repräsentationen ablaufen könnte. Muneaux and Ziegler (2004) nehmen an, dass der Schriftspracherwerb phonologische Repräsentationen restrukturiert, indem das grundlegende Aktivierungslevel der phonologischen Repräsentationen verändert wird. Demnach würden insbesondere bei konsistenten Graphem-Phonem-Korrespondenzen (ein Buchstabe kann konsistent einem Laut zugeordnet werden) phonologische Repräsentationen verstärkt werden, indem sie durch das konsistente Feedback der Grapheme ein grundsätzlich höheres Resting-Level zugeschrieben bekommen. Auch diese Annahme kann beispielsweise den orthographischen Konsistenzeffekt erklären.

Es gibt jedoch auch Befunde, die gegen die Annahme einer Restrukturierung im Zuge des Schriftspracherwerbs sprechen. Zum Beispiel waren erwachsene Analphabeten ähnlich gut wie Ex-Analphabeten und lesende Kontrollprobanden in der Lage, detailliert auf phonologische Repräsentationen bei der Worterkennung zurückzugreifen. Beispielsweise wiesen Analphabeten keine Schwierigkeiten auf, Silben in einer Same-Different-Task voneinander zu unterscheiden, die sich nur geringfügig in ihren phonetischen Parametern unterschieden (Adrián et al., 1995). Auch zeigten Analphabeten eine ähnlich gute kategoriale Wahrnehmung wie lesende Probanden auf, wenn es darum ging, Stimuli wie /ba/ und /da/ zu identifizieren und

diskriminieren (Serniclaes, Ventura, Morais, & Kolinsky, 2005). Obwohl Analphabeten damit Schwierigkeiten in expliziten metalinguistischen Aufgaben zu haben scheinen (u.a. Morais et al., 1979; siehe Punkt 2.3.), scheinen höher geordnete Sprachwahrnehmungsprozesse dabei nicht beeinträchtigt zu sein. Derartige Ergebnisse sprechen dafür, dass es auch in Abwesenheit des Schriftspracherwerbs zu einer Feinabstimmung phonologischer Repräsentationen kommen kann.

Andere Studien hingegen, die neurophysiologische Messmethoden nutzten, scheinen die Annahme einer strukturellen Veränderung des phonologischen Systems in Lesern zumindest indirekt zu unterstützen. Beispielsweise wiesen erwachsene Leser im Vergleich zu Analphabeten beim Hören gesprochener Sprache eine deutlich höhere Aktivität in Hirnstrukturen auf, die mit der phonologischen Verarbeitung von abstrakten phonologischen Repräsentationen assoziiert sind, wie dem *planum temporale* (Chang et al., 2010; Dehaene et al., 2010; Mesgarani, Cheung, Johnson, & Chang, 2014). Ähnliche Ergebnisse replizierte eine Studie, in der das Level der Gehirnaktivität bei gleichaltrigen lesenden und nicht-lesenden Kindern verglichen wurde (Monzalvo & Dehaene-Lambertz, 2013). Auch Brennan, Cao, Pedroarena-Leal, McNorgan und Booth (2013) beobachteten, dass englischsprachige Kinder (die ein alphabetisches Schriftsprachsystem lernen), aber nicht chinesischsprachige Kinder (die ein logographisches Schriftsprachsystem lernen) strukturelle Veränderungen im linken phonologischen Netzwerk zeigten. Anzumerken ist, dass Ergebnisse aus Studien mit bildgebenden Verfahren zwar Hinweise darauf geben können, in welchen Gebieten des Gehirns es zu strukturellen Veränderungen im Zuge des Schriftspracherwerbs kommt. Allerdings können sie keine Aussage darüber treffen, welche genauen zeitlichen Prozesse bei der Aktivierung phonologischer Repräsentationen ablaufen, ob eine Aktivierung also beispielsweise auf prälexikalischer oder lexikalischer Ebene stattfindet.

Der implizit orthographisch-phonologische Ansatz und der implizit phonologische Ansatz treffen unterschiedliche Annahmen darüber welcher Faktor des Lesenlernens (Buchstabenwissen oder Restrukturierung durch intensivere phonologische Verarbeitung/phonemische Bewusstheit) die phonologische Verarbeitung verändert. Dennoch schließen sich beide Ansätze nicht grundsätzlich aus. So ist es möglich, dass

der Schriftspracherwerb sowohl phonologische Repräsentationen detaillierter werden lässt. Zusätzlich dazu könnten auch graphemische Repräsentationen beim lexikalischen Zugriff aktiviert werden.

Bis dato gibt es jedoch keine Studie, die systematisch untersucht hat, inwiefern Buchstabenwissen und phonemische Bewusstheit auf die Wahrnehmung gesprochener Sprache wirken könnten. Bisherige Studien, die die Grundlage für mögliche Erklärungsansätze für die modulierte Sprachwahrnehmung in Lesern bilden, untersuchten in der Regel erwachsene geübte Lesern oder beginnende Leser im Vor- oder Grundschulalter. Da die Entwicklung von Buchstabenwissen und phonemischer Bewusstheit parallel abläuft (siehe Punkt 2.3.), ist es schwierig Aussagen darüber zu treffen, inwiefern und zu welchem Ausmaß graphemische Repräsentationen und phonemische Bewusstheit beim Zugriff auf phonologischer Repräsentationen eine Rolle spielen. Unklar ist weiterhin, wie genau der Schriftspracherwerb in den ersten Schuljahren auf die Entwicklung von phonologischen Repräsentationen wirkt. Diese Fragestellungen waren der Ausgangspunkt für das vorliegende Dissertationsprojekt.

4. Zielsetzung

Die vorliegende Dissertation untersuchte, inwieweit phonemische Bewusstheit und Buchstabenwissen mit der Entwicklungsplastizität von phonologischen Repräsentationen im Vor- und Grundschulalter in Verbindung stehen. Hauptfokus lag dabei in der Untersuchung, inwieweit Vor- und Grundschüler geringfügige phonemische Variationen in einem phonemischen Merkmal für die Aktivierung mentaler Repräsentationen berücksichtigten. Ausgangslage für das Projekt bildeten die Ergebnisse der Studie von Schild et al. (2011). Aus den Ergebnissen dieser Untersuchung wurde geschlussfolgert, dass Leser (6 und 8 Jahre) über detailliertere phonologische Repräsentationen als noch nicht lesende Kinder (6 Jahre) verfügen. Dies äußerte sich darin, dass lesende Kinder sensitiv phonemische Variationen im Artikulationsort verarbeiteten, nicht-lesende Vorschulkinder jedoch eine Toleranz gegenüber diesen Variationen aufwiesen. Diese erhöhte Sensitivität wurde auf die Erfahrungen mit dem Schriftspracherwerb zurückgeführt.

Durch die Studien innerhalb des vorliegenden Projektes sollte nun untersucht werden, welche Rolle zwei mit dem Schriftspracherwerb assoziierte Faktoren (phonemische Bewusstheit oder Buchstabenwissen) bei der Modulation phonologischer Repräsentationen bei beginnenden Lesern spielen. Dies erfolgte mittels einer Trainingsstudie mit noch nicht lesenden Vorschulkindern (siehe Punkt 5.1.). Innerhalb des Trainings wurden phonemische Bewusstheit und Buchstabenwissen in verschiedenen Gruppen trainiert. Es wurden gezielt Kinder in die Studie eingeschlossen, die noch möglichst keine Erfahrungen mit dem Schriftspracherwerb aufwiesen. Es wurde erwartet, dass das gezielte Training in phonemischer Bewusstheit oder in Kombination mit Buchstabenwissen zu einer Modifikation im lexikalischen Zugriff bei nicht-lesenden Vorschulkindern führen würde. Dies sollte für eine Kontrollgruppe von Kindern, die in mathematischen Vorläuferfertigkeiten trainiert wurden, nicht der Falls sein. Als experimentelles Paradigma wurde in Anlehnung an Schild et al. (2011) ein Wort Fragment Priming gewählt. Mittels Reaktionszeiten und EKP wurde gemessen, wie sensitiv nicht-lesende Vorschulkinder phonemische Variationen nach dem Training verarbeiteten. Anders als in der Studie von Schild et al. (2011) wurde nicht der Artikulationsort manipuliert, sondern die Stimmhaftigkeit. Unterschiede zwischen den Trainingsgruppen sollten Rückschlüsse darüber geben, inwiefern Kinder entweder eher phonologische oder auch graphemische Informationen bei der Verarbeitung gesprochener Sprache berücksichtigen.

Ferner sollte untersucht werden, inwiefern sich der formale Schriftspracherwerb langfristig auf die Entwicklung phonologischer Repräsentationen auswirkt. Dies wurde mittels einer Längsschnittstudie verwirklicht, in der die Kinder aus den Sprachtrainingsnach der ersten und der zweiten Klasse erneut eingeladen wurden. Auch hier wurde ein Wort Fragment Priming Paradigma verwendet, um Rückschlüsse auf die Beteiligung impliziter Repräsentationen treffen zu können.

5. Ablauf des Projektes

Die Fragestellungen wurden in dem Projekt in zwei Abschnitten untersucht: Mit einer a) Trainingsstudie mit Vorschulkindern (Kapitel 6) und mit einer b)

Längsschnittanalyse, in der die Kinder aus der Trainingsstudie nach der ersten und zweiten Klasse erneut zur Testung eingeladen wurden (Kapitel 7). Der zeitliche Ablauf des Trainings und der Erhebungen zu allen drei Messzeitpunkten (Vorschule, Klasse 1, Klasse 2) ist grafisch in Abbildung 5.1. visualisiert. Inhaltliche Details zu den Trainings, den verwendeten Testverfahren und der Methodik werden jeweils in den beiden Kapiteln 6 und 7 vorgestellt. Im Anschluss an die Vorstellung der beiden Studien erfolgt eine zusammenfassende Diskussion.

5.1. Trainingsstudie

Im ersten Abschnitt des Projekts (Trainingsstudie, Studie 1) sollte untersucht werden, ob und wie die gezielte Förderung von phonemischer Bewusstheit und Buchstabenwissen Modifikationen in den neuronalen Wahrnehmungsprozessen von nicht-lesenden Vorschulkindern evozieren könnte. Speziell sollte untersucht werden, inwiefern beide Faktoren dazu beitragen könnten, dass Leser mehr phonemische Details im lexikalischen Zugriff auf Einzelwortebene berücksichtigen.

Das Training wurde in den Jahren 2015 an einer ersten Kohorte und im darauffolgenden Jahr 2016 an einer weiteren Kohorte an Kindern zwischen Februar und Juli in den Kindertageseinrichtungen durchgeführt. Im ersten Jahr 2015 nahmen insgesamt 39 Kinder an der Untersuchung teil und wurden in einem der beiden Sprachtrainings (phonemisches Training oder phonemisches Training mit Buchstabenwissen) trainiert. 2016 wurden 63 weitere Kinder entweder in einem der Sprachtrainings oder in einem Kontrolltraining unterrichtet. Insgesamt wurden 102 monolinguale Kinder trainiert, wobei 67 Datensätze in die finale Analyse eingingen (für eine Übersicht über den Drop-Out siehe Anhang V). Die Kinder wurden in einer von

Abbildung 5.1. Ablauf der Trainings- und Längsschnittstudie

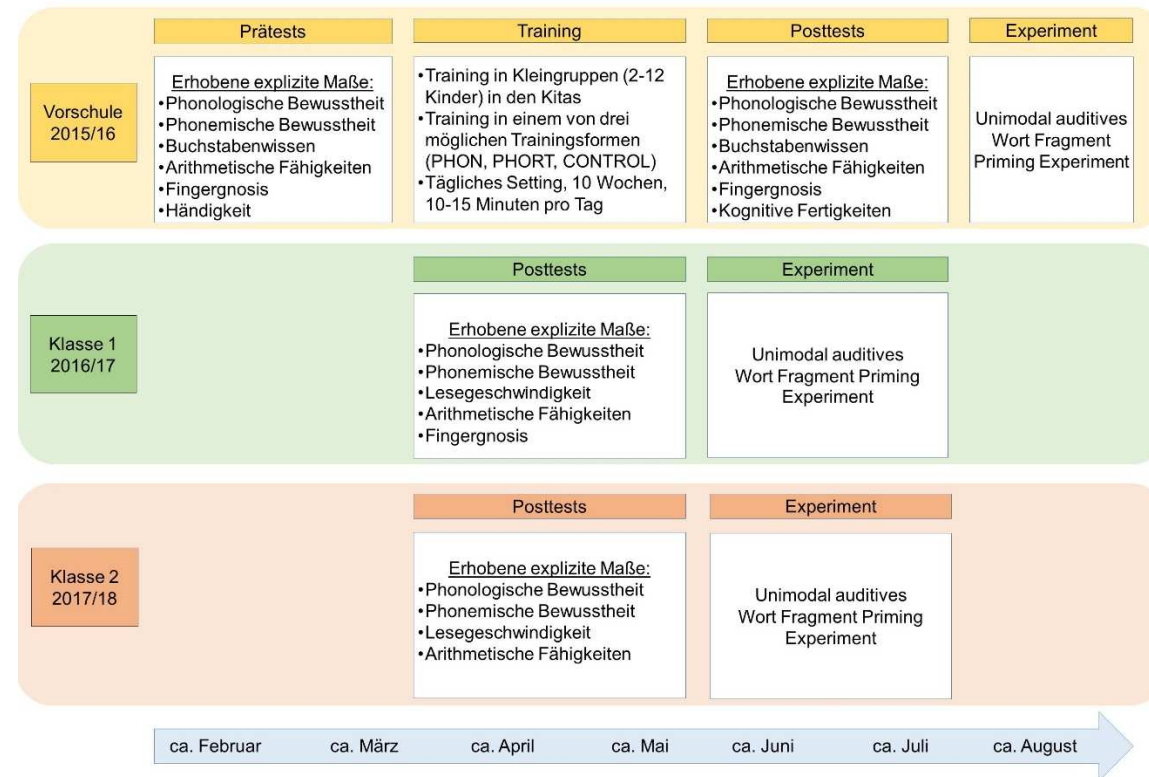


Abbildung 5.1. Ungefäher zeitlicher Ablauf der Trainings- und Längsschnittstudie aus den Jahren 2015 - 2018. Der blaue Pfeil mit den Monatsangaben stellt dabei insgesamt den Erhebungszeitraum in den jeweiligen Jahren dar. Prä- und Posttests sowie das Experiment fanden nach Möglichkeit unmittelbar vor bzw. nach dem Training statt. Der Erhebungszeitraum zwischen den Kitas variierte, da die Trainings teilweise zeitlich versetzt begannen. So wurden beispielsweise die ersten Kinder ab ca. Februar trainiert und schlossen das Wort Fragment Priming Experiment ca. Juni ab. Andere Kinder begannen das Training im Mai und schlossen das Experiment im August ab.

drei Interventionen unterrichtet. Eine Gruppe an Kindern erhielt ein Training, in dem ausschließlich Übungen zur phonemischen Bewusstheit durchgeführt wurden. Dabei wurden Kinder insbesondere die Wahrnehmung von zwei spezifischen Phonemen sensibilisiert (/g/ und /k/). Diese Phoneme unterscheiden sich lediglich im Merkmal der Stimmhaftigkeit.

Eine zweite Gruppe mit Vorschulkindern erhielt ein vom Aufbau ähnliches phonemisches Training, wurde zusätzlich jedoch auch noch in den korrespondierenden Buchstaben „G“ und „K“ unterrichtet, die in die Übungen zur phonemischen Bewusstheit integriert wurden. Das phonemische Training basierte auf dem Training zur phonologischen Bewusstheit „Hören, Lauschen, Lernen“ von Küspert und Schneider (2008). Die Aufgaben wurden abgewandelt, damit sie für die Zwecke der Studie verwendet werden konnten (Manual zum Training in Anhang VI). Das Stimulusmaterial zum Training wurde eigens für die Studie entworfen. Das Training wurde täglich über 10 Wochen in den Kindertageseinrichtungen für etwa 10 - 15 Minuten durchgeführt. Vor und nach dem Training wurden u.a. explizite Maße zur phonologischen und phonemischen Bewusstheit, sowie zum Buchstabenwissen erhoben.

Eine dritte Gruppe an Kindern erhielt ein Kontrolltraining, das vom Aufbau (Dauer des Trainings und Umfang der Übungseinheiten) identisch zu den beiden Sprachtrainings war. In diesem Kontrolltraining wurden Vorläuferfertigkeiten der Rechenfertigkeiten trainiert. Es erfolgten keine Übungen, in denen sprachliche Fertigkeiten der Kinder trainiert wurden. Das Training zu arithmetischen Vorläuferfertigkeiten diente als Kontrolltraining für die beiden Sprachgruppen innerhalb dieses Projektes, wurde jedoch innerhalb eines assoziierten Projektes in Kooperation mit dem Arbeitsbereich Diagnostik und Kognitive Neuropsychologie (Fachbereich Psychologie, Universität Tübingen) mit eigenständigen Fragestellungen ebenfalls untersucht. Innerhalb des assoziierten Projektes dienten die beiden Sprachgruppen als Kontrollgruppe für das Training zu arithmetischen Vorläuferfertigkeiten. Aus diesem Grund wurden innerhalb der Prä- und Posttests bei allen Gruppen neben sprachlichen Maßen auch Informationen zu frühen Rechenfertigkeiten sowie zur Fingeragnosie erhoben. Alle expliziten Tests dienten als Kontrollmaße für die Wirksamkeit der Trainings. Eine spezifische Diskussion der Effekte des Trainings zu arithmetischen

Vorläuferfertigkeiten ist dem Anhang zu entnehmen (siehe Schild, Bauch, & Nürk, akzeptiert, Anhang II). Zusätzlich zu den Kindergruppen wurde eine Kontrollgruppe an jungen Erwachsenen (Studenten der Universität Tübingen) erhoben. Die Erwachsenen nahmen an keiner Intervention teil. Außerdem wurden keine expliziten Maße zu Lesefertigkeiten oder phonemischer Bewusstheit bei den Erwachsenen erhoben.

Nach dem Training wurden alle Kinder in die Laborräume der Entwicklungspsychologie (Fachbereich Psychologie, Universität Tübingen) eingeladen. Dort erfolgte die Durchführung eines Wort Fragment Priming Experimentes. Es wurden EKP und Reaktionszeiten erhoben.

5.2. Längsschnittstudie

Im zweiten Abschnitt des Projektes (Längsschnittstudie, Studie 2) sollte überprüft werden, wie sich phonologische Repräsentationen in der mittleren Kindheit entwickeln, sobald Kinder formell im Schriftspracherwerb unterrichtet wurden. Damit sollte untersucht werden, inwiefern sich phonologische Repräsentationen verändern, wenn sich Kinder zunehmend stabilere Phonem-Graphem-Korrespondenzen aneignen um eine eventuelle Langzeitwirkung des Schriftspracherwerbs zu evaluieren. Die Anordnung als Längsschnitt erlaubt es, Aussagen über diesen Entwicklungsverlauf zu Beginn des Leseerwerbs zu treffen. Dafür wurden die Kinder der Trainingsstudie erneut am Ende der ersten Klasse und am Ende der zweiten Klasse eingeladen. Mit allen Kindern wurde das Wort Fragment Priming Experiment erneut durchgeführt und Maße zur phonologischen/phonemischen Bewusstheit, Lesefertigkeiten und arithmetischen Fertigkeiten erhoben. Die Entwicklung phonologischer Repräsentationen wurde im Längsschnitt von der Vorschule bis zur zweiten Klasse untersucht. In die Analyse der Daten gingen dabei alle Kinder ein, von denen zu allen drei Messzeitpunkten (Vorschule, Klasse 1, Klasse 2) vollständige und gültige Datensätze vorhanden waren. Dadurch sollte gewährleistet werden, dass die Daten aus allen Messzeitpunkten auf exakt die gleiche Gruppe an Teilnehmern zurückgeführt werden konnte. Ferner wurden alle Kinder eingeschlossen, die in der Vorschule eines

der phonemischen Trainings (mit und ohne zusätzlicher Unterweisung im Buchstabenwissen) absolviert hatten. Dies hatte zwei Gründe. Auf der einen Seite ergaben sich nach Anwendung der Ausschlusskriterien lediglich vier Kinder aus der Kontrollgruppe, die für die finale Analyse infrage kamen. Ferner sollte gewährleistet werden, dass die Kinder in der Vorschule auf einem ähnlichen Level der phonologischen/phonemischen Bewusstheit waren. Insgesamt flossen $n = 28$ Datensätze in die finale Analyse ein.

5.3. Pilotstudie

In einer zusätzlichen Studie wurden im Jahr 2014 die Daten von insgesamt 48 6-jährigen Vorschulkindern, 48 8-jährigen Grundschulkindern der zweiten Klasse und 48 Erwachsenen untersucht (Schild, Bauch, & Friedrich, unveröffentlichtes Manuskript, Anhang I). Es handelte sich dabei um ein Pilotprojekt, das vor der Trainingsstudie durchgeführt wurde. Die Versuchsteilnehmer wurden im Querschnittsdesign getestet. Keiner dieser Probanden nahm an der Trainingsstudie oder der Längsschnittstudie teil. Die Probanden führten ein vergleichbares experimentelles Paradigma (Wort Fragment Priming Experiment) durch. Hierbei erfolgte eine Analyse der Reaktionszeiten und der Fehler. Es erfolgte keine Ableitung ereigniskorrelierter Potentiale.

Ziel der Pilotstudie war die Untersuchung, inwiefern phonemische Variationen unterschiedlicher phonemischer Merkmale von Vorschulkindern, Grundschulkindern und Erwachsenen für den lexikalischen Zugriff berücksichtigt werden. Sie stellte demnach erstmalig eine Erweiterung der Studie von Schild et al. (2011) dar, in welcher die Probanden mit Variationen im Artikulationsort getestet wurden. In der Pilotstudie wurden Artikulationsort und Stimmhaftigkeit im Wort Fragment Priming Experiment variiert. Das Stimulusmaterial setzte sich aus den Phonemen /b/, /p/, /d/, /t/ zusammen. Die Teilnehmer reagierten zu Primes und Zielwörtern, die im initialen Phonem übereinstimmten (Identitätsbedingung), variierten (Variationsbedingung) oder unrelatiert waren (Kontrollbedingung). Die Probanden führten dabei jeweils eine Version des Wort Fragment Primings durch, bei dem in der Variationsbedingung das initiale Phonem von Prime und Zielwort entweder a) im Artikulationsort variierte (z.B.

„To – Pony“), b) in der Stimmhaftigkeit variierte (z.B. „Bo – Pony“) oder c) in beiden Merkmalen verschieden war (z.B. „Do – Pony“). Eine ausführliche Beschreibung dessen, wie die Stimuli gebildet wurden, erfolgt im Anhang I.

Die Ergebnisse sollten evaluieren, ob die Toleranz gegenüber phonemischer Variation in nicht-lesenden Vorschulkindern (Schild et al., 2011) über verschiedene phonemische Merkmale generalisiert werden kann. Weil nicht-lesende Vorschulkinder in der Pilotstudie Hinweise auf eine Toleranz für phonemische Variation in der Stimmhaftigkeit aufwiesen, wurden Kinder in der vorliegenden Trainingsstudie für phonemische Unterschiede in der Stimmhaftigkeit trainiert.

5.4. Beschreibung des experimentellen Aufbaus Studie 1 und Studie 2

Mit Hilfe eines auditiven Wort Fragment Priming Experimentes sollte bei den Vor- und Grundschulern der Studie 1 und 2 die implizite Sensitivität für phonemische Variationen auf Einzelwortebene getestet werden. In der Trainings- und in der Längsschnittstudie wurde dabei das gleiche Stimulusmaterial verwendet. Die Kinder hörten einen Prime, auf den ein Zielwort folgte. Die Prime-Zielwort-Kombinationen wurden in drei Bedingungen präsentiert: In einer Identitätsbedingung (*Identity Condition*) waren das erste Phonem von Prime und Zielwort identisch (z.B. „Ki - Kino“). In einer Variationsbedingung (*Variation Condition*) wich das erste Phonem des Primes von dem des Zielwortes ab, wobei die Manipulation in der Stimmhaftigkeit der Phoneme lag (z.B. „Gi - Kino“). In einer Kontrollbedingung (*Control Condition*) waren Prime und Target unrelatiert (z.B. „Ba - Kino“). Die Hälfte des Stimulusmaterials bestand aus Wörtern, welche als initiales Phonem eines der in der Trainingsstudie trainierten Phoneme /g/ oder /k/ aufwiesen. Die restlichen Wörter begannen mit untrainierten Phonemen, die sich ebenfalls lediglich in der Stimmhaftigkeit unterschieden (/b/ und /p/). Eine ausführliche Beschreibung dessen, wie die Stimuli gebildet wurden, erfolgt in Punkt 6.3.5. Die Probanden führten während des Experimentes eine lexikalische Entscheidungsaufgabe durch. Analysiert wurden die Reaktionszeiten auf die Zielwörter, Fehlerraten, sowie Amplitudenunterschiede zwischen den Bedingungen, welche durch die EKP ermittelt wurden.

Das Wort Fragment Priming wurde als vereinende Methode über beide Studien hinweg gewählt, da es sich in vorherigen Studien bewährte, um implizite Aktivierung lexikalischer Repräsentationen zu messen (siehe Punkt 1.3.2.). Um ein Maß für prälexikalische Aktivierung zu erhalten, wurde die Anordnung mit einer Ableitung von EKP ergänzt. Diese Messmethode eignet sich, um die Aktivierung lexikalischer Repräsentationen möglichst unabhängig von strategischen Mechanismen zu untersuchen (siehe Punkt 1.3.3.). Ferner sollten durch die Wahl der gleichen Methoden die Ergebnisse über die verschiedenen Priming-Studien der Arbeitsgruppe und insbesondere der Studie von Schild et al. (2011) vergleichbar gemacht werden.

5.5. Hypothesen

Es erfolgt eine Übersicht über die Hypothesen, die für beide Studien getroffen werden.

Trainingsstudie, Studie 1:

Hauptfragestellung der Studie 1 war die Beantwortung der Frage, welcher Faktor des Schriftspracherwerbs zu einer detaillierteren phonemischen Verarbeitung führt. Zwei Informationsquellen wurden hierbei genutzt, um die Fragestellung zu beantworten.

Erstens sollten die Effekte der verschiedenen Trainingsformen auf die expliziten (metalinguistischen) Tests und auf die Wahrnehmung gesprochener Sprache (Wort Fragment Priming) evaluiert werden.

Zweitens wurden im Speziellen die Effekte des Trainings auf die trainierten und untrainierten Phoneme betrachtet. Sollten sich Trainingseffekte nur für die trainierten Phoneme /g/ und /k/ beobachten lassen, würde das für einen spezifischen Trainingseffekt sprechen. Ein spezifischer Trainingseffekt der Phoneme würde bedeuten, dass phonologische Repräsentationen entweder individuell durch Übung angesprochen werden müssen oder dass eine graphemische Repräsentation mitaktiviert wird/vorhanden sein muss. Ein spezifischer Trainingseffekt würde daher für die Annahmen des implizit orthographisch-phonologischen Ansatz sprechen (u.a. Ziegler & Ferrand, 1998; Ziegler et al., 2003). Sollten sich Trainingseffekte auch auf untrainierte Phoneme /b/ und /p/ auswirken, würde dies auf einen generalisierten

Trainingseffekt hindeuten. Ein generalisierter Trainingseffekt auf die Phoneme würde bedeuten, dass sobald Kinder für die Unterschiede in der Stimmhaftigkeit in einem Phonemkontrast (z.B. /g/ und /k/) sensibilisiert wurden, auch andere Phonemkontraste (z.B. /b/ und /p/) differenzierter wahrgenommen werden. Dies würde für eine rein phonologische Verarbeitung sprechen. Eine graphemische Repräsentation wäre in dem Fall nicht erforderlich, um den phonemischen Kontrast detailliert wahrzunehmen. Ein generalisierter Trainingseffekt würde demnach eher für den implizit phonologischen Ansatz (u.a. Dehaene, Cohen, Morais, & Kolinsky, 2015; Harm & Seidenberg, 2004; Taft, 2006) sprechen.

Explizite Tests. Die expliziten Tests wurden durchgeführt, um ein Maß für die Wirksamkeit der Sprachtrainings zu erfassen. Die Wirksamkeit der Sprachtrainings stellte die Grundbedingung dar, um etwaige Trainingseffekte auf die Wahrnehmung von gesprochener Sprache zu evaluieren. Als Prämisse wird erwartet, dass alle drei Trainingsgruppen vergleichbare Leistungen in allen expliziten Tests vor dem Training aufweisen. Eine Übersicht über die Hypothesen für die expliziten Tests erfolgt in Tabelle 5.1. Eine detailliertere Beschreibung der verwendeten Tests findet sich in Punkt 6.3.4. Maßgeblich waren ein Test zur phonologischen Bewusstheit („Test zur Überprüfung der phonologischen Bewusstheit und der Benennungsgeschwindigkeit“, TEPHOBE, Mayer, 2011), ein Test zur phonemischen Bewusstheit, in dem die Anlauterkennung getestet wurde (*Spy Game*) und zum Buchstabenwissen (*Letter Knowledge*). Alle drei Tests wurden mit allen drei Trainingsgruppen sowohl vor und nach dem Training erhoben, um Trainingseffekte zu messen. Während es sich beim TEPHOBE um einen standardisierten Test handelte, wurden die Tests zur phonemischen Bewusstheit (*Spy Game*) und zum Buchstabenwissen (*Letter Knowledge*) eigens für die Studie entwickelt. Abgefragt wurden hierbei u.a. die Phoneme bzw. Buchstaben, die in der Intervention trainiert wurden und in den Stimuli des Experimentes verwendet wurden.

1) *Trainingseffekt beider Sprachtrainings auf Maße der phonologischen und phonemischen Bewusstheit*

Es wird erwartet, dass beide Sprachgruppen höhere Werte in dem Test zur phonologischen Bewusstheit nach dem Training aufweisen als vor dem Training. Dies wird begründet, da in vorherigen Trainingsstudien mit nicht-lesenden Vorschulkindern

gezeigt werden konnte, dass phonologische Bewusstheit im Vorschulalter trainierbar ist (Fischer & Frost, 2015; Lundberg et al., 1988; Schneider et al., 1997; Wolf et al., 2016).

Gleichermaßen wird erwartet, dass beide Sprachgruppen im Test zur phonemischen Bewusstheit höhere Werte nach dem Training aufweisen als vor dem Training. Es werden Trainingseffekte erwartet, da in diesem Test speziell die Anlauterkennung abgefragt wird, die in der Intervention maßgeblich trainiert wurde. Verbessern sich die Sprachgruppen insbesondere für die Erkennung der trainierten Phoneme /g/ und /k/ spricht dies für einen spezifischen Trainingseffekt. Sollten die Kinder der Sprachgruppen alle abgefragten Phoneme nach dem Training besser erkennen, spricht dies für einen generalisierten Trainingseffekt.

Der Zuwachs an phonologischer und phonemischer Bewusstheit in beiden Sprachgruppen aus Studie 1 sollte zudem über dem der Kontrollgruppe hinausgehen. Dies würde dafürsprechen, dass das Training auf Fertigkeiten der phonologischen und phonemischen Bewusstheit gewirkt hat, die über die normative Entwicklung hinausgeht (u.a. Hulme et al., 2005; Caravolas & Bruck, 1993).

2) Trainingseffekt des phonemisch-orthographischen Trainings auf das Buchstabenwissen

Es wird erwartet, dass die kombinierte Trainingsgruppe (phonologisch-orthographische Trainingsgruppe) nach der Intervention höhere Werte im Test zum Buchstabenwissen erzielt als vor dem Training. Dies wird erwartet insbesondere erwartet für die Buchstaben, die im Training unterrichtet wurden („G“ und „K“). Der Zuwachs an Buchstabenwissen sollte in der phonemisch-orthographischen Gruppe größer ausfallen als in den beiden anderen Gruppen (phonemisches Training, Kontrolltraining).

Tabelle 5.1.

Hypothesen für die expliziten Tests für alle drei Trainingsgruppen (Studie 1).

Messzeitpunkt	Maß	Hypothese
Prätest	Phonologische Bewusstheit	PHON = PHORT = CONTROL
	Phonemische Bewusstheit	PHON = PHORT = CONTROL
	Buchstabenwissen	PHON = PHORT = CONTROL
Posttest	Phonologische Bewusstheit	PHON = PHORT > CONTROL
	Phonemische Bewusstheit	PHON = PHORT > CONTROL für trainierte Phoneme /g/ und /k/ bei einem spezifischen Trainingseffekt; auch für untrainierte Phoneme bei einem generalisierten Trainingseffekt
	Buchstabenwissen	PHORT > PHON = CONTROL, für trainierte Buchstaben „G“ und „K“

Anmerkungen. PHON = phonemisches Training, PHORT = phonemisch-orthographisches Training, CONTROL = Kontrolltraining.

Wort Fragment Priming. Ausgehend von früheren Studien (u.a. Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2011) werden EKP-Komponenten erwartet, die im Zusammenhang mit dem Wort Fragment Priming beschrieben wurden (siehe Punkt 1.3.3.).

1) N100 und cNEG als Maße grober phonologischer Verarbeitung

Die Hypothesen finden sich zusammengefasst in Tabelle 5.2. In vorherigen Wort Fragment Priming Studien mit Erwachsenen (u.a. Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012) indizierten die N100 und die cNEG eine grobe phonologische Verarbeitung. Dies zeigte sich darin, dass Amplituden in beiden Komponenten in der Identitäts- und Variationsbedingung negativer ausfielen als in der Kontrollbedingung. Es wurde kein Unterschied der Amplituden zwischen der Identitäts- und Variationsbedingung gefunden.

Weniger eindeutig sind die bisherigen Befunde zur N100 und cNEG im Wort Fragment Priming für Vor- und Grundschulkindern. In der Studie von Schild et al. (2011) wurden keine Effekte im Zeitraum von 100 - 300 ms (N100) für 6- bis 8-jährige Kinder gefunden. Dabei handelte es sich um ein Nullergebnis. Studie 1 sollte darüber Aufschluss geben, ob sich dieses Ergebnis replizieren lassen sollte. Alternativ wurde ausgehend von den Ergebnissen mit Erwachsenen erwartet, dass die N100 bei Vorschulkindern eine grobe phonologische Verarbeitung indizieren sollte. Amplituden in der Identitäts- und Variationsbedingung sollten negativer ausfallen als in der Kontrollbedingung. Es wird kein Unterschied der Amplituden zwischen der Identitäts- und Variationsbedingung erwartet.

Die cNEG wies bei nicht-lesenden Vorschulkindern und lesenden Grundschulkindern (Schild et al., 2011) sowie bei Erwachsenen (u.a. Friedrich et al., 2009) wie die N100 ebenfalls eine grobe phonologische Verarbeitung auf. Bei lesenden Vorschulkindern indizierte die cNEG einen detaillierten phonologischen Abgleich, der sich in einem Unterschied zwischen der Variationsbedingung und Kontrollbedingung zur Identifikationsbedingung zeigte (Schild et al., 2011). Es wurde vermutet, dass diese detailliertere Verarbeitung insbesondere in einem sehr frühen Stadium des Leseerwerbs auftreten könnte, in dem Kinder sehr sensitiv für phonemische Variationen sind. Kinder aus beiden Sprachgruppen wurden in dem Training für phonemische Variationen sensibilisiert, wie es beim Schriftspracherwerb der Fall ist. Sollte die cNEG sensitiv auf phonemische Variationen im frühen Stadium des Schriftspracherwerbs reagieren, so wird erwartet, dass es in beiden Sprachgruppen die Amplituden in der Identitätsbedingung negativer ausfallen als in der Variations- und Kontrollbedingung. Es sollte daher das Ergebnis der lesenden Vorschulkindern aus der Studie von Schild et al. (2011) repliziert werden. Kinder der Kontrollgruppe wurden nicht für phonemische Kontraste sensibilisiert. Es wird daher erwartet, dass die cNEG eine grobe phonologische Verarbeitung indiziert, wie es bei den nicht-lesenden Vorschulkindern aus der Studie von Schild et al. (2011) der Fall war.

Für die Gruppe der Erwachsenen, die für Studie 1 erhoben wurden, wird erwartet, dass sich die bisherigen Befunde zur N100 und cNEG bei Erwachsenen replizieren lassen und beide Komponenten eine grobe phonologische Verarbeitung anzeigen (u.a. Friedrich et al., 2009).

Tabelle 5.2.

Hypothesen für die N100 und cNEG für die Trainingsgruppen und der erwachsenen Kontrollgruppe (Studie 1).

Gruppe	N100	cNEG
Vorschulkinder (PHON)	I [*] > V = K	I > V > K
Vorschulkinder (PHORT)	I = V > K	I > V > K
Vorschulkinder (CONTROL)	I = V > K	I = V > K
Erwachsene	I = V > K	I = V > K

Anmerkungen. PHON = phonemisches Training, PHORT = phonemisch-orthographisches Training, CONTROL = Kontrollgruppe. K = Kontrollbedingung, V = Variationsbedingung, I = Identitätsbedingung. ^{*}> indiziert eine größere Negativierung.

2) P350 als Maß des detaillierten lexikalischen Zugriffs

Eine Zusammenfassung der Hypothesen für alle Gruppen findet sich in Tabelle 5.3. Die P350-Komponente wird als Index des differentiellen lexikalischen Zugriffs auf sublexikalischer Ebene interpretiert. Es wird erwartet, dass beide Gruppen mit Sprachtraining (phonemisches Training mit und ohne Buchstabenwissen) graduelle Priming-Effekte gemessen an der P350 Komponente aufweisen. Es werden daher vergleichbare Aktivierungsmuster erwartet, die zuvor bei lesenden Vor- und Grundschulkindern gefunden wurden (Schild et al., 2011). Dies sollte sich in Unterschieden zwischen den drei Bedingungen zeigen. Speziell wird angenommen, dass Amplituden bei Prime-Zielwort-Kombinationen mit vollständiger Übereinstimmung (Identitätsbedingung) die höchste Negativierung aufweisen, gefolgt von der Variationsbedingung. In der Kontrollbedingung sollte die geringste Negativierung auftreten. Dies wird angenommen, da die Kinder in beiden Trainings für phonemische Variationen sensibilisiert wurden.

Im Gegensatz dazu sollte die Kontrollgruppe dieses Aktivierungsmuster nicht aufweisen. In dieser Gruppe wird eine Toleranz für phonemische Variation erwartet, wie es in der Gruppe nicht-lesende Vorschulkinder der Studie von Schild et al. (2011) der Fall war. Spezifisch wird für die Trainingskontrollgruppe angenommen, dass die P350 auf eine grobe phonologische Verarbeitung hinweisen sollte. Dies sollte sich darin äußern, dass Prime-Zielwort-Kombinationen in der Identitäts- und

Variationsbedingung ähnliche Ausschläge in den Amplituden evozieren sollten. Amplituden von beiden Bedingungen sollten negativer ausfallen als in der Kontrollbedingung. In der Studie von Schild et al. (2011) tolerierten nicht-lesenden Kindern die phonemischen Variationen im Artikulationsort. Sollten sich ähnliche Ergebnisse auch für Variationen in der Stimmhaftigkeit replizieren lassen, spricht dies dafür, dass sich die Toleranz für Variationen über verschiedene phonemische Merkmale generalisieren lässt. Für eine erwachsene Kontrollgruppe wird ein gradueller P350-Effekt und damit eine Replikation früherer Ergebnisse mit erwachsenen Probanden erwartet (Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2014).

Ausschlaggebend für die Beantwortung der Hauptfragestellung ist der Vergleich zwischen den beiden Gruppen, die eines der phonemischen Trainings erhalten haben. Vergleichbare Aktivierungsmuster für beide Gruppen werden erwartet, wenn die Restrukturierung phonologischer Repräsentationen vorrangig durch phonemische Bewusstheit im Sinne eines implizit phonologischen Ansatzes erfolgt (Dehaene et al., 2015; Harm & Seidenberg, 2004; Taft, 2006). Das zusätzliche Buchstabenwissen in der phonemisch-orthographischen Gruppe würde in diesem Fall keinen bedeutsamen Vorteil in der Verarbeitung phonemischer Variationen bringen. Es wird in diesem Fall erwartet, dass sich ein phonemisches Training generalisiert auf die Wahrnehmung von Phonemklassen wirkt. Daher werden vergleichbare graduelle Aktivierungsmuster für trainierte und untrainierte Phoneme erwartet.

Sollte hingegen graphemisches Wissen über phonemische Bewusstheit hinaus zusätzlich bei der Aktivierung lexikalischer Repräsentationen eine Rolle spielen, so sollte der Unterschied zwischen Identitäts- und Variationsbedingung in den EKP-Amplituden bei Kindern des kombinierten Trainings stärker ausfallen als bei Kindern, die nur in phonemischer Bewusstheit trainiert wurden. In dem Falle sollte der Priming-Effekt spezifisch bei trainierten Phonempaaren auftreten. Dies würde für eine automatische Ko-Aktivierung graphemischer Repräsentationen beim Zugriff auf implizite phonologische Repräsentationen sprechen (implizit orthographisch-phonologischer Ansatz, z.B., Grainger & Ferrand, 1996; Ziegler & Ferrand, 1998; Ziegler et al., 2003).

Analoge werden die gleichen Aktivierungsmuster für die jeweiligen Gruppen in den Reaktionszeiten erwartet. Sollte sich ein graduelles Priming-Muster ausschließlich in

die Reaktionszeiten, aber nicht in den EKP zeigen, spricht dies dafür, dass die Trainings postlexikalische und damit metalinguistische/strategische Mechanismen in der Sprachverarbeitung moduliert haben. Dies wäre ein Beleg für einen explizit phonologischen Ansatz (Mitterer & Reinisch, 2015; Cutler & Davis, 2012; Cutler et al., 2010).

Tabelle 5.3.

Spezifische Hypothesen für die P350 und Reaktionszeiten für die Trainingsgruppen und der erwachsenen Kontrollgruppe (Studie 1).

Gruppe	Implizit phonologischer Ansatz		Implizit orthographisch-phonologischer Ansatz		Explizit phonologischer Ansatz	
	P350	RT	P350	RT	P350	RT
PHON	I > V > K trainierte & untrainierte Phoneme	I > V > K trainierte & untrainierte Phoneme	I > V > K trainierte Phoneme	I > V > K trainierte Phoneme	I = V > K	I > V > K
PHORT	I > V > K trainierte & untrainierte Phoneme	I > V > K trainierte & untrainierte Phoneme	I **> V > K trainierte Phoneme	I **> V > K trainierte Phoneme	I = V > K	I > V > K
CONTROL	I = V > K	I = V > K	I = V > K	I = V > K	I = V > K	I = V > K
Erwachsene	I > V > K	I > V > K	I > V > K	I > V > K	I > V > K	I > V > K

Anmerkungen. PHON = phonemisches Training, PHORT = phonemisch-orthographisches Training, CONTROL = Kontrollgruppe. K = Kontrollbedingung, V = Variationsbedingung, I = Identitätsbedingung. *> indiziert eine größere Negativierung (P350) bzw. schnellere Reaktionszeiten. **> indiziert einen stärkeren Effekt in der kombinierten Trainingsgruppe.

Längsschnittstudie, Studie 2:

In der Längsschnittstudie wird die Entwicklungsplastizität der phonologischen Repräsentationen während des initialen Phase des Schriftspracherwerbs untersucht. Es wurden explizite Maße zur phonologischen Bewusstheit (TEPHOBE) und ein Maß für die Lesegeschwindigkeit („Würzburger Leise Leseprobe – Revision“, WLLP-R,

Schneider, Blanke, Faust, & Küspert, 2011) erhoben. Das Wort Fragment Priming Experiment wurde wiederholt.

Explizite Tests. Es wird erwartet, dass sich Kinder in ihrer phonologischen Bewusstheit über die Zeit verbessern. Spezifisch wird davon ausgegangen, dass Vorschulkinder die geringsten Werte im Test zur phonologischen Bewusstheit aufweisen, gefolgt von den Erstklässlern. Zweitklässler sollten die höchsten Werte in dem Test aufweisen. Dies wird erwartet, da die Entwicklung phonologischer Bewusstheit durch den Schriftspracherwerb begünstigt werden sollte (siehe Punkt 2.3.). Analog wird erwartet, dass es Unterschiede in der Lesegeschwindigkeit zwischen Erst- und Zweitklässlern geben sollte. Zweitklässler sollten eine höhere Lesegeschwindigkeit aufweisen als Erstklässler.

Wort Fragment Priming. Ausgehend von früheren Studien (u.a. Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2011) werden EKP-Komponenten erwartet, die im Zusammenhang mit dem Wort Fragment Priming beschrieben wurden (siehe Punkt 1.3.3.). Die generellen Annahmen über die einzelnen Komponenten entsprechen denen aus Studie 1.

Ausgehend von den Studien mit Erwachsenen (u.a. Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012) wird erwartet, dass die N100 eine grobe phonologische Verarbeitung aufweisen sollte. Über alle drei Altersgruppen hinweg sollten Amplituden in der Identitäts- und Variationsbedingung negativer ausfallen als in der Kontrollbedingung. Es wird kein Unterschied der Amplituden zwischen der Identitäts- und Variationsbedingung erwartet.

Ausgehend von der Studie von Schild et al. (2011) wird erwartet, dass eine grobe phonologische Verarbeitung außerdem durch die cNEG indiziert wird. Das wird in der Gruppe der Zweitklässler erwartet. Amplituden in der Identitäts- und Variationsbedingung sollten negativer ausfallen als in der Kontrollbedingung. Es wird kein Unterschied der Amplituden zwischen der Identitäts- und Variationsbedingung erwartet. Sollte die cNEG insbesondere sensitiv auf phonemische Reaktionen in der initialen Phase des Schriftspracherwerbs reagieren, wird erwartet, dass in der Gruppe der Erstklässler Prime-Zielwort-Kombinationen vereinfacht verarbeitet werden, wenn sie im initialen Phonem übereinstimmen. Amplituden in der Identitätsbedingung sollten negativer ausfallen als in der Variations- und Kontrollbedingung. Die Gruppe der Vorschulkinder bestand ausschließlich aus Kindern, die zuvor in einem der

phonemischen Trainings trainiert und für phonemische Kontraste sensibilisiert wurden. Es wird daher ein vergleichbares Aktivierungsmuster für die cNEG erwartet wie bei den Erstklässlern.

Es wird davon ausgegangen, dass bei allen Altersgruppen ein gradueller P350-Effekt beobachtet wird. Dies wird für die Vorschulkinder erwartet, da es sich ausschließlich um Kinder aus den phonemischen Trainings handelt. Es wird ferner davon ausgegangen, dass durch den Schriftspracherwerb sukzessiv stabilere Graphem-Phonem-Korrespondenzen erworben werden. Sollte die Ausdifferenzierung phonologischer Repräsentationen von diesen Korrespondenzen profitieren, wird erwartet, dass Kinder mit steigender Expertise im Lesen auf zunehmend detailliertere phonologische Repräsentationen bei der merkmalsbasierten Phonemverarbeitung zurückgreifen. Dies sollte sich darin zeigen, dass der Priming-Effekt (Unterschied zwischen Identitäts- und Variationsbedingung) bei Vorschulkindern am geringsten, gefolgt von Erstklässlern und bei Zweitklässlern am deutlichsten ausfällt. Sollte der Priming-Effekt nur in den Reaktionszeiten auftreten, spricht dies dafür, dass der Schriftspracherwerb vordergründig postlexikalische Verarbeitungsmechanismen modifiziert (entsprechend dem explizit phonologischen Ansatzes; Mitterer & Reinisch, 2015; Cutler & Davis, 2012; Cutler et al., 2010). Eine Übersicht über die Hypothesen zu den EKP findet sich in Tabelle 5.4.

Tabelle 5.4.

Hypothesen zu den EKP für die drei Altersgruppen (Studie 2).

Gruppe	N100	cNEG	P350
Vorschulkinder	$I = V * > K$	$I > V > K$	$I > V > K$
Erstklässler	$I = V > K$	$I > V > K$	$I ** > V > K$
Zweitklässler	$I = V > K$	$I = V > K$	$I *** > V > K$

Anmerkungen. K = Kontrollbedingung, V = Variationsbedingung, I = Identitätsbedingung. * > indiziert eine größere Negativierung. ** > und *** > indizieren einen stärkeren Priming-Effekt (Unterschied I – V) mit zunehmenden Alter.

6. Studie 1: Trainingsstudie

“Phonemic training rather than grapheme knowledge modulates implicit speech processing in pre-reading children” (Bauch, Friedrich, & Schild, Stand März 2020).

Author	Author Position	Scientific ideas %	Data generation %	Analysis & interpretation %	Paper writing %
Bauch, Anne	1	15	90	50	75
Friedrich, Claudia	2	15	0	15	10
Schild, Ulrike	3	70	10	35	15
Title of paper:		Phonemic training rather than grapheme knowledge modulates implicit speech processing in pre-reading children			
Status in publication process:		In preparation for submission			

Unterschrift Autoren

Anne Bauch: _____

Prof. Dr. Claudia Friedrich: _____

Dr. Ulrike Schild: _____

6.1. Abstract

Phonemic awareness and rudimentary grapheme knowledge concurrently develop in preschool age. In a training study, we tried to disentangle the role of both precursor functions of reading for spoken word recognition. Two groups of children exercised with phonemic materials, but only one of both groups learnt corresponding letters to trained phonemes. A control group exercised finger-number associations (non-linguistic training). After the training, we tested how sensitive children were to prime-target variation in word onset priming. A group of young adults took part in the same experiment to provide data from experienced readers. While decision latencies to the targets suggested fine-grained spoken word processing in all groups, event-related potentials (ERP) indicated that both phonemic training groups processed phonemic variation in more detail than the non-linguistic training group and young adults. Our results indicate temporal plasticity of implicit speech processing in preschool age as a function of explicit phonemic training.

6.2. Introduction

Previous research has provided evidence for an intimate relationship between speech processing and literacy. Experienced readers who command an alphabetic writing system show spelling biases in some purely auditory tasks requiring specific linguistic decisions. Spelling biases appeared in lexical decisions, requiring participants to decide whether a spoken string is a word or not. Experienced readers recognized spoken words with rhymes that can have several spellings (e.g., “flow - though”) slower than they recognized spoken words that have consistently spelled rhymes (e.g., “house - mouse”; Pattamadilok, Morais, Colin, & Kolinsky, 2014; Pattamadilok, Morais, Ventura, & Kolinsky, 2007; Perre, Bertrand, & Ziegler, 2011; Ventura, Morais, Pattamadilok, & Kolinsky, 2004; Ziegler, Ferrand, & Montant, 2004; Ziegler, Petrova, & Ferrand, 2008). Spelling biases also appeared in phoneme detection, requiring participants to indicate the presence of a specific speech sound in a spoken word or in a nonsense word. Experienced readers detected phonemes that can have several spellings (e.g., /f/ in “phone” or “foam”) more slowly than they detected consistently

spelled phonemes (e.g., /m/ in “mouldy” or “monkey”; Cutler, Treiman, & van Ooijen, 2010). Such spelling biases in tasks involving purely spoken materials have inspired a lively discussion on how the relationship between reading and speech processing is natured. Here we approach this discussion from a developmental perspective and provide data from a training study on precursor functions of reading acquisition.

According to interactive accounts of spoken and written word recognition (e.g., Grainger & Ferrand, 1996; Ziegler & Ferrand, 1998; Ziegler, Muneaux, & Grainger, 2003), newly acquired grapheme knowledge should link to phonological representations that are relevant for lexical access. According to this view, grapheme representations might automatically co-activated while listening to speech related auditory input and interfere directly with lexical access. In the following, we will refer to this approach highlighting implicit grapheme-phoneme links as *implicit orthographic-phonological account*. Others argue that, even if grapheme representations do not link to phonological representations, reading and reading acquisition might restructure phonological representations (e.g., Dehaene, Cohen, Morais, & Kolinsky, 2015; Harm & Seidenberg, 2004; Pattamadilok, Knierim, Kawabata Duncan, & Devlin, 2010; Taft, 2006). According to this second account, spelling biases might rather reflect facilitated phonological processing of consistently spelled words than obligatory involvement of orthographic knowledge in spoken word recognition. As this account also stresses the relevance of implicit speech processing for lexical access, we will refer to it as *implicit phonological account*. In contrast to both former accounts, a third approach restricts effects of reading and reading acquisition to explicit metalinguistic aspects that are not necessary for lexical access (e.g., Cutler & Davis, 2012; Cutler, Treiman, & Ooijen, 2010; Mitterer & Reinisch, 2015). According to this third account (in the following referred to as *explicit phonological account*), only a metalinguistic level of thinking about speech profits from reading acquisition, while implicit aspects of speech processing are not tapped.

Coincident development of grapheme knowledge and phonological awareness in middle childhood makes it difficult to dissociate between the modulating role that either phonemic awareness (the awareness for single sounds) and/or grapheme knowledge exert on speech recognition. When children become aware of phonological units like rhymes, syllables or phonemes, they typically also learn that there are letters (or

graphemes) which correspond to the speech sounds (e.g., Torgesen, Wagner, & Rashotte, 1994). Thereafter, when they start formal reading instruction, children explicitly learn to associate sounds with graphemes in close correspondence with explicit phonemic awareness. Children learn, for example, that the words “bad” and “bag” comprise three phonemes relating to three graphemes and that both words differ only in the third phoneme and grapheme, respectively. It is therefore not surprising that explicit phonological awareness and orthographic knowledge are reciprocally related (Cataldo & Ellis, 1988; Perfetti, Beck, Bell, & Hughes, 1987; Wagner, Torgesen, & Rashotte, 1994). Children’s sensitivity for rhymes, syllables and especially phonemes predicts later reading skills (Castles & Coltheart, 2004; Ehri, Nunes, Stahl, & Willows, 2001; Melby-Lervåg, Lyster, & Hulme, 2012; Naslund & Schneider, 1996; Wagner & Torgesen, 1987); and their orthographic knowledge interferes with performance on explicit metalinguistic tasks (Castles, Holmes, Neath, & Kinoshita, 2003; Ehri & Wilce, 1980; Treiman & Cassar, 1997; Tunmer & Nesdale, 1985). Thus, at least in alphabetic writing systems, phonological awareness and emerging literacy mutually complement each other (see Cheung, Chen, Lai, Wong, & Hills, 2001 for reduced explicit phonological awareness in readers of non-alphabetic logographic scripts).

A previous study obtained indirect evidence for plasticity of speech processing in relation to early reading abilities (Schild, Röder, & Friedrich, 2011). In a cross-sectional design, the study investigated pre-reading and reading preschoolers as well as reading pupils by means of word onset priming. Participants listened to spoken prime-target combinations in three different conditions. In an Identity condition, spoken word onset primes completely overlapped with consecutively presented spoken targets (e.g., “mon - monster”). In two other conditions, primes either varied in the initial place of articulation from their targets (Variation condition, e.g., “non - monster”), or primes and targets differed completely (Control condition, e.g., “dak - monster”). Participants made lexical decisions to the targets. Reading and pre-reading children responded faster to targets in the Identity condition compared to the Control condition, but only readers responded faster to the Identity condition compared to the Variation condition. This suggested that, compared to pre-readers, readers were more sensitive to subtle phonological variation. However, lexical decision latencies in word onset priming appear relatively late and reflect several aspects of the complex recognition process including selection of appropriate word candidates among those matching or partially

mismatching the input (e.g., Friedrich, Felder, Lahiri & Eulitz, 2013; Schild & Friedrich, 2018). Therefore, group differences in decision latencies as a function of prime-target overlap do not allow for differentiating between implicit and explicit aspects of speech processing, which are in focus of implicit vs. explicit accounts regarding the relationship between speech processing and reading.

In this previous study (Schild et al., 2011), event-related potentials (ERP) preceding the lexical decision responses revealed plasticity of implicit speech processing. Between 300 and 400 ms after target word onset, anterior ERP amplitudes for reading children differed between the Identity condition and the Variation condition. For pre-readers, ERP did not differ between both conditions. The authors related ERP differences between the Identity and the Variation condition in readers to the left-anterior P350 emerging between 300 and 400 ms after target word onset in adults (Bien, Bölte, & Zwisserlood, 2014; Friedrich, 2005; Friedrich, Eulitz, & Lahiri, 2008; Friedrich et al., 2013; Friedrich, Schild, & Röder, 2009; Kóbor et al., 2018; Schild, Becker, & Friedrich, 2014b; Schild & Friedrich, 2018). For adults, P350 effects in word onset priming reflect fine-grained mapping between the input and lexical representations (e.g., Friedrich et al., 2009; Schild, Röder, & Friedrich, 2012). Thus, it was suggested that in reading children, implicit lexical access either was modulated by the newly acquired letter knowledge (similar to the *implicit orthographic-phonological account*) or by more fine grained lexical representations (similar to the *implicit phonological account*, Schild et al., 2011). For syllable stress, which is a phonological component not encoded in the German writing system neither lexical decision latencies nor ERP recorded in word onset priming indicated processing differences between reading and pre-reading children (Schild et al., 2014b). This implied that group differences found for the processing of subtle phonological variation (Schild et al., 2011) are restricted to phonemes as most relevant units for reading an alphabetic language.

The present study aimed to elucidate more directly whether phonemic awareness alone or additional grapheme knowledge is associated with more detailed implicit processing of speech observed in readers. To our knowledge, this is the first study to implement a specific training in pre-reading children in order to unravel the relationship between grapheme knowledge, phonemic awareness and speech processing. We

carried out daily ten-minute game-like interventions for ten weeks with pre-reading kindergarteners. Across three groups of children, we realized three different interventions. (i) One group received a daily training on phonemic awareness (phonemic group), (ii) a second group received a combined phonemic awareness and grapheme knowledge training (phonemic-orthographic group), and (iii) a third group received a training not focusing on language development, but on finger-number associations (non-linguistic control group). After the training, we recorded ERP and lexical decision latencies in an auditory word onset priming experiment with all participants in individual test sessions (see Schild et al., 2011). We aimed to investigate the following research questions:

1. *Can previous findings on phonological sensitivity to phonemic mismatch in pre-school children be generalized across phonemic features?*

By applying the same experimental word onset priming paradigm we tested whether preliterate children's tolerance to phonemic variation can be generalized to manipulations in other phonemic features than place of articulation (Schild et al., 2011). If pre-readers indeed depict a more general tolerance to subtle phonemic variation, we should be able to replicate the previous findings in pre-reading children with voicing variation. Results of the control group receiving a non-linguistic training of precursor functions of mathematical skills will be indicative for this question. In accordance with previously obtained results for untrained pre-readers (Schild et al., 2011), we expected that control children should not show fine-grained priming effects (neither in the ERP nor in the lexical decision latencies). Finally, a group of young adults provided data for experienced readers. Here, we expected the same graded activation patterns for voicing variation as previously found in adult participants for place of articulation variation for both lexical decision latencies and P350 amplitudes (e.g. Friedrich et al., 2009; Schild & Friedrich, 2018).

2. *Does a training of phonemic awareness alone or combined training of phonemic awareness and letter knowledge lead to more refined phonological representations in preliterate children?*

We considered comparison of both phonemic training groups to be informative about the contribution of phonemic awareness alone or in combination with grapheme knowledge to refined implicit speech processing in children. Both phonemic training

groups received training to detect phonemic variations. The daily interventions focused on two specific German consonants differing in voicing (/g/ and /k/). In word onset priming after the training, these two trained phonemes were compared to two untrained phonemes differing in voicing (/b/ and /p/). If phonemic training generalizes to untrained phonemes, this should be reflected in graded priming-effects in response latencies and P350-amplitudes comparable to those found for reading children in the former study by Schild and colleagues (2011). In particular, ERP differences would be evidence for *implicit phonological accounts* focusing on phonological representations rather than grapheme representations (e.g., Dehaene et al., 2015; Harm & Seidenberg, 2004; Pattamadilok et al., 2010; Taft, 2006). If grapheme knowledge boosts refinement of implicit speech processing, the combined phonemic-orthographic training group should show most pronounced P350 priming effects in speech processing compared to both other groups, especially for the trained phonemes. This would be evidence for an intimate relationship between speech sound representations and grapheme representations as assumed by the *implicit orthographic-phonological account* (e.g., Grainger & Ferrand, 1996; Ziegler & Ferrand, 1998; Ziegler et al., 2003). If group differences are restricted to response latencies, this would be evidence in support of *explicit phonological accounts* (e.g., Cutler & Davis, 2012; Cutler et al., 2010; Mitterer & Reinisch, 2015).

6.3. Method

6.3.1. Training study

Participating children took part in one of the two language trainings or in the non-phonemic control training. Children of the language groups were either part of a phonemic-orthographic training group (PHORT) or a phonemic-only training group (PHON). In both experimental groups, children received a phonemic-orientated training that focused on the awareness of initial sounds and phoneme synthesis and analysis. In the phonemic-orthographic group, children additionally learned the grapheme-phoneme correspondences for the trained phonemes /g/ and /k/. In contrast,

participants of the non-linguistic training (CONTROL) were trained with numerical material only.

The trainings were randomly assigned to and conducted in local kindergartens in the city of Tübingen, Germany. All participants were in their final year of kindergarten, i.e., they were between five and six years of age. Children within the same kindergarten received the same training. We allowed bilingual children to take part in the training itself to maintain the integrity of the preschool groups but they were excluded from further testing. All three trainings consisted of 50 daily sessions and ran for approximately ten weeks from February/March to May/June in 2015 and 2016. Kindergartens participating in both years switched training form in the second year to control for possible environmental effects. Each daily session lasted for 10 - 15 minutes and was led by instructed collegiate and doctoral members of the Department of Psychology, Eberhard-Karls-University Tübingen, Germany.

Before and after the training period we tested each child in two individual sessions (each lasting for about 30 - 40 minutes) in order to obtain measurements of language, arithmetical and general cognitive abilities. These tests were conducted in local rooms of the kindergartens. Finally, each child participated in a reaction time experiment with EEG recording at our laboratory. This session lasted for two hours on average, with the EEG experiment lasting for about 30 - 40 minutes.

6.3.2. Participants

Initially 102 children participated in the training study. Children and parents received written information about the study and signed a letter of consent. Parents provided demographic and developmental information about their child in a questionnaire. The children received a present after each of the individual sessions. We had to exclude 21 datasets, because respective EEG recordings were either too noisy or failed to contribute enough segments for ERP analysis (we pre-defined a minimum of 15 segments). Another twelve datasets were lost because children refused to wear the cap for the EEG recording ($n = 6$), or because they were unavailable for EEG testing altogether ($n = 6$). Five children were identified with early reading skills via the parental

questionnaire and pretesting with the reading test “Ein Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler” (ELFE 1-6; Lenhard & Schneider, 2006) and were also excluded from data analysis. We considered them as children with early reading skills if they were able to read aloud single unknown words at the word comprehension subtest of the ELFE 1-6. Note that the higher number of reading preschoolers in the study by Schild and colleagues (2011) reflects the former’s recruiting strategy. In their study, they actively searched for reading preschoolers by respective announcements in local newspapers. Yet, given our research questions, we were not interested in reading preschoolers in the present training study. Finally, another three children were excluded due to increased error rates in the behavioral experiment (cut-off rate for missing words > 20%, $n = 3$; for incorrect responses to pseudowords > 80%, $n = 1$). The final sample included datasets of 67 children.

All remaining children grew up in a monolingual German-speaking environment. Table 6.1. sums up more detailed demographic information. None of the children were able to properly read and write. However, nearly all children were able to write their first names and/or the names of their parents/siblings. There were no reports of neurological or hearing problems for any of the children. All participants had normal or corrected-to-normal eyesight. There were no significant differences in general cognitive abilities between the three groups as measured by the *Matrices* subtest of the “Culture Fair Intelligence Test 1 – Revision” (CFT 1-R; Weiß & Osterland, 2013). Handedness for all participants was assessed via the “Edinburgh Handedness Inventory” (EHI; Oldfield, 1971). The Ethics Committee of the German Psychological Association (Ethikkommission der Deutschen Gesellschaft für Psychologie) approved of this study.

Table 6.1

Demographic data of the three training groups.

Group	Variable										
	n	Sex		Age		Attendance		CFT1-R		LQ	
		m	f	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
PHON	24	14	10	74.1	4.92	38.97	8.49	7.50	3.38	45.95	66.02
PHORT	22	12	10	73.81	3.84	42.00	5.72	7.18	3.49	55.57	52.74
CONTROL	21	11	10	73.80	5.01	40.26	7.26	5.71	3.83	72.25	45.23
Group diff.				n.s.				n.s.		n.s.	

Notes. Demographic information on distribution of genders (m = male, f = female) across the groups, age in months at post-testing, days of attendance in the training and mean results of the standardized tests on general cognitive abilities (max = 15, CFT 1-R, *Matrices* subtest, Weiß & Osterland, 2013) and handedness *Lateralization Quotient* (LQ; Oldfield, 1971) of the phonemic-only (PHON), phonemic-orthographic (PHORT) and control (CONTROL) group. There were no significant differences between groups (Group diff.) in age, CFT1-R and LQ measurements.

We additionally recruited 18 young adult participants (9 females) who were all students of the University of Tübingen (mean age = 23 years). All adult participants were right-handed and native speakers of German. None of them reported neurological or hearing problems. All of them had normal or corrected-to-normal eyesight. Adult participants received oral and written information about the study and signed consent to participate in the experiment. They were compensated for their efforts with either eight Euros per hour or course credits.

6.3.3. Training material

For the language groups, procedure and games were adapted from Küspert and Schneider (2008) and Plume and Schneider (2004). Both language trainings contained the same 15 phonemic games (see Table 6.2. in the Appendix of this chapter for the detailed program and examples). While the phonemic-only group received an auditory phonemic training only, the phonemic-orthographic group additionally received training

in phoneme-grapheme-mappings for the trained phonemes. The games varied daily and increased in their level of difficulty during the course of the training program. The training was based on the German voiced and voiceless consonants /g/ and /k/. We supplemented the training material with the vowels /a/, /e/, /i/ and /o/ to provide an easy access and to facilitate the familiarization with the exercises. Two sets of in total 57 picture cards served as the main material for the games. For the phonemic-orthographic group, we complemented the material with respective capital letter cards (A, E, I, O, G and K).

We focused on exercises that targeted the training of phonemes. For instance, in the *Picture Card Game* children picked one of the cards and then named the initial phoneme of the illustrated object (and assigned them to the corresponding letter card in the phonemic-orthographic group, respectively). While the first half of the training concentrated on phoneme onset detection games only, the second half of the training also included exercises on phoneme synthesis and analysis. For example, here, children were asked to segment words into their single phonemes (e.g., the *Sound Ball* game, phonemes of a word were given spelled separately and children were asked to name the word as a whole; “*Which word do I mean? K-I-W-I*”). Target words from the behavioral experiment were not included as training material to avoid familiarity effects. Length and organization of the training for the non-linguistic control training was comparable to that of the two language groups.

6.3.4. Tests

Phonological awareness, phonemic awareness and letter knowledge were tested before and after the ten-week training period. Handedness and general cognitive abilities were assessed once after the training period.

Phonological awareness. Phonological awareness was measured with the “Test zur Erfassung der phonologischen Bewusstheit und Benennungsgeschwindigkeit” (TEPHOBE; Mayer, 2011). The TEPHOBE contains the four subtests *Synthesis of Onset and Rhyme*, *Phoneme Synthesis*, *Rhyming*, and *Categorization of Initial*

Sounds. Two additional subtests capture rapid automatized naming (*Naming of Colors* and *Naming of Objects*). There was no child that performed below average on this test.

Phonemic awareness. Phonemic awareness was tested with an additional test (*Spy Game*) which we adapted from Castles, Wilson, and Coltheart (2011). This card-based game consisted of 13 different objects all starting with a different phoneme, e.g., “Gitarre” (*guitar*), “Birne” (*pear*), “Apfel” (*apple*). At first, we asked all participants to name all of the objects presented on the cards to check whether they recognized the objects. If a child used a different name for one of the objects, the instructor corrected with the intended name. Following this, children were asked to identify the object that start with a specific sound (e.g., “I can see an object starting with /g/, can you name it?”). This set included both the trained consonants /g/ and /k/ and the untrained consonants /b/ and /p/, which were part of the subsequent behavioral experiment. The remaining objects started with the vowels (/a/, /e/, /o/ and /u/) and the additional consonants (/d/, /f/, /m/, /n/, /t/), which were unrelated to the subsequent behavioral experiment.

Letter knowledge. The children were asked to name 15 letters in upper case and lower case. Like the *Spy Game*, *Letter Knowledge* tested the knowledge of the trained and untrained consonants as well as vowels and additional untrained consonants (G, K, B, P, A, E, I, U, O, D, T, S, W, H, R).

General cognitive abilities and handedness. Children performed the two subtests *Matrices* and *Continuing Rows* of the “Culture Fair Intelligence Test - Revision” (CFT 1-R, Weiß & Osterland, 2013) for an estimation of their cognitive abilities. However, since instructors had repeatedly reported that children had difficulties with the subtest *Continuing Rows*, only results from the *Matrices* subtest entered analyses. There was no child that performed below average on this test. The handedness of each participant was measured with the “Edinburgh Handedness Inventory” (EHI, Oldfield, 1971). Note that we omitted the item “Striking A Match”.

Reading abilities. Before pretesting, we screened all parental questionnaires to detect children with advanced reading skills. These children additionally completed the reading test “Ein Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler” (ELFE 1-6; Lenhard & Schneider, 2006) in estimation of their level of reading proficiency.

As the non-linguistic control training served as an experimental group for a research question of its own, we also measured children's levels of finger-gnosis and basic arithmetic skills (Schild et al., accepted, Anhang II).

6.3.5. Experimental stimuli and procedure

74 monomorphemic disyllabic German nouns served as targets (see Appendix of this chapter, Table 6.3.). All of them were stressed on the first syllable. Half of the word started with one of the trained phonemes (either /g/ or /k/); the other half of the words started with one of the untrained phonemes (either /b/ or /p/). Furthermore, we added 74 pseudowords for the lexical decision task. Here, we extracted the second syllable of each target word and exchanged them with the second syllable of another target word. For example, the second syllable of "Brezel" (*pretzel*) was inserted as the second syllable in "Kette" (*chain*) and vice versa, resulting in the two pseudowords "Brete" and "Ketzel".

Primes were created from the first syllable of each target word. The prime-target combination varied across three experimental conditions. In the Identity condition, prime and target completely matched (e.g., "ki – kino"). In the Variation condition, the prime varied from its assigned target in the voicing of its initial sound (e.g., "gi – kino"). In the Control condition, the prime and the target were unrelated insofar as their first syllables contained different phonemes and, additionally, the first phoneme differed in the place of articulation as well as in the voicing to maximize differences between prime and target (e.g., "ba – kino"). A pseudoword appeared instead of a target in 33% of the trials. Primes and pseudowords were combined according to the different conditions in the same way as the primes and targets. Every target appeared once in every condition, every pseudoword appeared only once in total. The stimulus material was recorded by a male and a female professional native speaker of German. The primes were taken from words spoken by the male speaker and the targets and pseudowords were taken from the female speaker to prevent mere acoustical priming effects. Both speakers were unaware of the purpose of the study.

Children and adults completed a unimodal auditory word-fragment priming experiment with EEG recording. In total, 296 trials (222 targets and 74 pseudowords) were presented, which appeared in twelve blocks. In eight blocks, participants listened to 25 trials and in four blocks to 24 trials. Targets were not repeated within a block. Trials were randomized within each block. Across participants, the sequence of the blocks was balanced. We introduced the experiment as a “word-catching-game”. Participants were instructed to press the space bar as fast and as correctly as possible whenever they heard a real word and to refrain from responding whenever they heard a pseudoword. Each trial started with the presentation of a fixation picture (1x1 cm, a smiley) in the middle of the screen. After 500 ms the auditory prime was presented. The auditory target or a pseudoword followed 200 ms after offset of the prime to create a comparable and adequate baseline period for the ERP. Brief visual feedback (3x7 cm) was provided whenever the child responded correctly to a target (a smiley flying into a basket), or whenever the child incorrectly pressed the space bar for a pseudoword (a little ghost appeared in the middle of the screen). The next trial started 1.5 seconds after the offset of the feedback. No feedback was given whenever the child missed a target. In this case, the next trial started 3.5 seconds after the onset of the target. After each block a short break was provided.

To minimize movement artifacts in the EEG signal, we seated participants as comfortably and relaxed as possible on a solid chair in approximately 50 cm distance to the screen. They were instructed to fixate the middle of the screen. The stimuli were presented via loudspeakers placed on both sides of the screen. The experiment was conducted in an electrically shielded and sound-attenuated room. Half of the participants used the index finger of their right hand, and the other half of the participants used the index finger of their left hand to press the space bar.

6.3.6. Electrophysiological recording

We used 46 active Ag/AgCl electrodes (Brain Products) attached into an elastic cap (Electro Cap International, Inc.) for the continuous EEG recording according to the international 10-20 system (bandpass filter 0.01-100 Hz, BrainAmp Standard, Brain Products, Gilching, Germany). The reference and the ground electrode were placed

on the tip of the nose and in the electrode cap at position AF3, respectively. Two additional electrodes were placed below each eye. Two eye-calibration blocks were presented before and after the experiment. EEG data was processed with the Brain Electrical Source Analysis Software (BESA, MEGIS Software GmbH, Version 5.3). We applied the surrogate Multiple Source Eye Correction (Berg & Scherg, 1994) implemented in BESA for eye-movement artifact correction. For offline analysis, the signal was re-referenced to an average reference. All artifact rejection was computed manually and by visual inspection. Individual noisy channels were linearly interpolated for all trials ($M = 3.65$, $SD = 1.44$, $Range = 0 - 6$ for children, $M = 1.27$, $SD = 1.36$, $Range = 0 - 4$ for adults). All recordings were filtered offline with a 0.3 Hz high-pass filter. ERP were computed only for correctly identified targets, starting from the beginning of the speech signal until 700 ms post-stimulus onset, with a 200 ms pre-stimulus baseline.

6.3.7. Data analysis

Explicit tests. A repeated measures ANOVA with the within-factor *Time* (pre-test vs. post-test) and the between-factor *Group* (PHORT vs. PHON vs. CONTROL) was applied. If assumptions of normal distribution or variance homoscedasticity were violated, non-parametric Welch-Test were applied.

Reaction times and errors. Reaction times (RT) shorter than 200 ms and longer than 2000 ms were removed from analysis. A repeated measures ANOVA with the within-factors *Condition* (Identity vs. Variation vs. Control) and *Phoneme* (trained phonemes [g/k] vs. untrained phonemes [b/p]) and the between-factor *Group* (PHORT vs. PHON vs. CONTROL vs. ADULT) was applied. The same procedure was used for the analysis of errors in word trials (omissions). The RT result section will report significant main effects of the factor Condition and interaction effects including this factor.

Event-related potentials. Four regions of interest (ROI, anterior-left: F9, F7, F3, FT9, FT7, FC5, FC1, T7, C5; posterior-left: C3, TP9, TP7, CP5, CP1, O9, P3, PO9, O1; anterior-right: F10, F8, F4, FT10, FT8, FC6, FC2, T8, C6; posterior-right: C4, TP10, TP8, CP6, CP2, P8, P4, PO10, O2) were identified prior to analyses. ERP amplitudes

were computed with the same ANOVA as the reaction times, with the additional factors *Region* (anterior vs. posterior) and *Hemisphere* (left vs. right). In order to make the present analysis comparable to the results of the study by Schild and colleagues (2011), we adapted the same time windows in the present study. This resulted in a first time window ranging from 100 to 300 ms and a second time window from 300 to 400 ms. Both time windows preceded the behavioral responses. The ERP result section will only report significant interactions of *Condition* with *Hemisphere* and/or *Region*. In case of significant interactions, follow-up ANOVAs and *t*-tests were computed. All reported *t*-test results were subject to Holm-Bonferroni correction.

6.4. Results

6.4.1. Explicit tests

Table 6.4. in the Appendix of this chapter depicts mean scores for pre and post-tests. At pre-test, there were no significant group differences in *phonological awareness*, *phonemic awareness* and *letter knowledge*, all $F_s(2, 64) \leq 2.92$, n.s.

Phonological awareness. We found a significant interaction of *Group* x *Time* in the phonological awareness test (TEPHOBE, total score), $F(2, 64) = 2.97$, $p = .05$, $\eta p^2 = .08$. Both phonemic groups scored higher in the total score after the training, PHON: $t(23) \geq 4.27$, $p \leq .0002$, $d = 0.82$; PHORT: $t(21) \geq 2.14$, $p \leq .04$, $d = 0.41$. This was not the case for the CONTROL group, $t(20) \leq 1.17$, n.s. In the subtests of the phonological awareness test we found a significant main effect of *Time* in the subtests *Onset & Rhyme* and *Phoneme Synthesis*. Children of all three groups scored higher in these subtests after the training, both $t_s(1, 64) \geq 2.97$, $p \leq .004$, $d \geq 0.44$. There were no main effects of *Time* (all $t_s(1, 64) \leq 1.54$, n.s.) in any of the other subtests. Furthermore, there were no main effects of *Group* (all $t_s(2, 64) \leq 2.88$, n.s.) nor interaction effects of *Group* x *Time* (all $t_s(2, 64) \leq 1.62$, n.s.) for any of the subtests.

Phonemic awareness. The ANOVA revealed a significant main effect of *Time* for the test of phonemic awareness (Spy Game), $F(1, 64) = 20.82$, $p < .001$, $\eta p^2 = 0.25$. Children of all training groups recognized more phonemes after the training than before

the training, $t(66) = 4.62, p < .001, d = 0.52$. Additionally we found a main effect of *Group* in the phonemic awareness test, $F(2, 64) = 3.40, p = .040, \eta p^2 = .10$. Children from the phonemic-only training group scored higher in the phonemic awareness test than children from the control group with non-linguistic training, $t(41.27) = 2.66, p = .01$. We neither found significant performance differences in the *t*-test comparing the combined training group and the control group with non-linguistic training ($t(40.49) = 1.51, n.s.$), nor in the *t*-test comparing the combined training group and the phonemic-only group, $t(42.12) = 1.01, n.s.$

Letter knowledge. We found main effects of *Time* for all scores of letter knowledge (capital and small letters), both $F_s(1, 64) \geq 25.03, p \leq .001, \eta p^2 \geq .28$. All children knew more letters after the training compared to pre-test point of measurement, both $t_s(66) \geq 10.59, p \leq .001, d \geq 0.63$. Furthermore, a main effect of *Group* was significant in the *letter knowledge* of capital letters, $F(2, 44) \geq 3.44, p \leq .038, \eta p^2 = .10$. Compared to the non-linguistic control training group, the phonemic-orthographic group knew more capital letters, $t(40.77) = 2.51, p = .01$. There was no difference between the control and phonemic-only group ($t(42.82) = 1.49, n.s.$), nor between both phonemic training groups, $t(43.99) = 0.97, n.s.$

6.4.2. Reaction time and error analysis

Figure 6.1. presents mean reaction times for each condition and each group. Mean reaction times and standard deviations are summarized in Table 6.5. in the Appendix of this chapter. We found a main effect of *Condition* ($F(2, 162) = 150.17, p < .001, \eta p^2 = .65$), a main effect of *Group* ($F(3, 81) = 18.75, p < .001, \eta p^2 = .41$), as well as an interaction effect of *Group* x *Condition*, $F(6, 162) = 5.31, p < .001, \eta p^2 = .16$.

Separate, consecutive *t*-tests in each group revealed a gradual response time pattern across trained as well untrained phonemes. Participants responded fastest in the Identity condition, intermediate in the Variation condition and slowest in the Control condition. All conditions differed significantly from each other for all groups (PHON: all $t_s(23) \geq 4.95, p \leq .0001, d \geq 0.96$; PHORT: all $t_s(21) \geq 2.87, p \leq .009, d \geq 0.67$; CONTROL: all $t_s(20) \geq 2.49, p \leq .021, d \geq 0.54$; ADULT: all $t_s(17) \geq 2.94, p \leq .009, d \geq$

0.60). While the children groups depicted similar overall response times, adult participants responded faster across all conditions ($M = 822.07$ ms, $SD = 115.46$ ms) compared to children from the phonemic-orthographic group ($M = 1077.66$, $SD = 144.55$ ms, $t(37.22) = 6.21$, $p < .0001$), as well as compared to the phonemic only group ($M = 1089.87$ ms, $SD = 134.76$ ms, $t(39.22) = 6.92$, $p < .0001$) and the children control group ($M = 1025.52$ ms, $SD = 100.02$ ms, $t(33.96) = 5.83$, $p < .0001$).

Overall, children made only few errors in word trials, $M_{\text{Percentage}} = 4.92$, $SD_{\text{Percentage}} = 3.61$, $\text{Range}_{\text{Percentage}} = 1.01 - 19.33$ (Adults: $M_{\text{Percentage}} = 0.47$, $SD_{\text{Percentage}} = 0.98$, $\text{Range}_{\text{Percentage}} = 0.00 - 4.05$). Error analysis revealed a significant main effect of *Condition* ($F(2, 162) = 4.09$, $p = .019$, $\eta p^2 = .05$) and an interaction effect of *Group* \times *Condition*, $F(6, 162) = 2.21$, $p = .045$, $\eta p^2 = .08$. Children of the phonemic-orthographic group made less mistakes in the Identity ($M = 1.38$, $SD = 0.96$) and Variation ($M = 1.27$, $SD = 0.85$) condition compared to the Control condition ($M = 2.02$, $SD = 1.45$), both $t(21) \geq 2.41$, $p \leq .02$, $d \geq 0.09$. There was no difference between the Identity and the Variation condition, $t(21) = 0.48$, n.s. In the other groups, there were no significant differences between any of the conditions (PHON: all $t(23) \leq 1.7$, n.s.; CONTROL: all $t(20) \leq 1.90$, n.s.; ADULT: all $t(17) \leq 1.14$, n.s.).

Figure 6.1. Reaction times

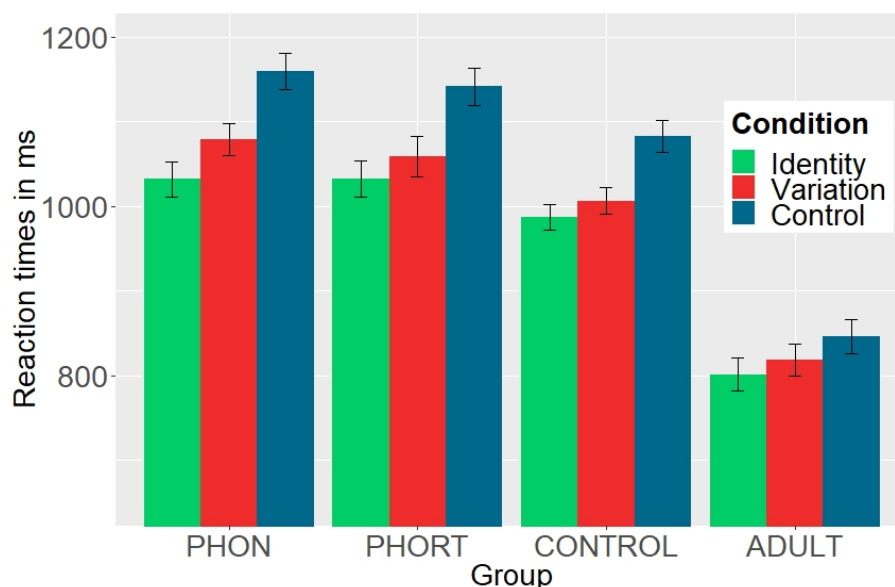


Figure 6.1. Mean reaction times and standard deviations (as indicated by error bars) of the three conditions (Identity, Variation and Control) for each training group (PHON = phonemic only group,

PHORT = phonemic-orthographic group, CONTROL = non-linguistic control group) and adult control group (ADULT).

6.4.3. Event-related potentials

100 - 300 ms. The ANOVA revealed significant interactions of *Condition x Region* ($F(2, 162) = 9.98, p < .001, \eta p^2 = .11$), of *Group x Condition x Phoneme* ($F(6, 162) = 2.39, p = .031, \eta p^2 = .08$), and of *Group x Condition x Region x Hemisphere*, $F(6, 162) = 2.47, p = .026, \eta p^2 = .08$. According to the quadruple interaction, we analyzed each group separately.

For the phonemic only group, the ANOVA revealed significant interactions of *Condition x Region* ($F(2, 46) = 4.27, p = .029, \eta p^2 = .16$), and of *Condition x Hemisphere*, $F(2, 46) = 4.04, p = .024, \eta p^2 = .15$. Over anterior regions, amplitudes in the Identity condition were more negative than amplitudes in the Variation and in the Control condition, all $ts(23) \geq 3.05, p \leq .005, d \geq 0.71$. There was no significant difference in amplitudes between the Variation and the Control condition, $t(23) = 1.39$, n.s. There were no significant differences between the amplitudes over posterior regions, all $ts(23) \leq 1.40$, n.s. Over the left hemisphere, there was no difference in amplitudes between the Identity and the Variation condition, $t(23) = 1.01$, n.s. However, amplitudes in the Identity and in the Variation condition were both more negative than amplitudes in the Control condition, both $ts(23) \geq 2.67, p \leq .01, d \geq 0.53$. There were no significant differences between amplitudes over the right hemisphere, all $ts(23) \leq 0.22$, n.s.

For the phonemic-orthographic group, the ANOVA revealed an interaction effect of *Condition x Region*, $F(2, 42) = 6.94, p = .002, \eta p^2 = .25$. Similar to the phonemic only group, amplitudes over anterior regions were more negative in the Identity condition than amplitudes in the Variation condition and amplitudes in the Control condition, both $ts(21) \geq 2.48, p \leq .02, d \geq 0.49$. There was no difference between amplitudes in the Variation and Control condition, $t(21) = 1.76$, n.s. A similar pattern emerged over posterior regions: Amplitudes in the Identity condition were more negative compared to amplitudes in the Variation and in the Control condition, both $ts(21) \geq 2.08, p \leq .04, d \geq 0.41$. There was no difference between amplitudes in the Variation and Control condition, $t(21) = 0.78$, n.s.

For the children control and the adult group, the ANOVA did not reveal any significant interactions with *Condition*, all $F_s \leq 1.51$, n.s. Figure 6.2. illustrates the ERP effects for this time window.

Figure 6.2. ERP effects in the first time window (100 - 300ms)

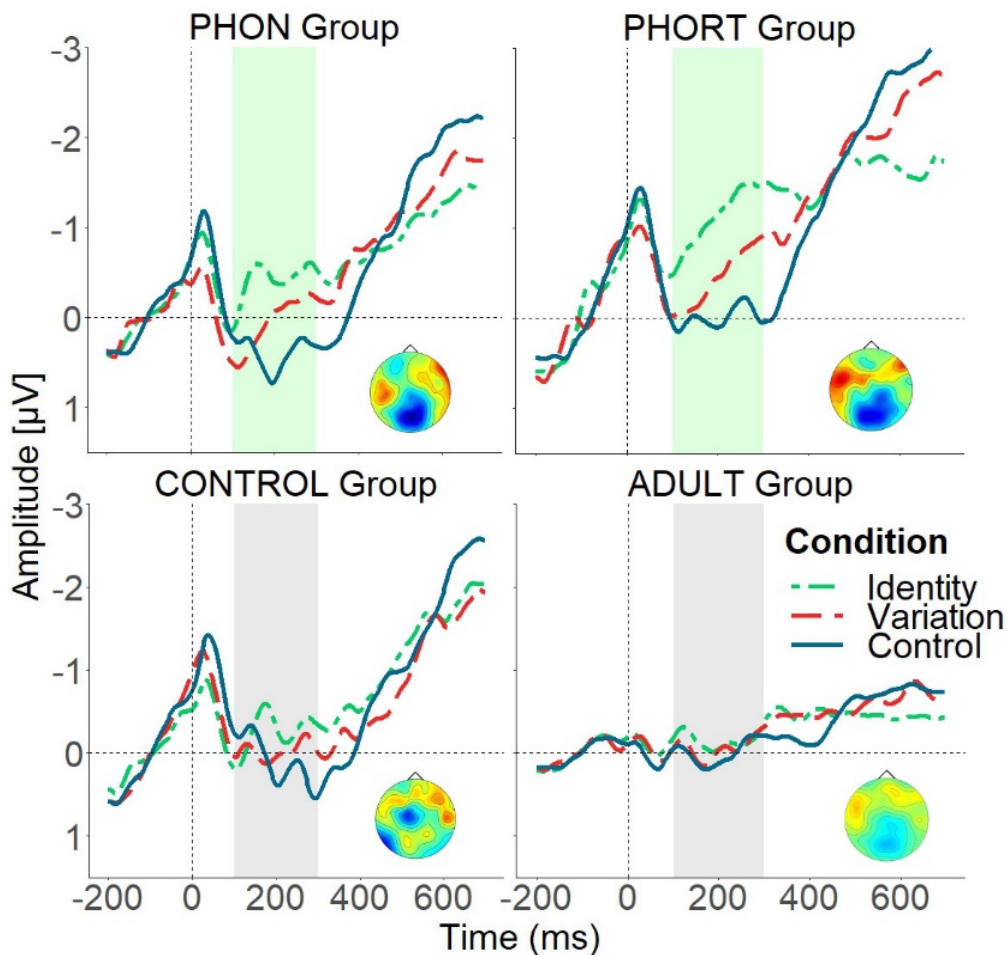


Figure 6.2. Mean ERP effects over both anterior regions for all four groups separately, illustrating significant ERP differences between groups (see interaction effects including the factor GROUP in the time window between 100 and 300 ms after target word onset). Upper panels: the phonemic-only group (PHON, left) and the phonemic-orthographic training group (PHORT, right). Lower panels: control training group (CONTROL, left) and adult control group (ADULT, right). Identity condition (green, short-dashed line), Variation condition (red, long-dashed line) and Control condition (blue, solid line). The light grey bar marks the analysis area for time window 100 - 300 ms in which significant group differences were found. The depicted topographical voltage maps indicate significant difference waves for the Variation condition minus Identity condition for the three training groups.

300 - 400 ms. The ANOVA revealed an interaction of *Condition* x *Phoneme* ($F(2, 162) = 4.35$, $p = .014$, $\eta p^2 = .05$), an interaction of *Condition* x *Region* ($F(2, 162) = 8.51$, $p <$

.001, $\eta p^2 = .10$) and a triple interaction of *Condition* \times *Region* \times *Hemisphere*, $F(2, 162) = 5.13$, $p = .007$, $\eta p^2 = .06$.

Over anterior left regions, amplitudes in the Identity condition did not differ from amplitudes in the Variation condition, $t(84) = 0.63$, n.s. Amplitudes of both conditions were more negative than amplitudes of the Control condition, both $t_s(84) \geq 3.92$, $p \leq .0001$, $d \geq 0.45$. Amplitudes over the anterior right, posterior left and posterior right regions were more negative (positive) in the Identity condition compared to the Control condition, all $t_s(84) \geq 1.99$, $p \leq .04$, $d \geq 0.22$. There were no differences of amplitudes between the Identity and Variation condition, or Variation and Control condition in these regions, all $t_s(84) \leq 1.89$, n.s. Figure 6.3. illustrates the ERP effects over anterior and posterior regions across all groups.

Figure 6.3. ERP effects in the second time window (300 - 400ms)

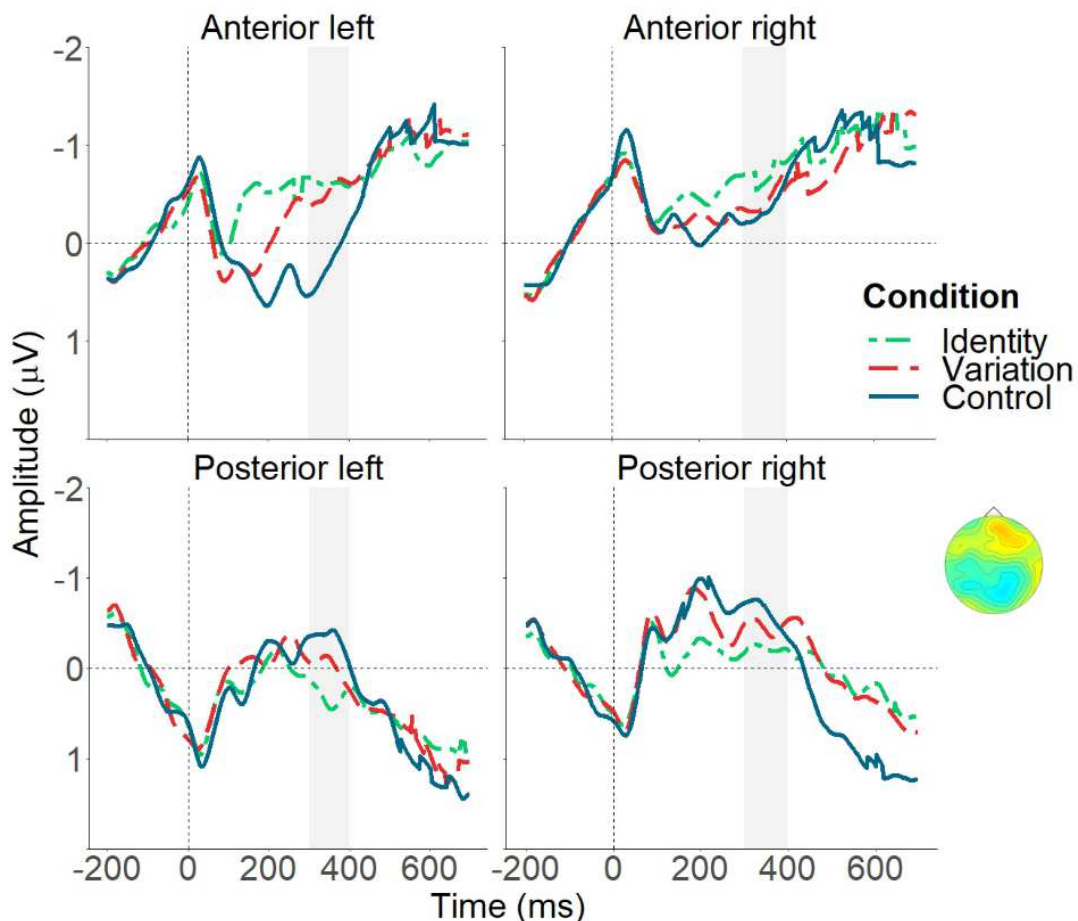


Figure 6.3. Mean ERP effects over anterior and posterior regions averaged across all four groups (three training groups and adults), illustrating comparable ERP differences for all groups (see interaction

effects including condition, but not group in the time window between 300 and 400 ms after target word onset). Identity condition (green, short-dashed line), Variation condition (red, long-dashed line) and Control condition (blue, solid line). The light grey bar marks the analysis area for time window 300 – 400 ms. The depicted topographical voltage maps indicate significant difference waves for the Variation condition minus Identity condition for the three training groups and adults combined.

In sum, between 100 - 300 ms after target word onset, differences in amplitudes arose between groups. Both phonemic groups, but not the training control or adult group, showed differences between the Identity condition and the Variation condition over anterior regions. In the combined training group, a similar pattern of amplitude differences emerged over posterior regions. In a later time window (300 - 400 ms), all children as well as adult participants, exhibited a robust priming difference between the Identity and the Control condition, but the critical conditions did not differ (Identity versus Variation). We neither found main effects of the factor *Phoneme*, indicating different ERP results for trained vs. untrained phonemes, nor any interactions including this factor.

6.5. Discussion

In this intervention study, we investigated whether phonemic awareness alone (*implicit phonological account*) or in combination with grapheme knowledge (*implicit orthographic-phonological account*) shapes implicit phonological processing in preliterate children, or whether phonemic awareness rather leads to more elaborated strategic processing beyond obligatory processing levels of speech recognition (explicit phonological account). For this purpose, we provided ten weeks of daily training sessions to three groups of preliterate children: (i) one group received a training on phonemic awareness only (phonemic group), (ii) another group received a combined training on phonemic awareness and on some letters (phonemic-orthographic group), and (iii) a third group received a non-linguistic training on finger-number associations (control group). Thereafter, we tested different aspects of speech processing in these differently trained children.

Results of the explicit measurements showed improvement of overall phonological awareness in both phonemic training groups in comparison to the control group, but no specific training effects on phonemic awareness or letter knowledge. Reaction times indicated differentiated processing of voicing variations in all training groups as well as in the control adult group. However, at early stages of phonological processing, children of both phonemic training groups appeared to process phonemic variations in more detail, whereas children of the control group and adults showed no differentiated processing of voicing mismatches.

Before interpreting the results related to the training, we need to reflect on how efficient both linguistic trainings were. Furthermore, we need to discuss the somewhat unexpected results of the adult control group.

How did the training affect the performance on the explicit measurements?

Evidencing that the phonemic training worked, both phonemic training groups improved in phonological awareness (including phonemic awareness subtests) compared to the non-linguistic training group. Former studies applying phonological trainings over six to eight months had already reported sustainable effects on the performance in explicit metalinguistic tasks in preliterate children, in comparison to a group without training (Lundberg, Frost, & Petersen, 1988; Schneider, Küspert, Roth, Vise, & Marx, 1997). Note, that these former studies included also training of larger speech segments (e.g., syllables) in their intervention program, resulting in an overall longer duration of the training itself; the duration of training on actual phonemic awareness was roughly comparable to that of our study. Compared to these studies, we observed comparable effects sizes of the training on phonological awareness measurements. However, in general, all three training groups gained expertise in phonemic awareness from pre- to post-training testing. This implies developing phonemic awareness in middle childhood. Presumably triggered by a general interest in school-related activities (such as interest in learning letters, in playing word games or in reading), preliterate children might become aware of phonological units like rhymes, syllables or phonemes even without specific training.

Somewhat unexpectedly, the combined phonemic-orthographic training did not specifically improve explicit letter knowledge. Again, all groups improved from pre- to post-training testing. However, in contrast to particularly enhanced phonological

awareness in both phonemic training groups, children did not gain particularly enhanced letter knowledge from the phonemic-orthographic training. It appears that, regarding grapheme knowledge, a ten-week training is not as effective as longer interventions are. Former studies applying phonological trainings with a focus on the correspondence between letters and speech sounds reported efficient letter learning together with sustainable effects on the performance in explicit metalinguistic tasks (Bus & van Ijzendoorn, 1999; Schneider, Roth, & Ennemoser, 2000). The present results suggest that instead of coincidence, enhanced phonemic awareness in both phonemic training groups (and to some extent also in the control group) preceded robust grapheme knowledge. Thus, children became aware of phonemic units faster than they were acquiring letter knowledge.

Regarding answering our research questions and the discussion of the present ERP and behavioral results, we should keep in mind that the training did not establish robust letter-speech sound associations above the level that children of this age typically reach.

1. Can previous findings on phonological sensitivity to phonemic mismatch be generalized across phonemic features?

The present data of young adults only partly replicated previous results of two auditory word onset priming studies investigating variation in place of articulation (Friedrich, Schild & Röder, 2009; Schild, Röder & Friedrich, 2012). Similar to both previous studies, adults of the present study showed a graded pattern in their reaction times. They responded fastest in the Identity condition, somewhat slower in the Variation condition and slowest in the unrelated control condition. This suggests that adults noticed prime-target variation in voicing and that this partial mismatch interfered with the yes-decision required in the lexical decision response. However, adults did not show robust ERP differences between the Identity condition and the Variation condition. This result was not expected on the basis of both previous studies on place variation, which had both shown a pattern of graded ERP in parallel to a graded pattern in reaction times. Apparently, it makes a difference whether phonemic variation occurs in place of variation (former studies) or voicing (present study).

Again, ERP and reaction time data recorded in word onset priming appear to dissociate functionally different aspects of speech processing and decision making. Young adults

responded overall faster to the trials than children, but this was not reflected in respective speeding of ERP deflections compared to the groups of preliterate children. While ERP reflected privileged processing of partially mismatching targets (compared to unrelated targets) across several studies with adults, decision latencies for partially mismatching targets were not facilitated in some studies (Friedrich, Lahiri & Eulitz, 2008; Kóbor et al., 2018; Schild, Becker & Friedrich, 2014a) or even inhibited in one study (Friedrich, Felder, Lahiri & Eulitz, 2013). That is, in former studies, processing reflected in the ERP was more tolerant to subtle phonological variation than processing reflected in lexical decision latencies. The present results for young adults fit into this line of research in that aspects of implicit, input-mediated lexical access (which seem to be reflected in the ERP; e.g., Bien et al., 2014; Friedrich, 2005; Friedrich et al., 2008, 2009, 2013, Kóbor et al., 2018; Schild et al., 2014b, 2018), are more tolerant to variation between the speech input and stored lexical representation than later aspects of processing (as reflected in delayed lexical decision responses). Future research should systematically investigate whether implicit lexical access weights different phonetic features differently.

Results obtained for children receiving a non-linguistic training were comparable to that of young adults. While we found a graded activation pattern in the reaction times (indicating sensitivity to phonemic mismatch), children who participated in a non-linguistic training did not seem to consider voicing differences for input-mediated lexical access, as shown in similar ERP amplitudes elicited in the Identity condition and the Variation condition. We might conclude that adults and preliterate children process the feature voicing similarly. They only consider voicing variations at a late, strategic stage of processing, but not necessarily at an early implicit level. Together the findings for both control groups can be considered as some evidence for an *explicit phonological account* to lexical decision latencies (e.g., Cutler & Davis, 2012; Cutler et al., 2010; Mitterer & Reinisch, 2015). Similar to young adults, children who were not phonemically trained used voicing mismatches at an explicit decisional level, but neglected it for implicit processing.

2. Does a training of phonemic awareness alone and/or combined training of phonemic awareness and letter knowledge lead to more refined phonological representations in preliterate children?

In contrast to ERP obtained from adults and from children receiving a non-linguistic training, ERPs obtained from children of both phonemic training groups differed for the Identity condition and the Variation condition. Yet, similar to adults and untrained children, we did not replicate ERP differences in the P350 time window, ranging from 300 to 400 ms and linking to lexical access (as in both former word onset priming studies with adults). ERP differences between the Identity and the Variation condition found in the phonemic training groups emerged already between 100 and 300 ms after target word onset. This time window is associated with the N100/P200 and its temporally distributed counterpart - the T-complex, both linking to early auditory and phonological analysis of the speech signal and to auditory attention mechanisms (Connolly, 1993; Diesch & Luce, 2000; Näätänen & Picton, 1987; O'Rourke & Holcomb, 2002; Poeppel et al., 1997; Sanders, Newport, & Neville, 2002; Wolpaw & Penry, 1975). Thus, phonemic training might enhance early implicit phonological analysis through enhanced auditory attention. Given that adult proficient readers and control children not receiving phonemic training did not consider these voicing differences for early implicit processing, we might conclude that enhanced phonemic awareness temporarily refines implicit speech processing and attention processes in spoken word recognition in preliterate children.

Do newly learned graphemes add more detail to implicit phonological processing in preliterate children than phonemic awareness alone? Our results of ERP amplitudes speak against this hypothesis, as we found comparable ERP evidence for more detailed implicit speech processing in both groups receiving a phonemic training. However, as we did not find notable training effects in letter knowledge of the combined training group this result might be difficult to interpret. Yet, we also did not find different results for trained phonemes (/g/ and /k/) vs. untrained phonemes (/b/ and /p/), neither for the pure phonemic nor for the combined phonemic-orthographic training. Prime-target mismatch in both respective phonemes elicited a comparable pattern of ERP results. Importantly, the modulated phonological processing observed in the present study seems neither restricted to the specifically trained phonemes nor related to newly

acquired grapheme representations. This might reflect generally enhanced implicit phonological processing. Alternatively, results might reflect feature-based attenuation resulting from the trained differentiation between two phonemes differing only in voicing. This sensitivity to voicing differences might then have generalized to both untrained phonemes.

Our present results are not entirely clear with regard to the previously found enhanced implicit sensitivity to phonological detail in reading children compared to pre-readers (Schild et al., 2011). On the one hand, phonological proficiency acquired via our phonemic trainings might not be comparable to phonological proficiency in readers. In the present training study, we provided a relatively short intervention program, in which children who had very rudimentary overall letter knowledge learnt about a few grapheme-phoneme correspondences. We trained only a few, selected letters. This is clearly different from the children in the study by Schild et al. (2011), who were already reasonably proficient readers (i.e., preschool children with early reading skills or second graders). Two issues need to be addressed here: First, instructing only a few letters might not have established sufficiently profound abstract letter knowledge in children of the combined phonemic-orthographic training group. Moreover, one might speculate that grapheme knowledge only becomes relevant for lexical access after a more intense training and/or at a more advanced level of literacy acquisition. On the other hand, ERP differences obtained in the present study (N100/P200 effects) did not correspond to ERP differences obtained in the previous study (P350 effect). Given our failure to replicate the graded P350 effects formerly found for variation in place of articulation with adults, it appears that the feature voicing was not optimally chosen for the present training study. As a consequence, we cannot completely rule out the interpretation that the formerly obtained P350 effect was related to orthographic knowledge.

It remains possible that implicit links between speech sounds and graphemes develop even after preschool age at an advanced level of literacy. Some neurocognitive data on speech-sound spelling interactions support such a long-lasting plasticity. *Mismatch negativity* (MMN) responses in the ERP revealed implicit links between phonemic and orthographic representations in adults: Visual letters enhanced automatic auditory MMN responses (Froyen, Bonte, Van Atteveldt, & Blomert, 2009). However, visually

enhanced auditory MMN responses were not obtained in beginning readers and the timing of this effect was somewhat delayed even in 4th graders compared to adults (Froyen, Van Atteveldt, Bonte, & Blomert, 2008). This suggests that automatic grapheme-phoneme connections might develop relatively slowly up to late childhood. In line with this, spelling biases (e.g., Pattamadilok, Morais, Colin, & Kolinsky, 2014; Pattamadilok, Morais, Ventura, & Kolinsky, 2007; Ziegler, Petrova, & Ferrand, 2008) develop relatively slowly, with “fully developed” spelling biases emerging no earlier than from 6th grade (Ventura, Kolinsky, Pattamadilok, & Morais, 2008; Ventura et al., 2007).

For now, we consider that the role of grapheme knowledge in the refinement of phonological representations is negligible at least during the very beginning of reading acquisition in preschool age. In contrast to assumptions made by the *implicit orthographic-phonological account* (e.g., Grainger & Ferrand, 1996; Ziegler & Ferrand, 1998; Ziegler et al., 2003), very newly acquired graphemes do not appear to add more detail to implicit phonological processing. As both phonemically trained groups were more sensitive to small phoneme variation we can conclude that this effect is modulated rather by phonemic awareness than by implicit connections between grapheme and speech sound representations. Our results therein are most compatible with an *implicit phonological account* (e.g., Dehaene et al., 2015; Harm & Seidenberg, 2004; Pattamadilok et al., 2010; Taft, 2006), that focuses on readers’ modulated implicit aspects of phonological processing due to phonological awareness rather than due to orthographic knowledge. However, the effect we have shown here seems to be restricted to the time period of reading acquisition in middle childhood.

6.6. Conclusion

Here, we conducted the first training study trying to disentangle the influence of orthographic knowledge and phonological awareness on the plasticity of speech perception during the very beginnings of reading acquisition in the last year of kindergarten. Children receiving a phonemic training and those receiving a phonemic-orthographic training exploited phonemic detail for more aspects of speech processing than children receiving a non-linguistic intervention and young adults did. Our results

indicate that enhanced phonemic awareness – developing as a precursor function and in connection with reading - might lead to modulation of implicit attention mechanisms and phonological analysis in speech recognition in pre-reading children. Furthermore, our results show that knowledge of phoneme-to-grapheme mappings is not necessary for this modulation of implicit speech recognition in middle childhood. As our results are only informative for pre-reading children, it will be of interest whether grapheme information might play a stronger role once letter-sound correspondences are more stable.

6.7. References

- Berg, P., & Scherg, M. (1994). A multiple source approach to the correction of eye artifacts. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *90*(3), 229-241. doi:10.1016/0013-4694(94)90094-9
- Bien, H., Bölte, J., & Zwitserlood, P. (2014). Do syllables play a role in German speech perception? Behavioral and electrophysiological data from primed lexical decision. *Frontiers in Psychology*, *5*(1544). doi:10.3389/fpsyg.2014.01544
- Bus, A. G., & van Ijzendoorn, M. H. (1999). Phonological awareness and early reading: A meta-analysis of experimental training studies. *Journal of Educational Psychology*, *91*(3), 403-414. doi:10.1037/0022-0663.91.3.403
- Castles, A., & Coltheart, M. (2004). Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read? *Cognition*, *91*(1), 77-111. doi:10.1016/S0010-0277(03)00164-1
- Castles, A., Holmes, V. M., Neath, J., & Kinoshita, S. (2003). How does orthographic knowledge influence performance on phonological awareness tasks? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *56A*(3), 445-467. doi:10.1080/02724980244000486
- Castles, A., Wilson, K., & Coltheart, M. (2011). Early orthographic influences on phonemic awareness tasks: Evidence from a preschool training study. *Journal*

- of *Experimental Child Psychology*, 108(1), 203-210.
doi:10.1016/j.jecp.2010.07.006
- Cataldo, S., & Ellis, N. (1988). Interactions in the development of spelling, reading and phonological skills. *Journal of Research in Reading*, 11(2), 86-109.
doi:10.1111/j.1467-9817.1988.tb00153.x
- Cheung, H., Chen, H. C., Lai, C. Y., Wong, O. C., & Hills, M. (2001). The development of phonological awareness: effects of spoken language experience and orthography. *Cognition*, 81(3), 227-241. doi:10.1016/S0010-0277(01)00136-6
- Connolly, J. F. (1993). The influence of stimulus intensity, contralateral masking and handedness on the temporal N1 and the T complex components of the auditory N1 wave. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 86(1), 58-68.
doi:10.1016/0013-4694(93)90067-6
- Cutler, A., & Davis, C. (2012). An Orthographic Effect in Phoneme Processing, and Its Limitations. *Frontiers in Psychology*, 3(18). doi:10.3389/fpsyg.2012.00018
- Cutler, A., Treiman, R., & van Ooijen, B. (2010). Strategic deployment of orthographic knowledge in phoneme detection. *Language and Speech*, 53(3), 307-320.
doi:10.1177/0023830910371445
- Dehaene, S., Cohen, L., Morais, J., & Kolinsky, R. (2015). Illiterate to literate: behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(4), 234-244. doi:10.1038/nrn3924
- Diesch, E., & Luce, T. (2000). Topographic and Temporal Indices of Vowel Spectral Envelope Extraction in the Human Auditory Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 878-893. doi:10.1162/089892900562480
- Ehri, L. C., Nunes, S. R., Stahl, S. A., & Willows, D. M. (2001). Systematic Phonics Instruction Helps Students Learn to Read: Evidence from the National Reading Panel's Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 71(3), 393-447.
doi:10.3102/00346543071003393
- Ehri, L. C., & Wilce, L. S. (1980). The influence of orthography on readers' conceptualization of the phonemic structure of words. *Applied Psycholinguistics*, 1(4), 371-385. doi:10.1017/S0142716400009802

- Friedrich, C. K. (2005). Neurophysiological correlates of mismatch in lexical access. *BMC Neuroscience*, 6, 64. doi:10.1186/1471-2202-6-64
- Friedrich, C. K., Eulitz, C., & Lahiri, A. (2008). Neurophysiological evidence for underspecified lexical representations: asymmetries with word initial variations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(6), 1545-1559. doi:10.1037/a0012481
- Friedrich, C. K., Felder, V., Lahiri, A., & Eulitz, C. (2013). Activation of words with phonological overlap. *Frontiers in Psychology*, 4(556). doi:10.3389/fpsyg.2013.00556
- Friedrich, C. K., Schild, U., & Röder, B. (2009). Electrophysiological indices of word fragment priming allow characterizing neural stages of speech recognition. *Biological Psychology*, 80(1), 105-113. doi:10.1016/j.biopsycho.2008.04.012
- Froyen, D. J., Bonte, M. L., Van Atteveldt, N., & Blomert, L. (2009). The long road to automation: neurocognitive development of letter-speech sound processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(3), 567-580. doi:10.1162/jocn.2009.21061
- Froyen, D. J., Van Atteveldt, N., Bonte, M., & Blomert, L. (2008). Cross-modal enhancement of the MMN to speech-sounds indicates early and automatic integration of letters and speech-sounds. *Neuroscience Letters*, 430(1), 23-28. doi:10.1016/j.neulet.2007.10.014
- Grainger, J., & Ferrand, L. (1996). Masked orthographic and phonological priming in visual word recognition and naming: Cross-task comparisons. *Journal of Memory and Language*, 35(5), 623-647. doi:10.1006/jmla.1996.0033
- Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (2004). Computing the meanings of words in reading: cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological Review*, 111(3), 662-720. doi:10.1037/0033-295x.111.3.662
- Kóbor, A., Honbolygó, F., Becker, A. B. C., Schild, U., Csépe, V., & Friedrich, C. K. (2018). ERP evidence for implicit L2 word stress knowledge in listeners of a

- fixed-stress language. *International Journal of Psychophysiology*, 128, 100-110. doi:10.1016/j.ijpsycho.2018.04.006
- Küspert, P., & Schneider, W. (2008). *Hören, lauschen, lernen. Sprachspiele für Kinder im Vorschulalter - Würzburger Trainingsprogramm zur Vorbereitung auf den Erwerb der Schriftsprache*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Lenhard, W., & Schneider, W. (2006). *ELFE 1-6 - Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler*. Göttingen: Hogrefe.
- Lundberg, I., Frost, J., & Petersen, O.-P. (1988). Effects of an extensive program for stimulating phonological awareness in preschool children. *Reading Research Quarterly*, 23(3), 263-284. doi:10.1598/RRQ.23.3.1
- Mayer, A. (2011). *TEPHOBE. Test zur Überprüfung der phonologischen Bewusstheit und der Benennungsgeschwindigkeit*. München: Reinhardt Verlag.
- Melby-Lervåg, M., Lyster, S. A., & Hulme, C. (2012). Phonological skills and their role in learning to read: a meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, 138(2), 322-352. doi:10.1037/a0026744
- Mitterer, H., & Reinisch, E. (2015). Letters don't matter: No effect of orthography on the perception of conversational speech. *Journal of Memory and Language*, 85, 116-134. doi:10.1016/j.jml.2015.08.005
- Näätänen, R., & Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24(4), 375-425. doi:10.1111/j.1469-8986.1987.tb00311.x
- Naslund, J. C., & Schneider, W. (1996). Kindergarten letter knowledge, phonological skills, and memory processes: relative effects on early literacy. *Journal of Experimental Child Psychology*, 62(1), 30-59. doi:10.1006/jecp.1996.0021
- O'Rourke, T. B., & Holcomb, P. J. (2002). Electrophysiological evidence for the efficiency of spoken word processing. *Biological Psychology*, 60(2), 121-150. doi:10.1016/S0301-0511(02)00045-5
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. doi:10.1016/0028-3932(71)90067-4

- Pattamadilok, C., Knierim, I. N., Kawabata Duncan, K. J., & Devlin, J. T. (2010). How does learning to read affect speech perception? *Journal of Neuroscience*, *30*(25), 8435-8444. doi:10.1523/jneurosci.5791-09.2010
- Pattamadilok, C., Morais, J., Colin, C., & Kolinsky, R. (2014). Unattentive speech processing is influenced by orthographic knowledge: evidence from mismatch negativity. *Brain and Language*, *137*, 103-111. doi:10.1016/j.bandl.2014.08.005
- Pattamadilok, C., Morais, J., Ventura, P., & Kolinsky, R. (2007). The locus of the orthographic consistency effect in auditory word recognition: Further evidence from French. *Language and Cognitive Processes*, *22*(5), 700-726. doi:10.1080/01690960601049628
- Perfetti, C. A., Beck, I., Bell, L. C., & Hughes, C. (1987). Phonemic Knowledge and Learning to Read are Reciprocal: A Longitudinal Study of First Grade Children. *Merrill-Palmer Quarterly*, *33*(3), 283-319.
- Perre, L., Bertrand, D., & Ziegler, J. C. (2011). Literacy Affects Spoken Language in a Non-Linguistic Task: An ERP Study. *Frontiers in Psychology*, *2*(274). doi:10.3389/fpsyg.2011.00274
- Plume, E., & Schneider, W. (2004). *Hören, lauschen, lernen 2. Spiele mit Buchstaben und Lauten für Kinder im Vorschulalter - Würzburger Buchstaben-Laut-Training*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Poeppel, D., Phillips, C., Yellin, E., Rowley, H. A., Roberts, T. P. L., & Marantz, A. (1997). Processing of vowels in supratemporal auditory cortex. *Neuroscience Letters*, *221*(2), 145-148. doi:10.1016/S0304-3940(97)13325-0
- Sanders, L. D., Newport, E. L., & Neville, H. J. (2002). Segmenting nonsense: an event-related potential index of perceived onsets in continuous speech. *Nature Neuroscience*, *5*, 700. doi:10.1038/nn873
- Schild, U., Becker, A. B. C., & Friedrich, C. K. (2014a). Phoneme-free prosodic representations are involved in pre-lexical and lexical neurobiological mechanisms underlying spoken word processing. *Brain and Language*, *136*(100), 31-43. doi:10.1016/j.bandl.2014.07.006

- Schild, U., Becker, A. B. C., & Friedrich, C. K. (2014b). Processing of syllable stress is functionally different from phoneme processing and does not profit from literacy acquisition. *Frontiers in Psychology, 5*(530). doi:10.3389/fpsyg.2014.00530
- Schild, U., & Friedrich, C. K. (2018). What determines the speed of speech recognition? Evidence from congenitally blind adults. *Neuropsychologia, 112*, 116-124. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.002
- Schild, U., Röder, B., & Friedrich, C. K. (2011). Learning to read shapes the activation of neural lexical representations in the speech recognition pathway. *Developmental Cognitive Neuroscience, 1*(2), 163-174. doi:10.1016/j.dcn.2010.11.002
- Schild, U., Röder, B., & Friedrich, C. K. (2012). Neuronal spoken word recognition: The time course of processing variation in the speech signal. *Language and Cognitive Processes, 27*, 159-183. doi:10.1080/01690965.2010.503532
- 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. doi:10.1006/jecp.1997.2384
- Schneider, W., Roth, E., & Ennemoser, M. (2000). Training phonological skills and letter knowledge in children at risk for dyslexia: A comparison of three kindergarten intervention programs. *Journal of Educational Psychology, 92*(2), 284-295. doi:10.1037/0022-0663.92.2.284
- Taft, M. (2006). Orthographically Influenced Abstract Phonological Representation: Evidence from Non-rhotic Speakers. *Journal of Psycholinguistic Research, 35*(1), 67-78. doi:10.1007/s10936-005-9004-5
- Torgesen, J. K., Wagner, R. K., & Rashotte, C. A. (1994). Longitudinal Studies of Phonological Processing and Reading. *Journal of Learning Disabilities, 27*(5), 276-286. doi:10.1177/002221949402700503
- Treiman, R., & Cassar, M. (1997). Can children and adults focus on sound as opposed to spelling in a phoneme counting task? *Developmental Psychology, 33*(5), 771-780. doi: 10.1037/0012-1649.33.5.771

- Tunmer, W. E., & Nesdale, A. R. (1985). Phonemic segmentation skill and beginning reading. *Journal of Educational Psychology, 77*(4), 417-427. doi:10.1037/0022-0663.77.4.417
- Ventura, P., Kolinsky, R., Pattamadilok, C., & Morais, J. (2008). The developmental turnpoint of orthographic consistency effects in speech recognition. *Journal of Experimental Child Psychology, 100*(2), 135-145. doi:10.1016/j.jecp.2008.01.003
- Ventura, P., Morais, J., & Kolinsky, R. (2007). The development of the orthographic consistency effect in speech recognition: from sublexical to lexical involvement. *Cognition, 105*(3), 547-576. doi:10.1016/j.cognition.2006.12.005
- Ventura, P., Morais, J., Pattamadilok, C., & Kolinsky, R. (2004). The locus of the orthographic consistency effect in auditory word recognition. *Language and Cognitive Processes, 19*(1), 57-95. doi:10.1080/01690960344000134
- Wagner, R. K., & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin, 101*(2), 192-212. doi:10.1037//0033-2909.101.2.192
- Wagner, R. K., Torgesen, J. K., & Rashotte, C. A. (1994). Development of Reading-Related Phonological Processing Abilities: New Evidence of Bidirectional Causality From a Latent Variable Longitudinal Study. *Developmental Psychology, 30*(1), 73-87. doi:10.1037//0012-1649.30.1.73
- Weiß, R. H., & Osterland, J. (2013). *CFT 1-R - Grundintelligenztest Skala 1 - Revision*. Göttingen: Hogrefe.
- Wolpaw, J. R., & Penry, J. K. (1975). A temporal component of the auditory evoked response. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 39*(6), 609-620. doi:10.1016/0013-4694(75)90073-5
- Ziegler, J. C., & Ferrand, L. (1998). Orthography shapes the perception of speech: The consistency effect in auditory word recognition. *Psychonomic Bulletin & Review, 5*(4), 683-689. doi:10.3758/bf03208845

- Ziegler, J. C., Ferrand, L., & Montant, M. (2004). Visual phonology: the effects of orthographic consistency on different auditory word recognition tasks. *Memory & Cognition*, *32*(5), 732-741. doi:10.3758/BF03195863
- Ziegler, J. C., Muneaux, M., & Grainger, J. (2003). Neighborhood effects in auditory word recognition: Phonological competition and orthographic facilitation. *Journal of Memory and Language*, *48*(4), 779-793. doi:10.1016/S0749-596X(03)00006-8
- Ziegler, J. C., Petrova, A., & Ferrand, L. (2008). Feedback consistency effects in visual and auditory word recognition: where do we stand after more than a decade? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *34*(3), 643-661. doi:10.1037/0278-7393.34.3.643

6. 8. Appendix

Table 6.2.

List of games used in the phonemic trainings.

Game name	Example	Times
Exercises on Initial Sounds	Identifying the first sound in the names of each child.	3
Sound-Assignments: Story	Repeating specific sounds mentioned in a story and paying attention how it is formed with the mouth. Example: "Imagine you are playing outside and you find an easter egg (German: Osterei). You say 'OOH there's an easter egg (Osterei)!' Your lips form a circle when you say /o/."	14
Sound-Assignments: Pictures	Guessing the first sound of an object or animal featured on a picture card.	6
I am thinking of ...	Guessing an object or animal that starts with a specific sound. Example: "I am thinking of something starting with /g/. It is transparent and appears at midnight." (Solution: "Ghost")	6
Loading Ships	Identifying the initial sound of an object or animal displayed on a card and assign them to a paper ship that features this sound. Example: "All things starting with /g/ belong in the '/g/ ship', all things starting with /k/ in the '/k/ ship'."	6
We are looking for...	Finding words that start or contain a specific sound.	6
Pay attention to the first sound	Listening to a word and identifying the first sound.	4
Which word do I mean?	The trainer segments a word into its phonemes. Children shall identify the word. Example: "Which word do I mean? 'K-I-W-I'."	4
Game of Dice	Rolling a dice with objects/animals on the sides. Identifying the first sound of an object or animal that is featured on the dice.	6
Picture Tower	Sorting cards to a "tower" depending on the initial sound of the featured object or animal.	6
Picture Cards	Picking a card and identifying the first sound of the featured object or animal	6
Domino	Connecting domino cards that feature objects or animals starting with the same sound.	10

Lottery	Each child receives a picture card featuring an object or animal with a different sound and collects other cards that also start with that sound.	7
The Ball	The trainer tosses a ball to one child and tells the child a word segmented into its phonemes. The child shall guess the word. Example: "What word do you hear? 'K-U-SS' (<i>kiss</i>)".	5
Phoneme segmentation	Segmenting words into their single phonemes. Example: "Which sounds do you hear in the word 'Oma'? (<i>grandma</i>)".	5

Notes. List of games used in the phonemic trainings, including examples and number of runs they had in the program (times). In the exercises, we only used words starting with /a/, /e/, /i/, /o/, /g/ and /k/. In the combined training group, we additionally inserted a letter card to each sound. We took care that the instructors did not use any of the words from the experiment as examples in the training. Games are listed in chronologically order of appearance in the intervention.

Table 6.3.

List of stimuli.

Target words	Pseudowords	Target words	Pseudowords
Gei-er (vulture)	Geine	Pap-pe (cardboard)	Papke
Gei-ge (violin)	Geise	Pul-ver (powder)	Pulbel
Git-ter (grid)	Gitsche	Pum-pe (pump)	Pumle
Gloc-ke (bell)	Glocpe	Pud-ding (pudding)	Pudhe
Gra-ben (trench)	Grany	Pup-pe (doll)	Pupte
Gren-ze (border)	Grenhe	Pic-kel (pimple)	Picsche
Gru-be (pit)	Gruza	Po-ny (pony)	Poben
Grup-pe (group)	Grupzle	Piz-za (pizza)	Pizbe
Guer-tel (belt)	Guerbe	Pan-ne (breakdown)	Panze
Gum-mi (rubber)	Gumse	Peit-sche (whip)	Peitter
Gur-ke (cucumber)	Gurbon	Pom-mes (fries)	Pombel
Kaff-ee (coffee)	Kaffnen	Bri-lle (glasses)	Brissen
Ka-ter (male cat)	Kaffel	Bie-ne (bee)	Bieer
Kat-ze (cat)	Katne	Brun-nen (fountain)	Brunnee

Ker-ze (candle)	Kertel	Bon-bon (candy)	Bonke
Ket-te (chain)	Ketzel	Bru-der (brother)	Bruchen
Keu-le (mace)	Keusen	Bam-bus (bamboo)	Bamsche
Ki-no (cinema)	Kite	Ba-by (baby)	Bave
Kir-che (church)	Kirber	But-ter (butter)	Butche
Kir-sche (cherry)	Kirbus	Bue-gel (stirrup)	Buede
Kis-sen (pillow)	Kisle	Bruec-ke (bridge)	Bruecfer
Kis-te (box)	Kiskel	Brem-se (break)	Bremken
Kno-chen (bone)	Knoder	Buer-ste (brush)	Buerno
Kno-ten (knot)	Knore	Brau-se (shower)	Braunig
Koe-nig (king)	Koese	Bom-be (bomb)	Bomtel
Kof-fer (trunk)	Kofke	Bir-ne (pear)	Birgel
Krae-he (crow)	Kraeding	Bue-hne (stage)	Buehmel
Kraeu-ter (herbage)	Kraeude	Blu-me (flower)	Bluchen
Kral-le (claw)	Kralpe	Blue-te (blossom)	Bluene
Krei-de (chalk)	Kreigel	Buef-fel (buffalo)	Buefter
Kroe-te (toad)	Kroepe	Be-sen (broom)	Bele
Kro-ne (crown)	Krote	Blu-se (blouse)	Bluge
Krue-mel (crumbs)	Kruehne	Bla-se (bubble)	Blami
Kue-che (kitchen)	Kueter	Bi-ber (beaver)	Biche
Kue-ken (chicken)	Kuekse	Bee-re (berry)	Beerten
Kur-ve (curve)	Kurby	Beu-tel (bag)	Beuze
Kut-sche (carriage)	Kutkel	Bre-zel (pretzel)	Brete

Notes. Full list of stimuli (target words and pseudowords) that were used in the priming experiment.

Table 6.4.

Test scores of explicit measurements.

Test	PHON				PHORT				CONTROL			
	PRE		POST		PRE		POST		PRE		POST	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Spy Game												
<i>Total Score</i>	7.58	4.28	9.29	2.88	6.27	4.43	8.50	3.55	4.95	4.12	6.47	3.78
Max = 13												
Letter Knowledge												
<i>Total Score</i>	8.79	4.28	10.91	3.93	9.04	4.29	10.86	4.14	6.23	4.28	7.80	5.16
<i>Capital</i>												
Max = 15												
<i>Total Score</i>	5.33	4.32	7.66	3.93	6.22	4.17	7.31	4.16	3.61	3.04	5.00	4.25
<i>Small</i>												
Max = 15												
TEPHOBE												
<i>Total Score</i>	19.25	5.29	22.62	3.86	18.90	4.32	20.81	3.87	17.76	4.36	18.47	4.70
Max = 28												
<i>Onset & Rime</i>	5.87	1.29	6.54	0.93	5.50	1.26	6.40	0.90	6.00	1.44	5.95	1.20
Max = 7												
<i>Phoneme Synthesis</i>	5.33	1.40	6.58	0.97	4.95	1.98	5.77	1.41	4.71	1.67	5.38	1.32
Max = 7												
<i>Rhyming</i>	4.66	1.90	5.37	1.55	5.40	1.68	5.18	1.50	4.47	2.15	4.80	2.08
Max = 7												
<i>Initial Sound</i>	3.37	1.78	4.12	2.19	3.04	2.21	3.45	2.57	2.57	1.69	2.42	1.96
Max = 7												

<i>Speed</i>	0.66	0.16	0.66	0.18	0.70	0.19	0.70	0.15	0.61	0.13	0.65	0.15
<i>Naming</i>												
<i>Objects</i>												
(items/sec)												
<i>Speed</i>	0.61	0.19	0.65	0.24	0.65	0.22	0.68	0.22	0.57	0.12	0.60	0.16
<i>Naming</i>												
<i>Colors</i>												
(items/sec)												

Notes. Mean scores and standard deviations for the groups phonemic only (PHON), phonemic-orthographic (PHORT) and children control (CONTROL) for all explicit tests (*Total Scores* and subtests) at pre and post training. Maximum number of points are documented beneath the subtest name.

Table 6.5.

Reaction times in ms.

Condition	PHON		PHORT		CONTROL		ADULT	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Identity	1032.00	139.33	1032.40	139.84	987.04	94.09	801.34	115.25
Variation	1078.53	129.35	1059.17	154.95	1006.14	100.00	818.53	115.63
Control	1159.08	146.50	1141.41	148.71	1083.37	119.21	846.34	119.46

Notes. Mean reaction times in ms and standard deviations for each training group (PHON = phonemic only group, PHORT = phonemic-orthographic group, CONTROL = control group, ADULT = adult group) for each condition (Identity, Variation, Control).

7. Studie 2: Längsschnittstudie

“Steady use of phonological detail in middle childhood if phonemic awareness is trained in preschool” (Bauch, Friedrich, & Schild, eingereicht bei *Journal of Child Language*, Stand März 2020).

Author	Author Position	Scientific ideas %	Data generation %	Analysis & interpretation %	Paper writing %
Bauch, Anne	1	15	90	50	75
Friedrich, Claudia	2	15	0	15	15
Schild, Ulrike	3	70	10	35	10
Title of paper:		Steady use of phonological detail in middle childhood if phonemic awareness is trained in preschool			
Status in publication process:		Under peer review			

Unterschrift Autoren

Anne Bauch: _____

Prof. Dr. Claudia Friedrich: _____

Dr. Ulrike Schild: _____

7.1. Abstract

Parallel development of phonemic awareness and orthographic knowledge makes it hard to disentangle the modulating function of both factors on speech processing in readers. Here, 28 preliterate children received a phonemic awareness training. Spoken word recognition was tested: after the training, prior formal reading instruction, at the end of grade 1 and grade 2. During the test, spoken words (targets; “kino”, engl. cinema) followed spoken syllables (primes) that were either identical to target word onsets (“gi”) or deviated in the onset speech sound (“ba”). Event-related potentials (ERP) and lexical decisions revealed less effective priming exerted by deviating primes with a comparable pattern of results between the three measurements. Children’s faster lexical decisions with increasing age were not paralleled in ERP timing differences between age groups. Thus, from a developmental perspective, orthographic knowledge does not appear to moderate phonological encoding and lexical access in readers, but reading might moderate post-lexical strategic mechanisms.

7.2. Introduction

It is a matter of debate, whether, when and how literacy acquisition generates cognitive characteristics distinguishing readers from non-readers. One aspect under discussion regards the cognitive architecture of phonological and lexical processing in the auditory domain. If the written script follows a phonological principle (as in alphabetic writing systems), children have to develop awareness of units, namely phonemes, that are relevant for mapping with grapheme units in the target writing system (phonemic awareness), and they have to map those individual speech sounds to corresponding graphemes (orthographic knowledge). Starting with the development of related precursor functions of reading in preschool age, it takes children years to effortlessly read and write. During that time, acquisition of orthographic knowledge parallels refinement of phonemic awareness. This renders dissociation of a modulating role of both aspects difficult. Here we applied a training on phonemic awareness to preschoolers who were not able to read yet. By testing those children immediately after

the training, as beginning readers (i.e., at the end of their first year at school) and as more experienced readers (i.e., at the end of their second year at school), we aimed to distinguish different approaches to the modulating role that literacy might exert on speech processing.

Some theoretical conceptions argue that, regarding speech processing, learning to read might only tap metalinguistic abilities that readers can use for characterizing the speech signal in explicit tasks (Cutler & Davis, 2012; Mitterer & Reinisch, 2015). In order to master an alphabetic writing system, children have to develop an explicit (or metacognitive) understanding of the linguistic structure of speech, which allows them to consciously conceptualize whole words, syllables and single sounds (Carroll, Snowling, Hulme, & Stevenson, 2003). Readers might adopt these metalinguistic abilities, including phonemic awareness, in specific tasks, for example when they are asked to identify the speech sounds of a given word (speech segmentation), or when they are asked to identify how a word would sound with one sound added or omitted (phoneme addition or deletion). Indeed, reading children outperformed pre-readers on phoneme segmentation (Ehri & Wilce, 1980; Treiman & Cassar, 1997; Tunmer & Nesdale, 1985), and literate adults outperformed illiterate adults on phoneme addition and deletion (Morais, Cary, Alegria, & Bertelson, 1979). Proponents of an explicit account to the modulating role that literacy exerts on speech processing rather rely on the impact of phonemic awareness on metalinguistic aspects than on an intimate relationship between literacy and implicit speech processing.

Other theoretical frameworks argue that - next to metalinguistic abilities induced by reading - orthographic knowledge permanently modulates implicit speech perception and recognition in readers. This account targets pre-lexical speech sound representations involved in speech recognition and lexical access, which might be updated according to readers' knowledge about phonemes, graphemes and phoneme-grapheme correspondences (e.g., Dehaene, Cohen, Morais, & Kolinsky, 2015; Harm & Seidenberg, 2004; Pattamadilok, Knierim, Kawabata Duncan, & Devlin, 2010; Taft, 2006). Alternatively, speech sound and spoken word form representations might mutually interact with grapheme and visual word form representations during readers' online speech recognition (e.g., Grainger & Ferrand, 1996; Ziegler & Ferrand, 1998; Ziegler, Muneaux, & Grainger, 2003). Orthographic consistency effects that readers

showed for spoken words support this line of argumentation. Adult readers and reading pupils recognized rhyming words faster and made less mistakes when the rhyming pairs were spelled the same (e.g. "house - mouse") than when they were spelled differently (e.g. "flow - though", Ziegler & Ferrand, 1998). Neither pre-reading kindergarteners (Goswami, Ziegler, & Richardson, 2005; Ventura, Morais, & Kolinsky, 2007) nor children with reading difficulties (Desroches et al., 2010; Zecker, 1991; Ziegler & Muneaux, 2007) showed this consistency effect.

Diverging approaches to the modulating role that literacy exerts on speech processing rely on different tasks potentially tapping different aspects of spoken word processing. Current psycholinguistic theories distinguish three sub-processes of phonologically mediated spoken word recognition (for review see Weber & Scharenborg, 2012): First, listeners extract linguistically relevant units from the speech signal and map them with phonological representations (phonological encoding). Second, they use phonological representations for accessing matching word forms they store in their mental lexicon (lexical matching). Third, they select the best fits among matching word candidates and make them available to further semantic and syntactic processing (lexical selection). Readers' superior performance in phonological judgements (e.g. phoneme addition, deletion or repetition) was evident for words as well as for pseudowords (e.g., Morais et al., 1979; Reis & Castro-Caldas, 1997). Hence, this measure might reflect aspects of processing that are not implicitly involved in lexical access. Also orthographic consistency effects in readers might not relate to intimate aspects of phonologically mediated lexical access, but might include a metalinguistic level of thinking about speech (e.g., Mitterer & Reinisch, 2015). In the present study, we used a word onset priming paradigm, which allows for disentangling different aspects of spoken word processing.

Event-related potentials (ERP) recorded in word onset priming allow for investigating input-driven aspects of spoken word recognition. In word onset priming, spoken word onsets (primes) precede complete words (targets). Previous studies with adults showed that prime-target overlap in phoneme information elicits characteristic ERP effects ranging between 100 and 400 ms after the onset of spoken target words. For spoken targets, prime-target phoneme overlap was associated with a reduced left-lateralized N100/t-complex (Friedrich, Schild, & Röder, 2009; Schild, Becker, &

Friedrich, 2014; Schild, Röder, & Friedrich, 2012). Morphology and timing of the N100/t-complex were comparable with those obtained with other paradigms including spoken words (e.g., Lange & Röder, 2006; O'Rourke & Holcomb, 2002; Praamstra & Stegeman, 1993; Sanders & Astheimer, 2008; Sanders & Neville, 2003) and appear to relate to auditory analysis and phonological encoding. For spoken and written targets, phoneme overlap also elicited reduced left-lateralized P350 effects (Bien, Bolte, & Zwitserlood, 2014; Friedrich, 2005; Friedrich, Felder, Lahiri, & Eulitz, 2013; Friedrich, Lahiri, & Eulitz, 2008). Similar to the M350 in MEG research (Pylkkänen & Marantz, 2003; Pylkkänen, Stringfellow, & Marantz, 2002), the P350 in the ERP appeared to relate to lexical mapping.

Participants' response times recorded in word onset priming seemed to reflect strategic mechanisms related to lexical selection and post-lexical mechanisms. In word onset priming, participants typically make speeded responses to the targets (lexical decision task). While ERP exclusively reflect prime-target overlap in phonological information, additional factors are associated with lexical decision latencies. For example, participants made delayed responses (compared to an unrelated condition) for target words that partially matched the preceding primes (e.g., "ana - Anorak") when a better matching completion of the prime existed (e.g., "Ananas", the German word for pineapple; Friedrich et al., 2013). This contrasted with reduced ERP amplitudes for partially overlapping targets compared to an unrelated condition (e.g., "idi - Anorak"). It was concluded that overlapping words receive bottom-up activation from the primes (as reflected in ERP amplitude reduction), but that better matching words hinder selection of partially overlapping words (as reflected in delayed lexical decisions). Speeded speech processing is another aspect that reaction times, but not ERP capture. Congenitally blind adults made faster lexical decisions in unimodal auditory word onset priming, but their ERP did not reflect timing differences compared to hearing controls (Schild & Friedrich, 2018). This result suggested that the adult system realizes speeded speech processing rather via facilitated post-lexical, strategic aspects of processing, than via facilitated phonological encoding and lexical mapping (which appear optimally adjusted to the input in both hearing and congenitally blind adults).

Recently, a cross-sectional study with unimodal auditory word onset priming suggested that pre-reading preschoolers are tolerant to phonological variation for several aspects of spoken word recognition (Schild, Röder, & Friedrich, 2011). Like adults (Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012), reading preschoolers and 2nd graders responded slower to targets mismatching primes in initial place of articulation (partial mismatch: e.g., “non – monster”) compared to completely matching targets (e.g., “mon – monster”). Reading children’s ERP dissociated matching and partially mismatching targets starting 300 ms after target word onset. In contrast, neither response times nor ERP dissociated both conditions in pre-readers. The authors concluded that reading children use more phonological detail than pre-readers for activating word candidates that match the input (as reflected in graded P350 effects in their ERP), as well as for strategic mechanisms underlying the selection among activated word candidates (as reflected in their lexical decision responses).

Cross-sectional comparisons between typically developing reading and pre-reading children leave open interpretations of group differences that go beyond orthographic knowledge as a driving factor. While readers must have acquired precursor functions of reading, the degree to which pre-readers command on those functions without being able to read yet is not clear. Reading and pre-reading preschoolers tested by Schild and colleagues (2011) might not only have differed in their orthographic knowledge, but also in phonemic awareness. Children might develop phonemic awareness earlier or later as a function of, for example, intrinsic motivation, literacy-related parenting behavior (e.g., shared book reading, playing with words or rhyming), or as a function of respective preschool activities fostering pre-cursor functions of literacy. Reading children further enhance their phonemic awareness due to its reciprocal relationship with literacy acquisition (Cataldo & Ellis, 1988; Perfetti, Beck, Bell, & Hughes, 1987; Wagner, Torgesen, & Rashotte, 1994). To conclude, in the study of Schild and colleagues (2011), reading children’s more detailed lexical mapping and selection mechanisms might not only have been modulated by their orthographic knowledge, but also by enhanced phonemic awareness.

In the current study, we provided phonemic awareness training to preschoolers, who did not yet show orthographic knowledge. The training will permit conclusions about how phonemic awareness contributes to speech processing in the absence of

advanced orthographic knowledge. If we replicate tolerance to subtle speech sound variation after the training, this would speak in favor of a critical role of orthographic knowledge in speech processing. In particular, if we find tolerance to subtle prime-target variation in the ERP, this would be evidence in favor of models assuming a critical role of orthographic knowledge for modulated phonological processing of speech input (Grainger & Ferrand, 1996; Ziegler & Ferrand, 1998; Ziegler et al., 2003). If we do not replicate pre-reader's tolerance to speech sound variation, but find phonological sensitivity to subtle speech variation after the training, this would speak in favor of theoretical conceptions assuming phonemic awareness as being crucial for speech processing differences between readers and non-readers (Dehaene et al., 2015; Harm & Seidenberg, 2004; Pattamadilok et al., 2010; Taft, 2006). If differences in phonological sensitivity in trained pre-readers are restricted to response latencies, this would be evidence for different strategic or metalinguistic processing as a function of phonemic awareness (e.g., Mitterer & Reinisch, 2015).

We tested the trained children a second time one year later and a third time two years later, i.e. when they had received one year or two years of formal reading instruction in elementary schools. Both later measurements allow us to conclude about how emerging orthographic knowledge modulates speech processing in comparison to our specific training on phonemic awareness. If children were not sensitive to graded prime-target variation immediately after the training, they should be at least after a year of reading and writing instruction. This would point to orthographic knowledge as a driving factor for enhanced sensitivity in readers compared to pre-readers, and would be in line with the theoretical assumption that moderators of reading acquisition relate to modifications of implicit speech perception in readers (e.g., Grainger & Ferrand, 1996, Ziegler & Ferrand, 1998; Ziegler et al., 2003).

Timing differences in ERP and reaction times obtained at the three different points of measurement are informative about developmental plasticity related to early literacy. Former research revealed that ERP recorded in word onset priming relate more closely to implicit aspects of speech recognition, including phonological encoding and activation of lexical representations, while lexical decision latencies rather relate to later strategic processing including the selection of the most appropriate candidate. ERP timing differences as a function of age would point to more effective implicit

speech processing with increasing literacy (e.g., Grainger & Ferrand, 1996, Ziegler & Ferrand, 1998; Ziegler et al., 2003). However, if emerging reading abilities rather relate to late, strategic or metalinguistic aspects of speech processing, timing differences might be restricted to response latencies in the lexical decision task. Such a finding would support a metalinguistic view on modulated speech processing in readers compared to pre-readers (Cutler & Davis, 2012; Mitterer & Reinisch, 2015).

7.3. Method

All participants were part of a training study that was conducted during their final year of kindergarten in their respective kindergarten institutions (approximately 6 months prior to entering elementary school, a transition that is accomplished in Germany within the 6th year of life). The children received either a training of precursor functions of reading or a training of precursor functions of mathematical abilities. Here we focus on the former children. For a detailed description of the intervention see Bauch, Friedrich, and Schild (chapter 6). After the ten-week-training period, the preschoolers took part in an individual testing session lasting about 30 - 40 minutes, in which we obtained explicit measurements of language and general cognitive abilities. Furthermore, the children attended one session at our laboratory. Here, they conducted a reaction time experiment with EEG recording that took about 30 - 40 min to complete.

All children and parents were invited to participate in two follow-up sessions at the end of 1st and 2nd grade. We obtained measures of reading skill as well as explicit measurements of language (about 60 min) for 1st and 2nd graders. We repeated the reaction time experiment with EEG recording with the pupils in each grade in an additional session at our laboratory.

7.3.1. Participants

This study focused on a subset of children from a larger training study (for details of this study see chapter 6). The training took place in local kindergartens in the city of Tübingen, Germany. Before the training started, parents and children received written

information about the project and gave their written consent to participate in the whole study (including all three measurements). The ethical committee of the German Psychological Association (Ethikkommission der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, 08.2014) advised us regarding the procedures we adopted in this study. There were no ethical concerns raised by the committee.

For the analyses reported in the following, we chose a subgroup of children who received a training of phonemic awareness as preschoolers and provided data on all three measurements (first measurement: immediately after the training; second measurement: at the end of their first year at elementary school; third measurement: at the end of their second year at elementary school). From the 67 preschoolers who had received phonemic awareness training, 28 fulfilled the following inclusion criteria: (1) Parents of the child were native speakers of German and German was the only language spoken at home. (2) The child was not identified as an early reader in preschool via the “Ein Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler” reading test (ELFE 1-6, Lenhard & Schneider, 2006). (3) The child was not able to read words (except for its own name). (4) The child participated in all three points of measurement (preschool, 1st grade, 2nd grade). (5) The child completed all three measurements. (6) We were able to obtain decent EEG recordings from the child at each point of measurement (i.e., EEG recordings contained only a minimal amount of noise and provided a minimum of 15 segments per condition for ERP analysis). (7) The child’s error rate in the lexical decision task was below the cut-off rate (for missing words > 20%; for incorrect responses to pseudowords > 80%). (8) In 1st as well as in 2nd grade, the child’s scores in the reading test “Würzburger Leise Leseprobe - Revision” (WLLP-R, Schneider, Blanke, Faust, & Küspert, 2011) and in all subtests of the phonological awareness test “Test zur Erfassung der phonologischen Bewusstheit und Benennungsgeschwindigkeit” (TEPHOBE, Mayer, 2011) were average or above average.

A detailed description of training results is presented in chapter 6. Note that due to a certain manipulation in the training program, some preschool children that are part of the present study’s subsample ($n = 13$) also learnt single letters corresponding to the taught phonemes in the training. We compared preschooler’s letter knowledge from before and after the training, however there was no significant difference between the

growth of letter knowledge between these children and children of a group that exercised on precursor functions of mathematical abilities. This indicated that there was no advantage of letter knowledge in any of the training group that exceeded maturation effects. However, children who trained on phonemic awareness scored higher on phonemic awareness test than children who trained in mathematical abilities, indicating that the training effected the growth in phonemic awareness.

Table 7.1. summarizes demographic information and sample characteristics. Preschool children did not have advanced reading skills, but rudimentary knowledge of letters (e.g. knowledge of the letters in their given names). At preschool, all children scored at least average in the phonological awareness test. For none of the children, parents reported neurological or hearing problems. All children had normal or corrected to normal eyesight. Handedness for all participants was obtained via the “Edinburgh Handedness Inventory” (EHI, Oldfield, 1971).

Table 7.1.

Demographic data for all age groups.

	<i>n</i>	Sex (male/female)	Mean Age (months) at post- test (SD)	Mean LQ (SD)	Mean TEPHOBE Total Score (SD)	Mean Letter Knowledge capital/small letters (SD)	Mean WLLP-R (SD)
Preschool	28	16/12	73.78 (4.71)	54.86 (57.31)	21.64 (3.90)	11.00/7.64 (4.09/3.92)	-
1 st Grade	28	16/12	85.92 (5.03)	-	24.25 (3.70)	-	43.28 (13.68)
2 nd Grade	28	16/12	96.60 (5.13)	-	26.28 (1.18)	-	73.32 (19.55)

Notes. Demographic data and mean results of the standardized tests on handedness (LQ; Oldfield, 1971), phonological awareness (max = 28, TEPHOBE Total Score; Mayer, 2011), letter knowledge (max = 15 for capital and small letters) and reading speed (max = 140, WLLP-R; Schneider et al., 2011). By the end of the 1st and 2nd grade children knew all capital and small letters from the letter knowledge test.

7.3.2. Training of phonemic awareness

Children received a daily training of phonemic awareness over a period of ten consecutive weeks. Each session ran for approximately 10 to 15 minutes and was conducted by instructed collegiate and doctoral members of the Department of Psychology, Eberhard-Karls-University Tübingen, Germany. Each session consisted of two to three short games that focused on the training of phoneme onset detection (e.g. identifying the first sound in a given object) and on the training of phoneme synthesis and analysis (e.g. segmenting words to their single phonemes and vice versa; segmenting the word “gold” in its respective phonemes /g/, /o/, /l/, /d/). The training program was adapted from Küspert and Schneider (2008) and Plume and Schneider (2004).

7.3.3. Test materials

Phonological awareness was tested during preschool, 1st grade and 2nd grade. Reading skills were obtained in the two follow-up sessions in school, handedness was tested once at preschool.

Phonological awareness. Phonological awareness was measured with the TEPHOBE (Mayer, 2011). This test is available in a version for preschoolers and 1st graders combined and a version for 2nd graders. The TEPHOBE version for preschool children and 1st graders contains the four subtests *Synthesis of Onset and Rhyme*, *Phoneme Synthesis*, *Rhyming*, and *Categorization of Initial Sounds*. Due to ceiling effects in the preschoolers, we decided to test 1st graders with the TEPHOBE version for 2nd graders. This version contains five subtests, *Rhyming*, *Categorization of Onset Phonemes*, *Categorization of Offset Phonemes*, *Phoneme Elision* and *Phoneme Reversal*. The latter was excluded as it did not assess a skill relevant for our research question.

Letter knowledge and reading skills. The children were asked to name 15 capital and their corresponding small letters to measure their rudimentary letter knowledge in preschool (G, K, B, P, A, E, I, U, O, D, T, S, W, H, R). We tested 1st and 2nd graders once with one version of the WLLP-R (Schneider et al., 2011). This reading test assesses reading speed in elementary school children. The WLLP-R is available in two versions, which contain the same items but in changed sequence. 1st graders were tested with the A version, 2nd graders with the B version. In preschool, we used the ELFE 1-6 (Lenhard & Schneider, 2006) to identify early readers who were later excluded from the study. The ELFE 1-6 measures reading comprehension of 1st to 6th graders in three subtests (*Comprehension of Words*, *Comprehension of Sentences*, *Comprehension of Texts*). Children were excluded when they were able to read and understand words that were given in the subtest *Comprehension of Words*, ergo when they were able to read single given words.

7.3.4. Experimental stimuli and procedure

The experimental material was identical to the material we used in the training study presented in chapter 6. We used 74 monomorphemic disyllabic German nouns as targets. All of these nouns were stressed on the first syllable. Half of the nouns started with the phonemes /g/ or /k/, the other half started with /b/ or /p/. 74 pseudowords were added as distractors for the lexical decision task. We generated them by extracting the second syllable of each target word and substituting them with the second syllable of another target word. For example, the second syllable of “Kino” (English: *cinema*) was inserted as the second syllable in “Bürste” (English: *brush*) and vice versa, resulting in the two pseudowords “Kite” and “Bürno”.

Primes were created from the first syllable of each target word. The prime-target combination varied across three conditions. In the Identity condition, prime and target completely matched (e.g. “ki – kino”). In the Variation condition, the prime varied from its assigned target in the voicing of its initial sound (e.g. “gi – kino”). In the Control condition, the prime and the target were unrelated insofar as their first syllables contained different phonemes and, additionally, the first phoneme differed in place of articulation as well as in voicing to maximize differences between prime and target (e.g. “ba – kino”). A pseudoword appeared instead of a target in 33% of the trials. Primes and pseudowords were combined according to the different conditions in the same way as the primes and targets. Targets appeared once in each condition, pseudowords only once in total. A male and a female professional native speaker of German produced the spoken material. The primes were taken from words spoken by the male speaker while the targets and pseudowords were taken from the female speaker to prevent mere acoustical priming effects. None of the speakers was aware of the purpose of the study.

Children completed a unimodal auditory word-fragment priming experiment with EEG recording. In total, 296 trials (222 targets and 74 pseudowords) were presented, which appeared in twelve blocks. In eight blocks, the children listened to 25 trials and in four blocks to 24 trials. Targets were not repeated within a block. Trials were randomized within each block. The sequence of the blocks was balanced across participants. We introduced the experiment as a “Word-Catching-Game”. Children were instructed to

press the space bar as fast and as correctly as possible whenever they heard a real word and refrain from responding whenever they heard a pseudoword. Each trial started with the presentation of a fixation picture (1x1 cm, a smiley) in the middle of the screen. After 500 ms the auditory prime was presented. The auditory target or a pseudoword followed 200 ms after offset of the prime to create a comparable and adequate baseline period for the ERP. Visual feedback (3x7 cm) was provided for about two seconds in every case the child responded correctly to a target (a smiley flying into a basket) or incorrectly pressed the space bar for a pseudoword (a little ghost appeared in the middle of the screen). The next trial started 1.5 seconds after feedback offset. No feedback was given whenever the child missed a target. In this case, the next trial started 3.5 seconds after the onset of the target. After each block, a short break was provided. Half of the children used the index finger of their right hand, while the other children used the index finger of their left hand to press the space bar.

7.3.5. Electrophysiological recording

We used 46 active Ag/AgCl electrodes (Brain Products) attached into an elastic cap (Electro Cap International, Inc.) for the continuous EEG recording according to the international 10-20 system (bandpass filter 0.01-100 Hz, BrainAmp Standard, Brain Products, Gilching, Germany). The reference and the ground electrodes were placed on the tip of the nose and in the electrode cap at position AF3, respectively. Two additional electrodes were placed below each eye. Two eye-calibration blocks were presented before and after the experiment. EEG data was processed with the Brain Electrical Source Analysis Software (BESA, MEGIS Software GmbH, Version 5.3). We applied the surrogate Multiple Source Eye Correction (Berg & Scherg, 1994) implemented in BESA for eye-movement artifact correction. For offline analysis, the signal was re-referenced to an average reference. All artifact rejection was computed manually and by visual inspection. Individual noisy channels were linearly interpolated for all trials ($M = 3.40$, $SD = 1.72$, $Range = 0 - 9$). All recordings were filtered offline with a 0.3 Hz high-pass filter. ERP were computed only for targets with correct

responses, starting from the beginning of the speech signal until 700 ms post-stimulus onset, with a 200 ms pre-stimulus baseline.

7.3.6. Data analysis

Explicit tests. We applied a repeated measures ANOVA with the within-factor *Age* (Preschool vs. 1st grade vs. 2nd grade).

Reaction times and errors. Reaction times (RT) shorter than 200 ms and longer than 2000 ms were removed from analysis. A repeated measures ANOVA with the within-factors *Condition* (Identity vs. Variation vs. Control) and the within-factor *Age* (Preschool vs. 1st grade vs. 2nd grade) was applied. The same procedure was used for the analysis of errors in word trials (omissions).

Event-related potentials. Four regions of interest (ROI, anterior-left: F9, F7, F3, FT9, FT7, FC5, FC1, T7, C5; posterior-left: C3, TP9, TP7, CP5, CP1, O9, P3, PO9, O1; anterior-right: F10, F8, F4, FT10, FT8, FC6, FC2, T8, C6; posterior-right: C4, TP10, TP8, CP6, CP2, P8, P4, PO10, O2) were identified prior to analyses. ERP amplitudes were computed with the same ANOVA as the reaction times, with the additional factors *Region* (anterior vs. posterior) and *Hemisphere* (left vs. right). In order to make the present analysis comparable to the results of Schild and colleagues (2011) and the training study (chapter 6), we adapted the same time windows in the present study. This resulted in a first time window ranging from 100 to 300 ms and a second time window from 300 to 400 ms. Both time windows preceded the behavioral responses. The following result section will only report significant interactions of *Condition* with *Hemisphere* and/or *Region* or *Hemisphere*, *Region* and *Group*. In case of significant interactions, further follow-up ANOVAs and *t*-tests were computed. All *t*-test results reported below were subject to a Holm-Bonferroni correction.

7.4. Results

7.4.1. Explicit tests

In the test for phonological awareness, the ANOVA revealed a main effect of *Age* ($F(2, 54) = 17.80, p < .001, \eta p^2 = .40$). Children scored best on this when they were at the end of 2nd grade, medium when they were at the end of 1st grade and lowest when they were in preschool. All time points differed significantly from each other, all $t(27) \geq 2.65, p \leq .01, d \geq .36$. Also in the speed reading test, the ANOVA revealed a main effect of *Age* ($F(1, 27) = 140.83, p < .001, \eta p^2 = .84$). Children scored higher in the reading test in the 2nd grade, compared to the 1st grade, $t(27) = 11.86, p \leq .001, d = 15.52$.

7.4.2. Reaction time and error analysis

The ANOVA for reaction times revealed a main effect of *Condition* ($F(2, 54) = 87.49, p < .001, \eta p^2 = .76$). Response times differed significantly from each other in each condition, all $t(27) \geq 5.69, p \leq .0001, d \geq .1.01$. Across all points of measurement, children responded fastest to the Identity condition ($M = 956.78$ ms, $SD = 99.78$ ms), followed by medium response times in the Variation condition ($M = 988.79$ ms, $SD = 98.65$ ms), and slowest response times in the Control condition ($M = 1061.30$ ms, $SD = 109.57$ ms). Furthermore, a main effect of *Age* ($F(2, 54) = 10.03, p < .001, \eta p^2 = .27$) revealed that across all trials, children responded faster as pupils (1st grade: $M = 987.79$ ms, $SD = 114.52$ ms; 2nd grade: $M = 954.70$ ms, $SD = 135.78$ ms) than they responded as preschoolers ($M = 1064.38$ ms, $SD = 126.40$ ms), both $t(27) \geq 3.30, p \leq .002, d \geq .59$. There was no difference between the overall response times obtained at the end of the 1st and 2nd year of schooling, $t(27) = 1.24, n.s.$ We did not find an interaction effect of *Age* x *Condition* ($F(4, 108) = 1.71, n.s.$). Figure 7.1. illustrates the mean response times as a function of age and condition.

Figure 7.1. Reaction times age groups.

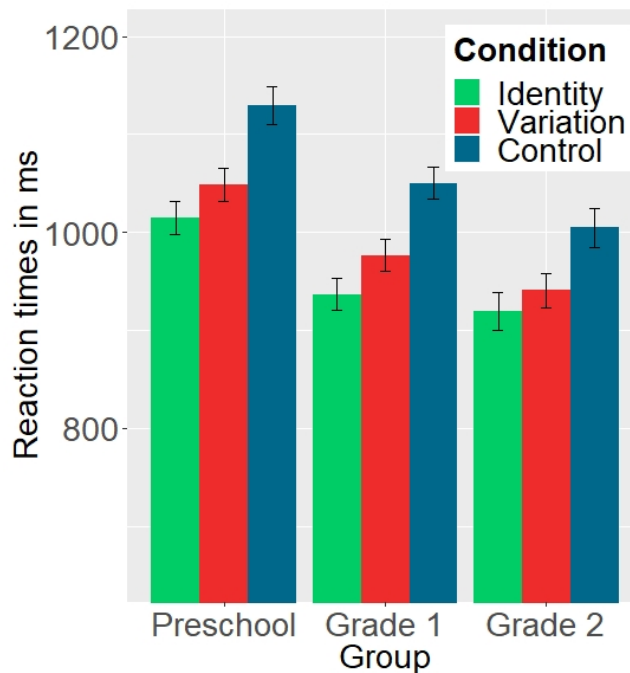


Figure 7.1. Mean reaction times and standard deviations (as indicated by error bars) of the three conditions (Identity, Variation and Control) for each age group (Preschool, Grade 1, Grade 2).

The overall error rate across children and conditions was 2.84% ($SD = 1.65$, Range 1.05% - 7.50%). The ANOVA revealed a main effect of *Group* ($F(2, 54) = 21.75$, $p < .001$, $\eta p^2 = .45$). At the end of their 1st and 2nd grade, children made less mistakes than they made in preschool, both $t(27) \geq 4.90$, $p \leq .0001$, $d \geq .70$. While in preschool, children missed on average 4.76% ($SD = 3.23\%$) “yes” responses to words, the error rate dropped to 1.88% ($SD = 1.45\%$) and 1.44% ($SD = 1.48\%$) at the end of 1st and 2nd grade, respectively. Overall error rates at the end of 1st and 2nd grade, did not differ significantly, $t(27) = 1.31$, n.s. There was no significant main effect of Condition ($F(2, 54) = 1.95$, n.s.), and no interaction between *Group* x *Condition*, $F(4, 108) = 0.85$, n.s.

7.4.3. Event-related potentials

Figure 7.2. presents the ERP effects for the anterior region across all groups and averaged priming effects between the three age groups.

100 - 300 ms. The ANOVA revealed significant interactions of *Condition* x *Region* ($F(2, 54) = 26.51, p < .001, \eta p^2 = .50$) and *Condition* x *Hemisphere* ($F(2, 54) = 7.84, p = .001, \eta p^2 = .23$).

A graded ERP priming pattern emerged when anterior and posterior regions were considered separately (as guided by the significant interaction of the factors *Condition* and *Region*). Amplitudes from the Identity condition and from the Variation condition were both more negative over anterior and more positive over posterior regions than amplitudes from the Control condition, all $t(83) \geq 2.93, p \leq .004, d \geq .34$. Crucially, amplitudes from the Identity condition were also more negative (resp. positive) than amplitudes from the Variation condition, $t(83) \geq 2.13, p \leq .03, d \geq .23$. At the same time, there were indices of rough priming, not differentiating the Identity and the Variation condition, for the left hemisphere (the significant interaction of the factors *Condition* and *Hemisphere* guided separate consideration of both hemispheres). Over the left hemisphere, amplitudes in the Identity and Variation condition were both more negative than in the Control condition, both $t(83) \geq 4.01, p \leq .0001, d \geq .46$. There was no difference between amplitudes from the Identity and Variation condition, $t(83) = 0.07, n.s.$ Over the right hemisphere, amplitudes in the Variation condition were more negative than amplitudes from the Control condition, $t(83) = 3.22, p = .001, d = 0.34$. There were no significant differences between the Identity and Variation condition, nor between the Identity and Control condition, all $t(83) \leq 1.63, n.s.$

300 - 400 ms. Again, the ANOVA revealed two significant interactions, one of the factors *Condition* x *Region* ($F(2, 54) = 23.74, p < .001, \eta p^2 = .47$), and another one of the factors *Condition* x *Hemisphere* ($F(2, 54) = 6.18, p = .004, \eta p^2 = .19$).

Both interactions pointed to rough priming, not differentiating the Identity and the Variation condition in the second time window. Guided by the significant interaction of the factors *Condition* and *Region*, we analyzed anterior and posterior regions separately. There were no differences between amplitudes from the Identity and Variation condition (both $t(83) \leq 1.26, n.s.$), but amplitudes from both conditions were more negative over anterior and more positive over posterior regions than amplitudes

rising from the Control condition, all $t(83) \geq 4.02$, $p \leq .0001$, $d \geq .44$. Guided by the significant interaction of the factors *Condition* and *Hemisphere*, we also analyzed left and right regions separately. Over the left and right hemisphere, only amplitudes from the Variation condition were more negative than amplitudes from the Control condition, $t(83) \geq 2.72$, $p \leq .007$, $d \geq .28$. We found no differences in the comparisons between the amplitudes from both Identity and Variation condition and Identity and Control condition, all $t(83) \leq 1.88$, n.s.

Figure 7.2. ERP effects over anterior and posterior regions across all age groups.

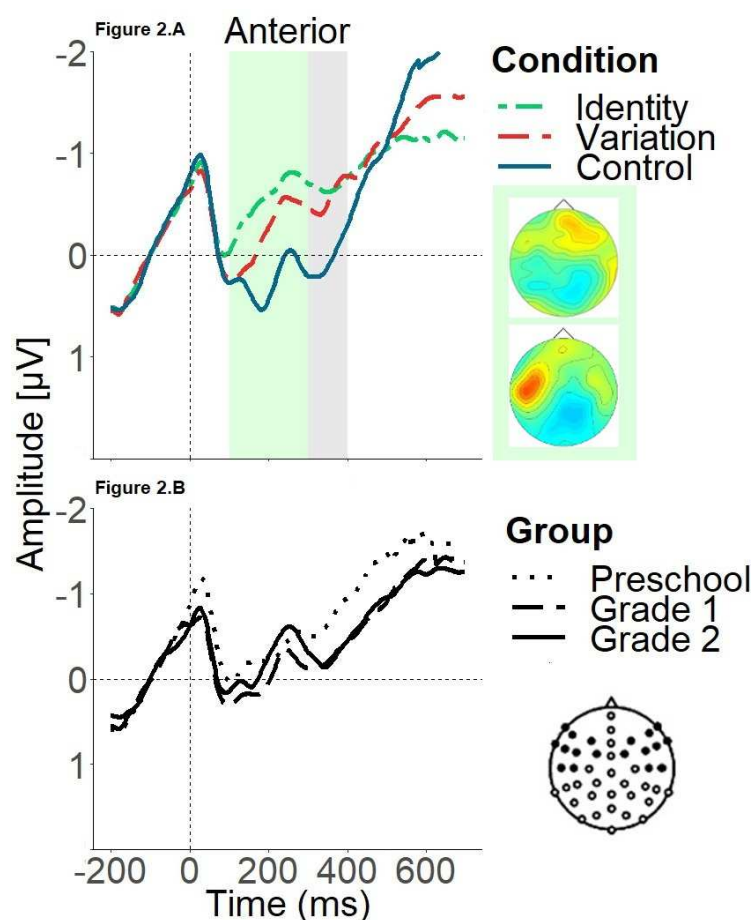


Figure 7.2. Mean ERP effects over anterior regions across all groups (Figure 2.A). Identity condition (green, short-dashed line), Variation condition (red, long-dashed line) and Control condition (blue, solid line). The light green bar marks the analysis area for the time window ranging from 100 to 300 ms. The grey bar marks the analysis area for the time window ranging from 300 to 400 ms. Topographical voltage maps indicate difference waves for the Control condition minus the Identity condition (upper voltage map), and for the Variation condition minus the Identity condition (voltage map below). Topographical voltage maps represent averaged amplitude differences across all age groups for the time window

ranging from 100 to 300 ms, during which significant differences between the Identity condition and the Variation condition. Figure 2.B shows averaged amplitudes for all conditions for each age group. Preschoolers (dotted line), 1st graders (dashed line), 2nd graders (solid line), indicating that there were no timing differences of ERP deflections paralleling the reaction time differences obtained at the three ages. Electrode position map with marked electrodes for anterior regions.

To sum up, we found graded response times and graded ERP priming patterns differentiating all three conditions across all three tested ages. There were no timing differences in the ERP paralleling speeded lexical decisions when children were able to read.

7.5. Discussion

In a longitudinal study, we repeatedly tested how children process spoken words after a training of phonemic awareness in preschool, and as a function of formal reading and writing instruction in elementary school. The training comprised ten weeks with daily ten-minute training sessions. For the second and third measurement, we tested the children who had participated in the training again at the end of their first and second year of elementary school. We were interested in the degree of speech detail that children considered for different aspects of spoken word recognition, and in the timing of those aspects as a function of reading acquisition. To this end, we recorded lexical decision latencies and ERP to targets presented in spoken word onset priming at all three measurements. We considered different responses to targets overlapping with preceding primes (e.g., “ki - kino”) compared to partially mismatching targets (e.g., “gi - kino”) as informative about the amount of speech detail that children exploit. Furthermore, we considered ERP waveforms as informative about the timing of phonologically mediated lexical access and lexical decision latencies as informative about the timing of strategic mechanisms including lexical selection as a function of phonemic awareness and literacy.

ERP and reaction times indicated that at all measurements, children were able to exploit phonemic detail. In the ERP, matching and partially mismatching targets elicited differences substantiating 100 to 300 ms after target word onset across all ages.

Reduced amplitudes within this time window have been interpreted to be related to facilitated auditory processing and phonological encoding (Friedrich et al., 2009; Lange & Röder, 2006; O'Rourke & Holcomb, 2002; Praamstra & Stegeman, 1993; Sanders & Astheimer, 2008; Sanders & Neville, 2003; Schild et al., 2014; Schild et al., 2012). According to this interpretation, children appeared to encode phonological information of matching targets more easily than that of partially mismatching targets across all age groups. Similarly, children showed delayed responses for partially mismatching targets compared to matching targets in their lexical decisions across all three measurements. In addition to facilitated encoding, lexical decision latencies appear to reflect a specific strategic mechanism including lexical selection (Friedrich et al., 2013; Schild & Friedrich, 2018). According to this interpretation, children might have used speech sound details for those strategies across all age groups.

Differences between the results of a former study with untrained pre-reading preschoolers (Schild et al., 2011) and the results of the present study point to an impact of a phonemic awareness training in pre-reading preschoolers. Formerly, we tested a group of typically developing preschoolers, who were not able to read yet, and who did not receive a systematic training in phonemic awareness. These untrained preschoolers were not sensitive to partial mismatch between primes and targets as reflected in ERP and response times. In the present study, preschoolers who received a phonemic awareness training were sensitive to partial mismatch between primes and targets as reflected in ERP and response times. Together both studies reveal evidence for accounts assuming that, rather than orthographic knowledge, phonemic awareness is the driving factor of speech processing differences between readers and pre-readers (e.g., Cutler & Davis, 2012; Mitterer & Reinisch, 2015). When trained in phonemic awareness, pre-readers appear to use speech sound detail for several aspects of speech processing. Thus, research targeting the impact of literacy on speech processing should not only focus on reading and writing abilities, but in addition, on phonemic awareness skills, which typically develop in parallel.

Steady priming effects in the ERP and steady response time patterns across the three age groups indicated that the processing of phonological detail did not change with emerging reading experience (1st grade) and prolonged reading experience (2nd grade). After preschool, children's phonemic awareness training continued during this

longitudinal study when they entered elementary school, where they received formal instruction on the phonological principle. Indeed, children constantly improved in phonological awareness measures, in offline explicit phonological awareness tasks. Children scored lowest on these measures of phonological awareness when they were in kindergarten, and highest when they were in 1st and 2nd grade. This is in line with various studies showing that specific aspects of phonological awareness profit from reading acquisition (Ehri & Wilce, 1980; Morais et al., 1979; Treiman & Cassar, 1997; Tunmer & Nesdale, 1985). Yet, this growth in metalinguistic speech processing was not reflected in the amount of detail children used during spoken word recognition, which apparently was sufficiently adapted by the preschool training. Thus, children do not appear to specify their phonological representations as a function of developing phonological awareness or emerging and increasing orthographic knowledge. Rather, they appear to reach a threshold level of which might be sufficient to facilitate phonetically mediated access and strategic mechanisms across middle childhood. The results therein do not indicate that processing of phonemic detail gains from the installment of stable orthographic knowledge, but highlighted phonological awareness trained during preschool.

We interpret the current results in favor of the assumption that in middle childhood, implicit speech processing is foremost restructured by facilitated phonological processing via precursors of literacy such as phonological awareness (Dehaene et al., 2015; Harm & Seidenberg, 2004; Pattamadilok et al., 2010; Taft, 2006). Former research pointed to the mutual relationship between learning to read and phonemic awareness (Deacon, Benere, & Pasquarella, 2013; Perfetti et al., 1987). At an initial stage of reading, decoding letters to corresponding sounds is crucial for understanding the alphabetic script (Anthony & Francis, 2005), thus learning to read emphasizes and triggers the refinement of explicit phonological representations which feedback on their implicit counterparts stored in the mental lexicon. Our results support this assumption in so far as, 1) preliterate children processed phonological variations detailed enough without extended letter knowledge but only phonological awareness training; and 2) implicit phonological processing seemed to remain stable once a specific level of phonological awareness was reached, even though phonological awareness did profit from orthographic knowledge.

ERP differences obtained for matching and partially mismatching targets in the present study emerged somewhat earlier than the formerly obtained ERP differences for place variation in adults (e.g. Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012) and reading children (Schild et al., 2011). In the present study, ERP differences were evident between 100 and 300 ms after target word onset across all age groups. This parallels ERP differences in the same time window found for adults (Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012). However, we did not obtain a difference between 300 and 400 ms, i.e. for the time window for which we had formerly observed it for reading children and adults (Friedrich et al., 2009; Schild, et al., 2011, 2012). As the timing of ERP differences in the present study was consistent for all age groups (and hence was not restricted to the training), we might conclude that it relates to the different features varied in the studies. While initial place varied in partially mismatching prime-target pairs in the former studies, initial voicing varied in the present study. Voicing information is typically available earlier in the signal (vibration of voiced speech sounds starts with their onset) than place information (formant information indicating place develops across the speech sound). This might relate to the timing of respective ERP differences elicited by partial variation in both features. Functional interpretation of ERP elicited in word onset priming should account for those differences. Especially the timing of word form activation might depend on the availability of phonological information and might not always need 300 ms after target word onset. Further research has to follow these timing differences in adults.

In the present study, age-related differences only emerged for mean decision latencies. Overall, children responded fastest as 2nd graders, with medium speed as 1st graders and slowest as preschoolers. Age-related speeding of responses might have several triggers including maturation, repeated testing in the present study, enhancing attention spans etc. Yet it is important to note, that these factors do not contribute to respective speeding of ERP deflections. This dissociation finds a parallel in a former word onset priming study with congenitally blind and sighted adults (Schild & Friedrich, 2018). Despite overall accelerated lexical decision times in congenitally blind individuals, timing of ERP deflections were comparable between groups. In combination with the present results, both studies imply modifications of lexical decision responses between groups that might reflect different adjustments and proficiency in processing auditory input. While lexical decision responses might be

sensitive to late strategic mechanisms that interfere with the yes-responses to the targets, ERP might more closely relate to rapid phonologically mediated lexical access processes that are less prone to external or internal modulations. We might conclude that, comparable to adults, children realize speeded speech processing rather via relatively late aspects of processing, than via facilitated phonological encoding and lexical mapping. That is, already in childhood, the timing of input-related implicit aspects of phonologically mediated lexical access appear optimally adjusted to the input. Similar to trained preschoolers' sensitivity to speech detail, the finding of faster responses with increasing age is in line with a post-lexical account relating modulated speech processing in readers to post-lexical, strategic and metalinguistic aspects (e.g., Mitterer & Reinisch, 2015).

Faster lexical decision latencies with increasing age are in accord with the assumption that reading experience fosters prediction in language processing (Huettig & Pickering, 2019). Eye tracking studies already suggested that proficient readers predict spoken language faster than less proficient readers and illiterate adults (Mishra, Singh, Pandey, & Huettig, 2012), and children who are good readers are more efficient in predicting than those who are less-proficient readers (Mani & Huettig, 2014). The present data suggest that enhanced reading proficiency from preschool to 2nd grade fosters priming of lexical decision responses in spoken word recognition. Predictions within a priming paradigm can aid responses for related prime-target pairs. As only the timing of lexical decisions, but not the timing of ERP varied with increasing reading proficiency, we might conclude that predictions rather modulate selection of word candidates in the speech recognition process than bottom-up activation of potential word candidates. Therein, word-onset priming appears to provide a powerful means to disentangle top-down prediction (as reflected in lexical decision latencies) from bottom-up activation (as reflected in the ERP).

7.6. Conclusion

With this study, we took a developmental approach on how phonological sensitivity of different aspects of spoken word processing evolves during the very beginning of learning to read. Preschool children trained in phonemic awareness showed detailed

implicit and explicit spoken word processing. While meta-linguistic processing continued to develop after children started learning to read, processing of voicing variations did not become more detailed once children gained more prolonged reading experience and stable knowledge of letters after 1st and 2nd grade. Beginning readers' pre-lexical processing of phonemic detail might therefore foremost profit from increasing conscious understanding of the language's structure.

7.7. References

- Anthony, J. L., & Francis, D. J. (2005). Development of Phonological Awareness. *Current Directions in Psychological Science*, 14(5), 255-259. doi:10.1111/j.0963-7214.2005.00376.x
- Berg, P., & Scherg, M. (1994). A multiple source approach to the correction of eye artifacts. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 90(3), 229-241. doi:10.1016/0013-4694(94)90094-9
- Bien, H., Bolte, J., & Zwitterlood, P. (2014). Do syllables play a role in German speech perception? Behavioral and electrophysiological data from primed lexical decision. *Frontiers in Psychology*, 5, 1544. doi:10.3389/fpsyg.2014.01544
- Carroll, J. M., Snowling, M. J., Hulme, C., & Stevenson, J. (2003). The development of phonological awareness in preschool children. *Developmental Psychology*, 39(5), 913-923. doi:http://dx.doi.org/10.1037/0012-1649.39.5.913
- Cataldo, S., & Ellis, N. (1988). Interactions in the development of spelling, reading and phonological skills. *Journal of Research in Reading*, 11(2), 86-109. doi:10.1111/j.1467-9817.1988.tb00153.x
- Cutler, A., & Davis, C. (2012). An Orthographic Effect in Phoneme Processing, and Its Limitations. *Frontiers in Psychology*, 3(18). doi:10.3389/fpsyg.2012.00018
- Deacon, H., Benere, J., & Pasquarella, A. (2013). Reciprocal Relationship: Children's Morphological Awareness and Their Reading Accuracy Across Grades 2 to 3. *Developmental Psychology*, 49(6), 1113-1126. doi:10.1037/a0029474

- Dehaene, S., Cohen, L., Morais, J., & Kolinsky, R. (2015). Illiterate to literate: behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition. *Nature Reviews Neuroscience*, *16*(4), 234-244. doi:10.1038/nrn3924
- Desroches, A. S., Cone, N. E., Bolger, D. J., Bitan, T., Burman, D. D., & Booth, J. R. (2010). Children with reading difficulties show differences in brain regions associated with orthographic processing during spoken language processing. *Brain Research*, *1356*, 73-84. doi:10.1016/j.brainres.2010.07.097
- Ehri, L. C., & Wilce, L. S. (1980). The influence of orthography on readers' conceptualization of the phonemic structure of words. *Applied Psycholinguistics*, *1*(4), 371-385. doi:10.1017/S0142716400009802
- Friedrich, C. K. (2005). Neurophysiological correlates of mismatch in lexical access. *BMC Neuroscience*, *6*(64), 64. doi:10.1186/1471-2202-6-64
- Friedrich, C. K., Felder, V., Lahiri, A., & Eulitz, C. (2013). Activation of words with phonological overlap. *Frontiers in Psychology*, *4*, 556. doi:10.3389/fpsyg.2013.00556
- Friedrich, C. K., Lahiri, A., & Eulitz, C. (2008). Neurophysiological Evidence for Underspecified Lexical Representations: Asymmetries With Word Initial Variations. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance*, *34*, 1545-1559. doi:10.1037/a0012481
- Friedrich, C. K., Schild, U., & Röder, B. (2009). Electrophysiological indices of word fragment priming allow characterizing neural stages of speech recognition. *Biological Psychology*, *80*(1), 105-113. doi:10.1016/j.biopsycho.2008.04.012
- Goswami, U., Ziegler, J. C., & Richardson, U. (2005). The effects of spelling consistency on phonological awareness: A comparison of English and German. *Journal of Experimental Child Psychology*, *92*(4), 345-365. doi:https://doi.org/10.1016/j.jecp.2005.06.002
- Grainger, J., & Ferrand, L. (1996). Masked orthographic and phonological priming in visual word recognition and naming: Cross-task comparisons. *Journal of Memory and Language*, *35*(5), 623-647. doi:10.1006/jmla.1996.0033

- Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (2004). Computing the meanings of words in reading: cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological Review*, 111(3), 662-720. doi:10.1037/0033-295x.111.3.662
- Huettig, F., & Pickering, M. J. (2019). Literacy Advantages Beyond Reading: Prediction of Spoken Language. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(6), 464-475. doi:10.1016/j.tics.2019.03.008
- Küspert, P., & Schneider, W. (2008). *Hören, lauschen, lernen - Sprachspiele für Kinder im Vorschulalter* (6. Aufl.). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Lange, K., & Röder, B. (2006). Orienting attention to points in time improves stimulus processing both within and across modalities. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(5), 715-729. doi:10.1162/jocn.2006.18.5.715
- Lenhard, W., & Schneider, W. (2006). *ELFE 1-6 - Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler*. Göttingen: Hogrefe.
- Mani, N., & Huettig, F. (2014). Word reading skill predicts anticipation of upcoming spoken language input: a study of children developing proficiency in reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, 126, 264-279. doi:10.1016/j.jecp.2014.05.004
- Mayer, A. (2011). *TEPHOBE. Test zur Überprüfung der phonologischen Bewusstheit und der Benennungsgeschwindigkeit*. München: Reinhardt Verlag.
- Mishra, R., Singh, N., Pandey, A., & Huettig, F. (2012). Spoken language-mediated anticipatory eye movements are modulated by reading ability - Evidence from Indian low and high literates. *Journal of Eye Movement Research*, 5. doi:doi:10.16910/jemr.5.1.3
- Mitterer, H., & Reinisch, E. (2015). Letters don't matter: No effect of orthography on the perception of conversational speech. *Journal of Memory and Language*, 85, 116-134. doi:https://doi.org/10.1016/j.jml.2015.08.005
- Morais, J., Cary, L., Alegria, J., & Bertelson, P. (1979). Does awareness of speech as a sequence of phones arise spontaneously? *Cognition*, 7(4), 323-331. doi:https://doi.org/10.1016/0010-0277(79)90020-9

- O'Rourke, T. B., & Holcomb, P. J. (2002). Electrophysiological evidence for the efficiency of spoken word processing. *Biological Psychology*, *60*(2-3), 121-150. doi:10.1016/S0301-0511(02)00045-5
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, *9*(1), 97-113.
- Pattamadilok, C., Knierim, I. N., Kawabata Duncan, K. J., & Devlin, J. T. (2010). How does learning to read affect speech perception? *Journal of Neuroscience*, *30*(25), 8435-8444. doi:10.1523/jneurosci.5791-09.2010
- Perfetti, C. A., Beck, I., Bell, L. C., & Hughes, C. (1987). Phonemic Knowledge and Learning to Read are Reciprocal: A Longitudinal Study of First Grade Children. *Merrill-Palmer Quarterly*, *33*(3), 283-319. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/23086537>
- Plume, E., & Schneider, W. (2004). *Hören, lauschen, lernen 2. Spiele mit Buchstaben und Lauten für Kinder im Vorschulalter*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Praamstra, P., & Stegeman, D. F. (1993). Phonological effects on the auditory N400 event-related brain potential. *Cognitive Brain Research*, *1*(2), 73-86. doi:[https://doi.org/10.1016/0926-6410\(93\)90013-U](https://doi.org/10.1016/0926-6410(93)90013-U)
- Pylkkänen, L., & Marantz, A. (2003). Tracking the time course of word recognition with MEG. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(5), 187-189. doi:[https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00092-5)
- Pylkkänen, L., Stringfellow, A., & Marantz, A. (2002). Neuromagnetic Evidence for the Timing of Lexical Activation: An MEG Component Sensitive to Phonotactic Probability but Not to Neighborhood Density. *Brain and Language*, *81*(1), 666-678. doi:<https://doi.org/10.1006/brln.2001.2555>
- Reis, A., & Castro-Caldas, A. (1997). Illiteracy: a cause for biased cognitive development. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *3*(5), 444-450.
- Sanders, L. D., & Astheimer, L. B. (2008). Temporally selective attention modulates early perceptual processing: event-related potential evidence. *Perception & Psychophysics*, *70*(4), 732-742. doi:doi: 10.3758/PP.70.4.732

- Sanders, L. D., & Neville, H. J. (2003). An ERP study of continuous speech processing. I. Segmentation, semantics, and syntax in native speakers. *Cognitive Brain Research, 15*(3), 228-240. doi:[https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(02\)00195-7](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(02)00195-7)
- Schild, U., Becker, A. B. C., & Friedrich, C. K. (2014). Processing of syllable stress is functionally different from phoneme processing and does not profit from literacy acquisition. *Frontiers in Psychology, 5*(530). doi:10.3389/fpsyg.2014.00530
- Schild, U., & Friedrich, C. K. (2018). What determines the speed of speech recognition? Evidence from congenitally blind adults. *Neuropsychologia, 112*, 116-124. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.002
- Schild, U., Röder, B., & Friedrich, C. K. (2011). Learning to read shapes the activation of neural lexical representations in the speech recognition pathway. *Developmental Cognitive Neuroscience, 1*(2), 163-174. doi:10.1016/j.dcn.2010.11.002
- Schild, U., Röder, B., & Friedrich, C. K. (2012). Neuronal spoken word recognition: The time course of processing variation in the speech signal. *Language and Cognitive Processes, 27*, 159-183. doi:10.1080/01690965.2010.503532
- Schneider, W., Blanke, I., Faust, V., & Küspert, P. (2011). *Würzburger Leise Leseprobe - Revision. Ein Gruppentest für die Grundschule*. Göttingen: Hogrefe.
- Taft, M. (2006). Orthographically Influenced Abstract Phonological Representation: Evidence from Non-rhotic Speakers. *Journal of Psycholinguistic Research, 35*(1), 67-78. doi:10.1007/s10936-005-9004-5
- Treiman, R., & Cassar, M. (1997). Can children and adults focus on sound as opposed to spelling in a phoneme counting task? *Dev Psychol, 33*(5), 771-780.
- Tunmer, W. E., & Nesdale, A. R. (1985). Phonemic segmentation skill and beginning reading. *Journal of Educational Psychology, 77*(4), 417-427. doi:10.1037/0022-0663.77.4.417
- Ventura, P., Morais, J., & Kolinsky, R. (2007). The development of the orthographic consistency effect in speech recognition: from sublexical to lexical involvement. *Cognition, 105*(3), 547-576. doi:10.1016/j.cognition.2006.12.005

- Wagner, R. K., Torgesen, J. K., & Rashotte, C. A. (1994). *Development of Reading-Related Phonological Processing Abilities: New Evidence of Bidirectional Causality From a Latent Variable Longitudinal Study* (Vol. 30).
- Weber, A., & Scharenborg, O. (2012). Models of spoken-word recognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 3(3), 387-401. doi:10.1002/wcs.1178
- Zecker, S. G. (1991). The orthographic code: Developmental trends in reading-disabled and normally-achieving children. *Annals of Dyslexia*, 41(1), 178-192. doi:10.1007/bf02648085
- Ziegler, J. C., & Ferrand, L. (1998). Orthography shapes the perception of speech: The consistency effect in auditory word recognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5(4), 683-689. doi:10.3758/bf03208845
- Ziegler, J. C., & Muneaux, M. (2007). Orthographic facilitation and phonological inhibition in spoken word recognition: a developmental study. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(1), 75-80.
- Ziegler, J. C., Muneaux, M., & Grainger, J. (2003). Neighborhood effects in auditory word recognition: Phonological competition and orthographic facilitation. *Journal of Memory and Language*, 48(4), 779-793. doi:https://doi.org/10.1016/S0749-596X(03)00006-8

8. Zusammenfassende Diskussion

Es gibt unterschiedliche Theorien darüber, wie Sprache erworben und verarbeitet wird. Entwicklungstheoretische Ansätze wie beispielsweise die *Lexical Restructuring Hypothesis* (Goswami, 2000; Metsala, 1997; Walley, 1993, siehe Punkt 2.1.) gehen davon aus, dass Sprache im Entwicklungsverlauf der frühen Kindheit zunehmend segmentiert von ganzen Wörtern bis hin zu Phonemen wahrgenommen wird. Es wird angenommen, dass diese Entwicklung eintritt, da Kinder einen zunehmend größeren Wortschatz aufweisen. Alternativ wird auch diskutiert, dass bereits Säuglinge über eine differenzierte Sprachverarbeitung verfügen und einzelne Phoneme voneinander unterscheiden können (Swingley 2003; Swingley & Aslin, 2002).

Klassische Modelle der Worterkennung (siehe Punkt 1.2.) beschreiben Annahmen, welche Rolle Phoneme beim lexikalischen Zugriff spielen. Hörer scheinen bei der Worterkennung dabei auch Variationen in phonemischen Merkmalen zu berücksichtigen. Wörter wurden einfacher verarbeitet und erkannt, wenn sie beispielsweise durch eine Silbe voraktiviert wurden, die in allen Phonemen identisch mit dem Zielwort war (u.a. Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012).

Der Schriftspracherwerb wird sowohl in diesen entwicklungstheoretischen Theorien als auch in den klassischen Modellen der Worterkennung nicht berücksichtigt. Dennoch gibt es eine große Anzahl an Befunden, die belegen, dass Leser orthographische Informationen bei der Verarbeitung gesprochener Sprache nutzen (siehe Kapitel 3). Aus diesen Befunden geht auch hervor, dass bereits beginnende Leser detaillierter auf Informationen aus dem Sprachstrom zurückgreifen konnten als Kinder, die noch nicht lesen können (Schild et al., 2011). Obwohl sich Sprache demnach auch ohne Erfahrungen mit dem Schriftspracherwerb entwickelt (Punkt 2.1.), stellt sich daher die Frage, inwiefern der Schriftspracherwerb möglicherweise zusätzlich die Entwicklung der Sprachwahrnehmung modifizieren könnte.

In der Forschung wird dabei vor allem diskutiert, ob der Schriftspracherwerb auf post-perzeptueller Ebene nach dem lexikalischen Zugriff relevant ist (explizit phonologischer Ansatz) oder ob bereits frühe prälexikalische Verarbeitungsschritte durch den Schriftspracherwerb modifiziert werden. Eine zweite bisher nicht ausreichend ergründete Frage ist, welche Mechanismen des Schriftspracherwerbs die

Wahrnehmung gesprochener Sprache modulieren. Diskutiert wird, ob Leser direkt graphemische Informationen beim lexikalischen Zugriff abrufen können (implizit orthographisch-phonologischer Ansatz) oder ob die Struktur der phonologischen Repräsentationen durch die intensive explizite Verarbeitung von phonologischen Informationen geändert wird (implizit phonologischer Ansatz).

Im vorliegenden Dissertationsprojekt wurde in einer großangelegten Trainings- und Längsschnittstudie untersucht, welche Rolle Vorläuferfertigkeiten des Schriftspracherwerbs bei der Verarbeitung sprachlicher Variationen auf Einzelwortebene spielen. Von Interesse war dabei die Untersuchung, ob die Nutzung von merkmalsbasierten phonemischen Informationen bei der Sprachverarbeitung davon profitiert, wenn die Kinder systematisch in Vorläuferfertigkeiten des Lesenlernens trainiert wurden. Dabei wurde untersucht, ob die Kinder insbesondere von einem Training in expliziten phonemischen Wissen profitieren oder ob Kinder über das Buchstabenwissen zusätzliche Informationen erhalten, die sie für die Verarbeitung phonemischer Variation nutzen können. Die Entwicklungsplastizität der phonologischen Repräsentationen im Zuge des formalen Schriftspracherwerbs wurde durch Folgerhebungen evaluiert, indem die Kinder nach der ersten und zweiten Klasse erneut zu der Studie eingeladen wurden. Als Methode wurde über beide Studien hinweg ein Wort Fragment Priming genutzt, um die Detailliertheit impliziter phonologischer Repräsentationen nach dem Training und der ersten und zweiten Klasse zu testen. Die Probanden hörten Primes, auf die ein Zielwort folgte. Die Primes waren entweder im ersten Phonem identisch mit dem Zielwort (Identitätsbedingung, z.B. „Ki - Kino“), variierten im ersten Phonem in der Stimmhaftigkeit (Variationsbedingung, z.B. „Gi - Kino“) oder waren unrelatiert (Kontrollbedingung, z.B. „Ba - Kino“). Es wurden Reaktionszeiten und EKP ausgewertet. Als Indikatoren dafür, wie detailliert phonemische Variationen in frühen Stadien der Sprachverarbeitung berücksichtigt werden, können im Wort Fragment Priming spezifische EKP interpretiert werden, die aus der EEG-Messung gewonnen werden können.

8.1. Merkmalsbasierte Verarbeitung (EKP)

In der vorliegenden Dissertation wurden neuronale Prozesse bei der Verarbeitung phonemischer Variationen in der Stimmhaftigkeit untersucht. Bei der Verwendung eines unimodalen auditiven Wort Fragment Priming Paradigmas wurden in vorherigen Studien bei Erwachsenen und auch bei Kindern im Vor- und Grundschulalter charakteristische EKP beobachtet (u.a. Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2011). Zu diesen gehörte die N100, die P350 und die cNEG (siehe Punkt 1.3.3.).

Von besonderem Interesse war die **P350**. Diese wurde mit der graduellen Aktivierung lexikalischer Repräsentationen in Verbindung gebracht: Je besser die Passung zwischen Prime und Zielwort war, desto negativer war die P350. Die graduelle Aktivierung wurde dahingehend interpretiert, dass Probanden sensitiv phonemische Variationen verarbeiteten und für den lexikalischen Zugriff berücksichtigten. Diese graduelle Aktivierung scheint es bei nicht-lesenden Kindern noch nicht zu geben. Schild et al. (2011) beobachteten, dass nicht-lesende Vorschulkinder phonemische Variationen im Artikulationsort tolerierten und ähnliche Aktivierungsmuster für identische (z.B. „Mon – Monster“) und leicht variierende (z.B. „Non – Monster“) Prime-Zielwort-Kombinationen zeigten. Lesende Kinder im Vor- und Grundschulalter hingegen zeigten eine differenzierte Verarbeitung phonemischer Variation, die der Verarbeitung bei Erwachsenen ähnelten. Dieser Gruppenunterschied bei den Kindern war mit den Erfahrungen mit dem Schriftspracherwerb assoziiert wurden. Auf Grundlage der vorherigen Ergebnisse wurde daher erwartet, dass sich unter Verwendung des gleichen Paradigmas ein P350-Effekt replizieren lassen würde. Spezifisch wurde dies erwartet für a) Kinder, die in Vorläuferfertigkeiten des Lesenlernens trainiert wurden (Studie 1, Kapitel 6), b) für Kinder der ersten und zweiten Klasse, die formal mit dem Schriftspracherwerb begonnen hatten (Studie 2, Kapitel 7 und Pilotstudie, Anhang I) und c) für eine Gruppe an erwachsenen Kontrollprobanden (Studie 1). Für Vorschulkinder der Kontrollgruppe, die noch nicht lesen konnten und die auch kein Training in den Vorläuferfertigkeiten des Lesenlernens erhalten hatten, wurde eine Toleranz gegenüber phonemischer Variation erwartet.

Sowohl in der Trainingsstudie (Studie 1) als auch in der Längsschnittstudie (Studie 2) wurde der erwartete graduelle P350-Effekt nicht repliziert. In einem Zeitfenster

zwischen 300 und 400 ms nach Beginn des Zielwortes unterschieden sich die Amplituden aus der Identifikations- und Variationsbedingung nicht. Amplituden aus beiden Bedingungen unterschieden sich lediglich von den Amplituden aus der unrelatierten Kontrollbedingung. Dies spricht für eine grobe phonologische Verarbeitung. Variationen in der Stimmhaftigkeit wurden diesem Zeitfenster toleriert. Dieses Aktivierungsmuster war konsistent für alle Gruppen, die innerhalb der zwei Studien mit dem Paradigma getestet wurden (alle Trainingsgruppen an nicht-lesenden Vorschulkindern und Erwachsenen in Studie 1, sowie Grundschulern der ersten und zweiten Klasse in Studie 2).

Stattdessen unterschieden Amplituden aus der Identifikations- und Variationsbedingung in einem früheren Zeitfenster zwischen 100 und 300 ms. Waren Prime und Zielwort identisch, wurden Wörter leichter verarbeitet als in der Bedingung mit einer Abweichung im initialen Phonem. Dies wurde in beiden Trainingsgruppen von nicht-lesenden Vorschulkindern gefunden, die zuvor eines der beiden phonemischen Trainings erhalten hatten (Studie 1), sowie bei Grundschulern der ersten und der zweiten Klasse (Studie 2). Nicht-lesende Kinder der Kontrollgruppe sowie erwachsene Kontrollprobanden wiesen diesen frühen phonologischen Abgleich nicht auf (Studie 1).

Das Zeitfenster um 100 bis 300 ms nach Zielwort wurde in bisherigen Studien mit Wort Fragment Priming Paradigmen mit frühen auditiven Potentialen in Verbindung gebracht (Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2011; Schild et al., 2012). Die auditive **N100** und der assoziierte temporäre T-Komplex wurde dabei mit der frühen phonologischen Analyse und der Verarbeitung von sich wiederholenden auditiven Mustern, bzw. der Erwartung für bestimmte auditive Muster assoziiert (Friedrich et al., 2009) und auch mit selektiven Mechanismen der auditiven Aufmerksamkeit in Verbindung gebracht (Connolly, 1993; Naatanen & Picton, 1987). Die N100 wurde hier mit dem Grad der Voraktivierung des Wortes durch den Prime interpretiert. Primes, die ähnlicher zum Zielwort sind (z.B. in der Identitäts- und Variationsbedingung) weisen demnach einen höheren prädiktiven Wert für das Zielwort auf und werden einfacher verarbeitet. Wörter aus der unrelatierten Bedingung hingegen könnten durch den Prime nicht vorhergesagt werden und lösen eine größere Positivierung aus (Friedrich et al., 2009). N100-Antworten wurden in der Vergangenheit auch als Index für merkmalsbasierte phonologische Verarbeitung interpretiert und als Übergang von

früher auditiver Verarbeitung zu lexikalischen Repräsentationen betrachtet (Bien & Zwitserlood, 2013; Obleser, Scott, & Eulitz, 2005; Tavabi, Obleser, Dobel, & Pantev, 2007). Toscano, McMurray, Dennhardt und Luck (2010) fanden beispielsweise, dass die N100 sensitiv auf lineare Veränderungen von Sprachlauten auf einem Voice Onset Time Kontinuum reagierte, was darauf hindeutet, dass die N100 fein differenzierte Unterschiede in der Stimmhaftigkeit reflektieren könnte. Amplitudenunterschiede in der N100 bei den Kindern mit Sprachtrainings (Studie 1) und den Grundschulern (Studie 2) zeigen, dass in den frühen auditiven Potentialen eine differenziertere phonologische Analyse stattfindet. Die phonologische Verarbeitung von Informationen zur Stimmhaftigkeit war in diesen Gruppen detaillierter als in den beiden Kontrollgruppen (Kontrolltrainingsgruppe und erwachsenen Kontrollgruppe). Auch im Vergleich zu bisherigen Studien mit Wort Fragment Priming wies die N100 in den beiden Sprachgruppen damit Besonderheiten auf. Bei Erwachsenen wurde zuvor die N100 vor allem durch einen groben phonologischen Abgleich zwischen Prime und Zielwort charakterisiert und erschien nicht sensitiv für geringfügige phonemische Variationen im Artikulationsort (Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012; Schild & Friedrich, 2018). Weder lesende Vor- und Grundschüler, noch nicht-lesende Vorschulkinder zeigten Unterschiede in der N100 in der Vorgängerstudie (Schild et al., 2011).

Wird die P350 als Index für die graduelle Aktivierung lexikalischer Repräsentationen im Zusammenhang mit dem lexikalischen Zugriff auf Wortebene interpretiert, deuten die Ergebnisse aus Studie 1 und 2 hin, dass feine Variationen in der Stimmhaftigkeit in diesem Stadium der Sprachverarbeitung nicht berücksichtigt wurden. Da dies im Kontrast zu früheren Ergebnissen zum Artikulationsort steht (Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012; Schild & Friedrich, 2018) und über alle Gruppen in Studie 1 und 2 konstant beobachtet wurde, stellt sich die Frage, inwiefern Variationen in verschiedenen phonemischen Merkmalen unterschiedlich stark für den lexikalischen Zugriff berücksichtigt werden. Ergebnisse aus verschiedenen Studien deuten darauf hin, dass die Verarbeitung von merkmalsbezogener Variation nicht gleich verteilt ist. Es fand sich zum Beispiel, dass in verschiedenen Sprachen eine falsche Aussprache von Wörtern eher toleriert wurde, wenn die Variation in der Stimmhaftigkeit erfolgte, als wenn der Artikulationsort oder die Artikulationsart variierte (Englisch: Cole, Jakimik, & Cooper, 1978; Französisch: Martin & Peperkamp, 2015). Variationen in der

Stimmhaftigkeit schienen in diesen Studien daher weniger stark die Worterkennung zu erschweren als Variationen in anderen Merkmalen. Die verschiedenen Ergebnisse aus den bisherigen Studien mit Wort Fragment Priming Paradigma an deutschen Probanden (sowohl Kinder als auch Erwachsene) passen daher zu den Ergebnissen aus dem z.B. englischen oder französischem Sprachraum. Variationen in der Stimmhaftigkeit schienen keine Rolle bei der Worterkennung zu spielen (Studie 1 & 2), im Artikulationsort hingegen schon (Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012; Schild & Friedrich, 2018).

Mögliche Ursachen für eine asymmetrische Berücksichtigung verschiedener phonemischer Merkmale könnten zum einen sein, dass bestimmte Phonemklassen aufgrund akustischer Parameter sich mehr ähneln als andere, Salienzunterschiede innerhalb einer Phonemklasse zum Beispiel mehr oder weniger stark ausfallen als in einer anderen Phonemklasse (z.B. Unterschiede in der Artikulationsart fallen akustisch mehr auf als Unterschiede in der Stimmhaftigkeit, Ernestus & Mak, 2004). Eine andere Möglichkeit wäre, dass Stimmhaftigkeit weniger stark in der Worterkennung berücksichtigt wird, weil es in einer bestimmten Sprache weniger stark informativ ist, um zwischen Wortkandidaten zu unterscheiden. Tatsächlich wurde z.B. für das Niederländische gefunden, dass Stimmhaftigkeit im Vergleich zum Artikulationsort und Artikulationsart weniger stark am Wortanfang diskriminativ für verschiedene Wörter fungiert¹. Es zeigte sich, dass niederländische Probanden größere Schwierigkeiten dabei aufwiesen falsch ausgesprochene Wörter abzulehnen, wenn diese in der Stimmhaftigkeit für frikative Laute abwichen, als wenn der Unterschied im Artikulationsort oder Artikulationsart auftrat (Ernestus & Mak, 2004). Auf der anderen Seite wurde gefunden, dass auch im Englischen und Französischen eine höhere

¹ Grund für eine Unterrepräsentation der Stimmhaftigkeit im Niederländischen am Wortanfang sind phonologische Prozesse, die zu einem Devoicing der Laute am Wortanfang führen (Buckler & Fickert, 2015). Ähnliche Prozesse können auch für das Schwäbische beobachtet werden, bei der es durch eine Lenisierung der Konsonanten zu einer Abweichung von stimmhaften Konsonanten zu stimmlosen Konsonanten kommt (z.B. „/k/rank“ kann als „/g/rank“ realisiert werden). Man spricht dabei von der binnendeutschen Konsonantenschwächung, die dialektspezifisch auftritt. Inwiefern der Dialekt einer Rolle bei der Toleranz gegenüber Variationen in der Stimmhaftigkeit in den Stichproben der Studie 1 und 2 eine Rolle gespielt hat, kann an dieser Stelle nicht ausreichend beantwortet werden.

Toleranz für Variationen in der Stimmhaftigkeit auftritt, auch wenn in diesen Sprachen Wortanfänge weniger stark von phonologischen Prozessen modifiziert werden (Cole et al., 1978; Martin & Peperkamp, 2015).

Martin und Peperkamp (2017) argumentierten, dass Unterschiede darin, wie stark bestimmte phonemische Merkmale bei der Worterkennung eine Rolle spielen, auch am lexikalischen Status des Merkmals liegt. In ihrer Studie wurde gefunden, dass z.B. im Französischen der Artikulationsort öfter als die Stimmhaftigkeit verwendet wird, um zwischen Wörtern zu unterscheiden. Demnach scheint auch die sprachliche Erfahrung eine Rolle zu spielen, inwiefern phonemische Merkmale bei der Worterkennung berücksichtigt werden. Dass Stimmhaftigkeit und Artikulationsort unterschiedlich stark für den lexikalischen Zugriff im Deutschen berücksichtigt werden, deuten demnach vor allem auch die Ergebnisse der erwachsenen Kontrollgruppe an (Studie 1). In dieser Gruppe konnte kein Hinweis darauf gefunden werden, dass in prälexikalischen Verarbeitungsstufen Informationen zur Stimmhaftigkeit sensitiv verarbeitet wurden, anders als im Artikulationsort (Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012; Schild & Friedrich, 2018). Der Vergleich zwischen vorherigen Wort Fragment Priming Studien und den Ergebnissen aus Studie 1 und 2 deuten demnach darauf hin, dass im Gegensatz zum Artikulationsort Variationen in der Stimmhaftigkeit auf prälexikalischer Ebene weniger stark berücksichtigt werden, wenn es um die Aktivierung von Wortkandidaten geht. Eine Ausnahme könnte sein, wenn Probanden spezifisch für Kontraste in der Stimmhaftigkeit sensibilisiert wurden, wie die Ergebnisse aus den beiden Sprachtrainingsgruppen (Studie 1) und Grundschüler indizieren (Studie 2, siehe auch Punkt 8.2.). Ergebnisse aus den Reaktionszeiten deuten zudem darauf hin, dass Stimmhaftigkeit auf postlexikalischer Ebene möglicherweise anders verarbeitet wird als auf der prälexikalischen Ebene (siehe Punkt 8.3.).

Dem Anhang beigelegt sind ferner Analysen zur **cNEG** (siehe Anhang III). Die Ergebnisse aus beiden Studien bestätigte das Auftreten einer cNEG in einem Zeitfenster von 300 - 400 ms über zentral-posterioren Regionen (Studie 1) bzw. über zentral-anteriore und zentral-posterioren Regionen (Studie 2). In allen Gruppen erwies sie sich als Maß grober phonologischer Verarbeitung und nicht sensitiv für geringfügige phonologische Variation. Dies deckt sich mit Beobachtungen zur cNEG aus vorherigen Wort Fragment Priming Studien mit Kindern und Erwachsenen (z.B.

Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2011). In der Vorgängerstudie von Schild et al. (2011) indizierte die cNEG eine erhöhte Sensitivität für phonemische Variationen im Artikulationsort in Vorschulkindern, die bereits lesen konnten. Lesende Zweitklässler wiesen in dieser Studie eine grobe phonologische Verarbeitung in der cNEG auf. Es wurde vermutet, dass Kinder vor allem in sehr frühen Stadien des Leseerwerbs verstärkt einen phonologischen Pfad (cNEG) parallel zum lexikalischen Pfad (P350) nutzen würden, um Varianzen im phonologischen Input zu verarbeiten. Interessant für die Betrachtung der cNEG in den beiden vorliegenden Studien waren demnach die beiden Sprachgruppen, die in Vorläuferfertigkeiten des Lesenlernens trainiert wurden (Studie 1) als auch die Gruppe der Erstklässler, die am Beginn des formalen Schriftspracherwerbs standen (Studie 2). In keiner dieser Gruppen wurde eine sensitivere Verarbeitung phonemischer Informationen durch die cNEG bestätigt. Es erfolgte eine grobe phonologische Verarbeitung, die dem Aktivierungsmuster von älteren Kindern (Zweitklässler: Schild et al., 2011; Studie 2) und Erwachsenen entsprach (z.B. Friedrich et al., 2009; Friedrich et al., 2013; Studie 1). Die Nutzung eines phonologischen Pfades schien daher nicht von Erfahrungen mit dem Schriftspracherwerb modifiziert zu sein. Inwiefern dies allerdings mit der Manipulation unterschiedlicher phonemischer Merkmale zusammenhängt, kann an dieser Stelle nicht ausreichend geklärt werden. Sollten z.B. Variationen im Artikulationsort generell stärker in der Verarbeitung phonologischen Inputs und für die Selektion von Wortkandidaten berücksichtigt werden, könnte es sein, dass sich dies in Amplitudenunterschieden in der cNEG stärker widerspiegelt als bei Variationen in der Stimmhaftigkeit. In dem Falle würde der Schriftspracherwerb möglicherweise merkmalsbasierte Verarbeitung im Artikulationsort differenzierter modulieren als in der Stimmhaftigkeit. Um diese These zu überprüfen sollten die bisherigen Ergebnisse repliziert werden und Erstklässler am Beginn der Alphabetisierungsphase auf die Sensitivität unterschiedlicher phonemischer Merkmale getestet werden. Dies könnte Aufschluss darüber geben, inwiefern charakteristische EKP des Wort Fragment Primings in Abhängigkeit auf den präsentierten phonologischen Input und Erfahrungen im Schriftspracherwerb variieren.

8.2. Phonemische Bewusstheit oder Buchstabenwissen: Zusammenhang zur prälexikalischen Verarbeitung

Kernstück der Dissertation war die Fragestellung, inwiefern verschiedene Vorläuferfertigkeiten des Lesenlernens mit einer detaillierteren Verarbeitung phonemischer Informationen assoziiert sind. Hauptaugenmerk lag dabei auf der Verarbeitung auf der prälexikalischer Ebene, weshalb die Betrachtung der EKP von Interesse war. Beide Studien wiesen darauf hin, dass eine frühe implizite auditive Verarbeitung phonologischer Informationen von einer höheren expliziten phonemischen Bewusstheit modifiziert werden könnte. Hinweise auf eine direkte Beteiligung graphemischer Repräsentationen bei der phonologischen Verarbeitung konnten nicht gefunden werden. Die Befunde aus den beiden Studien befürworten damit die Annahmen eines impliziten phonologischen Ansatzes (Dehaene et al., 2015; Harm & Seidenberg, 2004; Taft, 2006), der davon ausgeht, dass es zu einer grundlegenden Restrukturierung des phonologischen Systems im Zuge des Schriftspracherwerbs kommt. Die Ergebnisse müssen jedoch mit Vorsicht interpretiert werden, da insbesondere die Ergebnisse der expliziten Tests aus Studie 1 die Aussagekraft einschränken (siehe auch Punkt 8.4.).

Beide Sprachgruppen aus Studie 1 zeigten in den frühen auditiven Potentialen (N100) eine differenziertere Verarbeitung von phonemischer Variation. Über anterioren Regionen (bzw. auch über posterioren Regionen in der phonemisch-orthographischen Gruppe) wurden in der Identitätsbedingung negativere Amplituden evoziert als in der Variationsbedingung. In der Kontrollgruppe wurden keine Priming-Effekte in den frühen N100 Potentialen gefunden, ähnlich wie in der Studie von Schild et al. (2011) bei nicht-lesenden Vorschulkindern. Beide Sprachgruppen verbesserten sich in der phonologischen Bewusstheit nach dem Training mehr als die Kontrollgruppe. Erhöhte phonologische Bewusstheit und differenziertere frühe phonologische Analyse in der N100 Komponente deuten darauf hin, dass sich ein Training in phonemischer Bewusstheit auf die implizite als auch explizite phonologische Verarbeitung bei nicht-lesenden Vorschulkindern modulierend ausgewirkt hat. Die Hypothese, dass ein Training der phonemischen Bewusstheit mit oder ohne Buchstabenwissen zu einer graduellen Aktivierung lexikalischer Repräsentationen im Sinne eines P350 Effektes

führen wurde, konnte jedoch nicht bestätigt werden. Es wurde für keiner der Gruppen ein abgestufter P350-Effekt gefunden.

Für die Beurteilung, ob phonemische Bewusstheit oder Buchstabenwissen mit einer Verarbeitung phonemischer Details einhergeht, wurden die Priming-Effekte in den beiden Sprachgruppen miteinander verglichen. Beide Gruppen verarbeiteten phonemische Details bei der frühen auditiven Analyse ähnlich. Dies deutet darauf hin, dass das phonemische Training allein ähnlich effektiv wie das phonemisch-orthographische Training auf frühe phonologische Verarbeitungsprozesse gewirkt hat. Dies zeigte sich sowohl in den EKP, als auch in den expliziten Maßen. Beide Sprachgruppen wiesen ein ähnliches Niveau in phonologischer Bewusstheit nach dem Training auf. Ferner zeigte sich in den EKP und Reaktionszeiten, dass in beiden Sprachgruppen trainierte Phoneme (/g/ und /k/) als auch untrainierte Phoneme (/b/ und /p/) ähnlich effizient verarbeitet wurden. Es wurde daher ein generalisierter Trainingseffekt beobachtet. Wurden die Kinder in der Variation für die Stimmhaftigkeit in einem speziellen Phonemset trainiert, schienen sie diese Sensitivität auf andere Phonemsets (z.B. /b/ und /p/) zu generalisieren.

Auf den ersten Blick sprechen die vergleichbaren Priming-Effekte zwischen den Sprachgruppen eher für die Annahme, dass eine sensitivere implizite Verarbeitung in den beiden Gruppen durch das Training in phonemischer Bewusstheit erfolgt ist. Dies entspricht am ehesten den Annahmen des implizit phonologischen Ansatzes, der eine zugrundeliegende Restrukturierung des phonologischen Systems im Zuge des Schriftspracherwerbs in Betracht zieht. Diese könnte beispielsweise dadurch erfolgen, dass insbesondere während der initialen Alphabetisierungsphase Unterschiede zwischen Phonemen explizit differenzierter verarbeitet werden während Kinder beginnen, die Korrespondenzen zwischen Graphemen und Phonemen zu knüpfen. Für die Wahrnehmung gesprochener Sprache könnte das bedeuten, dass feine Unterschiede zwischen Phonemen durch die konkrete Zuordnung zu einem Buchstaben bewusster zugänglich werden und auch einem frühen phonologischen Abgleich zur Verfügung stehen. Eine detailliertere phonologische Analyse in den beiden Sprachgruppen im Vergleich zu den Kontrollgruppen (angezeigt durch die N100) könnte daher durch auditive Aufmerksamkeitsprozesse für phonemische

Unterschiede in der Stimmhaftigkeit gesteuert werden (Sanders & Neville, 2003; Sanders et al., 2003).

Inwiefern es tatsächlich jedoch zu einer grundlegenden Restrukturierung der phonologischen Repräsentationen in Folge des Schriftspracherwerbs kommt, ist anhand der Datenlage insgesamt schwierig zu beurteilen. Indiziert die P350 die graduelle Aktivierung von Wortkandidaten im mentalen Lexikon, so deuten die EKP Ergebnisse darauf hin, dass phonemische Variationen in der Stimmhaftigkeit toleriert wurden. Ein differenzierter Zugriff auf implizite Wortformen erfolgte auch nicht bei einer Gruppe an Erwachsenen, bei denen es sich um geübte Leser handelte. Durch die Primes schien keine Vorselektion der passgenauesten Wortkandidaten zu erfolgen. Die Ergebnisse der Erwachsenen aus Studie 1 sprechen eindeutig gegen die Hypothese, dass Leser beim Hören gesprochener Sprache auf detailliertere phonologische Repräsentationen zurückgreifen, zumindest, wenn Variationen in der Stimmhaftigkeit verarbeitet werden.

Betrachtet man die Rolle der Buchstaben (oder der graphemischen Repräsentationen), sind auch hier bei der Interpretation der Daten einige Besonderheiten zu beachten. Die Analysen der EKP als auch der Reaktionszeiten ergaben, dass Primes und Zielwörter der trainierten (/g/ und /k/) und der untrainierten Phoneme (/b/ und /p/) in beiden Sprachgruppen ähnlich verarbeitet wurden. Eine erleichterte Verarbeitung des Kontrastes bei trainierten Phonemen /g/ und /k/ hätte vor allem in der phonologisch-orthographischen Gruppe dafürgesprochen, dass während der frühen auditiven Verarbeitung graphemische Repräsentationen mitaktiviert werden (im Sinne des impliziten orthographisch-phonologischen Ansatzes, z.B. Ziegler & Ferrand, 1998; Ziegler et al., 2003). Da stattdessen eine erleichterte phonologische Analyse auch für die untrainierten Phoneme stattgefunden hat, spricht dies eher für eine generalisierte phonologische Sensitivität.

Zu berücksichtigen ist, dass es sich bei dem Training um eine eher kurzzeitige Intervention handelte (zehn Wochen insgesamt, für 10-15 Minuten täglich). Auch wurde nicht das Lesen von Wörtern trainiert, sondern lediglich die Anlauterkennung und Phonemsynthese an einem ausgewählten Set an Phonemen (/g/ und /k/ sowie Vokale um das Trainingsmaterial zu vergrößern). Vergleiche der Ergebnisse zwischen den Studien (Studie 1 und der Vorgängerstudie von Schild et al., 2011) sind

möglicherweise nur bedingt möglich, da es sich bei Kindern aus der Vorgängerstudie um Teilnehmer handelte, die bereits lesen konnten. Im Gegensatz dazu wiesen Kinder der Trainingsstudie lediglich rudimentäres Buchstabenwissen auf. Ferner ergaben die Analysen der expliziten Tests, dass keine bedeutsamen Unterschiede im Buchstabenwissen zwischen allen Trainingsgruppen zum Zeitpunkt der Nacherhebung (Posttest) bestanden. Dies bedeutet, dass Kinder aus allen Gruppen sich über die Zeit im Buchstabenwissen verbessert hatten, unabhängig vom Training. Die Aussagekraft der Daten ist insofern eingeschränkt, dass durch das phonemisch-orthographische Training keine substantiellen Trainingseffekte im Buchstabenwissen erzielt werden konnten, die über den allgemeinen Zuwachs an Buchstabenwissen über die Zeit hinausgeht. Auch verbesserten alle Gruppen ihr Buchstabenwissen sowohl für trainierte Großbuchstaben „G“ und „K“, als auch für untrainierte Buchstaben „B“ und „P“ (für eine genauere Übersicht der Ergebnisse siehe Anhang IV).

Insgesamt besteht daher die Möglichkeit, dass der Effekt des Buchstabens in der phonemisch-orthographischen Gruppe über zwei Wege unterschätzt wird: Entweder könnte bereits rudimentäres Buchstabenwissen ausreichen, damit graphemische Repräsentationen bei der frühen phonologischen Analyse automatisch mit abgerufen werden (im Sinne des implizit orthographisch-phonologischen Ansatzes, Ziegler & Ferrand, 1998; Ziegler et al., 2003). Da alle Kinder über das gleiche Buchstabenwissen zum Posttest verfügt haben, wäre zumindest auch in der phonemischen Trainingsgruppe (ohne zusätzliches Buchstabentraining) denkbar, dass in der frühen phonologischen Verarbeitung graphemische Repräsentationen mit abgerufen wurden, was zu einer detaillierteren Analyse des phonologischen Inputs geführt hat. Gegen diese Annahme spricht jedoch, dass auch die Vorschulkinder aus dem Kontrolltraining über ein ähnliches Level an Buchstabenwissen verfügten wie die beiden Sprachgruppen. Der Priming-Effekt in der N100 war jedoch nur in den beiden Sprachgruppen zu finden.

Andererseits könnte es auch sein, dass rudimentäres Buchstabenwissen *nicht* ausreicht, um stabile graphemische Repräsentationen bei den Kindern auszubilden, die auf prälexikalischer Ebene abgerufen werden können. Nach dem BIA-Modell (Grainger et al., 2003; siehe Punkt 3.2.) werden graphemische Repräsentationen auf der prälexikalischen Ebene über exzitatorische Verbindungen vom zentralen Interface

aktiviert. Dieses zentrale Interface besteht aus den Graphem-Phonem-Korrespondenzen, die durch das Lesenlernen gebildet werden. Sind diese Korrespondenzen zu instabil (z.B. weil die Kinder noch nicht viel Erfahrung mit der Zuordnung von Graphemen und Phonemen haben), fällt daher die Aktivierung graphemischer Repräsentationen schwächer aus (Grainger et al., 2003; Ziegler et al., 2003).

Studie 2 untersuchte, inwiefern sich phonologische Repräsentationen entwickeln, sobald Kinder mit dem formalen Schriftspracherwerb begonnen hatten und somit zunehmend stabilere Graphem-Phonem-Korrespondenzen verfügten. Die Ergebnisse der Studie indizierten, dass Kinder aller Altersgruppen in gleichem Maße phonemische Variationen in der frühen phonologischen Analyse berücksichtigten. Der frühe Priming-Effekt im Zeitfenster von 100 bis 300 ms blieb stabil. Dieses Ergebnis indiziert zum einen, dass die Entwicklung phonologischer Repräsentationen in der Übergangszeit zwischen später Vorschulzeit und den ersten Grundschuljahren nicht von einer generellen kognitiven Reifung modifiziert wurde. Zum anderen deuten die Ergebnisse der Studie 2 an, dass auch zunehmend stabilere Graphem-Phonem-Korrespondenzen implizite Verarbeitungsprozesse nicht weiter begünstigt hatten. Das war nicht der Fall für explizite Maße. Erwartungsgemäß verbesserten sich die Kinder vom Vorschulalter bis zur zweiten Klassen in der phonologischen Bewusstheit. Auch wiesen Zweitklässler eine höhere Lesegeschwindigkeit als Erstklässler auf. Die Ergebnisse deuten damit auf eine differenzierte Entwicklung von impliziter und expliziter Sprachverarbeitung in der mittleren Kindheit hin. Entwicklungspotential von expliziten Maßen der phonologischen Bewusstheit zu Beginn des Schriftspracherwerbs ist in Übereinstimmung mit Studien, die zeigen konnten, dass sich das Lesenlernen positiv auf die Entwicklung phonologischer Bewusstheit auswirkt (siehe Punkt 2.3.).

In Studie 2 wurden Kinder im Längsschnitt untersucht, die in der Vorschule für phonemische Bewusstheit sensibilisiert wurden. Da nur Kinder aus den beiden Sprachtrainings in Studie 2 eingeschlossen wurden, wiesen alle Kinder bereits im Vorschulalter eine sensitive implizite prälexikalische Verarbeitung auf. Erfahrungen mit dem Schriftspracherwerb schienen diese Verarbeitung nicht weiter zu modifizieren. Vorschulkinder mit einem Training zur phonemischen Bewusstheit schienen daher bereits in ausreichendem Maße für phonemische Variationen sensibilisiert zu sein.

Interessant sind die Ergebnisse aus Studie 2 vor allem unter Berücksichtigung der beiden Kontrollgruppen (Kontrolltrainingsgruppe und erwachsenen Kontrollgruppe). Beide Kontrollgruppen berücksichtigten Variationen in der Stimmhaftigkeit für die frühe phonologische Analyse nicht. Über beide Studien hinweg betrachtet deuten die Ergebnisse aus der EKP-Analyse darauf hin, dass Informationen zu Stimmhaftigkeit in frühen prälexikalischen Prozessen vernachlässigt werden (siehe auch Punkt 8.1.). Variationen in der Stimmhaftigkeit werden scheinbar jedoch stärker berücksichtigt in einem Zeitraum, indem Kinder besonders für Unterschiede zwischen stimmlosen und stimmhaften Phonemen sensibilisiert werden. In Studie 1 wurde dies durch ein Training zur phonemischen Bewusstheit erreicht. In Studie 2 könnte dieser Effekt stabil geblieben sein, da sich Kinder in der initialen Phase des Lesenlernens intensiv mit Unterschieden zwischen Phonemen auseinandersetzen, indem sie die Korrespondenzen zwischen Lauten und Buchstaben lernten. Betrachtet man die EKP-Ergebnisse der erwachsenen Kontrollgruppe scheint es, dass erfahrene Leser Variationen in der Stimmhaftigkeit später wieder vernachlässigen. Aus entwicklungspsychologischer Sicht stellt sich die Frage, bis zu welchem Zeitpunkt genau beginnende Leser phonemische Variationen in der Stimmhaftigkeit berücksichtigen. Aufschluss darüber kann zum Beispiel der Vergleich mit älteren Gruppen an Kindern (beispielsweise ab 3.-4. Klasse) geben, die sich in einer späteren, automatisierten Phase des Schriftspracherwerbs befinden. Da die Befunde vor allem zu den EKP insgesamt von den zuvor getroffenen Hypothesen abwichen und es sich hierbei um eine post-hoc Annahme handelt, wäre es zudem erforderlich, die Ergebnisse in einer erneuten Studie zu replizieren. Dies könnte beispielsweise an einer Gruppe an Kindern erfolgen, die vor und nach dem Beginn des Schriftspracherwerbs (z.B. in der ersten Klasse) getestet werden. Stimmt die Annahme, sollte sich zeigen, dass Kinder in der Vorschule (vor dem Lesenlernen) keine differenzierte Verarbeitung in der Stimmhaftigkeit aufweisen, in der ersten Klasse (nach Beginn des Lesenlernens) aber schon.

8.3. Prä- vs. Postlexikalische Verarbeitung

In beiden Studien wurden Hinweise darauf gefunden, dass EKP und Reaktionszeiten funktionell unterschiedliche Stadien der Sprachverarbeitung indizieren. Während in beiden Sprachgruppen in Studie 1 sowohl in den EKP als auch in den Reaktionszeiten eine Sensitivität für phonemische Variation ähnliche Aktivierungsmuster gefunden wurden, ergaben sich unterschiedliche Priming-Effekte für beide Maße in der Kontrolltrainingsgruppe und der erwachsenen Kontrollgruppe. Während frühe auditive Potentiale (N100) sowie Analysen der P350-Komponente für eine Toleranz gegenüber phonemischer Variation bei der frühen auditiven phonologischen Analyse und beim bei der lexikalischen Aktivierung in diesen beiden Gruppen sprachen, zeigte sich ein graduelles Aktivierungsmuster in den Reaktionszeiten. Probanden aus beiden Kontrollgruppen reagierten schneller, wenn es eine Übereinstimmung zwischen dem initialen Phonem des Primes und des Zielwortes gab (z.B. „Ki – Kino“), langsamer bei der phonemischen Variation (z.B. „Gi – Kino“) und am langsamsten in der Kontrollbedingung. Im Gegensatz zu impliziten Verarbeitungsstufen schienen beide Gruppen Variationen in der Stimmhaftigkeit auf einer postlexikalischen Ebene der Sprachverarbeitung zu berücksichtigen. Im Sinne einer multiplen Aktivierung mehrerer Wortkandidaten (siehe Punkt 1.2) scheinen insbesondere in frühen Stadien der phonologischen Verarbeitung partiell aktivierte Wortkandidaten für die weitere Verarbeitung berücksichtigt und nicht ausgeschlossen zu werden. Dabei spielt es möglicherweise eine Rolle, welche phonologischen Informationen zu Verfügung stehen: Informationen zur Stimmhaftigkeit des initialen Phonems schienen bei der Wortselektion in auf prälexikalischer Ebene keine bedeutsame Rolle zu spielen. Jedoch wurden Informationen zur Stimmhaftigkeit zu einem späteren Zeitpunkt berücksichtigt, um Wortkandidaten auszuschließen und die lexikalische Entscheidung vorzubereiten (Friedrich et al., 2008).

Reaktionszeiten schienen zudem auch eher entwicklungsbedingte Veränderungen in der phonemischen Verarbeitung wiederzuspiegeln. Zweitklässler reagierten schneller auf die Wörter als Erstklässler und als Vorschulkinder (Studie 2). Das zeitliche Auftreten des Priming-Effektes in den EKP war allerdings über alle Altersgruppen konstant. Dies spricht dafür, dass sich Veränderungen in der Verarbeitung von

phonemischen Informationen nur auf postlexikalischer, aber nicht in prälexikalischer Ebene niederschlug. Schnellere Reaktionszeiten über die Altersgruppen hinweg könnten zum einen auf allgemeine kognitive Reifungsprozesse zurückzuführen sein. Beispielsweise könnten steigende Konzentrations- und Aufmerksamkeitsfähigkeiten aber auch eine bessere motorische Geschicklichkeit dazu beigetragen haben, dass ältere Kinder schneller und mit weniger Fehlern auf die Wörter reagierten. Möglicherweise könnten ältere Kinder jedoch auch stärker als jüngere Kinder auf strategische Mechanismen zurückgegriffen haben, um den auditiven Input zu verarbeiten. Auch in einer Studie mit von Geburt an blinden Versuchspersonen zeigten (Schild & Friedrich, 2018) blinde Teilnehmer als auch sehende Kontrollprobanden eine ähnliche Verarbeitung in den EKP auf, jedoch reagierten blinde Teilnehmer insgesamt schneller auf die Zielwörter als Kontrollprobanden. Demnach könnte die Bearbeitung z.B. einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe auch davon beeinflusst werden, wie Probanden daran angepasst sind, sensorische Eindrücke aufzunehmen, bzw. welche Erfahrungen sie mit der Verarbeitung von auditiven Input gemacht haben. Entscheidend ist jedoch, dass Veränderungen in der Verarbeitung phonemischer Variationen sich nur in der postlexikalischen Ebene niederschlugen, nicht jedoch in der prälexikalischen Ebene.

Die Reaktionszeitergebnisse stimmen daher teilweise mit den Annahmen des expliziten phonologischen Ansatzes überein (Cutler & Davis, 2012; Cutler et al., 2010; Mitterer & Reinisch, 2015), welcher argumentiert, dass metalinguistische Aufgabentypen und behaviorale Maße von strategischen Mechanismen profitieren könnten. Aufgrund dessen wird die Interpretation von Reaktionszeiten bei der Wortverarbeitung erschwert. Dies wird vor allem deutlich, wenn man sich die Reaktionszeitmuster der einzelnen Gruppen über verschiedene Studien hinweg betrachtet, bei denen vorrangig Kindergruppen untersucht wurden (Tabelle 8.1.).

Tabelle 8.1.

Reaktionszeitmuster aus Wort Fragment Priming Studien mit Teilnehmern im Vor- und Grundschulalter.

Studie	Merkmal	Untersuchte Altersgruppen	Befund (RT)
Schild et al. (2011)	Artikulationsort	Zweitklässler	I > V > K
		Lesende Vorschulkinder	I > V > K
		Nicht-lesende Vorschulkinder	I = V > K
Studie 1, Kapitel 6	Stimmhaftigkeit	Nicht-lesende Vorschulkinder (PHON)	I > V > K
		Nicht-lesende Vorschulkinder (PHORT)	I > V > K
		Nicht-lesende Vorschulkinder (CON)	I > V > K
		Erwachsene	I > V > K
Studie 2, Kapitel 7	Stimmhaftigkeit	Zweitklässler	I > V > K
		Erstklässler	I > V > K
		Nicht-lesende Vorschulkinder (PHON + PHORT)	I > V > K
Pilotstudie, Anhang I	Artikulationsort	Zweitklässler	I > V = K
		Nicht-lesende Vorschulkinder	I > V > K
		Erwachsene	I = V > K*
	Stimmhaftigkeit	Zweitklässler	I > V > K
		Nicht-lesende Vorschulkinder	I = V > K*
		Erwachsene	I > V = K
		Artikulationsort + Stimmhaftigkeit	Zweitklässler
Nicht-lesende Vorschulkinder	I > C > K		
Erwachsene	I > V > K		

Anmerkungen. Reaktionszeitergebnisse aus verschiedenen Wort Fragment Priming Studien. Abgetragen sind das variierte Merkmal (Merkmal), die Probandengruppen (Untersuchte Altersgruppen) und der Befund aus den Reaktionszeiten (RT). In der Studie 1 sind die Namen der drei Trainingsgruppen abgekürzt (PHON = Phonemisches Training; PHORT = phonemisch-orthographisches Training; CON = Kontrolltraining). Befunde indizieren die Aktivierungsmuster in den Reaktionszeiten für die drei Bedingungen (Identitätsbedingung = I; Variationsbedingung = V; Kontrollbedingung = K). > indiziert eine schnellere Reaktion auf das Zielwort. *Kein Unterschied zwischen der Identitäts- und Variationsbedingung in einer by-participants-Analyse. In beiden Fällen unterschieden sich die beiden

Bedingungen in einer by-Items-Analyse. Grau markiert sind RT-Ergebnisse von nicht-lesenden Vorschulkindern, die kein spezielles Training in Vorläuferfertigkeiten des Lesenlernens erhalten hatten.

Über die Studien hinweg erschienen Aktivierungsmuster in den Reaktionszeiten insbesondere bei nicht-lesenden Vorschulkindern ohne spezielles Sprachtraining zu variieren (Schild et al., 2011; Studie 1; Pilotstudie). Die inkonsistenten Ergebnisse könnten zum einen darauf zurückzuführen sein, dass unterschiedliche phonemische Merkmale in den Studien variiert wurden. Eine Erklärung könnte zum Beispiel in einer unterschiedlichen Salienz der phonemischen Merkmale liegen. Möglicherweise werden Informationen über die Stimmhaftigkeit von Phonemen stärker in postlexikalischen Auswahlprozessen berücksichtigt als Informationen zum Artikulationsort und stehen auch bereits Vorschulkindern auch ohne spezielle Intervention zur Verfügung (Schild et al., 2011; Studie 1). Inwiefern die Kinder phonemische Variationen bei der lexikalischen Entscheidung berücksichtigen, würde in diesem Fall nicht auf Erfahrungen mit dem Schriftspracherwerb zurückgehen. Möglich wäre zum Beispiel, dass Stimmhaftigkeit leichter im Arbeitsgedächtnis zu halten ist, was die Reaktion auf das Zielwort in der Identitätsbedingung vereinfacht.

Allerdings weisen die Ergebnisse der Pilotstudie darauf hin, dass Varianz in den Reaktionszeiten zwischen den Studien auch auf andere Faktoren zurückzuführen zu sein scheint. Im Kontrast zu der Studie von Schild et al. (2011) zeigte sich in der Pilotstudie, dass nicht-lesende Vorschulkinder Variationen im Artikulationsort, aber nicht Variationen in der Stimmhaftigkeit, für die lexikalische Entscheidung berücksichtigten. Im Gegensatz dazu wies die Kontrollgruppe aus Studie 1 ein differenziertes Reaktionszeitmuster für Variationen in der Stimmhaftigkeit auf. Wie sensitiv nicht-lesende Vorschulkinder auf phonemische Variationen reagieren, scheint neben phonologischen Parametern im Stimulusmaterial auch auf andere Faktoren zurückzuführen zu sein. Darunter könnten beispielsweise stichprobenspezifische Faktoren fallen (z.B. linguistische Expertise; Ausmaß an phonologischer Bewusstheit): Denkbar wäre es zum Beispiel, dass die nicht-lesenden Vorschulkinder aus der Studie von Schild et al (2011) im Mittel über eine geringere phonologische Bewusstheit verfügten als die Vorschulkinder aus Studie 1, sodass sie Variationen im Artikulationsort weniger sensitiv verarbeiteten. Unterschiede in der phonologischen Bewusstheit zwischen den Gruppen der beiden Studien sind jedoch nur schwer

nachzuverfolgen, da u.a. in beiden Studien unterschiedliche Tests durchgeführt wurden.

Auffällig in der Pilotstudie erschienen außerdem die Reaktionszeitergebnisse der Erwachsenen. Wurde eine by-participants-Analyse durchgeführt, wurden keine Unterschiede zwischen der Identitäts- und Variationsbedingung gefunden. In der Pilotstudie reagierten Erwachsene demnach nicht sensitiv auf Variationen im Artikulationsort. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen aus früheren Studien, in denen Erwachsene eine differenzierte Verarbeitung von Variationen im Artikulationsort aufwiesen (z.B. Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2012; Schild & Friedrich, 2018). Möglicherweise unterliegen Reaktionszeiten demnach auch bei Erwachsenen Schwankungen, die sich auf strategische Prozesse oder auch linguistische Erfahrungen und das experimentelle Setting zurückführen lassen. So wurden über die Studien hinweg jeweils ein unterschiedliches Stimulusmaterial benutzt, das ebenso Schwankungen in den Reaktionszeitmustern erklären könnte.

Verarbeitungsmuster in den Reaktionszeiten schienen jedoch nur bedingt Rückschlüsse auf die Aktivierung mentaler Repräsentationen zu liefern. Eine detaillierte Verarbeitung von Variationen in der Stimmhaftigkeit wurden von den Kontrollkindern und Erwachsenen in Studie 1 nicht berücksichtigt. Frühe prälexikalische Sprachverarbeitungsprozesse schienen demnach nur wenig von möglichen strategischen Mechanismen modifiziert worden zu sein oder davon zu profitieren. Final ausschließen kann man diese Möglichkeit jedoch nicht. Es wäre beispielsweise denkbar, dass Kinder der Sprachgruppen (Studie 1) durch das Training spezielle Strategien entwickelt haben, um Variationen in der Stimmhaftigkeit zu bewerten. Zum Beispiel könnten die Sprachgruppen anders als die Kontrollgruppen (Vorschulkinder und Erwachsene) durch die intensivere Beschäftigung mit Sprachmaterial stärker auf bestimmte akustische Parameter geachtet haben als auf andere, sodass über diese Aufmerksamkeitssteuerung auch Amplituden der N100 modifiziert wurden.

8.4. Limitationen

Das Ziel des Projektes war, die Entwicklungsplastizität phonologischer Repräsentationen im Zusammenhang mit dem Schriftspracherwerb und seinen Vorläuferfertigkeiten phonemischer Bewusstheit und Buchstabenwissen zu betrachten. Bestimmte Faktoren, die sich aus den Ergebnissen als auch der Konzeption ergeben haben, müssen bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden.

- a) Trainingseffekte auf explizite Maße der phonemischen Bewusstheit und Buchstabenwissen

Die Grundidee von Studie 1 beinhaltete das Training von Vorläuferfertigkeiten des Lesenlernens bei nicht-lesenden Vorschulkindern. Dadurch sollte vermieden werden, dass phonemische Bewusstheit und Buchstabenwissen durch Erfahrungen mit dem Schriftspracherwerb miteinander konfundiert waren. Das Training sollte in den Sprachgruppen phonologische und phonemische Bewusstheit stärker verbessern als in der Kontrollgruppe. Außerdem sollte in der phonemischen Trainingsgruppe mit Buchstabenwissen das Buchstabenwissen am stärksten zunehmen. Dies war die Voraussetzung für eine Evaluation etwaiger Trainingseffekte auf die Nutzung phonemischer Details bei der impliziten Sprachverarbeitung.

Die Analyse der expliziten Maße ergab zwar, dass beide Sprachgruppen nach dem Training besser in der phonologischen Bewusstheit abschnitten als vor dem Training; während dies für die Kontrollgruppe nicht der Fall war (Testergebnisse TEPHOBE, siehe Kapitel 6). Allerdings zeigte sich entgegen den Erwartungen kein Trainingseffekt spezifisch für phonemische Bewusstheit und auch nicht für die trainierten Phoneme /g/ und /k/ (Testergebnisse *Spy Game*, siehe Kapitel 6 und Anhang IV). Hier verbesserten sich alle Gruppen nach dem Training, einschließlich der Kontrollgruppe. Die Effekte des Trainings gingen damit nicht über die Verbesserungen in phonemischer Bewusstheit hinaus, die eventuell durch normative Entwicklungsprozesse angekurbelt werden. Auch verbesserten sich insgesamt alle Gruppen über die Zeit im Buchstabenwissen speziell für die im Experiment relevanten Buchstaben („G“, „K“, „B“ und „P“), als auch im Gesamtwert für Großbuchstaben.

Weil alle Gruppen sich etwa ähnlich im Erkennen der speziell trainierten Buchstaben verbesserten, müssen die Daten mit Vorsicht interpretiert werden, da theoretisch alle Gruppen graphemische Repräsentationen in gleichem Maße für die Worterkennung nutzen konnten (siehe auch Punkt 8.2). Möglicherweise hat davon jedoch nur die postlexikalische Verarbeitung profitiert, da die Kontrollgruppe zwar über das gleiche Maß an Buchstabenwissen verfügte, jedoch nur in den Reaktionszeiten sensitiv auf phonemische Variationen reagierte.

Normative Entwicklung in phonemischer Bewusstheit in der Kontrollgruppe ist in Übereinstimmung mit Befunden, die zeigen konnten, dass sich phonemische Bewusstheit auch in Abwesenheit von Buchstabenwissen bzw. vor dem Beginn des Schriftspracherwerbs entwickeln kann (siehe Punkt 2.3.3). Auf der anderen Seite konnte auch gezeigt werden, dass sich ein Training von phonemischer Bewusstheit positiv auf Maße der phonemischen Bewusstheit auswirkt (Lundberg et al., 1988; Schneider et al., 1997). Die Trainingsdauer spezifisch für phonemische Bewusstheit aus Studie 1 war vergleichbar mit der aus großangelegten kontrollierten Studien wie Lundberg et al. (1988) und Schneider et al. (1997). Auch wurden ähnliche Effektstärken in den Experimentalgruppen aus Studie 1 im Vergleich zu diesen Studien erzielt. Dass dennoch keine spezifischen Unterschiede in den Leistungen zur phonemischen Bewusstheit zwischen den Experimentalgruppen und der Kontrollgruppe gegeben hat, könnte verschiedene Gründe haben.

Zum einen könnte das Ausgangsniveau der Kinder eine Rolle gespielt haben. Alle Kinder befanden sich zum Beginn des Trainings etwa ein halbes bis dreiviertel Jahr vor der Einschulung. Analysen der Tests zur phonemischen Bewusstheit und Buchstabenwissens ergaben, dass Kinder aus allen Gruppen bereits zu diesem Zeitpunkt etwa die Hälfte oder mehr der abgefragten Laute und Großbuchstaben kannten (siehe Punkt 6.8, Tabelle 6.3.). Möglicherweise wurden die Trainingseffekte dadurch gedämpft, dass alle Kinder bereits über gut fundierte Fertigkeiten in der phonemischen Bewusstheit und im Buchstabenwissen vor dem Training verfügten. Dafür spricht, dass es nach dem Training bei den Vorschulkindern zu Deckeneffekten dem Test zur phonologischen Bewusstheit kam (TEPHOBE). Aus diesem Grund wurde sich ein Jahr später bei den Erstklässlern dafür entschieden, die Testversion des TEPHOBES für die zweite Klasse anzuwenden.

Die gefundenen Deckeneffekte in den Tests könnten zum Beispiel auf testspezifische Charakteristika in den Gütekriterien zurückzuführen sein. So liegen die internen Konsistenzen des TEPHOBES für die einzelnen Subtests und den Gesamtwert zwischen .61 bis .78 (ausgeschlossen die Benennungsgeschwindigkeit, Mayer, 2013). Für Leistungstests bewegen sich damit die Reliabilitätswerte im niedrigen Bereich (Buehner, 2008). Sowohl der Test zur phonemischen Bewusstheit (*Spy Game*) als auch der Test zum Buchstabenwissen (*Letter Knowledge*) wurden für die Trainingsstudie entwickelt, sodass hier keine Evaluation der Gütekriterien bzw. Vergleich an einer Referenzstichprobe möglich ist. Auch ist es möglich, dass es zu Übungseffekten kam, da die Kinder im Abstand von etwa 10 - 12 Wochen zweimal mit den gleichen expliziten Tests getestet wurden. Testwiederholungseffekte könnten zudem auch bei den Reaktionszeiten eine Rolle gespielt haben, da die Kinder in der ersten und zweiten Klasse bereits vertrauter mit der Aufgabenstellung waren.

Ob es zu einer systematischen Verzerrung der Stichprobe kam, kann nicht beantwortet werden, da keine Informationen zum Bildungsabschluss oder andere sozio-ökonomische Daten der Eltern erhoben wurden. Auszuschließen ist dies jedoch nicht, da es möglich ist, dass durch die lokalen Begebenheiten der Universitätsstadt Tübingen ein höherer Anteil an Familien mit z.B. hohem oder akademischen Hintergrund an der Studie teilnahmen. Außerdem wurde nicht kontrolliert, inwiefern die Kinder durch die Eltern neben dem Training gefördert wurden. Denkbar ist, dass Eltern mit höherem oder akademischen Bildungsabschluss motiviert waren, ihren Kindern zum Beispiel schon vor dem Schuleintritt Buchstaben beizubringen. Gleichermäßen könnten die Kinder aber auch selbst ein höheres intrinsisches Interesse daran gezeigt haben, Buchstaben zu lernen oder sich mit Spracheinheiten zu beschäftigen. Diese Motivation könnte zum einen daher stammen, dass sie sich kurz vor dem Schuleintritt befanden und daher ein höheres Interesse an schulrelevanten Aktivitäten (z.B. Lesenlernen) zeigten. Aber auch die Teilnahme an der Trainingsstudie könnte das Interesse der Kinder gefördert haben, sich generell mehr mit Unterschieden zwischen Sprachlauten und damit einhergehend den dazugehörigen Buchstaben auseinander zu setzen. Ferner war es auch nur schwer zu kontrollieren, inwiefern in den Kindertagesstätten zum Training zusätzliche Förderangebote vorhanden waren. Um einer systematischen Verzerrung zwischen den Gruppen vorzubeugen, wurden

möglichst in Kitas, die in beiden Erhebungsjahren an der Studie teilnahmen, die Trainingsarten (Sprachtraining in Jahr 1, Kontrolltraining in Jahr 2) getauscht.

Interventionsstudien zur phonologischen und phonemischen Bewusstheit, die Wirksamkeitsnachweise des Trainings auf phonemische Bewusstheit zeigen konnten (z.B. Lundberg et al., 1988; Schneider et al., 1997) verglichen Experimentalgruppen mit Kontrollgruppen, die kein gesondertes Training erhielten und am regulären Kindertagesstättencurriculum teilnahmen. Im Gegensatz dazu führte die Kontrollgruppe in Studie 1 ebenfalls ein Training durch. Die Hinzunahme einer aktiven Kontrollstudie im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Training hat mehrere Vorteile. Neben ethischen Punkten spielt auch eine Rolle, dass durch eine aktive Kontrollgruppe besser interventionsspezifische Effekte (z.B. auf die phonemische Bewusstheit) besser abgegrenzt werden können von interventionsunspezifischen Effekten auf Aufmerksamkeit, Motivation und andere kognitive Faktoren (siehe auch Kontrollstudie: Schild et al., akzeptiert, Anhang II). Allerdings ist es auch möglich, dass es durch die Teilnahme an einem Training zu domainübergreifenden Effekten auf z.B. exekutive Funktionen, Aufmerksamkeit oder Arbeitsgedächtnis in der Kontrollgruppe kam, welche sich dann auch positiv in den Testergebnissen in den expliziten Sprachtests widerspiegelten. Beispielsweise konnte nachgewiesen werden, dass verschiedene exekutive Funktionen die Entwicklung früher akademischer Fertigkeiten (phonologische Bewusstheit, Buchstabenwissen und mathematische Vorläuferfertigkeiten) begünstigen (Blair & Razza, 2007; Ponitz, McClelland, Matthews, & Morrison, 2009; Shaul & Schwartz, 2013). Auch könnte es sein, dass in den Sprachtrainings und im Kontrolltraining Aufgabentypen verwendet wurden, die ähnliche Grundfertigkeiten trainieren. So wurden in beiden Trainings Aufgaben durchgeführt, in denen die Kinder Material sequenzieren sollten (entweder Zahlen oder Wörter in einzelne Buchstaben aufteilen) oder zählen sollten (eine Zahlensequenz oder die Anzahl der Buchstaben in einem Wort), was positive Effekte auch auf die Bearbeitung von Sprachmaterial in der Kontrollgruppe geführt haben könnte. Hinweise darauf, dass es zu übergreifenden Trainingseffekten gekommen sein könnte, liefern auch die Ergebnisse der Parallelstudie, die zu diesem Projekt durchgeführt wurde (Schild et al., akzeptiert, Anhang II).

b) Unterschiede in der impliziten Sprachverarbeitung vor dem Training

In Studie 1 führten die Kinder nach dem Training ein Wort Fragment Priming Experiment durch, mit dem die implizite Sensitivität für phonemische Variationen getestet wurde. Aufgrund früherer Ergebnisse wurde erwartet, dass nicht-lesende Vorschulkinder tolerant gegenüber phonemischer Variationen sein sollten (Schild et al., 2011). Obwohl die EKP-Ergebnisse dies für die Kontrollgruppe bestätigten, ist es nicht vollständig auszuschließen, dass bereits vor der Intervention Unterschiede in der phonologischen Verarbeitung zwischen den Gruppen bestanden haben. Dementsprechend könnten Kinder der beiden Sprachtrainings schon vorher über eine detailliertere implizite Verarbeitung verfügt haben. Stichprobenunterschiede zwischen Studie 1 und Schild et al. (2011, z.B. in phonemischer Bewusstheit), als auch eine differenzierte Verarbeitung unterschiedlicher phonemischer Merkmale wie Stimmhaftigkeit (Studie 1) und Artikulationsort (Schild et al., 2011) könnten Gründe dafür sein, dass auch nicht-lesende Vorschulkinder vor einem Training über eine sensitive phonologische Verarbeitung verfügen. Reaktionszeitanalysen über verschiedene Experimente indizieren, dass nicht-lesende Vorschulkinder verschiedene phonemischer Merkmale unterschiedlich stark bei der Aktivierung von Wortkandidaten berücksichtigen (Studie 1; Schild et al., 2011; Pilotstudie, Anhang I). Um dies zu überprüfen wäre es notwendig, bereits vor der Intervention ein Wort Fragment Priming mit den Kindern durchzuführen, um eine Baseline für die Detailliertheit der impliziten Sprachverarbeitung vor dem Training zu messen.

c) Unterschiedliche Verarbeitung von verschiedenen phonemischen Merkmalen

Ferner indizieren die Ergebnisse, dass unterschiedliche phonemische Merkmale unterschiedlich stark für den lexikalischen Zugriff berücksichtigt werden (Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2011, Studie 1, Studie 2). Die vorliegenden Ergebnisse und im Vergleich zu Vorgängerstudien (z.B. Friedrich et al., 2009) deuten darauf hin, dass Variationen in der Stimmhaftigkeit weniger stark im lexikalischen Zugriff berücksichtigt werden, als Variationen im Artikulationsort. Reaktionszeitergebnisse über die verschiedenen Studien hinweg (Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2011; Studie 1, Studie 2; Pilotstudie) deuten darauf hin, dass zumindest auf postlexikalischer Ebene die Verarbeitung von phonemischen Merkmalen teilweise variiert. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass die Unterschiede in den Ergebnissen zwischen den Studien auch

auf andere Faktoren zurückzuführen. Festzuhalten ist, dass in der Gruppe der Erwachsenen (Studie 1) auf prälexikalischer Ebene keine hirnpfysiologischen Unterschiede gefunden wurden. Ob dies wirklich daran liegt, dass Erwachsene Informationen zur Stimmhaftigkeit in frühen phonologischen Verarbeitungsstadien nicht berücksichtigen, bedarf Verifizierung durch weitere Studien, da diese Interpretation momentan auf einem Nullergebnis basiert. Sollten phonemische Merkmale jedoch tatsächlich unterschiedlich stark für den lexikalischen Zugriff genutzt werden, wäre demnach auch die Frage interessant, ob der Schriftspracherwerb (bzw. Vorläuferfertigkeiten des Schriftspracherwerbs) auch unterschiedlich stark die Verarbeitung phonemischer Variationen in verschiedenen phonemischen Merkmalen modifiziert. Dies könnte jedoch nur geklärt werden in einem Training, in dem Kinder für Kontraste z.B. im Artikulationsort sensibilisiert werden.

d) Beschränkung der Daten auf den deutschsprachigen Raum

Sowohl Studie 1 als auch Studie 2 wurden ausschließlich mit monolingualen deutschsprachigen Kindern durchgeführt. Dementsprechend können die Ergebnisse nicht auf andere Sprachen generalisiert werden. Verschiedene Studien zeigten, dass es crosslinguistische Unterschiede gibt, wie stark Variationen in der Stimmhaftigkeit von Phonemen am Wortanfang wahrgenommen oder verarbeitet werden (Buckler & Fikkert, 2015). Interessant wäre daher zu untersuchen, ob der Schriftspracherwerb die Nutzung von Stimmhaftigkeit in der impliziten Sprachverarbeitung in unterschiedlichen Sprachen mehr oder weniger moduliert. Möglich wäre es zum Beispiel, dass in Sprachen, in denen Variationen in der Stimmhaftigkeit am Wortanfang stärker berücksichtigt werden, zusätzliche Modulation durch den Schriftspracherwerb stärker ins Gewicht fällt als bei Sprachen, die Stimmhaftigkeit eher tolerieren.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel des Projektes war die Beantwortung von zwei Hauptfragestellungen: 1) Welche Vorläuferfertigkeiten des Lesenlernens sind mit einer detaillierteren Nutzung von phonemischen Merkmalen bei der Wortaktivierung assoziiert? Und 2) Wie entwickeln

sich phonologische Repräsentationen, wenn Kinder mit dem formalen Schriftspracherwerb beginnen? Die Ergebnisse aus beiden Studien lassen sich auf die folgenden wichtigsten Erkenntnisse zusammenfassen:

Kinder in der initialen Phase des Lesenlernens verarbeiten phonemische Details genauer, wenn sie für phonemische Bewusstheit sensitiviert wurden (Studie 1). Dies spricht insgesamt eher für die Annahme einer Restrukturierung des phonologischen Systems (Dehaene et al., 2015; Harm & Seidenberg, 2004; Taft 2006). Denn Hinweise auf eine direkte Beteiligung von graphemischen Repräsentationen ließen sich nicht finden (Studie 1 und 2). Die Verarbeitung von phonemischen Informationen auf prälexikalischer Ebene erscheint stabil und ausreichend detailliert, wenn Kinder in der Vorschule für phonemische Kontraste in der Stimmhaftigkeit trainiert wurden (Studie 2). Es ist jedoch festzuhalten, dass in spezifischen Aspekten die Wirksamkeit der Trainings in Studie 1 eingeschränkt war, was bei der Interpretation der Daten zu beachten ist.

Der Vergleich von Studie 1 und 2 mit den Ergebnissen von vorherigen Studien (z.B. Friedrich et al., 2009; Schild et al., 2011) ergibt weitere Fragen. Inwiefern Probanden phonemische Details im lexikalischen Zugriff berücksichtigen, scheint nicht über verschiedene phonemische Merkmale generalisierbar zu sein. Insbesondere stellt sich die Frage, inwiefern Leser beispielsweise Informationen zur Stimmhaftigkeit in verschiedenen Stadien des Schriftspracherwerbs unterschiedlich sensitiv verarbeiten.

Geht man davon aus, dass der Schriftspracherwerb bzw. seine Vorläuferfertigkeiten modulieren, inwiefern phonemische Variationen erkannt und verarbeitet werden, erscheint zudem auch ein crosslinguistischer Vergleich sinnvoll. Entscheidend beim Schriftspracherwerb ist die Knüpfung von Graphem-Phonem-Korrespondenzen. Diese sind sowohl entscheidend, wenn man davon ausgeht, dass graphemische Repräsentationen bei der Worterkennung mitaktiviert werden, als auch bei der Annahme, dass das phonologische System restrukturiert wird. Graphem-Phonem-Korrespondenzen sind jedoch nicht in jeder Sprache gleich stabil. In orthographisch-konsistenten Sprachen (wie z.B. dem Deutschen) können Phoneme relativ eindeutig zu Graphemen geordnet werden. Graphem-Phonem-Korrespondenzen sind daher stabiler als in einer Sprache wie dem Englischen, in denen Grapheme durch viele phonetische Realisationen repräsentiert sind (z.B. „bear“ [dt. Bär] vs. „bare“ [dt. nackt],

siehe auch Punkt 2.3.). In orthographisch-konsistenten Sprachen könnten demnach Erfahrungen mit dem Schriftspracherwerb stärker oder zuverlässiger Informationen liefern, die die Kinder bei der Verarbeitung von phonemischen Variationen nutzen können. Der Priming-Effekt im Wort Fragment Priming könnte bei Kindern in orthographisch-konsistenten Sprachen möglicherweise stärker ausfallen oder bereits in früheren Grundschuljahren auftreten als bei Kindern, die längere Zeit benötigen, um stabile Graphem-Phonem-Korrespondenzen zu bilden. Gleichmaßen könnte man auch erwarten, dass Priming-Effekte schwächer ausfallen sollten bei Kindern, die über eine Leserechtschreibschwäche aufweisen. In der Dyslexie-Forschung wird u.a. diskutiert, inwiefern Probleme im Schriftspracherwerb und der phonologischen Bewusstheit bei Kindern mit Dyslexie weniger differenziertere phonologische Repräsentationen zurückzuführen sind (u.a. Noordenbos et al., 2012). Beispielsweise fand sich, dass Kinder mit Dyslexie phonemische Variationen eher allophonisch statt phonemisch verarbeiten. Das bedeutet, dass Betroffene nicht besonders sensitiv für Unterschiede zwischen Phonemen sind (z.B. zwischen /g/ und /k/), sondern besonders gut akustische Unterschiede innerhalb einer Phonemklasse unterscheiden können (z.B: unterschiedliche Realisationen von /g/; u.a. Serniclaes et al., 2004). Die Ergebnisse aus den Wort Fragment Priming Studien (Schild et al., 2011; Studie 1; Studie 2) deuten darauf hin, dass Kinder detaillierter phonemische Variationen zwischen zwei Phonemklassen verarbeiten, wenn sie Erfahrungen mit dem Schriftspracherwerb gemacht haben. Interessant wäre demnach die Frage, inwiefern die implizite Sprachverarbeitung von Kindern mit weniger detaillierteren phonologischen Repräsentationen von einem Training z.B. in phonemischer Bewusstheit profitieren könnte.

10. Literaturverzeichnis

- Adrián, J. A., Alegria, J., & Morais, J. (1995). Metaphonological abilities of Spanish illiterate adults. *International Journal of Psychology, 30*(3), 329-353. doi:10.1080/00207599508246574
- Allopenna, P. D., Magnuson, J. S., & Tanenhaus, M. K. (1998). Tracking the time course of spoken word recognition using eye movements: Evidence for continuous mapping models. *Journal of Memory and Language, 38*(4), 419-439.
- Andruski, J. E., Blumstein, S. E., & Burton, M. (1994). The effect of subphonetic differences on lexical access. *Cognition, 52*(3), 163-187. doi:https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90042-6
- Anthony, J. L., & Francis, D. J. (2005). Development of Phonological Awareness. *Current Directions in Psychological Science, 14*(5), 255-259. doi:10.1111/j.0963-7214.2005.00376.x
- Baggio, G., & Hagoort, P. (2011). The balance between memory and unification in semantics: A dynamic account of the N400. *Language and Cognitive Processes, 26*(9), 1338-1367. doi:10.1080/01690965.2010.542671
- Becker, A. B. C., Schild, U., & Friedrich, C. K. (2014). ERP correlates of word onset priming in infants and young children. *Developmental Cognitive Neuroscience, 9*, 44-55. doi:https://doi.org/10.1016/j.dcn.2013.12.004
- Bien, H., & Zwitserlood, P. (2013). Processing Nasals with and without Consecutive Context Phonemes: Evidence from Explicit Categorization and the N100. *Frontiers in Psychology, 4*, 21-21. doi:10.3389/fpsyg.2013.00021
- Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development, 78*(2), 647-663. doi:10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x
- Bölte, J., & Coenen, E. (2002). Is Phonological Information Mapped onto Semantic Information in a One-to-One Manner? *Brain & Language, 81*(1), 384-397. doi:https://doi.org/10.1006/brln.2001.2532

- Bonte, M., & Blomert, L. (2004). Developmental changes in ERP correlates of spoken word recognition during early school years: a phonological priming study. *Clinical Neurophysiology*, *115*(2), 409-423. doi:10.1016/s1388-2457(03)00361-4
- Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., & Mesulam, M. M. (2004). Development of brain mechanisms for processing orthographic and phonologic representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*(7), 1234-1249. doi:10.1162/0898929041920496
- Brennan, C., Cao, F., Pedroarena-Leal, N., McNorgan, C., & Booth, J. R. (2013). Reading Acquisition Reorganizes the Phonological Awareness Network Only in Alphabetic Writing Systems. *Human Brain Mapping*, *34*. doi:10.1002/hbm.22147
- Brysbaert, M., Mandera, P., & Keuleers, E. (2017). The Word Frequency Effect in Word Processing: An Updated Review. *Current Directions in Psychological Science*, *27*(1), 45-50. doi:10.1177/0963721417727521
- Buckler, H., & Fikkert, P. (2015). Dutch and German 3-Year-Olds' Representations of Voicing Alternations. *Language and Speech*, *59*. doi:10.1177/0023830915587038
- Buehner, M. (2008). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. Hallbergmoos: Pearson Deutschland GmbH.
- Burton, M. W., Locasto, P. C., Krebs-Noble, D., & Gullapalli, R. P. (2005). A systematic investigation of the functional neuroanatomy of auditory and visual phonological processing. *Neuroimage*, *26*(3), 647-661. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.02.024
- Caravolas, M., & Bruck, M. (1993). The Effect of Oral and Written Language Input on Children's Phonological Awareness: A Cross-Linguistic Study. *Journal of Experimental Child Psychology*, *55*(1), 1-30. doi:https://doi.org/10.1006/jecp.1993.1001

- Carroll, J. M., Snowling, M. J., Stevenson, J., & Hulme, C. (2003). The development of phonological awareness in preschool children. *Developmental Psychology*, *39*(5), 913-923. doi:10.1037/0012-1649.39.5.913
- Castles, A., & Coltheart, M. (2004). Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read? *Cognition*, *91*(1), 77-111.
- Castles, A., Holmes, V. M., Neath, J., & Kinoshita, S. (2003). How does orthographic knowledge influence performance on phonological awareness tasks? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, *56*(3), 445-467. doi:10.1080/02724980244000486
- Chang, E. F., Rieger, J. W., Johnson, K., Berger, M. S., Barbaro, N. M., & Knight, R. T. (2010). Categorical speech representation in human superior temporal gyrus. *Nature Neuroscience*, *13*(11), 1428-1432. doi:10.1038/nn.2641
- Chéreau, C., Gaskell, M. G., & Dumay, N. (2007). Reading spoken words: Orthographic effects in auditory priming. *Cognition*, *102*(3), 341-360. doi:https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.01.001
- Cheung, H., Chen, H. C., Lai, C. Y., Wong, O. C., & Hills, M. (2001). The development of phonological awareness: effects of spoken language experience and orthography. *Cognition*, *81*(3), 227-241.
- Chumbley, J. I., & Balota, D. A. (1984). A word's meaning affects the decision in lexical decision. *Memory & Cognition*, *12*(6), 590-606. doi:10.3758/BF03213348
- Cole, R. A. (1973). Listening for mispronunciations – Measure of what we hear during speech. *Perception & Psychophysics*, *13*(1A), 153-156. doi:10.3758/bf03207252
- Cole, R. A., Jakimik, J., & Cooper, W. E. (1978). Perceptibility of phonetic features in fluent speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *64*(1), 44-56. doi:10.1121/1.381955
- Connine, C. M., Blasko, D. G., & Titone, D. (1993). Do the Beginnings of Spoken Words Have a Special Status in Auditory Word Recognition? *Journal of Memory and Language*, *32*(2), 193-210. doi:https://doi.org/10.1006/jmla.1993.1011

- Connine, C. M., Titone, D., Deelman, T., & Blasko, D. G. (1997). Similarity Mapping in Spoken Word Recognition. *Journal of Memory and Language*, 37(4), 463-480. doi:<https://doi.org/10.1006/jmla.1997.2535>
- Connolly, J. F. (1993). The influence of stimulus intensity, contralateral masking and handedness on the temporal N1 and the T complex components of the auditory N1 wave. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 86(1), 58-68. doi:10.1016/0013-4694(93)90067-6
- Connolly, J. F., & Phillips, N. A. (1994). Event-related potential components reflect phonological and semantic processing of the terminal word of spoken sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6(3), 256-266. doi:10.1162/jocn.1994.6.3.256
- Cooper, N., Cutler, A., & Wales, R. (2002). Constraints of Lexical Stress on Lexical Access in English: Evidence from Native and Non-native Listeners. *Language and Speech*, 45(3), 207-228. doi:10.1177/00238309020450030101
- Cossu, G., Shankweiler, D., Liberman, I. Y., Katz, L., & Tola, G. (1988). Awareness of phonological segments and reading ability in Italian children. *Applied Psycholinguistics*, 9(1), 1-16. doi:10.1017/S0142716400000424
- Cutler, A. (2012). *Native Listening Language Experience and the Recognition of Spoken Words*. Cambridge: MIT Press.
- Cutler, A., & Davis, C. (2012). An orthographic effect in phoneme processing, and its limitations. *Frontiers in Psychology*, 3, 18-18. doi:10.3389/fpsyg.2012.00018
- Cutler, A., Mehler, J., Norris, D., & Segui, J. (1986). The syllable's differing role in the segmentation of French and English. *Journal of Memory and Language*, 25(4), 385-400. doi:[https://doi.org/10.1016/0749-596X\(86\)90033-1](https://doi.org/10.1016/0749-596X(86)90033-1)
- Cutler, A., & Norris, D. (1988). The role of strong syllables in segmentation for lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(1), 113-121. doi:10.1037/0096-1523.14.1.113
- Cutler, A., Treiman, R., & van Ooijen, B. (2010). Strategic deployment of orthographic knowledge in phoneme detection. *Language and Speech*, 53(3), 307-320. doi:10.1177/0023830910371445

- Dehaene, S., & Cohen, L. (2011). The unique role of the visual word form area in reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(6), 254-262. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.04.003>
- Dehaene, S., Cohen, L., Morais, J., & Kolinsky, R. (2015). Illiterate to literate: behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(4), 234-244. doi:10.1038/nrn3924
- Dehaene, S., Pegado, F., Braga, L. W., Ventura, P., Nunes Filho, G., Jobert, A., . . . Cohen, L. (2010). How learning to read changes the cortical networks for vision and language. *Science*, 330(6009), 1359-1364. doi:10.1126/science.1194140
- Desroches, A. S., Cone, N. E., Bolger, D. J., Bitan, T., Burman, D. D., & Booth, J. R. (2010). Children with reading difficulties show differences in brain regions associated with orthographic processing during spoken language processing. *Brain Research*, 1356, 73-84. doi:10.1016/j.brainres.2010.07.097
- Desroches, A. S., Newman, R., & Joanisse, M. (2008). Investigating the Time Course of Spoken Word Recognition: Electrophysiological Evidence for the Influences of Phonological Similarity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 1893-1906. doi:10.1162/jocn.2008.21142
- Diesch, E., & Luce, T. (2000). Topographic and temporal indices of vowel spectral envelope extraction in the human auditory cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 878-893. doi:10.1162/089892900562480
- Dijkstra, T., Roelofs, A., & Fieuws, S. (1995). Orthographic effects on phoneme monitoring. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 49(2), 264-271. doi:10.1037/1196-1961.49.2.264
- Duncan, L. G., ColÉ, P., Seymour, P. H. K., & Magnan, A. (2006). Differing sequences of metaphonological development in French and English. *Journal of Child Language*, 33(2), 369-399. doi:10.1017/S030500090600732X
- Durgunoğlu, A. Y., & Öney, B. (1999). A cross-linguistic comparison of phonological awareness and word recognition. *Reading and Writing*, 11(4), 281-299. doi:10.1023/A:1008093232622

- Ehri, L. C., Nunes, S. R., Stahl, S. A., & Willows, D. M. (2001). Systematic Phonics Instruction Helps Students Learn to Read: Evidence from the National Reading Panel's Meta-Analysis. *Review of Educational Research, 71*(3), 393-447. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/3516004>
- Ehri, L. C., & Wilce, L. S. (1980). The influence of orthography on readers' conceptualization of the phonemic structure of words. *Applied Psycholinguistics, 1*(4), 371-385. doi:10.1017/S0142716400009802
- Eimas, P. D., Siqueland, E. R., Jusczyk, P., & Vigorito, J. (1971). Speech perception in infants. *Science, 171*(3968), 303-306. doi:10.1126/science.171.3968.303
- Ernestus, M., & Mak, W. M. (2004). Distinctive phonological features differ in relevance for both spoken and written word recognition. *Brain and Language, 90*(1), 378-392. doi:[https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00449-8](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00449-8)
- Eulitz, C., Diesch, E., Pantev, C., Hampson, S., & Elbert, T. (1995). Magnetic and electric brain activity evoked by the processing of tone and vowel stimuli. *The Journal of Neuroscience, 15*(4), 2748. doi:10.1523/JNEUROSCI.15-04-02748.1995
- Fischer, M. Y. & Pfost, M. (2015). Wie effektiv sind Maßnahmen zur Förderung der phonologischen Bewusstheit? Eine meta-analytische Untersuchung der Auswirkungen deutschsprachiger Trainingsprogramme auf den Schriftspracherwerb. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 47*, 35-51. <https://doi.org/10.1026/0049-8637/a000121>
- Friedrich, C. K. (2005). Neurophysiological correlates of mismatch in lexical access. *BMC Neuroscience, 6*(64), 64. doi:10.1186/1471-2202-6-64
- Friedrich, C. K., Felder, V., Lahiri, A., & Eulitz, C. (2013). Activation of words with phonological overlap. *Frontiers in Psychology, 4*, 556. doi:10.3389/fpsyg.2013.00556
- Friedrich, C. K., Kotz, S. A., Friederici, A. D., & Alter, K. (2004). Pitch modulates lexical identification in spoken word recognition: ERP and behavioral evidence.

Cognitive Brain Research, 20(2), 300-308.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.03.007>

- Friedrich, C. K., Kotz, S. A., Friederici, A. D., & Gunter, T. (2004). ERPs Reflect Lexical Identification in Word Fragment Priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 541-552. doi:10.1162/089892904323057281
- Friedrich, C. K., Lahiri, A., & Eulitz, C. (2008). Neurophysiological Evidence for Underspecified Lexical Representations: Asymmetries With Word Initial Variations. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance*, 34, 1545-1559. doi:10.1037/a0012481
- Friedrich, C. K., Schild, U., & Röder, B. (2009). Electrophysiological indices of word fragment priming allow characterizing neural stages of speech recognition. *Biological Psychology*, 80(1), 105-113. doi:10.1016/j.biopsycho.2008.04.012
- Gardner, M. K., Rothkopf, E. Z., Lapan, R., & Lafferty, T. (1987). The word frequency effect in lexical decision: Finding a frequency-based component. *Memory & Cognition*, 15(1), 24-28. doi:10.3758/BF03197709
- Gerken, L., Murphy, W. D., & Aslin, R. N. (1995). Three- and four-year-olds' perceptual confusions for spoken words. *Perception & Psychophysics*, 57(4), 475-486. doi:10.3758/BF03213073
- Georgiou, G.K., Torppa, M., Manolitsis, G., Lyytinen, H., & Parrila, R. (2012). Longitudinal predictors of reading and spelling across languages varying in orthographic consistency. *Reading and Writing*, 25, 321-346. <https://doi.org/10.1007/s11145-010-9271-x>
- Goh, W. D., Suárez, L., Yap, M. J., & Tan, S. H. (2009). Distributional analyses in auditory lexical decision: Neighborhood density and word-frequency effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(5), 882-887. doi:10.3758/PBR.16.5.882
- Goldinger, S. (1998). Echoes of Echoes? An Episodic Theory of Lexical Access. *Psychological Review*, 105, 251-279. doi:10.1037/0033-295X.105.2.251
- Goswami, U. (2000). Phonological representations, reading development and dyslexia: towards a cross-linguistic theoretical framework. *Dyslexia*, 6(2), 133-

151. doi:10.1002/(SICI)1099-0909(200004/06)6:2<133::AID-DYS160>3.0.CO;2-A

- Goswami, U., Ziegler, J. C., & Richardson, U. (2005). The effects of spelling consistency on phonological awareness: A comparison of English and German. *Journal of Experimental Child Psychology*, 92(4), 345-365. doi:https://doi.org/10.1016/j.jecp.2005.06.002
- Grainger, J., & Ferrand, L. (1994). Phonology and Orthography in Visual Word Recognition: Effects of Masked Homophone Primes. *Journal of Memory and Language*, 33(2), 218-233. doi:https://doi.org/10.1006/jmla.1994.1011
- Grainger, J., Muneaux, M., Farioli, F., & Ziegler, J. (2005). Effects of Phonological and Orthographic Neighbourhood Density Interact in Visual Word Recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 58(6), 981-998. https://doi.org/10.1080/02724980443000386
- Hallé, P. A., Chéreau, C., & Segui, J. (2000). Where is the /b/ in "absurde" [apsyrd]? It is in French listeners' minds. *Journal of Memory and Language*, 43(4), 618-639. doi:10.1006/jmla.2000.2718
- Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (2004). Computing the meanings of words in reading: cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological Review*, 111(3), 662-720. doi:10.1037/0033-295x.111.3.662
- Hoehl, S., & Wahl, S. (2012). Recording infant ERP data for cognitive research. *Developmental Neuropsychology*, 37(3), 187-209. doi:10.1080/87565641.2011.627958
- Höhle, B. (2012). *Psycholinguistik* (2. Auflage). Berlin: De Gruyter.
- Hulme, C., Caravolas, M., Malkova, G., & Brigstocke, S. (2005). Phoneme isolation ability is not simply a consequence of letter-sound knowledge. *Cognition*, 97(1), B1-11. doi:10.1016/j.cognition.2005.01.002
- Jakimik, J., Cole, R. A., & Rudnicky, A. I. (1985). Sound and spelling in spoken word recognition. *Journal of Memory and Language*, 24(2), 165-178. doi:https://doi.org/10.1016/0749-596X(85)90022-1

- Kóbor, A., Honbolygó, F., Becker, A. B. C., Schild, U., Csépe, V., & Friedrich, C. K. (2018). ERP evidence for implicit L2 word stress knowledge in listeners of a fixed-stress language. *International Journal of Psychophysiology*, *128*. doi:10.1016/j.ijpsycho.2018.04.006
- Kolinsky, R., Cary, L., & Morais, J. (1987). Awareness of words as phonological entities: The role of literacy. *Applied Psycholinguistics*, *8*(3), 223-232. doi:10.1017/S0142716400000278
- Küspert, P., & Schneider, W. (2008). *Hören, lauschen, lernen. Sprachspiele für Kinder im Vorschulalter - Würzburger Trainingsprogramm zur Vorbereitung auf den Erwerb der Schriftsprache*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annual Review of Psychology*, *62*, 621-647. doi:10.1146/annurev.psych.093008.131123
- Liberman, A. M., Harris, K. S., Hoffman, H. S., & Griffith, B. C. (1957). The discrimination of speech sounds within and across phoneme boundaries. *Journal of Experimental Psychology*, *54*(5), 358-368. doi:10.1037/h0044417
- López Zunini, R. A., Baart, M., Samuel, A. G., & Armstrong, B. C. (2020). Lexical access versus lexical decision processes for auditory, visual, and audiovisual items: Insights from behavioral and neural measures. *Neuropsychologia*, *137*, 107305. doi:https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.107305
- Lucas, M. (2000). Semantic priming without association: A meta-analytic review. *Psychonomic Bulletin & Review*, *7*(4), 618-630. doi:10.3758/BF03212999
- Lukatela, K., Carello, C., Shankweiler, D., & Liberman, I. Y. (1995). Phonological awareness in illiterates: Observations from Serbo-Croatian. *Applied Psycholinguistics*, *16*(4), 463-487. doi:10.1017/S0142716400007487
- Lundberg, I. (1991). Phonemic awareness can be developed without reading instruction. In S.A. Brady & D.P. Shankweiler (Hrsg.), *Phonological processes in literacy: a tribute to Isabelle Liberman*, (S.47-53). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Lundberg, I., Frost, J., & Petersen, O.-P. (1988). Effects of an extensive program for stimulating phonological awareness in preschool children. *Reading Research Quarterly, 23*(3), 263-284. doi:10.1598/RRQ.23.3.1
- Mann, V., & Wimmer, H. (2002). Phoneme awareness and pathways into literacy: A comparison of German and American children. *Reading and Writing, 15*(7), 653-682. doi:10.1023/A:1020984704781
- Marslen-Wilson, W. (1987). Functional parallelism in spoken word-recognition. *Cognition, 25*(1), 71-102. doi:https://doi.org/10.1016/0010-0277(87)90005-9
- Marslen-Wilson, W. (1990). Activation, competition, and frequency in lexical access. In *Cognitive models of speech processing: Psycholinguistic and computational perspectives*. (pp. 148-172). Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Marslen-Wilson, W., & Warren, P. (1994). Levels of perceptual representation and process in lexical access: words, phonemes, and features. *Psychological Review, 101*(4), 653-675. doi:10.1037/0033-295x.101.4.653
- Marslen-Wilson, W., & Welsh, A. (1978). Processing interactions and lexical access during word recognition in continuous speech. *Cognitive Psychology, 10*(1), 29-63. doi:https://doi.org/10.1016/0010-0285(78)90018-X
- Marslen-Wilson, W., & Zwitserlood, P. (1989). Accessing Spoken Words: The Importance of Word Onsets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 15*, 576-585. doi:10.1037/0096-1523.15.3.576
- Martin, A., & Peperkamp, S. (2015). Asymmetries in the exploitation of phonetic features for word recognition. *The Journal of the Acoustical Society of America, 137*, EL307-EL313. doi:10.1121/1.4916792
- Martin, A., & Peperkamp, S. (2017). Assessing the distinctiveness of phonological features in word recognition: Prelexical and lexical influences. *Journal of Phonetics, 62*, 1-11. doi:https://doi.org/10.1016/j.wocn.2017.01.007
- Mayer, A. (2011). *TEPHOBE. Test zur Überprüfung der phonologischen Bewusstheit und der Benennungsgeschwindigkeit*. München: Reinhardt Verlag.
- McClelland, J. L., & Elman, J. L. (1986). The TRACE model of speech perception. *Cognitive Psychology, 18*(1), 1-86. doi:10.1016/0010-0285(86)90015-0

- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: I. An account of basic findings. *Psychological Review*, *88*(5), 375-407. doi:10.1037/0033-295X.88.5.375
- McQueen, J. M. (2012). Eight questions about spoken word recognition. *The Oxford Handbook of Psycholinguistics*. doi:10.1093/oxfordhb/9780198568971.013.0003
- Melby-Lervag, M., Lyster, S. A., & Hulme, C. (2012). Phonological skills and their role in learning to read: a meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, *138*(2), 322-352. doi:10.1037/a0026744
- Mesgarani, N., Cheung, C., Johnson, K., & Chang, E. F. (2014). Phonetic Feature Encoding in Human Superior Temporal Gyrus. *Science*, *343*(6174), 1006-1010. doi:10.1126/science.1245994
- Metsala, J. L. (1997). An examination of word frequency and neighborhood density in the development of spoken-word recognition. *Memory & Cognition*, *25*(1), 47-56. doi:10.3758/bf03197284
- Milberg, W., Blumstein, S. E., & Dworetzky, B. (1988). Phonological factors in lexical access: Evidence from an auditory lexical decision task. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *26*(4), 305-308. doi:10.3758/BF03337665
- Miller, L. T., & Vernon, P. A. (1997). Developmental changes in speed of information processing in young children. *Developmental Psychology*, *33*(3), 549-554. doi:10.1037/0012-1649.33.3.549
- Mitterer, H., & Reinisch, E. (2015). Letters don't matter: No effect of orthography on the perception of conversational speech. *Journal of Memory and Language*, *85*, 116-134. doi:https://doi.org/10.1016/j.jml.2015.08.005
- Monzalvo, K., & Dehaene-Lambertz, G. (2013). How reading acquisition changes children's spoken language network. *Brain and Language*, *127*(3), 356-365. doi:https://doi.org/10.1016/j.bandl.2013.10.009
- Morais, J., Cary, L., Alegria, J., & Bertelson, P. (1979). Does awareness of speech as a sequence of phones arise spontaneously? *Cognition*, *7*(4), 323-331. doi:https://doi.org/10.1016/0010-0277(79)90020-9

- Muneaux, M., & Ziegler, J. C. (2004). Locus of orthographic effects in spoken word recognition: Novel insights from the neighbour generation task. *Language and Cognitive Processes, 19*(5), 641-660. doi:10.1080/01690960444000052
- Naatanen, R., & Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology, 24*(4), 375-425. doi:10.1111/j.1469-8986.1987.tb00311.x
- Naatanen, R., & Winkler, I. (1999). The concept of auditory stimulus representation in cognitive neuroscience. *Psychological Bulletin, 125*(6), 826-859. doi:10.1037/0033-2909.125.6.826
- Nittrouer, S., & Studdert-Kennedy, M. (1987). The role of coarticulatory effects in the perception of fricatives by children and adults. *Journal of Speech & Hearing Research, 30*(3), 319-329. doi:10.1044/jshr.3003.319
- Noordenbos, M.W., Segers, E., Serniclaes, W, Mitterer H., & Verhoeven, L. (2012). Neural evidence of allophonic perception in children at risk for dyslexia. *Neuropsychologia, 50*, 2010-2017. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.04.026>
- Norris, D. (1994). SHORTLIST - A CONNECTIONIST MODEL OF CONTINUOUS SPEECH RECOGNITION. *Cognition, 52*(3), 189-234. doi:10.1016/0010-0277(94)90043-4
- Norris, D., & McQueen, J. M. (2008). Shortlist B: a Bayesian model of continuous speech recognition. *Psychological Review, 115*(2), 357-395. doi:10.1037/0033-295x.115.2.357
- Obleser, J., Scott, S. K., & Eulitz, C. (2005). Now You Hear It, Now You Don't: Transient Traces of Consonants and their Nonspeech Analogues in the Human Brain. *Cerebral Cortex, 16*(8), 1069-1076. doi:10.1093/cercor/bhj047
- Pattamadilok, C., Morais, J., Colin, C., & Kolinsky, R. (2014). Unattentive speech processing is influenced by orthographic knowledge: evidence from mismatch negativity. *Brain and Language, 137*, 103-111. doi:10.1016/j.bandl.2014.08.005
- Pattamadilok, C., Morais, J., Ventura, P., & Kolinsky, R. (2007). The locus of the orthographic consistency effect in auditory word recognition: Further evidence

- from French. *Language and Cognitive Processes*, 22(5), 700-726. doi:10.1080/01690960601049628
- Pattamadilok, C., Morais, J., Vylder, O., Ventura, P., & Kolinsky, R. (2009). The orthographic consistency effect in the recognition of French spoken words: An early developmental shift from sublexical to lexical orthographic activation. *Applied Psycholinguistics*, 30, 441-462. doi:10.1017/S0142716409090225
- Perfetti, C. A., Beck, I., Bell, L. C., & Hughes, C. (1987). Phonemic Knowledge and Learning to Read are Reciprocal: A Longitudinal Study of First Grade Children. *Merrill-Palmer Quarterly*, 33(3), 283-319. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/23086537>
- Perre, L., Bertrand, D., & Ziegler, J. C. (2011). Literacy Affects Spoken Language in a Non-Linguistic Task: An ERP Study. *Frontiers in Psychology*, 2, 274. doi:10.3389/fpsyg.2011.00274
- Perre, L., Pattamadilok, C., Montant, M., & Ziegler, J. C. (2009). Orthographic effects in spoken language: on-line activation or phonological restructuring? *Brain Research*, 1275, 73-80. doi:10.1016/j.brainres.2009.04.018
- Perre, L., & Ziegler, J. C. (2008). On-line activation of orthography in spoken word recognition. *Brain Research*, 1188, 132-138. doi:10.1016/j.brainres.2007.10.084
- Petrova, A., Gaskell, M. G., & Ferrand, L. (2011). Orthographic consistency and word-frequency effects in auditory word recognition: new evidence from lexical decision and rime detection. *Frontiers in Psychology*, 2, 263. doi:10.3389/fpsyg.2011.00263
- Ponitz, C. C., McClelland, M. M., Matthews, J. S., & Morrison, F. J. (2009). A structured observation of behavioral self-regulation and its contribution to kindergarten outcomes. *Developmental Psychology*, 45(3), 605-619. doi:10.1037/a0015365
- Praamstra, P., Meyer, A. S., & Levelt, W. J. (1994). Neurophysiological Manifestations of Phonological Processing: Latency Variation of a Negative ERP Component Timelocked to Phonological Mismatch. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6(3), 204-219. doi:10.1162/jocn.1994.6.3.204

- Praamstra, P., & Stegeman, D. F. (1993). Phonological effects on the auditory N400 event-related brain potential. *Cognitive Brain Research*, 1(2), 73-86. doi:[https://doi.org/10.1016/0926-6410\(93\)90013-U](https://doi.org/10.1016/0926-6410(93)90013-U)
- Read, C., Zhang, Y., Nie, H., & Ding, B. (1986). The ability to manipulate speech sounds depends on knowing alphabetic writing. *Cognition*, 24(1-2), 31-44. doi:10.1016/0010-0277(86)90003-X
- Reinisch, E., Jesse, A., & McQueen, J. M. (2010). Early use of phonetic information in spoken word recognition: Lexical stress drives eye movements immediately. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(4), 772-783. doi:10.1080/17470210903104412
- Reis, A., & Castro-Caldas, A. (1997). Illiteracy: a cause for biased cognitive development. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 3(5), 444-450.
- Sanders, L. D., & Neville, H. J. (2003). An ERP study of continuous speech processing. I. Segmentation, semantics, and syntax in native speakers. *Cognitive Brain Research*, 15(3), 228-240. doi:[https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(02\)00195-7](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(02)00195-7)
- Sanders, L. D., Newport, E. L., & Neville, H. J. (2002). Segmenting nonsense: an event-related potential index of perceived onsets in continuous speech. *Nature Neuroscience*, 5(7), 700-703. doi:10.1038/nn873
- Sauval, K., Perre, L., & Casalis, S. (2018). Phonemic feature involvement in lexical access in grades 3 and 5: Evidence from visual and auditory lexical decision tasks. *Acta Psychologica*, 182, 212-219. doi:10.1016/j.actpsy.2017.12.002
- Schild, U., Becker, A. B. C., & Friedrich, C. K. (2014). Processing of syllable stress is functionally different from phoneme processing and does not profit from literacy acquisition. *Frontiers in Psychology*, 5(530). doi:10.3389/fpsyg.2014.00530
- Schild, U., & Friedrich, C. K. (2018). What determines the speed of speech recognition? Evidence from congenitally blind adults. *Neuropsychologia*, 112, 116-124. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.002
- Schild, U., Röder, B., & Friedrich, C. K. (2011). Learning to read shapes the activation of neural lexical representations in the speech recognition pathway.

Developmental Cognitive Neuroscience, 1(2), 163-174.
doi:10.1016/j.dcn.2010.11.002

- Schild, U., Röder, B., & Friedrich, C. K. (2012). Neuronal spoken word recognition: The time course of processing variation in the speech signal. *Language and Cognitive Processes*, 27(2), 159-183. doi:10.1080/01690965.2010.503532
- Schneider, W., Blanke, I., Faust, V., & Küspert, P. (2011). *Würzburger Leise Leseprobe - Revision. Ein Gruppentest für die Grundschule*. Göttingen: Hogrefe.
- Schneider, W., Kuspert, 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. doi:10.1006/jecp.1997.2384
- Schneider, W., Roth, E., & Ennemoser, M. (2000). Training Phonological Skills and Letter Knowledge in Children at Risk for Dyslexia: A Comparison of Three Kindergarten Intervention Programs. *Journal of Educational Psychology*, 92(2), 284-295. doi:https://doi.org/10.1037/0022-0663.92.2.284
- Seidenberg, M. S., & Tanenhaus, M. K. (1979). Orthographic effects on rhyme monitoring. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5(6), 546-554. doi:10.1037/0278-7393.5.6.546
- Serniclaes, W., Van Heghe, S., Mousty, P., Carré, R., & Sprenger-Charolles, L. (2004). Allophonic mode of speech perception in dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87(4), 336-361. doi:https://doi.org/10.1016/j.jecp.2004.02.001.
- Serniclaes, W., Ventura, P., Morais, J., & Kolinsky, R. (2005). Categorical perception of speech sounds in illiterate adults. *Cognition*, 98, 35-44. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.03.002
- Shaul, S., & Schwartz, M. (2013). The role of the executive functions in school readiness among preschool-age children. *Reading and Writing*, 27. doi:10.1007/s11145-013-9470-3

- Slowiaczek, L. M., Soltano, E. G., Wieting, S. J., & Bishop, K. L. (2003). An Investigation of Phonology and Orthography in Spoken-Word Recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *56*(2), 233-262. doi:10.1080/02724980244000323
- Soto-Faraco, S., Sebastián-Gallés, N., & Cutler, A. (2001). Segmental and Suprasegmental Mismatch in Lexical Access. *Journal of Memory and Language*, *45*(3), 412-432. doi:https://doi.org/10.1006/jmla.2000.2783
- Spivey, M. J., Grosjean, M., & Knoblich, G. (2005). Continuous attraction toward phonological competitors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*(29), 10393-10398. doi:10.1073/pnas.0503903102
- Swingley, D. (2003). Phonetic detail in the developing lexicon. *Language and Speech*, *46*(Pt 2-3), 265-294. doi:10.1177/00238309030460021001
- Swingley, D., & Aslin, R. N. (2002). Lexical neighborhoods and the word-form representations of 14-month-olds. *Psychological Science*, *13*(5), 480-484. doi:10.1111/1467-9280.00485
- Taft, M. (2006). Orthographically Influenced Abstract Phonological Representation: Evidence from Non-rhotic Speakers. *Journal of Psycholinguistic Research*, *35*(1), 67-78. doi:10.1007/s10936-005-9004-5
- Taft, M., Castles, A., Davis, C., Lazendic, G., & Nguyen-Hoan, M. (2008). Automatic activation of orthography in spoken word recognition: Pseudohomograph priming. *Journal of Memory and Language*, *58*(2), 366-379. doi:https://doi.org/10.1016/j.jml.2007.11.002
- Tanenhaus, M. K., Magnuson, J. S., Dahan, D., & Chambers, C. (2000). Eye Movements and Lexical Access in Spoken-Language Comprehension: Evaluating a Linking Hypothesis between Fixations and Linguistic Processing. *Journal of Psycholinguistic Research*, *29*(6), 557-580. doi:10.1023/A:1026464108329

- Tanenhaus, M. K., Spivey-Knowlton, M. J., Eberhard, K. M., & Sedivy, J. C. (1995). Integration of visual and linguistic information in spoken language comprehension. *Science*, *268*(5217), 1632-1634. doi:10.1126/science.7777863
- Tavabi, K., Obleser, J., Dobel, C., & Pantev, C. (2007). Auditory evoked fields differentially encode speech features: an MEG investigation of the P50m and N100m time courses during syllable processing. *European Journal of Neuroscience*, *25*(10), 3155-3162. doi:10.1111/j.1460-9568.2007.05572.x
- Toscano, J. C., McMurray, B., Dennhardt, J., & Luck, S. J. (2010). Continuous perception and graded categorization: electrophysiological evidence for a linear relationship between the acoustic signal and perceptual encoding of speech. *Psychological Science*, *21*(10), 1532-1540. doi:10.1177/0956797610384142
- Tunmer, W. E., & Nesdale, A. R. (1985). Phonemic segmentation skill and beginning reading. *Journal of Educational Psychology*, *77*(4), 417-427. doi:10.1037/0022-0663.77.4.417
- Ventura, P., Kolinsky, R., Brito-Mendes, C., & Morais, J. (2001). Mental representations of the syllable internal structure are influenced by orthography. *Language and Cognitive Processes*, *16*(4), 393-418. doi:10.1080/01690960042000184
- Ventura, P., Morais, J., & Kolinsky, R. (2007). The development of the orthographic consistency effect in speech recognition: from sublexical to lexical involvement. *Cognition*, *105*(3), 547-576. doi:10.1016/j.cognition.2006.12.005
- Ventura, P., Morais, J., Pattamadilok, C., & Kolinsky, R. (2004). The locus of the orthographic consistency effect in auditory word recognition. *Language and Cognitive Processes*, *19*(1), 57-95. doi:10.1080/01690960344000134
- Wagner, R. K., & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, *101*(2), 192-212. doi:10.1037/0033-2909.101.2.192
- Wagner, R. K., Torgesen, J. K., & Rashotte, C. A. (1994). Development of reading-related phonological processing abilities: New evidence of bidirectional

- causality from a latent variable longitudinal study. *Developmental Psychology*, 30(1), 73-87. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.30.1.73>
- Walley, A. (1988). Spoken word recognition by young children and adults. *Cognitive Development*, 3(2), 137-165. doi:[https://doi.org/10.1016/0885-2014\(88\)90016-0](https://doi.org/10.1016/0885-2014(88)90016-0)
- Walley, A. (1993). The Role of Vocabulary Development in Children's Spoken Word Recognition and Segmentation Ability. *Developmental Review*, 13(3), 286-350. doi:<https://doi.org/10.1006/drev.1993.1015>
- Wasserstein, D., & Lipka, O. (2019). Predictive Examination of Phonological Awareness Among Hebrew-Speaking Kindergarten Children. *Frontiers in Psychology*, 10, 1809-1809. doi:10.3389/fpsyg.2019.01809
- Weber, A., & Scharenborg, O. (2012). Models of spoken-word recognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 3(3), 387-401. doi:10.1002/wcs.1178
- Wolf, K. M., Schroeders, U., & Kriegbaum, K. (2016). Metaanalyse zur Wirksamkeit einer Förderung der phonologischen Bewusstheit in der deutschen Sprache. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 30, 9-33. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000165>
- Zecker, S. G. (1991). The orthographic code: Developmental trends in reading-disabled and normally-achieving children. *Annual Dyslexia*, 41(1), 178-192. doi:10.1007/bf02648085
- Ziegler, J. C., & Ferrand, L. (1998). Orthography shapes the perception of speech: The consistency effect in auditory word recognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5(4), 683-689. doi:10.3758/bf03208845
- Ziegler, J. C., Ferrand, L., & Montant, M. (2004). Visual phonology: The effects of orthographic consistency on different auditory word recognition tasks. *Memory & Cognition*, 32(5), 732-741. doi:10.3758/BF03195863
- Ziegler, J. C., & Muneaux, M. (2007). Orthographic facilitation and phonological inhibition in spoken word recognition: a developmental study. *Psychonomic Bulletin Review*, 14(1), 75-80.

- Ziegler, J. C., Muneaux, M., & Grainger, J. (2003). Neighborhood effects in auditory word recognition: Phonological competition and orthographic facilitation. *Journal of Memory and Language*, 48(4), 779-793. doi:[https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(03\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(03)00006-8)
- Ziegler, J. C., Petrova, A., & Ferrand, L. (2008). Feedback consistency effects in visual and auditory word recognition: where do we stand after more than a decade? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 34(3), 643-661. doi:10.1037/0278-7393.34.3.643
- Ziegler, J. & Stone, G. & Jacobs, A.. (1997). What is the pronunciation for -ough and the spelling for /u/? A database for computing feedforward and feedback consistency in English. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*. 29(4). 600-618.
- Zwitserslood, P. (1989). The locus of the effects of sentential-semantic context in spoken-word processing. *Cognition*, 32(1), 25-64. doi:10.1016/0010-0277(89)90013-9

11. Anhang

Anhang I	Pilotstudie
Anhang II	Kontrollstudie
Anhang III	Zusatzanalysen zur Central Negativity (cNEG) für Studie 1 und Studie 2
Anhang IV	Ergebnisse explizite Tests Studie 1: <i>Spy Game</i> und <i>Letter Knowledge</i>
Anhang V	Drop-Out Raten Studie 1 und Studie 2
Anhang IV	Trainingsmanual für Training zur phonemischen Bewusstheit und Training zur phonemischen Bewusstheit mit Buchstabenwissen

Anhang I

Pilotstudie. Unveröffentlichtes Manuskript.

“Does auditory word recognition relate to reading acquisition? Evidence from German preschoolers and beginning readers.”

Author	Author Position	Scientific ideas %	Data generation %	Analysis & interpretation %	Paper writing %
Schild, Ulrike	1	40	20	70	50
Bauch, Anne	2	40	80	20	20
Friedrich, Claudia	3	20	0	10	30
Title of paper:		Does auditory word recognition relate to reading acquisition? Evidence from German preschoolers and beginning readers.			
Status in publication process:		unpublished			

Unterschrift Autoren

Anne Bauch: _____

Prof. Dr. Claudia Friedrich: _____

Dr. Ulrike Schild: _____

Abstract

It is well established that learning to read improves explicit metalinguistic knowledge, especially phoneme awareness. However, whether literacy acquisition also influences implicit phonological representations is less investigated. To identify the potential role of certain features in this process we tested non-reading preschoolers, second graders and adults. We used word-onset priming with one-feature change or two-feature change between prime and target in three experiments. In the first experiment we varied PLACE, e.g., 'bok - Doctor'; Engl. doctor. In the second experiment we varied VOICING, e.g., 'tok - Doctor'. In the third experiment we added a two-feature-manipulation where both PLACE & VOICING changed together, e.g., 'pok - Doktor'. If knowledge about reading leads to more differentiation between features, then we assume that all reading groups (second graders and adults) differ in lexical decisions in all experiments (PLACE, VOICING, PLACE & VOICING) for the critical conditions (identity versus variation); whereas the non-reading preschoolers should not show a difference between the identity and the variation condition in experiments with one feature manipulation. Results showed faster reaction times for the identity compared to the variation condition for all age groups and for most experiments except for the preschoolers in the VOICING-experiment and the adults in the PLACE-experiment, which meets our expectations only partially. The results suggest that phonological representations are not sharpened strongly through reading acquisition.

Introduction

Learning to read and write is an indispensable skill in education and for being an informed citizen participating in society. Research over the last decades has identified particular skills of pre-readers that are related to successful reading acquisition across different languages. Phonological awareness, letter knowledge, verbal working memory, speed of access to the mental lexicon appear to be most relevant in that respect (e.g., Melby-Lervag, Lyster, & Hulme, 2012; Näslund, 1990; Näslund & Schneider, 1996; Wagner et al., 1997). It is widely accepted that those skills improve further when children learn to read and to write. It has been shown for example, that literate persons outperform illiterate persons in many *explicit* linguistic tasks including phoneme awareness. Literates outperformed illiterates in their ability to delete a phone

from (or add a phoneme to) a pseudo-word (Morais, Cary, Alegria, & Bertelson, 1979), in their ability to repeat pseudo-words, in their capacity to build word-pair association and in their verbal fluency (Reis & Castro-Caldas, 1997). This is not surprising, because these tasks are usually trained during literacy acquisition. For example, in phoneme awareness tasks phonemes have to be identified. Those skills are directly trained when children learn that words consist of single phonemes which have to be mapped on graphemes (and vice versa). Thus, it is widely established that literacy has an effect on *explicit conscious metalinguistic abilities* especially on phoneme awareness (Morais and Kolinsky, 2002).

However, the question whether *implicit (unconscious) speech perception and underlying phonological representations* are also influenced by reading acquisition is debated and has not been proved comprehensively. While there is no evidence for an influence of literacy on automatic implicit language processing (e.g. categorical perception or the McGurk-Effect; for a short overview see Morais and Kolinsky, 2002), a few studies seem to support that speech processing might actually be affected by reading knowledge. Most significant in that respect are demonstrations of orthographic consistency effects. Skilled readers respond slower to spoken words which are written differently (e.g., beef-leaf) than to spoken words that have the same writing (e.g., beef-reef) (e.g., Goswami, Ziegler, & Richardson, 2005; Perre, Midgley, & Ziegler, 2009; Ventura, Morais, & Kolinsky, 2007; Ziegler & Ferrand, 1998).

Studies using brain imaging have shown that brain regions activated usually by spoken language seemed to undergo changes when learning to read in an alphabetic system. One of the pioneers testing this by comparing 65-year-old women from socially comparable backgrounds with PET were Castro-Caldas, Petersson, Reis, Stone-Elander, and Ingvar (1998). Illiterates produced more errors for the pseudoword repetition compared to the word repetition. Moreover, they also showed less brain activation in the phonological brain-network for the pseudoword repetition compared to the literate women. The authors concluded that the literate group had a trained phonological brain system, because of their experience to read. Testing rhyming judgements to spoken words Brennan, Cao, Pedroarena-Leal, McNorgan, and Booth (2013) observed a developmental increase in the (left) phonological network in the superior temporal gyrus from English speaking 10-year-old children to adults, but not for the Chinese participants. Whether these changes finally serve operations dealing

with 'implicit/unconscious/automatic', 'explicit/conscious' or both kinds of language processing is still unknown.

One can also discuss that those skills underlying reading acquisition might lead to changes in processing and to the functional organization of the brain. Is it the phonological experience alone or does the visual input (the letters) itself also contribute? Morais (1993) argued for an influence of reading on speech perception via increased phonological processing in readers. Readers should have higher explicit phonemic awareness shown by their ability of manipulating phonemic units of speech. The representatives of the orthographic consistency effect would argue for the latter account that the grapheme representations are co-activated during the speech processing. Moreover, both accounts do not necessarily mutually exclude each other. However, in classical models of spoken language comprehension, e.g. in the cohort model (Marslen-Wilson, 1987) or in TRACE (McClelland & Elman, 1986) orthographic knowledge is not considered as a factor that influences spoken word comprehension. Information spreads between features and/or phonemic representations and word form representations. These models do not deal with the above mentioned interferences that graphemes might exert on phonological processing. Only the bimodal interactive activation model directly incorporates a grapheme level which interacts with a phoneme level. The model assumes bidirectional connections between the lexical and the sublexical level of phonology and orthography via a sublexical interface (Grainger & Ferrand, 1994, 1996; Grainger & Holcomb, 2009). This model can explain the occurrence of the orthographic consistency effect (e.g., Perre et al., 2009). But even on a much lower level, namely on the phoneme-to-grapheme level, the model would predict differences between readers and non-readers. In readers, phonemes are sketched to activate their corresponding graphemes and both send activation to phonological word forms which might be more activated for readers than for non-readers.

Thus, the question emerges whether literacy acquisition influences speech perception on a phoneme level. Mitterer and Reinisch (2015) tested this claim in an 'implicit task' where they recorded eye-movements in a visual-world-paradigm to words beginning either with a glottal stop /ʔ/, which is not coded orthographically in German, or to words beginning with the phoneme /h/, which has a corresponding letter in German. In one condition, the participants heard fully realized words. In the other condition, the

beginning of the words was deleted. The task was to click on the respective picture. If orthography influences speech perception the deletion of the /h/ should lead to stronger processing costs compared to the deletion of the /ʔ/. Moreover they compared the German listeners to Maltese listeners for whom the /ʔ/ is actually coded orthographically. The deleted words always had less fixation proportions, but neither for the within German comparison nor for the between language comparison the interaction with the segment and therewith no orthographic effect (/ʔ/ versus /h/) occurred. On the contrary, they showed that participants were influenced by orthography if they were engaged in an explicit judgement task. Here, deletion of the orthographical coded phoneme /h/ leads to worse pronunciation ratings compared to the deleted /ʔ/ in German listeners and Maltese listeners had worse pronunciation ratings for /ʔ/ than German listeners. Thus, Mitterer and Reinisch (2015) argued that orthography only influences metalinguistic, explicitly tested knowledge (like pronunciation judgements), but plays no role in everyday implicit conventional speech. However, as the authors draw a line between explicit and implicit tasks for the influence of orthographic knowledge on spoken language processing, it is worth to discuss this distinction. We agree that all task of metalinguistic knowledge, especially phoneme awareness task, that are directly linked to the perceived stimulus material in an experiment might be considered as 'explicit'. On the contrast, we assume that our lexical decision task—although explicit by itself— taps into automatic language word processing, because the task is not directly related to the manipulations in the design. In our experiments children are asked to identify a word under presented word and pseudo words. Importantly, this task is not linked to the experimental manipulation of the prime-word overlap. Thus, we think that the pre-activations of the primes on the words are 'implicitly' also working in 'natural' speech perception. Finally, to our knowledge this study is the only one that tested whether phonemes processed in an implicit language task are altered by letter knowledge and, thus, certainly more research on this field is needed.

In a recent study we found evidence in favor for the claim, that learning to read might influence speech perception. We investigated this by comparing non-reading preschoolers, reading preschoolers of the same age and older beginning readers. We applied an word-fragment-priming-paradigm where spoken syllable primes were followed by spoken target words (Schild, Röder, & Friedrich, 2011). The syllable was

either identical to the word (identity condition, e.g. mon-Monster), varied in the initial phoneme (variation condition, e.g. non-Monster) or was not related phonologically to the target word (control condition, e.g. pul-Monster). For the lexical decision task we also added pseudoword targets. As adults (Friedrich, Schild, & Röder, 2009), all readers—six year-old preschoolers and eight year-old pupils—differentiate between identity and variation condition according to their reaction times and amplitudes of event-related potentials (ERPs). This was not the case for the non-reading group of six year-old preschoolers. Their reaction times for the identity condition and the variation condition did not differ. We concluded that this different behavior between readers and non-readers roots in the ability of reading. The ERPs varied between 300-400 ms suggesting a locus on an early lexical processing stage rather than on post-lexical level. Thus, phoneme representations used in lexical access seemed to be more detailed in readers compared to non-readers. Furthermore, we showed that this shaping of the phonological system might be restricted to phonemes which have to be mapped onto graphemes during literacy acquisition. Information that is not coded in the writing system—like prosody—seems not to be altered through literacy acquisition (Schild, Becker, & Friedrich, 2014).

A comprehensible objection against our claim that preschoolers tolerate phonological details in speech perception more than reading children or adults, could be that already very young children perceive slightly mispronunciations of the initial phoneme familiar words (e.g., Swingley & Aslin, 2000; White & Morgan, 2008). In these studies the children heard whole words and saw two pictures, one of them corresponding to the heard (correct or mispronounced) word. In that design, the children automatically activate a search in the lexicon for possible candidates. Moreover they just have to 'search' for the candidates they saw on the screen. They detect the mismatch, because there is no fully overlap between auditory word and picture, but at the same time the mispronounced word and one of the two pictures have the most overlap, so that in turn the (tiny) mispronunciation is accepted as a variant of the correct word (Swingley, 2016). However, in our studies we used the fragment priming paradigm to tease out the architecture of word representations by using pre-activations. Here the prime or syllable preceding the target word pre-activates—at least—feature and/or phonological representations, but not necessarily semantic associations. Moreover, the task did not depend on the primed syllable, but only on the target word itself. These differences between the paradigm and tasks (activation through words while seeing pictures

versus pre-activation through prime-syllables that are irrelevant for the task itself) might differently initiate the activation process in the feature/phonological and/or semantic network leading to different outcomes.

In our former study (Schild et al., 2011) we only manipulated the place of articulation. One could argue that manipulations in PLACE-features are less salient for listeners, because PLACE varies in the speech signal naturally by co-articulation and, thus, representation might be in turn more unstable compared for example to voicing. But the question arises why this should be true only for non-reading preschoolers and not for readers. Furthermore, co-articulation should play in minor role when words are presented in isolation and, especially in word beginnings. Nonetheless, for having accumulation evidence it is worth to extend the former findings to other features, for instance to voicing. If one assumes voicing is a more salient feature than PLACE we have an even more conservative test to prove our assumptions.

To this end and to further confirm and extend the results of our former study, we now tested non-reading preschoolers, beginning readers and adults. Using a similar design we now varied not only PLACE (e.g., boc - doctor) in one experiment, but also VOICING (e.g., toc - doctor, henceforth VOICING) in another experiment. Moreover, we added a third experiment with a two-feature-manipulation where both PLACE & VOICING changed together between syllable prime and target word, e.g., poc - doctor. For this manipulation we expect all groups to show differences between identity and variation condition, because a two-feature change is more salient than a one-feature change (Sauval, Perre, & Casalis, 2018). We assume that all groups differ in reaction times in all experiments (PLACE, VOICING, PLACE & VOICING) for the critical conditions (identity versus variation) except the non-reading preschoolers who should not show a difference between the identity and the variation condition in experiments where only one feature was manipulated as in the PLACE and VOICING experiments. We know that basing interpretations on null-effects hold certain difficulties, but we think having assumptions about a specific pattern of reaction times obtained in many different conditions containing null effects only in particular comparisons justifies this approach. Furthermore, if the priming effect (variation condition minus identity condition) is related to phonological awareness, letter knowledge or reading proficiency, it should correlate positively with these skills.

Experiment 1

Materials and methods

Participants

Forty-eight participants took part in the first experiment. Of these participants sixteen were adults, mainly students of the University of Tübingen between 18 and 42 years of age ($M = 24.1$ years; $SE = 1.5$), sixteen were preschoolers (pre-readers) and sixteen were children of the second grade (readers). For demographic data of the children see Table 1. All participants were native speakers of German living in monolingual environment. All had normal or corrected-to-normal vision and none of the parents reported hearing problems of their child. Children were recruited and tested at local kindergartens and schools. Some parents came with their preschool children in our lab and were tested here. All parents and children gave their informed consent prior to their inclusion in the study. The children were offered a present after each of the two experimental sessions. The study was approved by the Ethics Committee of the German Psychological Association (Deutsche Gesellschaft für Psychologie, DGPs, 01.2014).

Materials and Design

Forty monomorphemic disyllabic German nouns stressed on the first syllable served as stimuli (see Appendix). Ten of the targets begin with b, d, p and t, respectively. The first syllable of each target word served as the prime in the identity condition. Strings were created from the words (e.g., pony) by changing the initial PLACE, e.g., “tony”. The first syllable of each of these strings served as a prime. Forty pronounceable pseudowords were created by changing the last phoneme/s of each word (e.g. Pony - *Pone). These pseudowords served as distractors for the go/no-go task. Eight additional stimuli were used in the practice trials. All stimuli were spoken by a female and a male professional native-speaker of German. Speakers were not aware of the specific aim of the study.

Digitized primes (first syllable fragments taken from the word and string utterances) and target words were combined according to their overlap (Identity condition: doc-doctor, Variation condition: boc - doctor; Control condition: par - doctor). Note that in the Control condition primes taken from words did not overlap in phonemes with the

first syllable of the target words. Each target word was presented once in each condition (Identity, Variation, Control). In 23% of the trials a pseudoword was presented instead of the target word. Pseudowords were combined with fragments in the same way as words. To prevent purely physical-acoustic priming, prime fragments were taken from the male speaker, and targets were taken from the female speaker. The experiment started with the instruction and fourteen practice trials. Eight experimental blocks followed. In four blocks 19 trials were presented in the other four blocks 20 trials were presented. Trials were randomized within the blocks. No target was repeated within a block. Each child received one of eight different sequences of the blocks. In sum, the experiment consisted of 156 trials (120 words and 36 pseudowords). The children were asked to 'collect' words by pressing a button whenever they hear a real word. An experimental trial began with the presentation of a fixation smile at the center of the screen. A fragment was presented via headphones 500 ms after the onset of the fixation picture. The target word or pseudoword was delivered 200 ms after the offset of the fragment. Participants were instructed to respond as fast and as accurate as possible to words, but refrain from responding when the target was a pseudoword. If an overt response was received, feedback was given for 2 s: a smiley was presented if the participant responded correctly to a word, whereas a ghost was presented if the participant incorrectly responded to a pseudoword. The next trial started after a 1.5 s intertrial interval. No feedback was delivered when no response occurred. After 3.5 s the fixation picture disappeared and the next trial started. Visual fixation (size: 1 cm × 1 cm) and feedback stimuli (size: 3 cm × 7 cm) were presented on a computer screen (distance: 50 cm) in front of the participants. All participants responded with the right index finger of their dominant hand.

Procedure

Children participated in two experimental sessions, which were approximately one week apart and lasted approximately one hour, each. In the first session, they did the priming experiment, the spy game and a letter knowledge test. In the spy game, which we adapted from Castles, Wilson, and Coltheart (2011), we first showed 13 cards with pictures of a cat, a knife, a nose, an ear, a palm, a tomato, a clock, a guitar, a pear, a dolphin, an elephant, a bottle and a monkey to the children and ask, 'What do you see?'. If the answer was not the word we seek for, we asked again 'What else can you

say to this?'. After ensuring that they know the right words to the pictures, we explained the spy game. Children saw all cards on the table and we asked 'I see something beginning with c. Can you give it to me?'. This game provided a score of phonemic identification for each child. In the letter knowledge test we ask the children whether they can read or write, whether they can write their own name or even more. Then we ask the children whether they know the following upper case and lower case letters: A, E, I, O, U, B, P, D and T thereby providing a score of letter knowledge for each child. If a preschool child was able to read and write it also did the reading test (WLLP-R, Schneider, Blanke, Faust, & Küspert, 2011). The reading test and four subtests of the phonological test BAKO (Stock, Marx, & Schneider, 2003) were also done with all readers in the second session. In addition, in the second session children did a categorical perception experiment and the CPM (Bulheller & Häcker, 2002) to measure intellectual abilities.

Data analysis

If participants more than 22% errors for the target words they were excluded from analysis. All correct responses to target words ranging between 200 and 2000 ms went into analysis. Reaction times (RTs) calculated from the onset of the word went into a repeated-measures ANOVA with the within three-level factor *Condition* (identity, variation, control) and the between factor *Age-group* (preschool, school, adults). The ANOVA was conducted over participants and over items. According to the specific hypothesis we did planned comparisons. The Greenhouse-Geisser Epsilon (ϵ) correction was applied to effects including the three-level factor *Condition*; corrected *p*-values were reported. In case of significant interactions, *t*-tests were computed to evaluate differences among conditions.

Results

Demographic data of the children and results of tests are seen in Table 1. Overall, adults made fewest errors (mean error rate: 0.4 %, range: 0 - 2.5 %), followed by the reading children (3.4 %; 0,8 - 7.5%). The preschoolers made most errors (8.1 %, 3.3 - 14.2 %). As can be seen in Figure 1 the priming was successfully elicited in all participants as indicated by fastest mean reaction times in the identity condition compared to slowest responses in the control condition. The overall ANOVA for reaction times revealed a significant main effect of *Condition* by participants, $F_1(2,90)$

= 39.0, $p < .001$, partial $\eta^2 = .46$, and by items, $F_2(2,232) = 44.9$, $p < .001$, partial $\eta^2 = .28$. Furthermore, the interaction of *Condition* and *Age-Group* was significant by participants, $F_1(4,90) = 3.8$, $p = .006$, partial $\eta^2 = .15$, as well as by items $F_2(4,232) = 3.6$, $p = .007$, partial $\eta^2 = .06$. For adults reactions times only differed significantly between identity and control condition, $t_{1/2} > 2.1$, $p \leq .05$, Cohen's $d_{1/2} \geq .26$. Reaction times of the identity condition and the variation condition reached only significance by items, $t_2(39) = 2.7$, $p = .01$, Cohen's $d = .42$. In reading children responses of all conditions differed, all $t_{1/2} \geq 4.8$, $p < .001$, Cohen's $d_{1/2} \geq .74$, except the responses in the variation and the control condition. Preschoolers showed significant differences between all three conditions, all $t_{1/2} \geq 2.3$, $p \leq .02$, Cohen's $d \geq .25$. For a detailed overview of the results, see Table 2.

In sum, all participants showed priming differences if the PLACE feature was varied compared to the identical condition. However, for adults the difference between Identity and Variation condition was only significant for the by-items, but not for the by-participants analysis.

Experiment 2

Participants

Forty-eight participants different from the participants in the first experiment took part in the second experiment (16 adults between 18 and 31 years of age ($M = 23.8$ years, $SE = 1.0$); 16 preschoolers (pre-readers) and 16 children of the second grade - readers). For demographic data of the children see Table 1.

Materials and Procedure

Materials, procedure and data analysis were identical to the first experiment except that we now varied the voicing instead of the place of articulation in the Variation-condition (Identical condition: doc – doctor, Variation condition: toc - doctor; Control condition: par - doctor).

Results and discussion

Overall, adults made fewest errors (mean error rate: 0.4 %, range: 0 - 1.7 %), followed by the reading children (2.2 %, 0 - 9.2%). The preschoolers made most errors (8.6 %,

3.3 - 19.2 %). As for the first experiment, the priming was successfully elicited in all participants as indicated by fastest mean reaction times in the identity condition compared to slowest responses in the control condition (Figure 1). Similar to the first experiment the overall ANOVA for reaction times showed a significant main effect of *Condition* by participants, $F_1(2,90) = 42.3, p < .001$, partial $\eta^2 = .48$, and by items $F_2(2,232) = 51.8, p < .001$, partial $\eta^2 = .31$. Furthermore, the interaction of *Condition* and *Age-Group* was significant by participants $F_1(4,90) = 3.4, p = .012$, partial $\eta^2 = .13$, and by items $F_2(4,232) = 3.6, p = .007$, partial $\eta^2 = .06$. For adults responses of all conditions differed, all $t_{1/2} \geq 2.7, p \leq .02$, Cohen's $d_{1/2} \geq .25$, except the responses in the variation and the control condition. Reading children showed significant differences between all three conditions, all $t_{1/2} > 2.6, p \leq .01$, Cohen's $d_{1/2} \geq .28$. However, preschoolers showed significant differences between all three conditions, all $t_{1/2} \geq 2.1, p \leq .05$, Cohen's $d_{1/2} \geq .41$, except for the difference between the responses of the identity and the variation condition. Here the preschoolers showed a difference in the analysis by items, $t_2(38) = 2.0, p = .05$, Cohen's $d = .41$, but not in the analysis by participants, $t_1 = 1.7, ns$. For a detailed overview of the results, see Table 2.

In sum, adults and reading pupils showed priming differences if the voicing feature was varied compared to the identical condition. However, preschoolers did not show priming differences for the feature VOICING (at least for the by-participants analysis).

Experiment 3

Participants

Forty-eight participants different from the participants in the first experiment took part in the second experiment (16 adults between 19 and 41 years of age ($M = 23.4$ years, $SE = 1.6$); 16 preschoolers (pre-readers) and 16 children of the second grade - readers). For demographic data of the children see Table 1.

Materials and Procedure

Materials, procedure and data analysis were identical to the first and second experiment except that we now varied both the place of articulation and the voicing in the Variation-condition (Identical condition: doc – doctor, Variation condition: poc - doctor; Control condition: par - doctor).

Results

Overall, adults made fewest errors (mean error rate: 0.8 %, range: 0 - 9.1 %), followed by the reading children (2.8 %, 0 - 6.7%). The preschoolers made most errors (7.6 %, 0.8 - 20.8 %). As for experiment 1 and 2, the priming was successfully elicited in all participants as indicated by fastest mean reaction times in the identity condition compared to slowest responses in the control condition (Figure 1). The overall ANOVA for reaction times showed only a significant main effect of *Condition* by participants, $F_1(2,90) = 39.9$, $p < .001$, partial $\eta^2 = .47$, and by items $F_2(2,234) = 45.4$, $p < .001$, partial $\eta^2 = .28$. The interaction of both factors was not significant, neither by participants, $F_1 = 1.3$, $p > .10$, nor by items, $F_2 = 1.9$, $p > .10$. Reaction times were different from each other in all conditions, all $t_{1/2} \geq 4.2$, $p < .001$, Cohen's $d_{1/2} \geq .10$. For a detailed overview of the results, see Table 2. In sum, all adults and children showed priming difference if we varied two features, namely PLACE and VOICING, compared to the identical condition.

Table 1. Demographic data and results of tests for pre-reading and reading children for each Experiment.

	Age in months mean (standard error), range	Sex female/ male	Spy game (max. 13)	Spy game (b,d,p,t - max. 4)	Letter knowledge Upper case letter/ Lower case letter	Letter knowledge (b,d,p,t) Upper case letter/ Lower case letter	CPM (Bulheller & Häcker, 2002) - raw score/ percentile rank	WLLP-R (Schneider et al., 2011) - raw score/ percentile rank	Subtests BAKO (Stock et al., 2003)
Preschoolers Across Experiments	74.1 (0.6), 63 - 82	30/ 18	8.3 (0.5), 1 - 13	2.3 (0.2), 0 - 4	6.3 (0.3), 2 - 9 4.2 (0.3), 0 - 9	2.3 (0.2), 0 - 4 0.9 (0.1), 0 - 4	21.3 (0.6)/ 57.7 (3.6)		
Exp.1 - PLACE	72.1 (1.1)	11/5	7.5 (1.0)	2 (0.4)	5.9 (0.6) 4.3 (0.5)	2.0 (0.4) 0.6 (0.2)	20.1 (1.0)		
Exp.2 - VOICING	72.4 (1.3)	11/5	9.3 (0.9)	2.8 (0.3)	6.9 (0.6) 4.8 (0.6)	2.6 (0.3) 1.3 (0.2)	20.8 (1.0)		
Exp.3 - PLACE& VOICING	75.9 (1.3)	8/8	8.1 (0.9)	2.2 (0.4)	6.1 (0.5) 3.7 (0.6)	2.4 (0.3) 1.0 (0.3)	23.0 (1.2)		
Significant differences between			ns	ns	ns	PLACE vs. VOICING: $t(30)$ = 2.3, $p = .03$	ns		ns

experimental groups of Preschoolers									
Readers across Experiment	100 (0.7) , 91 - 115	25/ 23	12.8 (0.1), 9 - 13	3.9 (0.1), 2 - 4	9 (0) 8.9 (0.05), 7 - 9	4 (0), 4 4 (0), 4	29.9 (0.6)/ 62.2 (3.7)	79.3 (3.6)/ 65.2 (4.7)	6.0 (0.2) 5.9 (0.2) 7.2 (0.3) 9.3 (0.7)
Exp.1 - PLACE	99.1 (1.3)	8/8	12.9 (0.6)	3.9 (0.6)	9 (0) 9 (0)	4 (0) 4 (0)	28.9 (0.8)	83.7 (6.6)	5.8 (0.3) 5.8 (0.3) 7.6 (0.5) 5.2 (1.3)
Exp.2 - VOICING	109 (1.1)	7/9	12.7 (0.3)	3.9 (0.1)	9 (0) 8.9 (0.1)	4 (0) 4 (0)	31.1 (1.0)	79.3 (6.4)	6.4 (0.4) 6.1 (0.2) 7.3 (0.6) 10.4 (1.2)
Exp.3 - PLACE & VOICING	100.1 (1.5)	8/8	12.8 (0.2)	3.9 (0.1)	9 (0) 8.9 (0.1)	4 (0) 4 (0)	29.7 (1.2)	74.8 (5.6)	5.8 (0.6) 5.8 (0.4) 6.8 (0.7) 9.6 (1.3)

Significant differences between experimental groups of Readers			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Significant differences between Preschoolers and Readers across experiments			$t(94) = 8.1, p < .001$		$t(94) = 8.3, p < .001/$ $t(94) = 15.3, p < .001$		$t(94) = 9.9, p < .001/$ $t < 1$ ns* for percentile rank		6.0 (0.2) 5.9 (0.2) 7.2 (0.3) 9.3 (0.7)

*ns = not significant

Figure 1. Mean reaction times for all experiments

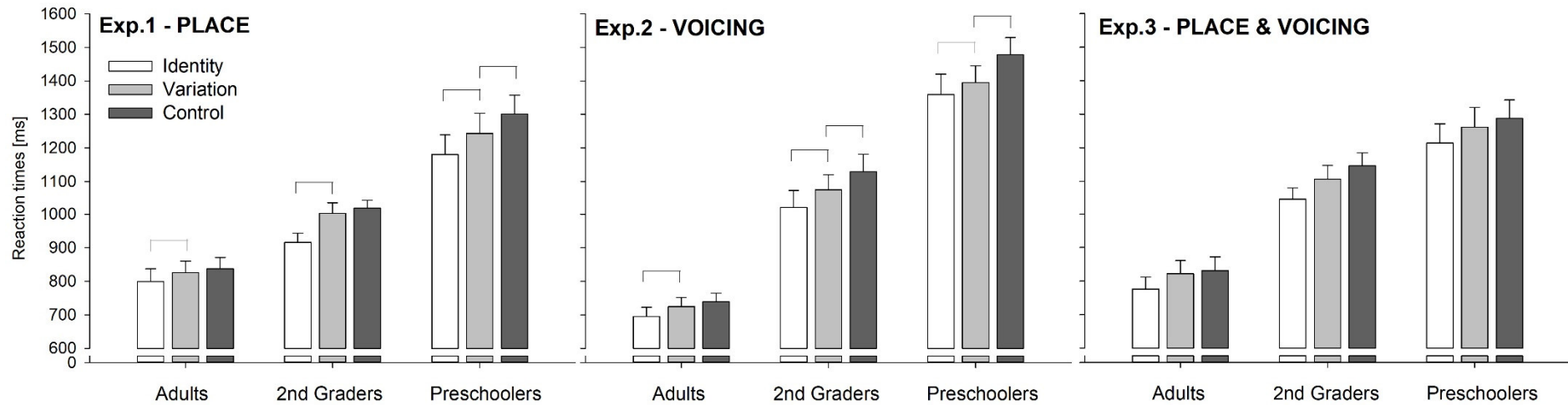


Figure 1. Mean reaction times for all experiments (Exp.1 - PLACE, Exp.2 - VOICING, Exp.3 - PLACE & VOCING), for all age groups (preschoolers, second graders, adults) and for all conditions (Identity, Variation, Control), respectively. Error bars indicate standard errors. Significant differences for both by-participants and by-items analysis are indicated in black. Significant difference for by-items, but not for by-participants analysis, are indicated in grey. Note, that for all experiments and for all groups the Identity and Control conditions differed significantly. For experiment 3 no interaction with group was obtained, here all conditions differed from each other across groups.

Table 2. Single comparisons for each experiment, each group and each condition by participants/by items. For the PLACE & VOICING experiment all age groups are pooled together due to the lack of the interaction (see Results section).

	PLACE Experiment 1		
	Identity versus Variation condition	Identity versus Control condition	Variation versus Control condition
Preschoolers			
by participants	$t(15) = 5.92, p < .001, \text{Cohen's } d = 1.50$	$t(15) = 6.03, p < .0001, \text{Cohen's } d = 1.49$	$t(15) = 3.59, p = .003, \text{Cohen's } d = 0.89$
by items	$t(39) = 3.14, p = .003, \text{Cohen's } d = 0.54$	$t(39) = 6.13, p < .0001, \text{Cohen's } d = 1.03$	$t(39) = 2.33, p = .025, \text{Cohen's } d = 0.36$
Second graders			
by participants	$t(15) = 5.20, p < .0001, \text{Cohen's } d = 1.42$	$t(15) = 4.86, p < .0001, \text{Cohen's } d = 1.51$	n.s.
by items	$t(38) = 5.77, p < .0001, \text{Cohen's } d = 0.91$	$t(38) = 6.41, p < .0001, \text{Cohen's } d = 1.13$	n.s.
Adults			
by participants	n.s.	$t(15) = 2.12, p = .051, \text{Cohen's } d = 0.51$	n.s.
by items	$t(39) = 2.70, p = .01, \text{Cohen's } d = 0.41$	$t(39) = 3.45, p = .001, \text{Cohen's } d = 0.53$	n.s.
	VOICING Experiment 2		
Preschoolers			
by participants	n.s.	$t(15) = 5.56, p < .0001, \text{Cohen's } d = 1.43$	$t(15) = 3.83, p = .002, \text{Cohen's } d = 0.971$
by items	$t(39) = 2.06, p = .046, \text{Cohen's } d = 0.31$	$t(39) = 7.43, p < .0001, \text{Cohen's } d = 1.04$	$t(39) = 4.69, p < .0001, \text{Cohen's } d = 0.77$
Second graders			
by participants	$t(15) = 5.71, p < .0001, \text{Cohen's } d = 1.62$	$t(15) = 9.99, p < .0001, \text{Cohen's } d = 2.70$	$t(15) = 2.89, p = .011, \text{Cohen's } d = 0.71$

by items	$t(39) = 3.00, p = .005, \text{Cohen's } d = 0.27$	$t(39) = 6.48, p < .0001, \text{Cohen's } d = 0.94$	$t(39) = 2.65, p = .011, \text{Cohen's } d = 0.44$
Adults			
by participants	$t(15) = 2.70, p = .016, \text{Cohen's } d = 0.69$	$t(15) = 3.38, p = .004, \text{Cohen's } d = 0.82$	n.s.
by items	$t(39) = 3.40, p = .002, \text{Cohen's } d = 0.50$	$t(39) = 4.32, p < .0001, \text{Cohen's } d = 0.63$	n.s.
	PLACE & VOICING Experiment 3		
All groups			
by participants	$t(47) = 6.80, p < .0001, \text{Cohen's } d = 1.00$	$t(47) = 8.75, p < .0001, \text{Cohen's } d = 1.31$	$t(47) = 2.50, p = .016, \text{Cohen's } d = 0.36$
by items	$t(119) = 6.55, p < .0001, \text{Cohen's } d = 0.60$	$t(119) = 9.28, p < .0001, \text{Cohen's } d = 0.87$	$t(119) = 2.56, p = .011, \text{Cohen's } d = 0.241$

Correlations across all experiments

To investigate whether phonological awareness and letter knowledge relate to the pattern of the reaction times, we correlated the priming effect (RT difference between the variation and the identity condition) with the scores of the spy game and with the scores of the letter knowledge test in the children. For the readers we also did correlations with the raw scores of the reading test (WLLP-R) and with the raw scores of the phonological tests (BAKO).

We correlated the priming effect (difference of the reaction times between the variation and the identity condition; RTdiff) with the spy game scores and the letter knowledge scores of all children. Two-tailed Pearson correlation revealed a marginal positive correlation of $r = .19$, $p = .07$, between RTdiff and the spy game scores, suggesting a (rather weak) relation between phonological skills and more detailed lexical representations. No other correlations with RTdiff were significant. Within the group of the beginning readers, RTdiff correlated neither with the reading test nor with any of the subtests of the phonological test. Due to the ceiling effect no correlations could be calculated for the letter knowledge (upper case, see also Table 1).

In sum, over all children, but not in the single groups, the priming effect (RTdiff) correlated marginally with one phonological measure (spy game), but not with orthographic knowledge.

Discussion

In three auditory word onset priming experiments we tested adults, second graders and non-reading preschoolers. We varied the overlap of a syllable fragment and the corresponding target word within three conditions: (i) the fragment was identical to the target word (e.g. doc - Doctor), (ii) the fragment varied in the first phoneme from the target word or (iii) the fragment was unrelated to the target word (e.g., par - doctor, control condition). The variation condition was differentially realized in each experiment. In the first experiment we varied the feature PLACE (e.g., boc - doctor), in the second experiment we varied the feature VOICING (e.g., toc - doctor) and in the third experiment we varied the two features (PLACE & VOICING) at once (e.g., poc - doctor). We assumed that readers (adults and second graders) differ in reaction times

to target words in all experiments (PLACE, VOICING, PLACE & VOICING) for the critical conditions (identity versus variation). This assumption was mainly supported by the data. Only in the by participant analysis for adults in the PLACE experiment between the identity and the variation condition did not reach significance. This differed from our former study where adults showed gradual reaction times for PLACE (Friedrich et al., 2009).

If the hypothesis is true, that non-reading children tolerate deviating phonological information on a fine-grained level, then they should not show a difference between the identity and the variation condition in experiments where only one feature was manipulated as in the PLACE and VOICING experiments. This hypothesis was only partially supported. Only for VOICING, but not for PLACE, preschoolers showed no significant difference for the critical conditions. Moreover, for VOICING only the analysis by participants was not significantly different; whereas a difference was obtained in the by item analysis. In contrast, in Schild et al. (2011) preschoolers showed no differences between identity and variation condition for PLACE. One could argue that both groups of preschoolers from the two studies differed in phonological and/or letter knowledge and that this knowledge in turn might explain the better performance of the pre-reading children in the present study. However, by the same time, it is difficult to explain why the adults showed no differences between the identity and variation condition in the PLACE-experiment of the present study.

In the introduction we argued that manipulation of voicing might even be a more conservative test for our hypothesis than the manipulation of PLACE. The data did not support that. Thus, taking both studies together it seems that neither the PLACE nor the VOICING manipulation turned out to be more 'effective'. Across all experiments it seems that reading children showed the 'most' gradual priming. All conditions differed from each other except the variation and control condition in the PLACE experiment. This may be a hint that the second graders, being in the actual process of learning reading and writing are highly sensitive to grapheme-phoneme/letter-correspondences which might expand to the sensibility of speech perception. They did not only differentiate between identity and variation condition, but at the same time, between the variation and control condition. The latter was not the case for the adults, who reacted equally fast to target words irrespective whether a slightly varied syllable or a complete unrelated syllable preceded the target word. However, also the preschoolers

differentiate between variation and control condition. Thus, an alternative explanation for these differences between children and adults might be provided by different neighborhood activations (e.g., Garlock, Walley, & Metsala, 2001; Storkel, 2002; Walley, Metsala, & Garlock, 2003). As the number of words in the mental lexicon increases with age, adults possess more words than children and therewith have more lexical neighbors. If the syllable primes from the present study activate more neighbors in adults, but not in children, because vocabularies are smaller in children than in adults, then syllables in the variation condition are more tolerated to activate words by children than by adults, which seemed to be supported by the data. Again, at first glance this contradicts the results of the adults showing gradual priming in Friedrich et al. (2009). However, as different stimuli were used, it might be that varied syllable primes used in the present study activated more words in the neighborhood than the stimuli used by Friedrich et al. (2009).

Another interesting aspect is whether there is a processing difference of the priming effect between one-feature and two-feature change. If pre-activation depends on feature representations—as TRACE (McClelland & Elman, 1986) or the cohort-model (Marslen-Wilson, 1987) would predict—than one-feature variation should lead to a bigger priming effect than two-feature variation. This is not supported by the data (mean priming effect for one-feature variation: 49.2 (SE 6.7); mean priming effect for two-feature variation: 51.8 (SE 7.6), difference between both: $t < 1$, ns). Of course, this result has to be taken with caution because of the between-subject design as well as the problem of interpreting data on the basis of the null results. On the other hand, a comparison might be justified because target words were the same for the three experiments and we did not compare the pure reaction times between the groups, but rather the dependent measure (the priming effect), which was a difference measure and, therewith, more justified to be compared between the different groups. At least, results match with other studies favoring phonemic representations over feature representations (e.g., Bölte & Coenen, 2002; Milberg, Blumstein, & Dworetzky, 1988). If this priming effect is modulated at all by one of the examined factors (explicit phonological knowledge, orthographical knowledge or reading proficiency), our data suggests that the most probable would be explicit phonological knowledge. However, the correlation of the priming effect and scores of the spy game was only marginal, and only found when all children entered the analysis, but not when the groups were

analyzed separately. We also found no correlation of the priming effect and the phonological measures (BAKO) in the second graders. For sure, orthographic knowledge as measured by letter knowledge or reading proficiency did not modulate the priming effect. One could speculate that the preschoolers that took part in our study already had a good amount of explicit phonological knowledge. In the spy game they recognized 8.3 out of 13 phonemes. They also already knew above 50% of the letters (6.3 out of 9 upper case letters, 4.2 out of 9 lower case letters, see Table 1). Thus, we assume that having a good amount of phonological and letter knowledge (by the same time without being able to read whole words) might enable even children to perceive spoken language very detailed. However, this might be true for PLACE, but less true for VOICING. Although not directly comparable, it could be the case that the children from our former study (Schild et al., 2011), that showed a less fine-grained processing of spoken-language detail in the same paradigm, were less competent in both, phonological knowledge and letter knowledge than the preschoolers from our present study. Thus the pre-reading preschoolers from the present study might in fact be more comparable to the reading preschoolers in our former study than to the pre-reading preschoolers in our former study (Schild et al., 2011). To answer this question ultimately one has to examine (younger) children with fewer phonological and letter knowledge. Moreover, concerning the VOICING manipulation, where preschoolers showed more tolerance than second readers to the variation or the prime-target pairs, it would be interesting to examine first graders. Maybe for them one would find a correlation between the priming effect and certain phonological knowledge or letter knowledge as they were in-between the two age groups examined in the present study. Thus, taking into account the special characteristics of our pre-reading children it is difficult to decide whether literacy acquisition sharpens the spoken language perception further. Or, alternatively, as classical models of speech perception would suggest (Marslen-Wilson, 1987; McClelland & Elman, 1986) that fine-grained word representations exist for prereaders without a link to literacy acquisition. However, even if our study does not provide clear evidence in favor or against an influence of literacy acquisition this does not exclude that on a more complex level than phoneme representations orthography influences spoken word perception like in studies dealing with the orthographic consistency effect (e.g., Goswami et al., 2005; Perre et al., 2009; Ventura et al., 2007; Ziegler & Ferrand, 1998).

In reading children we found no correlation of phonological scores (BAKO) or reading with the priming effect. Next to the finding that already preschoolers are sensitive to the PLACE variation, this suggests, if there is an influence of literacy on spoken word perception, it took place at a very early level in the process of learning to read and is even finished when pupils attend the second grade. Finally, as word-initial stop consonants—as used in this study— seem more perceptible as other consonants (e.g., fricatives) in other positions of the word (e.g., Cole, Jakimik, & Cooper, 1978) our paradigm provided a rather strong conservative test. It might be the case that other consonants than stop-consonants in other positions, for instances in word-medial or word-final position, would be more prone to the influence of literacy acquisition. To settle the issue, more research is clearly needed.

Conclusions

The data from the present study suggests that auditory word recognition is not sharpened strongly through reading acquisition. We obtained only a tiny hint, that pre-reading preschoolers might tolerate more detail occurring in phonological variations during word recognition than readers. Moreover, the obtained priming effect was only marginally correlated to one measures of phonological awareness, but neither to letter knowledge nor to reading efficiency nor phonological awareness measured in second graders. However, specific characteristic of the preschoolers might impede the interpretation.

Acknowledgement

We are grateful to Anne-Lena Dursch, Stella Gellner, Katrin Harland, Helen-Iris Haßler, Melanie Mainhart, Elisabeth Reiss, Lara M. Schubert, Corinna Sophie Welsch, Natalie Speiser, for assistance in collecting the data. We thank all kindergardens, schools, parents and children that participated in our study.

Appendix

Targets	Engl.	Fragments in the			Fragments and corresponding words in			Pseudowords	
		IDENTITY condition	VARIATION conditions		CONTROL conditions				
		IDENTITY	PLACE	VOICING	PLACE & VOICING	PLACE	VOICING	PLACE & VOICING	
b		b	d	p	t	P-T-Word	D-T-Words	D-P-Word	
<i>Baby*</i>	<i>baby</i>	<i>ba</i>	<i>da</i>	<i>pa</i>	<i>ta</i>	-	-	-	<i>bames</i>
Bauer	farmer	bau	dau	pau	tau	peit - Peitsche	da - Dame	da - Dame	baucher
Becher	beaker	be	de	pe	te	trom - Trommel	trom - Trommel	pup - Puppe	boxi
Besen	broom	be	de	pe	te	ton - Tonne	tau - Taucher	pan - Panther	beme
<i>Biber</i>	<i>beaver</i>	<i>bi</i>	<i>di</i>	<i>pi</i>	<i>ti</i>	-	-	-	<i>bische</i>
Biene	bee	bi	di	pi	ti	toch - Tochter	toch - Tochter	par - Party	biesen
Birne	pear	bir	dir	pir	tir	pud - Pudding	dec - Deckel	pul - Pulver	birre
Boden	floor	bo	do	po	to	pau - Pause	dac - Dackel	dac - Dackel	bomen
Brezel	prezel	bre	dre	pre	tre	tun - Tunnel	tun - Tunnel	pin - Pinsel	brene
Brücke	bridge	brüc	drüc	prüc	trüc	pap - Pappe	don - Donner	don - Donner	brückel
Bruder	brother	bru	dru	pru	tru	ta - Taxi	ta - Taxi	dec - Deckel	bruse
Butter	butter	but	dut	put	tut	po - Pony	dü - Düse	dü - Düse	butty
d		d	b	t	p	T - P - Word	B - P - Word	B - T - Word	
Dackel	dachshund	dac	bac	tac	pac	tepp - Teppich	bo - Boden	bo - Boden	dacke

Dame	lady	da	ba	ta	pa	tau - Taucher	bau - Bauer	bau - Bauer	dache
Daumen	thumb	dau	bau	tau	pau	pin - Pinsel	pin - Pinsel	toch - Tochter	dause
Deckel	cover	dec	bec	tec	pec	trü - Trüne	bir - Birne	bru - Bruder	dector
<i>Diener</i>	<i>servant</i>	<i>die</i>	<i>bie</i>	<i>tie</i>	<i>pie</i>	-	-	-	<i>diete</i>
Doktor	doctor	dok	bok	tok	pok	par - Party	par - Party	tun - Tunnel	dokich
Donner	thunder	don	bon	ton	pon	pup - Puppe	brüc - Brücke	brüc - Brücke	donny
Dose	can	do	bo	to	po	pan - Panther	pan - Panther	tau - Taucher	dokel
Drache	dragon	dra	bra	tra	pra	pul - Pulver	pul - Pulver	teu - Teufel	draden
Dürre	drought	dü	bü	tü	pü	teu - Teufel	pup - Puppe	ta - Taxi	dücher
<i>Dusche</i>	<i>shower</i>	<i>du</i>	<i>bu</i>	<i>tu</i>	<i>pu</i>	-	-	-	<i>duner</i>
Düse	tuyère	dü	bü	tü	pü	trep - Treppe	but - Butter	but - Butter	düpe
p		p	t	b	d	B - D - Word	T - D - Word	T - B - Word	
Panther	panther	pan	tan	ban	dan	do - Dose	do - Dose	be - Besen	panver
Pappe	cardboard	pap	tap	bap	dap	brüc - Brücke	teu - Teufel	trom - Trommel	papfel
Party	party	par	tar	bar	dar	dok - Doktor	dok - Doktor	bie - Biene	parsel
Pause	break	pau	tau	bau	dau	bo - Boden	tep - Teppich	tep - Teppich	paunel
Peitsche	whip	peit	teit	beit	deit	Bau - Bauer	ton - Tonne	ton - Tonne	peitter
Pinsel	paintbrush	pin	tin	bin	din	dau - Daumen	dau - Daumen	bre - Brezel	pinther
<i>Pommes</i>	<i>fires</i>	<i>pom</i>	<i>tom</i>	<i>bom</i>	<i>dom</i>	-	-	-	<i>pomse</i>

Pony	pony	po	to	bo	do	but - Butter	trep - Treppe	trep - Treppe	pone
Pudding	pudding	pud	tud	bud	dud	bir - Birne	trä - Träne	trä - Träne	pudder
Pulver	powder	pul	tul	bul	dul	dra - Drache	dra - Drache	bir - Birne	pulsche
Puppe	doll	pup	tup	bup	dup	don - Donner	dü - Dürre	be - Becher	pupner
<i>Puzzle</i>	<i>puzzle</i>	<i>puz</i>	<i>tuz</i>	<i>buz</i>	<i>duz</i>	-	-	-	<i>puzby</i>
t		t	p	d	b	D - B - WORD	P - B - Word	P - D - Word	
<i>Tante</i>	<i>aunt</i>	<i>tan</i>	<i>pan</i>	<i>dan</i>	<i>ban</i>	-	-	-	<i>tanel</i>
<i>Tasse</i>	<i>cup</i>	<i>tas</i>	<i>pas</i>	<i>das</i>	<i>bas</i>	-	-	-	<i>tassber</i>
Taucher	diver	tau	pau	dau	bau	da - Dame	be - Besen	do - Dose	taune
Taxi	taxi	ta	pa	da	ba	bru - Bruder	bru - Bruder	dü - Dürre	tamel
Teppich	carpet	tep	pep	dep	bep	dac - Dackel	pau - Pause	pau - Pause	teppe
Teufel	devil	teu	peu	deu	beu	dü - Dürre	pap - Pappe	dra - Drache	teuse
Tochter	daughter	toch	poch	doch	boch	bie - Biene	bie - Biene	dau - Daumen	tochpe
Tonne	ton	ton	pon	don	bon	be - Besen	peit - Peitsche	peit - Peitsche	tozel
Träne	tear	trae	prä	drä	brä	dec - Deckel	pud - Pudding	pud - Pudding	träter
Treppe	stairs	trep	prep	drep	brep	dü - Düse	po - Pony	po - Pony	trepping
Trommel	drum	trom	prom	drom	brom	be - Becher	be - Becher	pap - Pappe	trommer
Tunnel	tunnel	tun	pun	dun	bun	bre - Brezel	bre - Brezel	dok - Doktor	tunne

* Words printed in grey served as practice stimuli.

References

- Bölte, J., & Coenen, E. (2002). Is phonological information mapped onto semantic information in a one-to-one manner? *Brain and Language*, *81*, 384-397.
- Brennan, C., Cao, F., Pedroarena-Leal, N., McNorgan, C., & Booth, J. R. (2013). Reading acquisition reorganizes the phonological awareness network only in alphabetic writing systems. *Human Brain Mapping*, *34*, 3354-3368. doi: 10.1002/hbm.22147
- Bulheller, S., & Häcker, H. O. (2002). Coloured Progressive Matrices (CPM). Deutsche Bearbeitung und Normierung nach J. C. Raven. *Frankfurt: Pearson Assessment*.
- Castles, A., Wilson, K., & Coltheart, M. (2011). Early orthographic influences on phonemic awareness tasks: evidence from a preschool training study. *J Exp Child Psychol*, *108*, 203-210. doi: 10.1016/j.jecp.2010.07.006
- Castro-Caldas, A., Petersson, K. M., Reis, A., Stone-Elander, S., & Ingvar, M. (1998). The illiterate brain. Learning to read and write during childhood influences the functional organization of the adult brain. *Brain*, *121 (Pt 6)*, 1053-1063.
- Cole, R. A., Jakimik, J., & Cooper, W. E. (1978). Perceptibility of phonetic features in fluent speech. *Journal of the Acoustical Society of America*, *64*, 44-56.
- Friedrich, C. K., Schild, U., & Röder, B. (2009). Electrophysiological indices of word fragment priming allow characterizing neural stages of speech recognition. *Biol Psychol*, *80*, 105-113. doi: 10.1016/j.biopsycho.2008.04.012
- Garlock, V. M., Walley, A. C., & Metsala, J. L. (2001). Age-of-Acquisition, Word Frequency, and Neighborhood Density Effects on Spoken Word Recognition by Children and Adults. *J Mem Lang*, *45*, 468-492.
- Goswami, U., Ziegler, J. C., & Richardson, U. (2005). The effects of spelling consistency on phonological awareness: a comparison of English and German. *J Exp Child Psychol*, *92*, 345-365.
- Grainger, J., & Ferrand, L. (1994). Phonology and orthography in visual word recognition: Effects of masked homophone primes. *J Mem Lang*, *33*, 218-233.

- Grainger, J., & Ferrand, L. (1996). Masked orthographic and phonological priming in visual word recognition and naming: Cross- task comparisons. *Journal of Memory and Language*, *35*, 623-647. doi: 10.1006/jmla.1996.0033
- Grainger, J., & Holcomb, P. J. (2009). Watching the Word Go by: On the Time-course of Component Processes in Visual Word Recognition. *Lang Linguist Compass*, *3*, 128-156. doi: 10.1111/j.1749-818X.2008.00121.x
- Marslen-Wilson, W. (1987). Functional parallelism in spoken word-recognition. *Cognition: International Journal of Cognitive Science*, *25*, 71-102.
- McClelland, J. L., & Elman, J. L. (1986). The TRACE model of speech perception. *Cognitive Psychology*, *18*, 1-86. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285\(86\)90015-0](http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285(86)90015-0)
- Melby-Lervag, M., Lyster, S. A., & Hulme, C. (2012). Phonological skills and their role in learning to read: a meta-analytic review. *Psychol Bull*, *138*, 322-352. doi: 10.1037/a0026744
- Milberg, W., Blumstein, S., & Dworetzky, B. (1988). Phonological factors in lexical access: Evidence from an auditory lexical decision task. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *26*, 305-308. doi: 10.3758/bf03337665
- Mitterer, H., & Reinisch, E. (2015). Letters don't matter: No effect of orthography on the perception of conversational speech. *Journal of Memory and Language*, *85*, 116-134. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jml.2015.08.005>
- Morais, J., 1993. Phonemic awareness, language and literacy. In: Joshi, R.M., Leong, C.K. (Eds.), *Reading Disabilities: Diagnosis and Component Processes*. Kluwer, New York, pp. 175–184.
- Morais, J., Cary, L., Alegria, J., & Bertelson, P. (1979). Does awareness of speech as a sequence of phones arise spontaneously? *Cognition: International Journal of Cognitive Science*, *7*, 323-331.
- Morais, J., & Kolinsky, R. (2002). Literacy effects on language and cognition. In L. Bäckman & C. von Hofsten (Eds.), *Psychology at the turn of the millennium, Vol. 1. Cognitive, biological, and health perspectives* (p. 507–530). Psychology Press/Taylor & Francis (UK). Näslund, J. C. (1990). The interrelationships

- among preschool predictors of reading acquisition for German children. *Reading and Writing*, 2, 327-360. doi: 10.1007/BF00419387
- Näslund, J. C., & Schneider, W. (1996). Kindergarten Letter Knowledge, Phonological Skills, and Memory Processes: Relative Effects on Early Literacy. *J Exp Child Psychol*, 62, 30-59. doi: <http://dx.doi.org/10.1006/jecp.1996.0021>
- Perre, L., Midgley, K., & Ziegler, J. C. (2009). When beef primes reef more than leaf: orthographic information affects phonological priming in spoken word recognition. *Psychophysiology*, 46, 739-746. doi: 10.1111/j.1469-8986.2009.00813.x
- Reis, A., & Castro-Caldas, A. (1997). Illiteracy: a cause for biased cognitive development. *J Int Neuropsychol Soc*, 3, 444-450.
- Schild, U., Becker, A. B. C., & Friedrich, C. K. (2014). Processing of syllable stress is functionally different from phoneme processing and does not profit from literacy acquisition. *Frontiers in Psychology*, 5. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00530
- Schild, U., Röder, B., & Friedrich, C. K. (2011). Learning to read shapes the activation of neural lexical representations in the speech recognition pathway. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 1, 163-174. doi: 10.1016/j.dcn.2010.11.002
- Schneider, W., Blanke, I., Faust, V., & Küspert, P. (2011). WLLP-R. Würzburger Leise Leseprobe - Revision. Ein Gruppentest für die Grundschule. *Göttingen: Hogrefe*.
- Stock, C., Marx, P., & Schneider, W. (2003). BAKO 1–4. Basiskompetenzen für Leserechtschreibleistungen. Ein Test zur Erfassung der phonologischen Bewusstheit vom ersten bis vierten Grundschuljahr. Göttingen: Beltz Test GmbH.
- Storkel, H. L. (2002). Restructuring of similarity neighbourhoods in the developing mental lexicon. *J Child Lang*, 29, 251-274.
- Swingle, D. (2016). Two-year-olds interpret novel phonological neighbors as familiar words. *Dev Psychol*, 52, 1011-1023. doi: 10.1037/dev0000114

- Swingley, D., & Aslin, R. N. (2000). Spoken word recognition and lexical representation in very young children. *Cognition: International Journal of Cognitive Science*, 76, 147-166.
- Ventura, P., Morais, J., & Kolinsky, R. (2007). The development of the orthographic consistency effect in speech recognition: from sublexical to lexical involvement. *Cognition: International Journal of Cognitive Science*, 105, 547-576. doi: 10.1016/j.cognition.2006.12.005
- Wagner, R. K., Torgesen, J. K., Rashotte, C. A., Hecht, S. A., Barker, T. A., Burgess, S. R., . . . Garon, T. (1997). Changing relations between phonological processing abilities and word-level reading as children develop from beginning to skilled readers: a 5-year longitudinal study. *Dev Psychol*, 33, 468-479.
- Walley, A., Metsala, J., & Garlock, V. M. (2003). Spoken vocabulary growth: Its role in the development of phoneme awareness and early reading ability. *Reading and Writing*, 16, 5-20. doi: doi:10.1023/a:1021789804977
- White, K. S., & Morgan, J. L. (2008). Sub-segmental detail in early lexical representations. *Journal of Memory and Language*, 59, 114-132. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jml.2008.03.001>
- Ziegler, J. C., & Ferrand, L. (1998). Orthography shapes the perception of speech: The consistency effect in auditory word recognition. *Psychonom Bull Rev*, 5, 683-689. doi: 10.3758/BF03208845

Anhang II

Kontrollstudie.

“A Finger-based numerical Training failed to improve arithmetic Skills in Kindergarten Children more than a control Training.”

Author	Author Position	Scientific ideas %	Data generation %	Analysis & interpretation %	Paper writing %
Schild, Ulrike	1	70	10	70	75
Bauch, Anne	2	15	90	10	10
Nürk, H.-C.	3	15	0	20	15
Title of paper:	A Finger-based numerical Training failed to improve arithmetic Skills in Kindergarten Children more than a control Training.				
Status in publication process:	Accepted for publication				

Unterschrift Autoren

Dr. Ulrike Schild: _____

Anne Bauch: _____

Prof. Dr. Hans Christoph Nürk: _____

Finger-based numerical training in kindergarteners

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

A Finger-based Numerical Training Failed to Improve Arithmetic Skills in Kindergarten Children beyond Effects of an Active Non-Numerical Control Training

Running title. Finger-based numerical training in kindergarteners

Number of words: 10551

Number of figures: 1

12 **Abstract**

13

14 It is widely accepted that finger and number representations are associated: many correlations
15 (including longitudinal ones) between finger gnosis/counting and numerical/arithmetical
16 abilities have been reported. However, such correlations do not necessarily imply causal
17 influence of early finger-number training; even in longitudinal designs, mediating variables
18 may be underlying such correlations. Therefore, we investigated whether there may be a causal
19 relation by means of an extensive experimental intervention in which the impact of finger-
20 number training on initial arithmetic skills was tested in kindergarteners to see whether they
21 benefit from the intervention even before they start formal schooling. The experimental group
22 received 50 training sessions altogether for ten weeks on a daily basis. A control group received
23 phonology training of a similar duration and intensity. All children improved in the arithmetic
24 tasks. To our surprise and contrary to most accounts in the literature, the improvement shown
25 by the experimental training group was not superior to that of the active control group. We
26 discuss conceptual and methodological reasons why the finger-number training employed in
27 this study did not increase the initial arithmetic skills beyond the unspecific effects of the
28 control intervention.

29

30 Key words. Finger-number associations; initial arithmetic skills; embodiment; intervention;
31 children

32 Introduction

33

34 Being able to competently deal with numbers is a fundamental skill in our society. Recently,
35 the interest of researchers has turned to precursor abilities of mathematical achievement like
36 approximate number processing (for a review see De Smedt, Noël, Gilmore, & Ansari, 2013;
37 Libertus, Odic, Feigenson, & Halberda, 2016), spatial skills (e.g., Cipora, Patro, & Nuerk,
38 2015), spatial number associations (e.g., Cipora et al., 2015), verbal number skills (e.g.,
39 Libertus et al., 2016), counting (e.g., Nguyen et al., 2016), mathematical language (Purpura,
40 Daya, Napolia, & Hart, 2017) or base-10-knowledge (Moeller, Martignon, Wessolowski,
41 Engel, & Nuerk, 2011). Another of these potential precursors might be finger representation or
42 finger gnosis (see Moeller & Nuerk, 2012 for a discussion). In turn, finger gnosis may serve to
43 build up associations between fingers and numbers. It has been argued that finger
44 representations might be another important precursor for initial arithmetic skills as they provide
45 the child with an embodied representation of numbers developmentally located at the transition
46 between early nonverbal representations and cultural symbolic representations. Such arguments
47 rest on theoretical considerations (e.g., Moeller et al., 2011; Moeller & Nuerk, 2012) and
48 observed correlations; however, whether earlier finger-number relations really have effects on
49 later arithmetic skills has rarely been investigated. Therefore, the core purpose of this study was
50 to examine intervention effects of finger-number associations on early arithmetic skills.

51 There is solid evidence now that finger and number representation are associated. First evidence
52 was provided by Gerstmann (1940) who described neurological syndromes like finger agnosia,
53 agraphia, acalculia and a disorientation for right and left that occurred together. This
54 combination of deficits suggests that the same brain regions are responsible for the underlying
55 processes. Over the last decades, studies using brain imaging techniques supported this close
56 connection. Overlapping brain regions were found for finger representations and brain areas
57 involved in number counting (e.g., Tschentscher, Hauk, Fischer, & Pulvermüller, 2012) or
58 arithmetic calculations (e.g., Berteletti & Booth, 2015). Many behavioral studies in adults also
59 support an association of, for example, finger representation and counting (but see Brozzoli et
60 al., 2008 for a dominance of a mental-number line representation when directly contrasted with
61 finger-number representations), of finger representation and cardinality, and of finger
62 representation and arithmetic (for a short overview see Di Luca & Pesenti, 2011). However for
63 behavioral, as well as for brain imaging studies, most evidence so far is correlational – a truly
64 *causal* relation between finger representation and numerical/arithmetic skills by manipulating
65 finger knowledge and built-up representations has rarely been shown. Whether children refine
66 their finger representations in parallel or in mutual interaction with the acquisition of their initial
67 numerical skills or whether a good finger representation is beneficial or even necessary for
68 developing numerical representations and/or numerical competencies is an open and
69 controversial question in numerical development and education (Moeller & Nuerk, 2012).

70 A growing number of studies showed that finger representation (or finger gnosis) is associated
71 with basic numerical skills (Costa et al., 2011) and that finger gnosis can predict later numerical
72 skills (Fayol, Barrouillet, & Marinthe, 1998; Noël, 2005). However, the explained variance
73 tends to be small. This was particularly the case when possible third variables like general
74 cognitive ability were taken into account, and a sufficient number of participants was tested
75 (Kohn et al., 2015; Long et al., 2016; Penner-Wilger et al., 2007, 2009; Poltz, Wyszkon, Höse,
76 Aster, & Esser, 2015; Wasner, Nuerk, Martignon, Roesch, & Moeller, 2016; Wyszkon, Poltz,
77 Höse, Aster, & Esser, 2015). Nonetheless, finger representations do seem to affect numerical
78 processing in both children and adults as shown, for example, in the finger-based sub-base five
79 effects (e.g., Domahs, Krinzinger, & Willmes, 2008; Domahs, Moeller, Huber, Willmes, &
80 Nuerk, 2010). To additionally investigate the role of finger gnosis as a precursor for later

81 arithmetic skills, a sub-purpose of our study was to look at the predictive value of finger gnosis
82 at pre-intervention for initial mathematical skills at post-intervention.
83 However, it is important to distinguish between finger gnosis or finger representations, finger-
84 number associations and direct finger use in finger counting and arithmetic tasks.
85 Concerning finger use in number tasks, when children start to communicate about numbers or
86 when they learn to count, they often use their fingers (e.g., showing their age with their fingers).
87 This is even true for blind children (Crollen, Mahe, Collignon, & Seron, 2011; but see Crollen
88 et al., 2014 for the role of visual experience in finger-number associations) or for children
89 without hands who use their phantom fingers to count (Poeck, 1964). Even later when starting
90 to acquire addition and subtraction skills many children use their fingers (e.g., Butterworth,
91 1999). Furthermore, when prevented from using their fingers by interfering hand movements
92 arithmetic performance seems to drop (Crollen & Noël, 2015). This shows that fingers are used
93 in a numerical and arithmetic context but does not imply that this finger-number association
94 leads to better arithmetic performance.
95 Children who use their fingers directly might have ‘good’ finger representations and finger-
96 number associations. In contrast, children who do not use their fingers directly, might have
97 either ‘poor’ finger representation and in turn ‘poor’ finger-number associations, which
98 prevents them from using their fingers. Or they might have ‘very good and stable’ finger
99 representations and finger-number associations, but are no longer in need of using their fingers
100 directly, because they have already built up good abstract numerical representations. Thus,
101 conclusions about the relation between direct finger use and underlying (finger or numerical)
102 representations should be drawn with caution. This would also be in line with the results of
103 Lafay and colleagues (2013) who showed that with 4-7 year-olds finger gnosis was related to
104 an enumeration task, but not to direct finger use in counting. In this context, Reeve and
105 Humberstone (2011) have identified four subgroups of 5-7 year-old children based on their
106 performance on an addition task and spontaneous finger use. In this classification, high
107 performers rarely used their fingers directly, whereas moderate performers belonged to one of
108 two groups: either to a group with high, or to a group with low, direct finger use. Finally, their
109 fourth group contained low performance children and low finger use. In addition, Wasner,
110 Moeller, Fischer, and Nuerk (2015) have shown for adults that the use of specific fingers can
111 vary according to the demanded underlying principle of the task (e.g., requiring either ordinality
112 or cardinality or 1-1 relations). This indicates that finger use is highly flexible and also depends
113 on the task itself. Yet, training of finger gnosis and direct finger use in numerical tasks might
114 have a double advantage for children. First, it may improve finger gnosis and finger
115 representation itself. Second, it may help children to grasp the abstract format of numbers by
116 using an embodied format of numbers (Moeller et al., 2012).
117 If numerical skills were rooted in finger representations, one would assume a universally
118 applicable sequential development from using numerical gestures first to using abstract verbal
119 numbers second. Piaget (1957) claimed that abstract concepts emerge from senso-motoric
120 experiences. A study by Nicoladis, Pika, and Marentette (2010) calls such a sequential
121 development into question. They showed that preschoolers were actually better at processing
122 number words than at processing number gestures. Thus, at least for counting, they did not find
123 number gestures to precede the use of symbolic number words. In a similar vein, Crollen, Mahe
124 and colleagues (2011) have shown that blind and sighted 7-13 year-old children performed
125 similarly in enumeration tasks despite less finger counting and more inconsistent finger-number
126 associations on the part of the blind children (Crollen, Seron, & Noël, 2011). While both groups
127 had equal finger discrimination abilities, blind children showed better working memory
128 performance than sighted children. Thus, if finger counting facilitates the development of
129 numerical skills in sighted children, then blind children might compensate for this effect with
130 their superior working memory skills. This does not mean that finger counting cannot be useful

131 (e.g., Lafay, Thevenot, Castel, & Fayol, 2013), especially for more complex and difficult tasks
132 where finger counting could, for example, help to reduce working memory load (see also
133 Crollen, Seron, et al., 2011). These studies suggest that although finger counting can be
134 beneficial, it may not be necessary for developing counting abilities.

135 Intervention studies seem to be a promising tool to investigate whether there is a causal relation
136 between finger gnosis, finger-number associations and arithmetic skills. Even though an
137 increasing number of intervention studies have compared the contributions of potential
138 precursor abilities for mathematic proficiency over the last years, only very few studies looked
139 at the role of finger gnosis or finger-number association. To date, only a small number of studies
140 have carried out finger-number trainings with school-aged children. For example, Gracia-
141 Bafalluy and Noël (2008) provided a 30-minute finger gnosis training session once a week, for
142 an eight-week period, to first graders. The training was a ‘pure’ finger gnosis intervention
143 designed to improve sensitivity and mobility of the fingers (e.g., labyrinth game or piano game).
144 They observed that children with an initial poor finger gnosis benefited from the training and
145 scored higher not only in finger gnosis, but also in numerical skills after the training.
146 Unfortunately, their methodological procedure was rightfully criticized, because the authors did
147 not consider the regression to the mean, which alternatively could explain the results (Fischer,
148 2010). In a recent study, Jay and Betenson (2017) trained 137 first graders in eight 30-minute
149 sessions during four weeks. The group playing finger gnosis games improved merely in the
150 finger gnosis task. This is surprising, because in contrast to Gracia-Bafalluy and Noël (2008)
151 their finger gnosis training involved not only ‘pure’ finger gnosis interventions, but also training
152 in the cardinal and ordinal properties of numbers: Children actively verbalized numbers in
153 games like finger counting, showing fingers-to-numbers or showing calculations with fingers.
154 The group playing number games (e.g., domino, snake and ladders, playing with cards and dice)
155 improved only in a non-symbolic magnitude comparison task. Finally, the third group, which
156 had received a combination of both trainings, improved in their quantitative skills. The authors
157 concluded that in the combined training children built up connections between different
158 representations of numbers (e.g., finger-number, symbolic and non-symbolic representations),
159 which might have led to the increased performance in quantitative skills compared to both
160 single training groups.

161 Going beyond these two intervention studies Frey, Nuerk and Moeller (submitted) trained 119
162 first graders not only in finger gnosis and finger counting, but also in using their fingers in
163 arithmetic tasks in 18 sessions of approximately 25 minutes. Frey and colleagues (submitted)
164 trained the following skills: *Finger gnosis* was trained in the beginning of the intervention by
165 differentiation and naming of the fingers, finger-thumb tapping and by tracing ways through
166 labyrinths where children used each finger separately for finding different ways through various
167 labyrinths. Further, children traced Arabic digits from 1 to 10 with their respective fingers or
168 thumbs. *Ordinal number-finger association* was trained by a task asking children to count their
169 fingers forward and backward thereby relating numbers to the respective finger. *Cardinal*
170 *finger-number association* was trained, for example, by detecting numbers in a story. Here
171 children had to indicate the numbers by showing their fingers. Further, they also played a
172 memory card game with symbolic cards (digits), non-symbolic cards (points) and finger pattern
173 cards featuring the numbers 1-9. Finally, most of the intervention games (nine tasks) trained
174 *number relations* through the practice of addition and subtraction tasks while using the fingers
175 (for a more detailed description of tasks see Frey, 2017). The results showed that trained
176 children outperformed children of a control group in tasks including addition and subtraction
177 up to a number range of 20, but not in number line estimation on a 0-to-50 and a 0-to-100 scale.
178 Furthermore, these effects were still observed after nine months. This study supports the view
179 that training finger use in and beyond arithmetic tasks facilitates the learning of specific
180 arithmetic skills. This does not necessarily mean that direct finger use while calculating

181 increases the performance, but rather that the strengthening of the association between finger
182 and number representations may lead to this improvement.

183 In sum, former studies have shown that primary school children improve in their arithmetic
184 skills by finger-number training. However, some correlational studies suggest that finger-
185 number relations might be predictors of later numerical skills and arithmetic already in
186 preschoolers (Fischer, Suggate, Schmirl, & Stoeger, 2017; Suggate, Stoeger, & Fischer, 2017).
187 The aim of the present study is to investigate whether kindergarten children can profit from
188 finger-number training, even before they receive formal math education in addition and
189 subtraction. Training of other potential precursors has already been done (e.g., with non-
190 symbolic approximate number training, Park, Bermudez, Roberts, & Brannon, 2016; but see
191 Szűcs & Myers, 2017 for a critical review), but not with finger-number associations, to our
192 knowledge. We are interested as to whether training finger-number associations in
193 kindergarteners may pave the way for better future arithmetic skills as the training of
194 phonological awareness paves the way for better future reading skills (e.g., Bus & van
195 Uzendoorn, 1999; Lundberg, 2009; Schneider, Küspert, Roth, Vise, & Marx, 1997). To infer
196 such a causal relation, it is important to train children before they receive formal instruction.
197 For reading acquisition, this has been a debate for years: In school, literacy acquisition interacts
198 with the acquisition of phonological awareness. Therefore, no clear conclusions about a causal
199 relation can be drawn from children that already attend school (Castles & Coltheart, 2004). The
200 same may also apply for the finger-number-arithmetic-relation examined here. The
201 development of finger-number associations might interact with the acquisition of arithmetic
202 proficiency.

203 To investigate whether finger-number associations can be trained in kindergarteners and
204 whether this training affects arithmetic skills, we adapted the training of Frey and colleagues
205 (submitted) for kindergarten children aged five to six. An advantage in training younger
206 children might be that for them finger representations might not be as mature as in older
207 children. The same is true for finger-number associations, which may be less stable compared
208 to older children. For that reason, both – finger representations and finger-number associations
209 – might be even more susceptible to external training in younger compared to older children.
210 That younger children might benefit more from interventions than older children has also been
211 shown in other training studies with preschoolers (e.g., Park et al., 2016). In sum, we
212 hypothesized that finger-number associations are causally related to numerical skills. If this is
213 the case, then training of finger-number associations, especially in kindergarteners, may
214 directly impact upon initial arithmetic performance – even before the beginning of formal
215 arithmetic instruction and this impact should be larger than in a control group.

216 Although evidence for an influence on finger gnosis on later arithmetical performance seems
217 rather small – if it exists at all – we incorporated some tasks of finger gnosis in the training,
218 because finger gnosis seems to be necessary (but not sufficient) to associate fingers and
219 numbers. In other words, if a child is not able to select or move a certain finger at all, they will
220 also not be able to select this finger in associations with certain ordinal, cardinal or 1-1-finger-
221 number relations. Thus, most tasks involving the assessment of active finger-number relation
222 require some knowledge (i.e., here gnosis), of which fingers are to be involved in the task.
223 Therefore, as a sub-hypothesis, we also wished to examine the question of whether finger gnosis
224 at pre-test predicts initial mathematical skills at post-test.

225 However, it was not the aim of our study to show that training finger gnosis alone and unrelated
226 to any finger-number relations has an effect on later arithmetic performance. We know that
227 relations between finger gnosis and numerical skills are small to non-existent and have
228 repeatedly argued (e.g., Domahs et al., 2010; Moeller et al., 2012) that the embodied
229 representation of numbers with fingers, and not just finger gnosis alone, is essential.

230 Therefore, the core training feature concentrates on the finger-number associations as a
231 precursor skill that might affect later arithmetic skills. However, we also include some early
232 number relation tasks (completion to 5 and to 10) that may be on the border between finger-
233 number associations and arithmetic skills (see methods for further details). Arithmetic
234 knowledge of addition and subtraction were not directly trained, but they were accessed after
235 the intervention. On purpose we decided to avoid training to the task because we wanted to
236 investigate how the precursor skills of finger-number associations affect arithmetic skills
237 without training arithmetical tasks by themselves.

238 In sum, the aim of this study was to investigate whether training finger-number associations in
239 kindergarten improves initial arithmetic skills in elementary school. To the best of our
240 knowledge, this is the first study that tries to show this causal relation by applying an
241 intervention at kindergarten age with an active control group.

242 Here we wished to examine – as a first step – whether finger-number relations constitute a
243 precursor of arithmetic skills, after taking into account an established predictor of early
244 mathematical skills namely children’s non-verbal intelligence (e.g., Aragón, Navarro, Aguilar,
245 Cerda, & García-Sedeño, 2016). In addition, we included gender as it is a debated popular
246 predictor. In several studies gender differences have been observed in some spatial
247 representations of number (e.g., Bull, Cleland, & Mitchell, 2013; Reinert, Huber, Nuerk, &
248 Moeller, 2017), in children’s early arithmetic skill (Krinzinger, Kaufmann, Gregoire, Desoete,
249 Nuerk, & Willmes, 2012; Hornburg, Rieber, & McNeil, 2017; see also Brunner, Kraus, &
250 Martignon, 2011), and even in adults’ arithmetic and numerical skills (Pletzer, Kronbichler,
251 Nuerk, & Kerschbaum, 2013; Pletzer, Moeller, Scheuringer, Domahs, Kerschbaum, & Nuerk,
252 2016). However, many recent studies have not found that females and males differ, for example,
253 in a meta-analysis of math performance (Hyde, 2016), in several studies on children at various
254 stages of their development (Bakker, Torbeyns, Wijns, Verschaffel, De Smedt, 2018;
255 Morsanyi, van Bers, McCormack, & McGourty, 2018; Hutchison, Lyons, & Ansari, 2019); and
256 in an adult online study testing the SNARC effect with over 1000 participants (see
257 supplementary materials of Cipora, Soltanlou, Reips, & Nuerk, 2019). Because of these
258 diverging results in the literature, which may differ depending on task, sample, culture and
259 paradigm, we included gender as a predictor to examine whether it has any effect on embodied
260 learning of basic numerical skills.

261
262 In sum, finger-number relations that were systematically targeting different constructs (finger
263 gnosis, 1-1 finger-number mapping, ordinality, cardinality, base-10, place-value knowledge)
264 were trained to increase salience of the training. If such a training in kindergarten were
265 successful, future studies could investigate – in a second step – which components of finger-
266 number relations might contribute the most to this training effect. As a third step, further
267 research can then compare or combine such a finger-number training with other effective
268 interventions that train other components of numerical knowledge to unravel differential effects
269 of the various potential trainings.

270

271 **Methods**

272

273 *Procedure*

274 Preschool children received either finger-number training or one of two phonological control
275 trainings. These phonological trainings belong to a training study on its own, but served as
276 control training in the present study. The trainings were pseudorandomly assigned to local
277 kindergartens to ensure that each training group comprised a similar number of children. For
278 economical reasons, all children within the same kindergarten received the same training (but
279 we tested whether there were pre-training differences between the kindergartens in the different

280 experimental groups, which was not the case; see below). We allowed bilingual children to take
281 part in the training, but only monolingual children were included in the study. Because our
282 children were younger than the children in the study by Frey and colleagues (submitted), we
283 adapted the training's extent and content to suit kindergarteners. Each training session was only
284 approximately 10 minutes, but the training took place every day, for a period of 10 weeks (from
285 February/March to May/June during the children's final kindergarten year). Thus, the overall
286 time of the training was nearly equal between our training study and that of Frey and colleagues
287 (submitted). In sum, we trained 18 groups of varying size (with a minimum of 4 children and a
288 maximum of 10 children in the finger-number training). The training was conducted by
289 instructed undergraduate students and doctorate members of the department of psychology of
290 the University of Tuebingen and took place in the kindergartens. Before and after the training
291 we assessed each child's arithmetic and language skills in one or two test sessions lasting
292 between 30-60 minutes. Tests that were important for the actual study included measures of
293 finger gnosis, addition, subtraction and completion to 5/10. We also administered tests that were
294 language specific to evaluate the phonological training. The results of the language study will
295 be reported elsewhere.

296

297 *Participants*

298 In total 102 children took part in the training, and contributed data to both pre- and post-tests.
299 The experimental group consisted of 35 children who received the finger-number training. The
300 control group consisted of 67 children who received either the phonological training (N = 37,
301 23 male) or the phonological-orthographic training (N = 30, 17 male) as control trainings (see
302 Table 1 for demographic data)¹. Participants received a present for each test session. Both
303 children and their parents gave their informed consent. All children who took part in the tests
304 were monolingual native speakers of German.

305

306 *Materials and tests*

307

308 *Training material*

309 The training material was adapted from Frey and colleagues (submitted), and consisted of 18
310 different short games in total. We trained the following skills: *Finger gnosis* contained tasks
311 like finger tapping and tracing a way through a labyrinth with specific fingers. Note, that these
312 two tasks did not involve numbers. *1-to-1 mapping* of fingers and numbers included naming
313 the fingers and mapping numbers to single fingers; learning Arabic digits was covered by
314 tracing a number on a sheet with the respective fingers. *Ordinal finger-number associations*
315 were trained by finger counting in various games (e.g., finger counting, object counting and
316 counting of claps) and by ordering numbers, for example, by placing numbers in the right order
317 and ordering a deck of cards displaying fingers, digits and points. The training of *cardinal*
318 *finger-number associations* included games like naming the number corresponding to fingers
319 presented, detecting numbers that were hidden in stories, playing a memory card game with
320 cards displaying fingers and numbers, playing a bingo game with cards displaying fingers and
321 sheets displaying numbers and playing a domino game with cards displaying fingers and
322 numbers. Finally, *number relations in the base-10 and place-value system* and finger-number
323 mapping were trained by completion of 5/10 tasks (one with fingers and one with a deck of
324 cards displaying numbers) and by doubling numbers (showing double the number of fingers
325 shown by the trainer). All games include the use of the fingers. In each training session up to

¹ As suggested by a reviewer we ran all ANOVA and ANOCVA analyses including Bayes for each control group, separately (see Supplementary Materials, Table S8-S11, Figure S1). The results were similar to those when both control groups were merged into a single control group.

326 three games were played depending on the length of the games (to see how often each game
327 was played and for further details please refer to Table 1 in the Appendix). The idea of having
328 so many different games was not only to train different conceptual levels with increasing
329 difficulty, but with 50 sessions it is also essential to vary the games to keep the children
330 interested and motivated. The control training included phonological games of similar duration.
331

332 *Pre- and post-tests*

333
334 **Handedness.** We used the lateralized quotient (LQ) of the Edinburgh inventory (Oldfield,
335 1971) to assess handedness, but we left out the item ‘Striking Match’.
336

337 **Finger gnosis.** We used the same finger gnosis assessment as in Wasner and colleagues (2016)
338 who adapted a task and procedure previously used by Gracia-Bafalluy and Noël (2008), Noël
339 (2005) and Reeve and Humberstone (2011). For the first task, a box was placed over the hand
340 of the child. The trainer touched a single finger on the middle phalanges and asked the child to
341 show the tapped finger. This was done with both hands, respectively (maximum 6 points, 3
342 points for each hand). Thereafter, two fingers of one hand were touched consecutively. The
343 child earned one point for each correct finger and another point for the correct order (maximum
344 20 points, 10 points for each hand). In the second task both hands were placed behind the box.
345 Two pictures of the right and left hand were placed beside the box. The trainer touched one
346 finger of the child and one finger of the picture at the same time. The child indicated whether
347 the fingers were the same or not (4 points). Finally, children solved the same task, but with two
348 fingers in succession (4 points). The maximum number of points was 34.
349

350 **Completion-to-5/10.** We introduced the completion-to-5 test with the following example: “Now
351 I want you to tell me how many gummy bears we need to reach 5. If I have 4 gummy bears,
352 how many more gummy bears do I need to reach 5?” A similar instruction served for the
353 completion-to-10 task. The test stopped after three minutes. At pre-test, the maximum number
354 of points was 15, and at post-test the maximum number of points was 30.
355

356 **Addition.** First, we familiarized the children with the concept of addition. At pretesting, children
357 solved at maximum 25 tasks in the number range from 1-10. During post-testing, a maximum
358 of 35 problems were presented (here the single numbers of the last 10 tasks ranged between 10
359 to 20). Children had four minutes to solve as many tasks as possible.
360

361 **Subtraction.** Again, we first familiarized the children with the concept of subtraction. At
362 pretesting, children solved a maximum of 20 subtraction tasks in the number range of 1 to 10.
363 At post-testing there were 30 problems. Thus, the maximum number of points was 30. Here,
364 the numbers for the last five tasks ranged between 10 to 20. Again, the test stopped after four
365 minutes.
366

367 **General cognitive abilities.** For a measure of general cognitive abilities, we administered two
368 subtests (*Matrices* and *Continuing Rows*) of the Culture Fair Intelligence Test (CFT 1-R; Weiß
369 & Osterland, 2013) at post-test. However, as various trainers reported that children had
370 difficulties with the Continuing Rows subtest, we only entered the Matrices subtest into
371 analyses.

372 All of the tasks were presented orally to the children and required a verbal response except the
373 two tasks measuring general cognitive abilities where visual material was used in addition.

374

375 **Results**

376 Each dependent measure (finger gnosis, completion, addition, subtraction) was subjected to a
 377 repeated measures ANOVA with the within-factor *Time* (pre-test versus post-test) and the two
 378 between-factors *Group* (experimental group versus control group) and *Sex* (male versus female)
 379 together with the co-variate *CFT-matrices*. The scores of the *CFT-matrices* were centered.
 380 Figure 1 displays the mean scores of each dependent variable separately for each group and
 381 pre- and post-tests, respectively.

382 Independent *t*-tests showed that there was no hint of pre-test differences between experimental
 383 and control group for all tasks, $t_{\text{all}} \leq 0.731$, $p \geq .466$. All dependent measures showed that
 384 improvement took place over time implicating that the measures we used were sensitive to
 385 intra-individual changes.

386

387 ***Finger gnosis***

388 The ANOVA revealed a main effect of *Time*, $F(1, 97) = 5.911$, $p = .017$, $\eta^2 = .056$. The co-
 389 variate *CFT-matrices* was also significant, $F(1, 97) = 9.357$, $p = .003$, $\eta^2 = .088$. No other main
 390 effects or interactions were significant.

391 In order to quantify the null-effect of the interaction of interest (*Time* and *Group*) we applied
 392 Bayesian repeated measures ANOVA as implemented in JASP-software (JASP Team, 2017,
 393 Version 0.8.2). To get more assurance about the probability of the null hypothesis, we decided
 394 to run a Bayesian analysis. However, as there is no golden standard available, especially for
 395 repeated measures with within and between factors, we opted for the most simple and
 396 comprehensible way. We excluded *Sex* and *CFT-matrices* from the Bayesian analysis, because
 397 *Sex* was of no special interest here (and similarly distributed between groups) and *CFT-matrices*
 398 did not significantly differ between groups (see Table 1). We treated all main factors as nuisance
 399 factors to find out whether the interaction of interest (*Time* and *Group*) showed a higher
 400 probability for the null model or for the alternative model or whether it lay in between both
 401 models. The Bayes factor B_{01} indicates how much better the data predicts the null hypothesis
 402 compared to the alternative model. The detailed results of these analyses are provided in the
 403 Supplementary material (Table S1). For finger gnosis we set up a null model by excluding *CFT-*
 404 *matrices* and *Sex* and including each of the main factors (*Time* and *Group*) as nuisance
 405 variables. We compared this null model with an alternative model that included the interaction
 406 of interest (*Time* and *Group*). The model comparison revealed a B_{F01} of 5.06 for the interaction
 407 and a probability of $p(H_0|D) = 0.83$ which is substantial/positive evidence (Jarosz & Wiley,
 408 2014) for the null model (see Supplementary material for tables with Bayes Factors).

409 Each dependent post-measure (Finger gnosis, Completion, Addition and Subtraction) was
 410 additionally submitted to an ANCOVA with the fixed factors *Group* and *Sex* and the co-variables
 411 *CFT-matrices* and the respective pre-measure. Results of all ANCOVAs were nearly identical
 412 to the results of the ANOVAs (see Supplementary material, Table S2 for detailed information).
 413 Similar to the Bayesian repeated measures ANOVA we also ran Bayesian ANCOVAs. Here,
 414 we set up the null model by excluding *CFT-matrices* and *Sex* and by including the fixed factor
 415 *Group*. The co-variate Pre-measure was treated as a nuisance variable. We compared the null
 416 model with the alternative model that included the main effect of interest, namely *Group*.
 417 Results of Bayesian ANCOVAs were nearly identical to the Bayesian ANOVAs (see
 418 Supplementary material, Table S3).

419

420 ***Completion-to-5/10***

421 The ANOVA revealed a main effect of *Time*, $F(1, 97) = 47.616$, $p < .001$, $\eta^2 = .316$ and an
 422 effect of *CFT-matrices*, $F(1, 97) = 23.105$, $p < .001$, $\eta^2 = .190$, and an interaction of both of
 423 these factors, $F(1, 97) = 5.259$, $p = .024$, $\eta^2 = .035$. No other main effects or interactions were

424 significant. Comparing the null model (excluding *CFT-matrices* and *Sex* and including the main
 425 factors *Time* and *Group* as nuisance variables) with the alternative model (including the
 426 interaction of *Time* and *Group*) revealed a BF_{01} of 3.56 for the interaction and a probability of
 427 0.78 which is substantial/positive evidence for the null model.

428

429 **Addition**

430 The ANOVA revealed a main effect of *Time*, $F(1, 97) = 29.748, p < .001, \eta^2 = .227$.
 431 Additionally, the covariate *CFT-matrices* was also significant, $F(1, 97) = 28.983, p < .001, \eta^2$
 432 $= .227$. No other main effects or interactions were significant. Comparing the null model
 433 (excluding *CFT-matrices* and *Sex* and including the main factors *Time* and *Group* as nuisance
 434 variables) with the alternative model (including the interaction of *Time* and *Group*) revealed a
 435 BF_{01} of 1.52 for the interaction and a probability of $p(H_0|D) = 0.60$ which is weak/anecdotal
 436 evidence for the null model. Thus, for addition there is no strong evidence either for the null
 437 model or for the alternative model.

438

439 **Subtraction**

440 Due to the fact that some children had profound difficulties in subtraction (some children were
 441 unable to solve even a single subtraction task), we excluded from analysis children who scored
 442 zero in pre- or post-tests. This reduced the original sample to 63 children (N=16 in the
 443 experimental group, 5 female; N=47 in the control group, 20 female). With this reduced sample,
 444 the ANOVA revealed a main effect of *Time*, $F(1, 58) = 13.137, p < .001, \eta^2 = .181$. Additionally,
 445 we found an effect of *CFT-matrices*, $F(1, 58) = 25.373, p < .001, \eta^2 = .290$. No other main
 446 effects or interactions were significant. Comparing the null model (excluding *CFT-matrices*
 447 and *Sex* and including the main factors *Time* and *Group* as nuisance variables) with the
 448 alternative model (including the interaction of *Time* and *Group*) revealed a BF_{01} of 1.64 for the
 449 interaction and a probability of $p(H_0|D) = 0.62$ which is weak/anecdotal evidence for the null
 450 model. Thus, similarly to addition, for subtraction there is no strong evidence either for the null
 451 model or for the alternative model.

452

453 **Correlations**

454 To characterize the relation between finger gnosis and arithmetic measures in more detail we
 455 calculated correlations and partial correlations (controlling for *CFT-matrices* scores) between
 456 all dependent measures pre- and post-test (see Supplementary material Table S4 and Table S5).
 457 First, nearly all of our measures showed significant positive correlations pre- and post-test,
 458 respectively, as well as between pre- and post-test. This was supported by the Bayes-Factors
 459 indicating strong support for nearly all correlations compared to the null hypothesis (no
 460 correlation). However, correlations between arithmetic tasks (addition, subtraction and
 461 completion to 5/10) were consistently higher (.61-.79) than correlations between finger gnosis
 462 and arithmetic tasks (.28-.48) at pre- or post-test, respectively (see Supplementary material
 463 Table S4).

464

465 **Multiple stepwise regression**

466 To examine whether finger gnosis at pre-test uniquely predicts any of the arithmetic skills at
 467 post-test beyond those at pre-test we ran a multiple stepwise regression. All predictors were
 468 taken from the pre-test. For addition at the post-test the final model included two predictors:
 469 addition and subtraction, $R^2 = .66, F(2,101) = 93.83, p < .001$. For subtraction the final model
 470 included three predictors: addition, subtraction and CFT, $R^2 = .54, F(3,101) = 38.39, p < .001$.
 471 For completion to 5/10 the final model included three predictors: addition, subtraction and
 472 completion to 5/10, $R^2 = .46, F(3,101) = 28.27, p < .001$. In sum, finger gnosis at pre-test did
 473 not significantly predict any dependent arithmetic measure at post-test, when other variables

474 were included (see Supplementary material, Table S6 for *Beta*- and *p*-values and Table S7 for
475 Bayesian regression results). However, finger gnosis at pre-test did predict finger gnosis at post-
476 test together with completion to 5/10, $R^2 = .25$, $F(2,101) = 16.74$, $p < .001$. Despite significance,
477 the explained variance of the finger gnosis performance at post-test was lower than that of the
478 other dependent measures at post-test.

479

480 Discussion

481 This study sought to investigate whether combined finger-number training improves early
482 arithmetic skills, even before formal arithmetic instruction has started. To this end, we provided
483 training to 102 children in their final year of kindergarten. The training took place every day,
484 for ten minutes, for ten weeks. An active control group of children received phonological
485 training for identical duration and intensity. The results indicated that all children improved in
486 their finger gnosis and arithmetic performance from pre- to post-test. However, this was
487 independent of the training they received.

488 This outcome is surprising as Frey and colleagues (submitted) showed robust effects of a similar
489 finger-based training in first graders on tasks of addition and subtraction compared to an active
490 control group. We discuss two possible groups of arguments for these findings; the first group
491 referring to the possible inefficiency of the numerical intervention training, and the second
492 referring to the possible efficiency of the non-numerical active control training. Specifically,
493 first, we discuss arguments why the training may not have been successful for this particular
494 age group with this particular training setting and for these particular evaluation tasks. Second,
495 we discuss arguments why the control training contained elements (like implicitly training
496 sequences) that might have been beneficial for elementary numerical and arithmetic tasks as
497 well. Finally, we discuss the underlying reasoning of some of our intervention choices and how
498 they affect the results and interpretation.

499

500 *1. Reasons why the training might be less successful than other finger-number trainings*

501 Two of the dependent variables trained by Frey and colleagues (submitted) were also directly
502 trained in the present study: While finger gnosis training games differed from finger gnosis test
503 items, the completion to 5/10 task was highly similar for training and tests. Nonetheless,
504 Bayesian-Factor analysis revealed that the null model incorporating only the main effects
505 seemed more probable compared to a model including the interaction of training group and time
506 for both – finger gnosis and completion to 5/10 – measures. Unfortunately, Frey and colleagues
507 (submitted) tested neither finger gnosis nor completion to 5/10 at post-test, thus we cannot
508 compare our outcomes in these measures with their training study in first graders. In contrast
509 to our study, in the study by Gracia-Bafalluy and Noël (2008) only children in the ‘pure’ finger
510 gnosis intervention group improved about 3.2 points in finger gnosis, but not children of the
511 control intervention group. However, note that this effect could be due to a regression to the
512 mean (Fischer, 2010) and might not be representative. Similarly, Jay and Betenson (2017) found
513 a (small, but significant) increase of 1.9 points in finger gnosis only in groups receiving finger
514 gnosis training. However, this rather small improvement might have been due to the combined
515 group, because the authors analyzed both groups receiving finger gnosis training – single and
516 combined group – together. It would be interesting to know whether the finger gnosis group
517 and the combined group differed in their finger gnosis improvement. Note that in their study
518 ‘finger gnosis training’ refers to activities that linked cardinal and ordinal properties of numbers
519 to the fingers, i.e. they trained competencies like finger counting, finger-to-numbers relations
520 or calculations with fingers. Thus, their training was comparable to ours. Yet, we found a
521 similar improvement of 1.4 points for all groups, independently of the specific training. In
522 addition, compared to the above-mentioned studies our children were on average one year

523 younger – therefore, differences in training effects between those studies might also be
524 attributable to the age and experience of the children.

525 Concerning the arithmetic measures, Jay and Betenson (2017) found that children receiving the
526 combined training of finger gnosis and number games activities showed the largest gain in
527 quantitative scores. While children from the other groups also improved in quantitative scores,
528 their improvement was only half of that of the combined training group. Their quantitative score
529 combined different measures. Some of these measures might be more related to the finger
530 gnosis training (e.g., counting, adding dots on dice, splitting and combination of symbolic
531 numbers); whereas others might be more related to the number training (e.g., ordering numbers,
532 completion of number sequences, splitting and combination of non-symbolic numbers). It
533 would have been interesting to see whether the finger gnosis group and the number group scored
534 differently on subtasks combined in the quantitative score or whether children improved equally
535 in all kinds of tasks from pre- to post-test. Indeed, the combined score might have obscured
536 differential influences of finger gnosis (and number training) on different numerical skills. In
537 contrast to the combined quantitative score of Jay and Betenson (2017), Gracia-Bafalluy and
538 Noël (2008) measured single numerical skills and children of the finger gnosis training
539 improved in ‘draw a hand’ as well as in counting fingers, especially when larger number of
540 fingers were involved (yet, improvement was only observed in response times, not in overall
541 score). Finally, children improved in subitizing and ordinality score (comparing Arabic digits),
542 but not in counting, magnitude comparison, enumeration and calculation. Thus, it might be that
543 the influence of finger gnosis on numerical abilities comprises by far not all, but rather specific
544 numerical skills.

545 Another important difference between the studies relates to the games that were trained.
546 Moreover, these differences in training are related to the different levels of skills existing in the
547 different age groups (kindergarteners versus primary school children). First, in the present study
548 *addition and subtraction were not directly trained and combined with finger use* as in the study
549 with the first graders (Frey et al., submitted). The fact that direct training of tasks was successful
550 in the study by Frey and colleagues is indirectly supported by the result of the number line
551 accuracy task. Trained children showed no improvement in number line accuracy (Frey et al.,
552 submitted). The authors argue this might be because the task is difficult to solve with the help
553 of the fingers. Alternatively, this result could have emerged because number line accuracy was
554 not practiced in the training; whereas addition and subtraction were directly trained. Now,
555 turning to the *level of training*, most of the games trained in Frey’s study on first graders covered
556 number relations; whereas our training for kindergarten children included more games tapping
557 into ordinality and cardinality. The different focuses of the trainings were also due to the fact
558 that kindergarten children have a less stable quantity-number concept than first graders. Thus,
559 the kindergarteners required and received more games involving the learning and understanding
560 of the finger-number relations and Arabic numbers; whereas the first graders received more
561 exercises in using their fingers directly in addition and subtraction tasks. Thus, kindergarteners
562 received only a few tasks which directly trained actual arithmetic skills, such as the tasks
563 completion to 5/10 or double numbers. Moreover, none of the tasks in our study explicitly
564 trained addition or subtraction. In contrast, the first graders in the study by Frey and colleagues
565 received instruction to use their fingers directly in various addition and subtraction games.
566 Thus, we might have missed training the critical level or modules (e.g., finger use in arithmetic
567 tasks) as intensively as in the case of the first graders in the study by Frey and colleagues
568 (submitted). However, as kindergarteners do not have the same numerical and arithmetic
569 requirements as first graders, we deliberately concentrated more on *preceding* stages of finger-
570 numerical development (e.g., finger counting, finger-number mapping). This concentration on
571 early stages of finger-number development might have had less of an effect on actual arithmetic
572 skills.

573 However, we made clear that the focus of our study was to see whether finger-number precursor
574 training in kindergarten has positive effects on arithmetic skills (in a similar way, this has
575 claimed for phonological awareness and later reading performance). The present study
576 establishes that was not the case. We believe that this is important, because embodied training
577 of numbers and in particular finger training has been advocated by ourselves and others (e.g.
578 Moeller et al., 2012) as a means to improve early mathematic skills. This does not of course,
579 either preclude that another form of finger-number training or other forms of precursor training
580 (e.g. board games, or embodied spatial-numerical training, cf. Fischer, Moeller, Bientzle, Cress,
581 & Nuerk, 2011), may have lasting training effects. A crucial question for the future is which
582 training, which training setups or maybe which combinations of numerical/arithmetic
583 intervention in kindergarten are most successful in training numerical/arithmetic precursor
584 abilities in children.

585 Note, that we trained all children to use their fingers with corresponding numbers in the same
586 way. Children were trained to start with the thumb of their right hand and count up to the pinkie.
587 For the numbers 6 to 10 the same order of the fingers of the left hand was used. One issue raised
588 by one reviewer, was that we might have “deconstructed” finger-number associations that may
589 have been already constructed by children. Thus, our results may be negative due to the children
590 in the experimental group who counted using a divergent finger pattern at pre-intervention. For
591 Western adults, Lindemann, Alipour and Fischer (2011) observed that 87.5% started to count
592 with the thumb up to the pinkie and used the same sequence of fingers for the other hand. Thus,
593 the finger counting sequence seems to be similar among most people. In contrast to the finger
594 sequence, the starting hand seems to be more equally distributed (Lindemann et al., 2011).
595 Moreover, studies have shown that the task used to collect the finger counting routines (e.g.,
596 questionnaire versus spontaneous use) influenced the outcome (e.g., Lucidi & Thevenot, 2014).
597 For example. Wasner, Moeller, Fischer and Nuerk (2014) showed that finger counting habits
598 can change heavily according to situated circumstances. When the typical Lindemann and
599 colleagues (2011) and Fischer (2008) finger counting questionnaire was administered about
600 54% reported counting from left-to-right. When participants additionally had a pencil in their
601 hand, even more, 62% reported counting from left-to-right. When now the horizontally aligned
602 finger picture used in the Lindemann questionnaire was removed and participants had to count
603 spontaneously, the left-to-right advantage not only disappeared but even reversed. With empty
604 hands and no picture of hands in front of them, the majority of people (72%) started from right
605 to left. This shows that people are not fixed in their counting habits, but very flexible. Moreover,
606 they also change their finger to number-relationships substantially depending on whether they
607 refer to cardinal numbers, to ordinal numbers or to a 1-1 relationship between finger and number
608 (Wasner et al., 2015; which is the reason, why we trained all three of them). What is more, a
609 recent study of Hohol, Wołoszyn, Nuerk and Cipora (2018) assessed the reliability and
610 flexibility of finger counting habits. While reliability was satisfactory (about 75% reported
611 using the same hand on both occasions), participants also reported huge flexibility.
612 Overwhelmingly they said that they are also comfortable starting counting with the non-
613 preferred hand, and about 50% even said that if they hold an object in their preferred starting
614 hand, they do not bother to change hands or put the object away, but just start counting with the
615 other hand. These studies point to a substantial flexibility in counting habits.

616 Nevertheless, because we tested kindergarten children, one might argue that they have less
617 flexibility than first graders or adults tested in above studies (see Previtali, Rinaldi, & Girelli,
618 2011; Sato & Lalain, 2008 for developmental data). Therefore, we reanalysed all our data to
619 see if there was any difference between children who were trained in congruence with their
620 finger counting preference and those who were not. In the finger gnosis task children were
621 asked to count to ten with their fingers. We compared two groups: one group who was trained
622 in congruence with their preference, and the other group who was not. At pre-intervention, in

623 the experimental group, 27 children counted in the *trained pattern* (in which 6 children switched
 624 to a divergent pattern at post-intervention), 8 children counted in a *divergent pattern* (in which
 625 6 children switched to the trained counting pattern at post-intervention). The two groups did
 626 not differ in any of the post-tests (Mann-Whitney), $p_{(\text{finger gnosis, completion, addition})} > 0.65$. In the
 627 reduced sample for subtraction, 11 children with (pre-intervention) *trained counting pattern*
 628 and 5 children with (pre-intervention) *divergent counting pattern* were included. They did not
 629 differ in subtraction at post-test, $p = 0.69$. Obviously, the results have to be interpreted with
 630 caution, because of the different and small sample size, but, for the moment, there was no
 631 indication that the congruency of training direction with natural habits had an effect in any
 632 analysis. These data are consistent with the flexibility shown in the studies above and clearly
 633 inconsistent with the assumption that this issue affected training success.

634 635 **2. Why the null effect could be due to improvement of the control intervention**

636 One important difference between former finger training studies and our study is the *control*
 637 *intervention*. Frey and colleagues (submitted) and Jay and Betenson (2017) had only no-
 638 intervention control groups. Gracia-Bafalluy and Noël (2008) had a story comprehension
 639 control group and a no-intervention control group. In contrast, we compared our finger-number
 640 training to a group trained in phonological awareness. Thus, domain-general factors might have
 641 improved with both kinds of trainings as well as domain-specific factors that might have
 642 overlapped in both training groups.

643 It is known that *domain-general variables* (e.g. concentration, attention, executive functions)
 644 can modulate performance in domain-specific skills (e.g., see Aunio & Niemivirta, 2010 how
 645 inattention modulated numerical performance). The influence of domain-general skills on
 646 specific skills might of course depend on the particular domain-general and/or domain-specific
 647 variable. For example, the causal relation between working memory and arithmetic skills is
 648 heatedly debated (Cragg & Gilmore, 2014; Honore & Noël, 2017; Melby-Lervag & Hulme,
 649 2013; Passolunghi & Costa, 2016; Ramani, Jaeggi, Daubert, & Buschkuhl, 2017; Welsh, Nix,
 650 Blair, Bierman, & Nelson, 2010). Moreover, the strength of this relation may also depend on
 651 other factors, for example, whether children come from low-income families and/or whether
 652 children may have a risk for special impairments. Likewise, specific interventions (such as the
 653 training) provided to children in our study may have general effects on attention, concentration,
 654 motivation, working memory and other domains. Thus, what might have happened in our study
 655 is that the phonological training group was trained in general-domain variables and this, in turn,
 656 also led to improvement in their numerical skills (Purpura & Ganley, 2014; but see also Purpura
 657 & Reid, 2016).

658 Initially, we thought we had constructed our control trainings in such a way as there was no
 659 overlap in the training of specific skills (finger-number skills versus phonological awareness
 660 skills). However, taking a closer look at the specific exercises in both trainings may reveal
 661 certain similarities of trained *domain-specific factors*. Possible candidates are sequencing and
 662 ordinality, which both apply for numbers as well as for words (for example, one can count and
 663 order sounds in a spoken word). Thus, implicit training of these concepts in the phonological
 664 group might have generalized to the positive outcome in the numerical tasks. For example, one
 665 game in the phonological group involved counting a phoneme sequence in a word (e.g., M-U-
 666 MM-Y), which might have directly trained both ordinal-numerical as well as phoneme-skills.
 667 This interpretation is supported by studies showing a relation between domain-general ordering
 668 skills (by using ordering of months or letters) and arithmetic skills in children (e.g., O'Connor,
 669 Morsanyi, & McCormack, 2018) and adults (e.g., Morsanyi, O'Mahony, & McCormack, 2017;
 670 Sasanguie, Lyons, De Smedt, & Reynvoet, 2017; Vos, Sasanguie, Gevers, & Reynvoet, 2017).
 671 A recent study of Xu and Lefevre (2016) show that learning sequential relations is beneficial
 672 for later arithmetic and numerical skills. It is therefore possible that more sequential finger-

673 number games would have been beneficial for training success. Again, our non-numerical
674 control training was also training sequential processes albeit not for numbers. As already
675 discussed, children improved in both training conditions, the experimental and the active
676 control training. Relating this to Xu and Lefevre (2016), one might suggest that in our control
677 training, we have also trained sequential relations – although these relations were non-
678 numerical, there might have been transfer effects to sequential numerical knowledge, which is
679 an important cornerstone for later arithmetic skills. Note that in this respect our training lasted
680 10 weeks (Xu & LeFevre, 2016: 3 weeks), which leaves much time for implicit and explicit
681 transfer effects.

682

683 ***3. Finger gnosis was not a predictor in this study***

684 Turning to the sub-question of whether finger gnosis is a predictor for later arithmetic skills,
685 our regression result did not support this claim. Although finger gnosis correlated with
686 arithmetic performance, it did not uniquely predict any of our arithmetic measures. These
687 results are in line with studies that assume that factors other than finger gnosis – namely
688 numerical knowledge and initial arithmetic abilities – might be more important in predicting
689 later arithmetic skills (Long et al., 2016). Still, others have shown that finger gnosis can predict
690 at least a small variance of later arithmetic performance (Kohn et al., 2015; Penner-Wilger et
691 al., 2007, 2009; Poltz et al., 2015; Wasner et al., 2016; Wyschkon et al., 2015). However, a
692 combination of the young age (leading to more error variance in the testing) and other control
693 variables may be responsible for finger gnosis not being a predictor in the current study.

694

695 ***4. Active control group rather than waiting list control group***

696 We view as strength of our study that we used an active control group and not just a waiting
697 control group. Note that in the child literature waiting control groups are viewed from critically
698 to not acceptable (Fischer, Moeller, Cress, & Nuerk, 2013) and some authors do not include
699 intervention studies without active control groups in their reviews (Slavin, Lake, & Groff,
700 2009). The reason is that waiting control groups do not allow for the distinguishing of
701 intervention-specific effects from intervention-unspecific effects such as attention, motivation
702 or unspecific cognitive factors (learning how to learn) from intervention-specific effects, such
703 as learning finger-number relations in our study. A recent meta-analysis confirmed this concern.
704 Intervention studies without active control groups had generally larger effect sizes (Fischer et
705 al., 2013). However, it is impossible to distinguish the contribution of intervention-unspecific
706 and intervention-specific effects for such effect sizes. Therefore, we used an active control
707 design and did not add a waiting control group, because it would not allow any substantial
708 additional interpretation as regards the specific effects of our training.

709

710 ***5. Multiple component vs. single-component interventions***

711 When one reviews intervention studies, it is essential to distinguish between short-term
712 interventions, where one component in one game or task is trained, and long-term interventions,
713 where multiple components and tasks are trained (see Fischer et al., 2013, for an overview).
714 Some of us have conducted single-component embodied interventions targeting embodied
715 numerosity in different variations (e.g., Dackermann, Fischer, Huber, Nuerk, & Moeller, 2016;
716 Fischer et al., 2011; Fischer, Moeller, Huber, Cress, & Nuerk, 2015; Link, Moeller, Huber,
717 Fischer, & Nuerk, 2013; Link, Schwarz, Huber, Fischer, Nuerk, Cress, & Moeller, 2014; for
718 reviews see Dackermann, Fischer, Cress, Nuerk, & Moeller, 2016; Dackermann, Fischer,
719 Nuerk, Cress, & Moeller, 2017; Moeller, Fischer, Link, Wasner, Huber, Cress, & Nuerk, 2012;
720 Moeller, Fischer, Nuerk, & Cress, 2015). When one conducts such trainings, it is inevitable that
721 children get bored after a very short period of time. For instance, Fischer and colleagues (2015)
722 could not even include post-tests after the second training in a cross-over design, because the

723 decreased motivation of the children caused performance to drop substantially in the second
724 post-test.

725 Any long-term intervention in such young children therefore necessarily cannot rely on one
726 component, because it would get boring for the children after a few or even one session. We
727 are not aware of any long-term intervention in numerical cognition which lasted over 50
728 sessions in 10 weeks (or more) and which used only one particular game for any numerical
729 construct. All comparable interventions we are aware of used multiple modules and multiple
730 games to improve one or more particular conceptual representation or process. Therefore, in
731 any (not only our) long-term intervention with kindergarten children, it will always be
732 impossible to track down any eventual changes to one particular game or module. This is only
733 possible in short-term interventions with very few sessions, where children do not get bored by
734 multiple repetitions of the same simple arithmetic game.

735 We have included finger gnosis in our multi-component finger-number intervention program,
736 because earlier results (e.g., Noël, 2005; Wasner et al., 2016) suggested that finger gnosis may
737 be weakly related to arithmetic skill. However, of our whole training modules, only two short
738 training games exclusively targeted finger gnosis, all other games were explicitly related to
739 finger-number relations. Thus, training finger gnosis was a very small part of the multi-
740 component intervention program and given that the relations between finger gnosis and math
741 are weak, we do not believe that their inclusion had a large impact on the results. However,
742 theoretically, we cannot preclude that these two of the 18 games contributed to the null effects
743 in this study.

744

745 **6. Limitations**

746 As the finger gnosis and finger-number training provided in the current study obviously was
747 not effective beyond the control group, it might be that the training ought to be *provided*
748 *together with formal arithmetic instruction*. A key difference between the kindergarten children
749 in our study and the first graders in the study by Frey and colleagues (submitted) was that the
750 latter had already been formally introduced to the concept of addition and subtraction at school,
751 which of course was not the case for our kindergarten children. The lack of formal arithmetic
752 education did not prevent some of the kindergarten children from solving quite a few of the
753 addition tasks. On the other hand, the subtraction tasks were very difficult and often frustrating
754 for nearly all of the children. The latter was also obvious as this task showed a high fluctuation
755 in performance. Nearly twenty percent of the children could not solve even one of the
756 subtraction items at post-test, but the same children had solved an average of nearly five items
757 at pre-test. This observation might be a consequence of the fact that kindergarteners are used to
758 counting forward rather than backward. In line with this, it has been shown that preschoolers
759 had more difficulties using a task to access the preceding compared to the next number (e.g.,
760 Sella, Lucangeli, Cohen Kadosh, & Zorzi, 2019; Sella & Lucangeli, 2020). In addition, the fact
761 that basic arithmetic performance varies strongly at this age may be due to fluctuations in
762 attention and motivation (see, e.g., Aunio & Niemivirta, 2010 for the influence of inattention
763 on arithmetic performance). Other studies have also found large individual differences in
764 numerical abilities in preschoolers (e.g., Dowker, 2008; Weinhold Zulauf, Schweiter, & von
765 Aster, 2003).

766

767 Further, as we did not control for *external interventions* taking place at the individual
768 kindergarten or at the homes of the children, it might be that these interventions levelled out the
769 effects of the training. However, although often not mentioned this applies to all of the studies
770 in the field, since no kindergarten, school and probably almost no parents would agree to
771 participate in a longitudinal numerical study in which all numerical/arithmetic activities are
772 forbidden for the time of the longitudinal study this might create an additional source of error

773 variance. Additionally, stronger promotion of numerical skills in the kindergarten and/or in the
774 family might in turn also boost numerical knowledge. This may be even reinforced by the fact
775 that in and around the city of Tuebingen, where the training took place, families have an above-
776 average socioeconomic status, and thus, children may have been promoted even more. If many
777 of the children in our study received a great deal of such numerical promotion in their
778 kindergartens or families anyway in this developmental period, this could have prevented our
779 training from having a visible additional benefit. Thus, the training may still be beneficial for
780 (possibly lower SES) families, in which numerical skills of children are supported or promoted
781 to a lesser extent.

782 It could also be the case when familiarising kindergarteners with numbers the *increased interest*
783 in one domain might generalise for neighboring domains like sounds and letters and vice versa,
784 thereby promoting improvement in both fields. The finding that numerical skills obviously
785 improve dramatically during the last kindergarten year was also shown by Weinhold Zulauf
786 and colleagues (2003) who tested over 300 German-speaking children in Austria (see also
787 Krajewski, Nieding, & Schneider, 2008). The authors even speak of a “*sensitive period*” for
788 the acquisition of numerical skills. Thus, children at this age gain knowledge in the domain of
789 numbers very fast through natural interest.

790 At last, we do not want to omit the possibility that the training might have had no effect
791 whatsoever. In this case, *overall maturation*, which is certainly fast at that age, might have led
792 to the improvement of all skills in all groups. However, we do not think maturation plays a sole
793 role, as other studies with waiting control groups consistently showed differences when
794 compared to the intervention groups (e.g., Frey et al., submitted; Gracia-Bafalluy & Noël, 2008;
795 Jay & Betenson, 2017). Moreover, other studies focusing on other numerical precursor skills,
796 or including a broader range of such skills, have shown intervention effects in kindergarten
797 children (e.g., Kaufmann, Delazer, Pohl, Semenza, & Dowker, 2005; Krajewski et al., 2008;
798 Praet & Desoete, 2014).

799

800 **Conclusions and Perspectives**

801 In sum, we suggest that the difference in training and age was responsible for the different
802 outcomes between the Frey and colleagues study (submitted) and the current study. The first
803 graders in the study by Frey and colleagues (submitted) had received training in number
804 relations and direct finger use for addition and subtraction, and the kindergarten children in our
805 study had received training in a quantity of number concepts. Both studies trained a variety of
806 different skills occurring at different developmental stages (finger gnosis, 1-1 finger-number
807 mapping, ordinality and cardinality of numbers and number relations in base-10 and place-
808 value system). It may be a rather complicated but potentially rewarding task for future studies
809 to try and disentangle these factors and test more directly which specific components of the
810 training were responsible for the training effect in Frey and colleagues’ (submitted) first-graders
811 and which components might be more promising for training in kindergarteners compared to
812 older children.

813

814 Maybe one should also take the developmental stage of the individual child into account. For
815 example, it might be fruitful to apply an adaptive finger-based numerical training suited to the
816 needs of the individual child (similar to, e.g., Praet & Desoete, 2014, for computerised
817 counting), rather than having all children play the same games. Given the large individual
818 differences in preschooler’s numerical abilities (Dowker, 2008), a lot of the games might be
819 boring for some children but overburden others. Individual interventions carried out in primary
820 school directly trained weak number skills of individual children (e.g., Dowker & Sigley, 2010;
821 Holmes & Dowker, 2013). The individual arithmetical skills of the children trained in these
822 studies were highly susceptible to the individual intervention. Some of the concepts used in the

823 training were similar to ours (e.g., counting, written symbols, etc.), whereas others tapped more
824 into conceptual and reasoning domains. Thus, again by comparing these interventions in
825 primary school with our kindergarten training it is difficult to uncover the effective (or
826 ineffective) components of our training. Differences of outcome could also be due to the
827 different characteristics of the groups (preschool-aged normally developing children versus
828 school-aged children with arithmetic difficulties). In sum, different outcomes could be due to
829 the different trainings, the trained skills, or the individual adaption of the training. Finally, it
830 could be due to a combination of all three factors. Thus, it remains for future research to find
831 out whether, and what components of, finger-based numerical training can be trained at which
832 ages (specifically kindergarten versus primary school) and which training might be best-suited
833 for normally developing or at-risk children (see Dowker & Sigley, 2010; Holmes & Dowker,
834 2013; Kaufmann, Handl, & Thony, 2003 for interventions in primary school children with
835 arithmetic difficulties). Moreover, a comparison and/or combination of finger-based numerical
836 training with other components, that have been found to be effective, e.g. conceptual training
837 (for kindergarten children see Kaufmann et al., 2005) might be fruitful.

838 In conclusion, all of our kindergarteners showed improved scores in finger-gnosis, addition,
839 subtraction and completion to 5/10, independent of the training they received. We argue that
840 these general improvements could have been due to both domain-general and domain-specific
841 training effects. As our control training contained elements (such as sequencing or ordinality)
842 that might have been beneficial for numerical skills as well a final evaluation of the training as
843 being effective or ineffective is preliminary and may require a different active control group.
844 Further studies investigating how finger-number trainings in kindergarten children might affect
845 the development of numerical skills should incorporate different active intervention control
846 groups to disentangle general and specific training effects from maturation effects and
847 environmental factors like institutional or private promotion. Finally, as a first intervention
848 study where finger-number associations were trained in normally developing kindergarteners,
849 our data provide insights about the impact of finger-number associations for arithmetic
850 development. Even though we are convinced that appropriate embodied trainings might help
851 (e.g., Dackermann, Fischer, Nuerk, Cress, & Moeller, 2017), it is in our view important to also
852 publish and acknowledge the limitations of such training approaches when they were not as
853 successful as we would have ourselves postulated before we saw the data.
854

855 **Acknowledgments**

856 We are grateful to Miriam Frey for helping us in adapting her finger-based training (Frey et al.,
857 submitted) for kindergarten children. We are also grateful to Janina Althaus, Nina Bee, Sabine
858 Braasch, Jana Denking, Lena Flik, Eva Franz, Stella Gellner, Isolde Kolb, Ruth Kessler,
859 Janina Krempel, Johanna Lechner, Larissa Lorch, Monika Peterová Jarošová, Anne Rau,
860 Angelika Schmitt, Anna-Lena Schultz, Daniel-Niels Tönsing, Gülsan Usta and Marlene Weller
861 for assistance in the training and in collecting the data. We warmly thank all kindergartens,
862 parents and children that participated in our study.

863

864 **Ethics Statement**

865 The study titled „Hearing or Seeing? What factors of reading acquisition lead to more detailed
866 phonological processing? – A training study with preschoolers.” was approved by the ethical
867 committee of the German Psychological Association (“Ethikkommission der Deutschen
868 Gesellschaft für Psychologie”, US 082014).

869

870 **Author Contributions Statement**

871 US conceived the study and took primary responsibility for drafting the manuscript. US, AB
872 and HC all contributed to design of the training and the tasks. AB conducted the study. US
873 analyzed the data. AB and HN commented on drafts. All authors contributed to manuscript
874 revision, read and approved the submitted version.

875

876 **Funding**

877 The work was supported by a grant of the German Research Foundation (SCHI 1335/1-1). We
878 acknowledge support by Open Access Publishing Fund of University of Tuebingen.

879

880 **Conflict of Interest Statement**

881 The authors declare no competing interests.

882

883 **References**

- 884 Aragón, E., Navarro, J. I., Aguilar, M., Cerda, G., & García-Sedeño, M. (2016). Predictive
885 model for early math skills based on structural equations. *Scandinavian Journal of Psychology*,
886 *57*, 489-494. <https://doi.org/10.1111/sjop.12317>
- 887 Aunio, P., & Niemivirta, M. (2010). Predicting children's mathematical performance in grade
888 one by early numeracy. *Learning and Individual Differences*, *20*, 427-435.
889 <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2010.06.003>
- 890 Bakker, M., Torbeyns, J., Wijns, N., Verschaffel, L., & De Smedt, B. (2019). Gender equality
891 in 4- to 5-year-old preschoolers' early numerical competencies. *Developmental Science*, *22*,
892 *e12718*. <https://doi.org/10.1111/desc.12718>
- 893 Berteletti, I., & Booth, J. R. (2015). Perceiving fingers in single-digit arithmetic problems.
894 *Frontiers in Psychology*, *6*, 226. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00226>
- 895 Brozzoli, C., Ishihara, M., Göbel, S. M., Salemme, R., Rossetti, Y., & Farnè, A. (2008). Touch
896 perception reveals the dominance of spatial over digital representation of numbers. *Proceedings*
897 *of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *105*, 5644-5648.
898 <https://doi.org/10.1073/pnas.0708414105>
- 899 Brunner, M., Krauss, S., & Martignon, L. (2011). Eine alternative Modellierung von
900 Geschlechtsunterschieden in Mathematik. *Journal für Mathematik-Didaktik* *32*, 179.
901 <https://doi.org/10.1007/s13138-011-0026-2>
- 902 Bull, R., Cleland, A. A., & Mitchell, T. (2013). Sex differences in the spatial representation of
903 number. *Journal of Experimental Psychology: General*, *142*, 181-192.
904 <http://doi.org/10.1037/a0028387>

- 905 Bus, A., & van Uzendoorn, M. H. (1999). Phonological awareness and early reading: A meta-
 906 analysis of experimental training studies. *Journal of Educational Psychology*, *91*, 403-414.
 907 <http://doi.org/10.1037/0022-0663.91.3.403>
- 908 Butterworth, B. (1999). *The Mathematical Brain*, London, UK: Macmillan.
- 909 Castles, A., & Coltheart, M. (2004). Is there a causal link from phonological awareness to
 910 success in learning to read? *Cognition*, *91*, 77-111. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(03\)00164-1](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(03)00164-1)
- 912 Cipora, K., Patro, K., & Nuerk, H.-C. (2015). Are spatial-numerical associations a cornerstone
 913 for arithmetic learning? The lack of genuine correlations suggests no. *Mind, Brain, and*
 914 *Education*, *9*, 190-206. <https://doi.org/10.1111/mbe.12093>
- 915 Cipora, K., Soltanlou, M., Reips, U.-D., & Nuerk, H.-C. (2019). The SNARC and MARC
 916 effects measured online: Large-scale assessment methods in flexible cognitive effects. *Behavior*
 917 *Research Methods*, *1-17*. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01213-5>.
- 918 Costa, A. J., Silva, J. B., Chagas, P. P., Krinzinger, H., Lonneman, J., Willmes, K., . . . Haase,
 919 V. G. (2011). A hand full of numbers: A role for offloading in arithmetics learning? *Frontiers*
 920 *in Psychology*, *2*, 368. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00368>
- 921 Crollen, V., Mahe, R., Collignon, O., & Seron, X. (2011). The role of vision in the development
 922 of finger-number interactions: Finger-counting and finger-montring in blind children. *Journal*
 923 *of Experimental Child Psychology*, *109*, 525-539. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.03.011>
- 924 Crollen, V., & Noël, M.-P. (2015). The role of fingers in the development of counting and
 925 arithmetic skills. *Acta Psychologica*, *156*, 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.01.007>
- 926 Crollen, V., Noël, M.-P., Seron, X., Mahau, P., Lepore, F., & Collignon, O. (2014). Visual
 927 experience influences the interactions between fingers and numbers. *Cognition*, *133*, 91-96.
 928 <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2014.06.002>
- 929 Crollen, V., Seron, X., & Noël, M.-P. (2011). Is finger-counting necessary for the development
 930 of arithmetic abilities? *Frontiers in Psychology*, *2*, 242.
 931 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00242>
- 932 Dackermann, T., Fischer, U., Cress, U., Nuerk, H. C., & Moeller, K. (2016). Bewegtes Lernen
 933 numerischer Kompetenzen [Embodied Learning of Numerical Competencies]. *Psychologische*
 934 *Rundschau*. *67*, 102-109. <http://doi.org/10.1026/0033-3042/a000302>
- 935 Dackermann, T., Fischer, U., Huber, S., Nuerk, H. C., & Moeller, K. (2016). Training the
 936 equidistant principle of number line spacing. *Cognitive processing*.
 937 <http://doi.org/10.1007/s10339-016-0763-8>
- 938 Dackermann, T., Fischer, U., Nuerk, H.-C., Cress, U., & Moeller, K. (2017). Applying
 939 embodied cognition - From useful interventions and their theoretical underpinnings to practical
 940 applications. *ZDM Mathematics Education*, *49*, 545-557. <http://dx.doi.org/10.1007/s11858-017-0850-z>
- 942 De Smedt, B., Noël, M.-P., Gilmore, C., & Ansari, D. (2013). How do symbolic and non-
 943 symbolic numerical magnitude processing skills relate to individual differences in children's
 944 mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Trends in Neuroscience*
 945 *and Education*, *2*, 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.06.001>
- 946 Di Luca, S., & Pesenti, M. (2011). Finger numeral representations: More than just another
 947 symbolic code. *Frontiers in Psychology*, *2*, 272. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00272>
- 948 Domahs, F., Krinzinger, H., & Willmes, K. (2008). Mind the gap between both hands: Evidence
 949 for internal finger-based number representations in children's mental calculation. *Cortex*, *44*,
 950 359-367. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.001>
- 951 Domahs, F., Moeller, K., Huber, S., Willmes, K., & Nuerk, H. C. (2010). Embodied numerosity:
 952 implicit hand-based representations influence symbolic number processing across cultures.
 953 *Cognition*, *116*, 251-266. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.05.007>

- 954 Dougherty, M.R., Hamovitz, T., & Tidwell, J.W. (2016) Reevaluating the effectiveness of n-
 955 back training on transfer through the Bayesian lens: Support for the null. *Psychonomic Bulletin*
 956 *& Review*, 23, 306–316. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0865-9>
- 957 Dowker, A. (2008). Individual differences in numerical abilities in preschoolers.
 958 *Developmental Science*, 11, 650-654. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00713.x>
- 959 Dowker, A., & Sigley, G. (2010). Targeted interventions for children with arithmetical
 960 difficulties. In *British Journal of Educational Psychology Monograph*, 11:7 (pp. 65-81).
 961 <https://doi.org/10.1348/97818543370009X12583699332492>
- 962 Fayol, M., Barrouillet, P., & Marinthe, C. (1998). Predicting arithmetical achievement from
 963 neuro-psychological performance: A longitudinal study. *Cognition*, 68, B63-70.
 964 [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(98\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(98)00046-8)
- 965 Fischer, M. H. (2008). Finger counting habits modulate spatial-numerical associations. *Cortex*,
 966 44, 386-392. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.004>
- 967 Fischer, J. P. (2010). Numerical performance increased by finger training: A fallacy due to
 968 regression toward the mean? *Cortex*, 46, 272-273. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.06.010>
- 969 Fischer, U., Moeller, K., Bientzle, M., Cress, U., & Nuerk, H.-C. (2011). Sensori-motor spatial
 970 training of number magnitude representation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18, 177-183.
 971 <https://doi.org/10.3758/s13423-010-0031-3>
- 972 Fischer, U., Moeller, K., Cress, U., & Nuerk, H.-C. (2013). Interventions Supporting Children's
 973 Mathematics School Success A Meta-Analytic Review. *European Psychologist*, 18, 89-113.
 974 <https://doi.org/10.1027/1016-9040/a000141>
- 975 Fischer, U., Moeller, K., Huber, S., Cress, U., & Nuerk, H.-C. (2015). Full-body movement in
 976 numerical trainings: A pilot study with an interactive whiteboard. *International Journal of*
 977 *Serious Games*, 2. <http://doi.org/10.17083/ijsg.v2i4.93>
- 978 Fischer, U., Suggate, S. P., Schmir, J., & Stoeger, H. (2017). Counting on fine motor skills:
 979 Links between preschool finger dexterity and numerical skills. *Developmental Science*, e12623.
 980 <https://doi.org/10.1111/desc.12623>
- 981 Frey, M. (2017). *Die Bedeutsamkeit fingerbasierter Repräsentationen auf numerische*
 982 *Fähigkeiten – Ergebnisse einer Intervention zu Beginn der Grundschule und Differenzierung*
 983 *struktureller Merkmale* (Doctoral dissertation).
- 984 Frey, Nuerk and Moeller (submitted). You can count on your fingers for learning arithmetic:
 985 Finger-based training increases first-graders' numerical learning.
- 986 Gerstmann, J. (1940). Syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia
 987 and acalculia: Local diagnostic value. *Archives of Neurology & Psychiatry*, 44, 398-408.
 988 <https://doi.org/10.1001/archneurpsyc.1940.02280080158009>
- 989 Gracia-Bafalluy, M., & Noël, M.-P. (2008). Does finger training increase young children's
 990 numerical performance? *Cortex*, 44, 368-375. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.020>
- 991 Hohol M, Wołoszyn K, Nuerk H, & Cipora K., 2018. A large-scale survey on finger counting
 992 routines, their temporal stability and flexibility in educated adults. *PeerJ* 6:e5878.
 993 <https://doi.org/10.7717/peerj.5878>
- 994 Holmes, W., & Dowker, A. (2013). Catch Up Numeracy: A targeted intervention for children
 995 who are low-attaining in mathematics. *Research in Mathematics Education*, 15, 249-265.
 996 <https://doi.org/14794802.2013.803779>
- 997 Honore, N., & Noël, M.-P.(2017). Can working memory training improve preschoolers'
 998 numerical abilities? *Journal of Numerical Cognition*, 3, 516-539.
 999 <https://doi.org/10.5964/jnc.v3i2.54>
- 1000 Hornburg, C. B., Rieber, M. L., & McNeil, N. M. (2017). An integrative data analysis of gender
 1001 differences in children's understanding of mathematical equivalence. *Journal of Experimental*
 1002 *Child Psychology*, 163, 140-150. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.06.002>

- 1003 Hutchison, J. E., Lyons, I. M., & Ansari, D. (2019). More Similar Than Different: Gender
 1004 Differences in Children's Basic Numerical Skills Are the Exception Not the Rule. *Child*
 1005 *Development, 90*, e66-e79. <https://doi.org/10.1111/cdev.13044>
- 1006 Hyde, J. S. (2016). Sex and cognition: gender and cognitive functions. *Current Opinion in*
 1007 *Neurobiology, 38*, 53-56. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2016.02.007>
- 1008 Jarosz, A. F., & Wiley, J. (2014). What are the odds? A practical guide to computing and
 1009 reporting bayes factors. *The Journal of Problem Solving, 7*, 2-9. [https://doi.org/10.7771/1932-](https://doi.org/10.7771/1932-6246.1167)
 1010 [6246.1167](https://doi.org/10.7771/1932-6246.1167)
- 1011 JASP Team (2017). JASP (Version 0.8.1.2)[Computer software].
- 1012 Jay, T., & Betenson, J. (2017). Mathematics at Your Fingertips: Testing a Finger Training
 1013 Intervention to Improve Quantitative Skills. *Frontiers in Education, 2*.
 1014 <https://doi.org/10.3389/educ.2017.00022>
- 1015 Kaufmann, L., Delazer, M., Pohl, R., Semenza, C., & Dowker, A. (2005). Effects of a specific
 1016 numeracy educational program in kindergarten children: A pilot study. *Educational Research*
 1017 *and Evaluation, 11*, 405-431. <https://doi.org/10.1080/13803610500110497>
- 1018 Kaufmann, L., Handl, P., & Thony, B. (2003). Evaluation of a numeracy intervention program
 1019 focusing on basic numerical knowledge and conceptual knowledge: A pilot study. *Journal of*
 1020 *Learning Disabilities, 36*, 564-573. <https://doi.org/10.1177/00222194030360060701>
- 1021 Kohn, J., Kucian, K., Wuithschick, E., Mayer, V., Rauscher, L., McCaskey, U., . . . Aster, M.
 1022 v. (2015). Rechenleistung und Fingeragnosie: Besteht ein Zusammenhang? *Lernen und*
 1023 *Lernstörungen, 4*, 209-223. <https://doi.org/10.1024/2235-0977/a000106>
- 1024 Krajewski, K., Nieding, G., & Schneider, W. (2008). Kurz- und langfristige Effekte
 1025 mathematischer Frühförderung im Kindergarten durch das Programm „Mengen, zählen,
 1026 Zahlen“. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 40*, 135-146.
 1027 <https://doi.org/10.1026/0049-8637.40.3.135>
- 1028 Krinzinger, H., Kaufmann, L., Gregoire, J., Desoete, A., Nuerk, H.C., & Willmes, K. (2012).
 1029 Gender Differences in the Development of Numerical Skills in Four European Countries.
 1030 *International Journal of Gender, Science and Technology, 4*, 62-77.
- 1031 Lafay, A., Thevenot, C., Castel, C., & Fayol, M. (2013). The role of fingers in number
 1032 processing in young children. *Frontiers in Psychology, 4*, 488.
 1033 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00488>
- 1034 Libertus, M. E., Odic, D., Feigenson, L., & Halberda, J. (2016). The precision of mapping
 1035 between number words and the approximate number system predicts children's formal math
 1036 abilities. *Journal of Experimental Child Psychology, 150*, 207-226.
 1037 <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.06.003>
- 1038 Lindemann, O., Alipour, A., & Fischer, M. H. (2011). Finger Counting Habits in Middle
 1039 Eastern and Western Individuals: *An Online Survey. Journal of Cross-Cultural Psychology, 42*,
 1040 566-578. <https://doi.org/10.1177/0022022111406254>
- 1041 Link, T., Moeller, K., Huber, S., Fischer, U., & Nuerk, H.-C. (2013). Walk the number line -
 1042 An embodied training of numerical concepts. *Trends in Neuroscience and Education, 2*, 74-84.
 1043 <http://doi.org/10.1016/j.tine.2013.06.005>
- 1044 Link, T., Schwarz, E. J., Huber, S., Fischer, U., Nuerk, H.-C., Cress, U., & Moeller, K. (2014).
 1045 Mathe mit der Matte - Verkörperlichtes Training basisnumerischer Kompetenzen. *Zeitschrift*
 1046 *für Erziehungswissenschaft, 17(2)*, 257-277. <http://doi.org/10.1007/s11618-014-0533-2>
- 1047 Erratum: Link, T., Schwarz, E. J., Huber, S., Fischer, U., Nuerk, H.-C., Cress, U., & Moeller,
 1048 K. (2015). Mathe mit der Matte – Verkörperlichtes Training basisnumerischer Kompetenzen,
 1049 *Zeitschrift fuer Erziehungswissenschaft, 18(4)*, 881-882. [http://doi.org/10.1007/s11618-015-](http://doi.org/10.1007/s11618-015-0657-z)
 1050 [0657-z](http://doi.org/10.1007/s11618-015-0657-z)
- 1051 Long, I., Malone, S. A., Tolan, A., Burgoyne, K., Heron-Delaney, M., Witteveen, K., & Hulme,
 1052 C. (2016). The cognitive foundations of early arithmetic skills: It is counting and number

- 1053 judgment, but not finger gnosis, that count. *Journal of Experimental Child Psychology*, 152,
 1054 327-334. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.08.005>
- 1055 Lucidi, A., & Thevenot, C. (2014). Do not count on me to imagine how I act: behavior
 1056 contradicts questionnaire responses in the assessment of finger counting habits. *Behavioral*
 1057 *Research Methods*, 46, 1079-1087. <https://doi.org/10.3758/s13428-014-0447-1>
- 1058 Melby-Lervag, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-
 1059 analytic review. *Developmental Psychology*, 49, 270-291. <https://doi.org/10.1037/a0028228>
- 1060 Moeller, K., Fischer, U., Link, T., Wasner, M., Huber, S., Cress, U., & Nuerk, H. C. (2012).
 1061 Learning and development of embodied numerosity. *Cognitive Processing*, 13 Suppl 1, S271-
 1062 274. <https://doi.org/10.1007/s10339-012-0457-9>
- 1063 Moeller, K., Fischer, U., Nuerk, H.-C., & Cress, U. (2015). Computers in mathematics
 1064 education - Training the mental number line. *Computers in Human Behavior*, 48, 597-607.
 1065 <http://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.048>
- 1066 Moeller, K., Martignon, L., Wessolowski, S., Engel, J., & Nuerk, H.-C. (2011). Effects of finger
 1067 counting on numerical development – The opposing views of neurocognition and mathematics
 1068 education. *Frontiers in Psychology*, 2. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00328>
- 1069 Moeller, K., & Nuerk, H.-C. (2012). Zählen und Rechnen mit den Fingern. *Lernen und*
 1070 *Lernstörungen*, 1, 33-53. <https://doi.org/10.1024/2235-0977/a000004>
- 1071 Morsanyi, K., Mahony, E. O., & McCormack, T. (2016). Number comparison and number
 1072 ordering as predictors of arithmetic performance in adults : Exploring the link between the two
 1073 skills, and investigating the question of domain-specificity. *The Quarterly Journal of*
 1074 *Experimental Psychology*, 0, 1-21. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1246577>
- 1075 Morsanyi, K., van Bers, B. M. C. W., McCormack, T., & McGourty, J. (2018). The prevalence
 1076 of specific learning disorder in mathematics and comorbidity with other developmental
 1077 disorders in primary school-age children. *British Journal of Psychology*, 109, 917-940.
 1078 <https://doi.org/10.1111/bjop.12322>
- 1079 Nguyen, T., Watts, T. W., Duncan, G. J., Clements, D. H., Sarama, J. S., Wolfe, C., & Spitler,
 1080 M. E. (2016). Which preschool mathematics competencies are most predictive of fifth grade
 1081 achievement? *Early Childhood Research Quarterly*, 36, 550-560.
 1082 <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2016.02.003>
- 1083 Nicoladis, E., Pika, S., & Marentette, P. (2010). Are number gestures easier than number words
 1084 for preschoolers? *Cognitive Development*, 25, 247-261.
 1085 <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2010.04.001>
- 1086 Noël, M. P. (2005). Finger gnosis: A predictor of numerical abilities in children? *Child*
 1087 *Neuropsychology*, 11, 413-430. <https://doi.org/10.1080/09297040590951550>
- 1088 O'Connor, P. A., Morsanyi, K., & McCormack, T. (2018). Young children's non-numerical
 1089 ordering ability at the start of formal education longitudinally predicts their symbolic number
 1090 skills and academic achievement in maths. *Developmental Science*, e12645.
 1091 <https://doi.org/10.1111/desc.12645>
- 1092 Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory.
 1093 *Neuropsychologia*, 9, 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- 1094 Park, J., Bermudez, V., Roberts, R. C., & Brannon, E. M. (2016). Non-symbolic approximate
 1095 arithmetic training improves math performance in preschoolers. *Journal of Experimental Child*
 1096 *Psychology*, 152, 278-293. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.07.011>
- 1097 Penner-Wilger, M., Fast, L., LeFevre, J., Smith-Chant, B. L., Skwarchuk, S., Kamawar, D., &
 1098 Bisanz, J. (2007). The foundations of numeracy: Subitizing, finger gnosis, and fine-motor
 1099 ability. *Proceedings of the 29th Annual Cognitive Science Society*, 1385-1390.
- 1100 Penner-Wilger, M., Fast, L., LeFevre, J., Smith-Chant, B. L., Skwarchuk, S., Kamawar, D., &
 1101 Bisanz, J. (2009). Subitizing, finger gnosis, and the representation of number. *Proceedings of*
 1102 *the 31st Annual Cognitive Science Society*, 520-525.

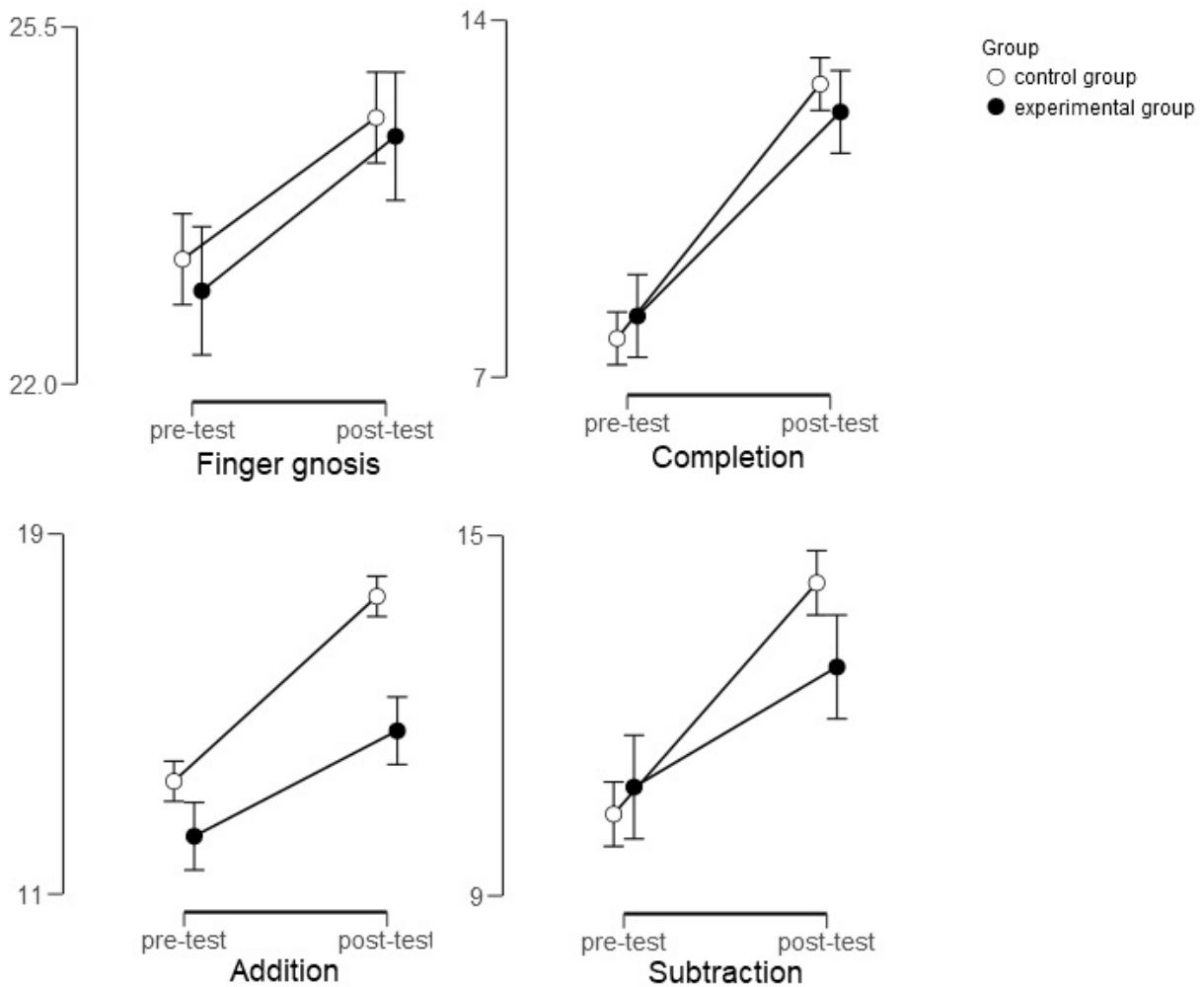
- 1103 Pletzer, B., Moeller, K., Scheuringer, A., Domahs, F., Kerschbaum, H. H., & Nuerk, H.-C.
 1104 (2016). Behavioral evidence for sex differences in the overlap between subtraction and
 1105 multiplication. *Cognitive Processing*, *17*, 147-154. <https://doi.org/10.1007/s10339-016-0753-x>
 1106 Pletzer, B., Kronbichler, M., Nuerk, H.-C., & Kerschbaum, H. (2013). Sex differences in the
 1107 processing of global vs. local stimulus aspects in a two-digit number comparison task - an fMRI
 1108 study. *PLoS ONE*, *8*:e53824. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053824>
 1109 Poeck, K. (1964). Phantoms following amputation in early childhood and in congenital absence
 1110 of limbs. *Cortex*, *1*, 269-275. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(64\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(64)80002-2)
 1111 Poltz, N., Wyschkon, A., Höse, A., Aster, M. v., & Esser, G. (2015). Vom Fingergefühl zum
 1112 Rechnen. *Lernen und Lernstörungen*, *4*, 177-193. <https://doi.org/10.1024/2235-0977/a000088>
 1113 Praet, M., & Desoete, A. (2014). Enhancing young children's arithmetic skills through non-
 1114 intensive, computerised kindergarten interventions: A randomised controlled study. *Teaching*
 1115 *and Teacher Education*, *39*, 56-65. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2013.12.003>
 1116 Previtali, P., Rinaldi, L., & Girelli, L. (2011). Nature or Nurture in Finger Counting: A Review
 1117 on the Determinants of the Direction of Number-Finger Mapping. *Frontiers in Psychology*, *2*.
 1118 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00363>
 1119 Purpura, D. J., Daya, E., Napolia, A. R., & Hart, S. A. (2017). Identifying domain-general and
 1120 domain-specific predictors of low mathematics performance: A classification and regression
 1121 tree analysis. *Journal of Numerical Cognition*, *3*, 365-399. <https://doi.org/10.5964/jnc.v3i2.53>
 1122 Purpura, D. J., & Ganley, C. M. (2014). Working memory and language: Skill-specific or
 1123 domain-general relations to mathematics? *Journal of Experimental Child Psychology*, *122*,
 1124 104-121. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.12.009>
 1125 Purpura, D. J., & Reid, E. E. (2016). Mathematics and language: Individual and group
 1126 differences in mathematical language skills in young children. *Early Childhood Research*
 1127 *Quarterly*, *36*, 259-268. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2015.12.020>
 1128 Ramani, G. B., Jaeggi, S. M., Daubert, E. N., & Buschkuhl, M. (2017). Domain-specific and
 1129 domain-general training to improve kindergarten children's mathematics. *Journal of Numerical*
 1130 *Cognition*, *3*, 468-495.
 1131 Reeve, R., & Humberstone, J. (2011). Five- to 7-year-olds' finger gnosis and calculation
 1132 abilities. *Frontiers in Psychology*, *2*, 359. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00359>
 1133 Reinert, R. M., Huber, S., Nuerk, H.-C., & Moeller, K. (2017): Sex differences in number line
 1134 estimation: The role of numerical estimation. *British Journal of Psychology*, *108*, 334-350.
 1135 <https://doi.org/10.1111/bjop.12203>
 1136 Sasanguie, D., Lyons, I. M., De Smedt, B., & Reynvoet, B. (2017). Unpacking symbolic
 1137 number comparison and its relation with arithmetic in adults. *Cognition*, *165*, 26-38.
 1138 <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.04.007>
 1139 Sato, M., & Lalain, M. (2008). On the relationship between handedness and hand-digit mapping
 1140 in finger counting. *Cortex*, *44*, 393-399. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.005>
 1141 Sella, F., & Lucangeli, D. (2020). The knowledge of the preceding number reveals a mature
 1142 understanding of the number sequence. *Cognition*, *194*, 104104.
 1143 <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.104104>
 1144 Sella, F., Lucangeli, D., Cohen Kadosh, R., & Zorzi, M. (2019). Making Sense of Number
 1145 Words and Arabic Digits: Does Order Count More? *Child Development*,
 1146 <https://doi.org/10.1111/cdev.13335>
 1147 Slavin, R. E., Lake, C., & Groff, C. (2009). Effective programs in middle and high school
 1148 mathematics: A best-evidence synthesis. *Review of Educational Research*, *79*, 839-911.
 1149 <https://doi.org/10.3102/0034654308330968>
 1150 Suggate, S., Stoeger, H., & Fischer, U. (2017). Finger-based numerical skills link fine motor
 1151 skills to numerical development in preschoolers. *Perceptual and Motor Skills*, *124*, 1085-1106.
 1152 <https://doi.org/10.1177/0031512517727405>

- 1153 Szűcs, D., & Myers, T. (2017). A critical analysis of design, facts, bias and inference in the
 1154 approximate number system training literature: A systematic review. *Trends in Neuroscience*
 1155 *and Education*, 6, 187-203. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2016.11.002>
- 1156 Tschentscher, N., Hauk, O., Fischer, M. H., & Pulvermüller, F. (2012). You can count on the
 1157 motor cortex: Finger counting habits modulate motor cortex activation evoked by numbers.
 1158 *NeuroImage*, 3139-3148. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.11.037>
- 1159 Vos, H., Sasanguie, D., Gevers, W., & Reynvoet, B. (2017). The role of general and number-
 1160 specific order processing in adults' arithmetic performance. *Journal of Cognitive Psychology*,
 1161 5911(January). <https://doi.org/10.1080/20445911.2017.1282490>
- 1162 Wasner, M., Moeller, K., Fischer, M. H., & Nuerk, H.-C. (2014). Aspects of situated cognition
 1163 in embodied numerosity: the case of finger counting. *Cognitive Processing*, 15, 317-328.
 1164 <https://doi.org/10.1007/s10339-014-0599-z>
- 1165 Wasner, M., Moeller, K., Fischer, M. H., & Nuerk, H.-C. (2015). Related but not the same:
 1166 Ordinality, cardinality and 1-to-1 correspondence in finger-based numerical representations.
 1167 *Journal of Cognitive Psychology*, 27, 426-441. <https://doi.org/10.1080/20445911.2014.964719>
- 1168 Wasner, M., Nuerk, H.-C., Martignon, L., Roesch, S., & Moeller, K. (2016). Finger gnosis
 1169 predicts a unique but small part of variance in initial arithmetic performance. *Journal of*
 1170 *Experimental Child Psychology*, 146, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.01.006>
- 1171 Weinhold Zulauf, M., Schweiter, M., & von Aster, M. (2003). Das Kindergartenalter: Sensitive
 1172 Periode für die Entwicklung numerischer Fertigkeiten. *Kindheit und Entwicklung*, 12, 222-230.
 1173 <https://doi.org/10.1026//0942-5403.12.4.222>
- 1174 Weiß, R. H., & Osterland, J. (2013). Grundintelligenztest Skala 1–Revision (CFT 1-R).
 1175 Göttingen, Germany: Hogrefe.
- 1176 Welsh, J. A., Nix, R. L., Blair, C., Bierman, K. L., & Nelson, K. E. (2010). The Development
 1177 of Cognitive Skills and Gains in Academic School Readiness for Children from Low-Income
 1178 Families. *Journal of Educational Psychology*, 102, 43-53. <https://doi.org/10.1037/a0016738>
- 1179 Wyschkon, A., Poltz, N., Höse, A., Aster, M. v., & Esser, G. (2015). Schwache Fingergnosie
 1180 als Risikofaktor für zukünftiges Rechnen? *Lernen und Lernstörungen*, 4, 159-175.
 1181 <https://doi.org/10.1024/2235-0977/a000087>
- 1182 Xu, C., & Lefevre, J. (2016). Training Young Children on Sequential Relations Among
 1183 Numbers and Spatial Decomposition: Differential Transfer to Number Line and Mental
 1184 Transformation Tasks. *Developmental Psychology*, 52(6), 854-866.
 1185 <https://doi.org/10.1037/dev0000124>.

1186 **Table 1.** Demographic data and differences between groups in age, sex, attended days,
 1187 handedness measured by the Lateralized Quotient (LQ; Oldfield, 1971) and in the subtest
 1188 Matrices taken from the Culture Fair Intelligence Test (CFT 1-R; Weiß & Osterland, 2013).

	Age to pre-test (years; month (range))	Sex (male/female)	Attended days (mean (SE, range))	Handedness LG (mean (SE))	Subtest Matrices (mean (SE))
Experimental group	5;10 (5;3-6;11)	19/16	41.2 (1.15, 23.5-0)	70 (7.06)	5.8 (0.63)
Control group	5;11 (5;2-7)	40/27	40.0 (0.90, 7-49)	56 (6.54)	6.8 (0.42)
Significant differences between groups	$t < 1, ns$	$\chi^2 < 1, ns$	$t < 1, ns$	$t = 1.3, p = 0.154, ns$	$t = 1.3, p = 0.192, ns$

1189



1190 **Figure captions**
 1191
 1192

1193 **Figure 1.** Mean scores for all dependent variables ([A] Finger gnosis, [B] Completion, [C]
 1194 Addition and [D] Subtraction) for each group (experimental group [black] versus control group
 1195 [white]) and each time (pre- versus post-test). Error bars indicate standard errors. Note, that the

Finger-based numerical training in kindergarteners

1196 figure for subtraction displays results of the reduced sample ($N = 63$, for more details refer to
1197 the text).

Finger-based numerical training in kindergarteners

Appendix

Table 1

Trained conceptual level, skills and games/tasks applied in the training.

Conceptual level	Skill	Game/Task	Order of occurrence in the training. Games were applied with increasing difficulty.	Occurred N-times in training
Finger gnosis (not related to number)	Motoric accuracy	“Finger tapping” with each hands separately and together	1	5
	Motoric divergence	“Labyrinth”: tracing a way through a labyrinth with all fingers, separately	2	4
1-to-1 mappings of finger and number	Verbal finger-number mapping	“Naming the fingers”, i.e., thumb, index finger, middle finger, ring finger and pinkie and mapping the right numbers (right hand - 1-5 & left hand 6-10)	3	4
	Visual finger-number mapping in association with learning visual Arabic digits	“Tracing numbers” 1-10 on a sheet with the respective finger of the right (1-thumb, 2 - index finger, 3 - middle finger, 4 - ring finger, 5 - pinkie) or left (6-thumb, 7 - index finger, 8 - middle finger, 9 - ring finger, 10 - pinkie) hand	4	3
Ordinal finger-number associations	Counting	“Finger counting” forwards and backwards and starting with different numbers	5	3
		“Counting objects“. Children should show the counted objects with their fingers.	12	4
		“Clapping”: counting the clapping of the trainer and other children. Children should show the number of claps with their fingers.	13	5
	Ordering (Ordinality based on cardinality)	“Train-Game” with groups of 3-5 children. Each child got an Arabic number. Children had to show their digit with their fingers and order themselves in the correct numerical sequence like train carriages without talking. The number sequences were either continuous with missing “carriages” in between, e.g., 3, 5 and 9	14	6

Finger-based numerical training in kindergarteners

		“Order card desks” with fingers, digits and points into the right sequence (from 1 to 10)	15	3
Cardinal finger-number associations	Verbal and visual finger to number and number to finger mapping of the respective cardinalities	“Corresponding number” naming the corresponding number to shown fingers (6) The trainer showed a finger-number pattern for a few seconds while saying a rhyme. Children had to recognize the finger-number pattern and show it with their own fingers and say the corresponding number. (7) Later, single children were allowed to show a pattern and appoint another child in solving the task.	6 & 7	12
		“Story-time” detect numbers that were hidden in stories and show the cardinality of the numbers with their fingers”	8	9
		“Memory” with cards displaying fingers and numbers	9	4
		“Bingo” with finger cards Children had to mark numbers on a sheet	10	7
		“Domino” with combined finger and number cards	11	6
Number relations: Base-10 and place-value system	Completion to 5/10	“Completion-Game” showing how many fingers are needed to 5 and 10	16	3
		“Completion” (to 5 and to 10) with cards displaying fingers	17	4
	Double numbers	“Double numbers” children should show the double number (with the fingers) to fingers shown by the trainer	18	3

Anhang III

Zusatzanalysen zur Central Negativity (cNEG) für Studie 1 und Studie 2.

Zusatzanalyse Central Negativity (cNEG), Studie 1: Vergleich zwischen den drei Trainingsgruppen (phonemische Gruppe, phonemisch-orthographische Gruppe, Kontrollgruppe) und der erwachsenen Kontrollgruppe

Datenanalyse

Ereignis-korrelierte Potentiale: Hypothesengeleitet wurden zwei zentrale ROI (region of interest) ermittelt (zentral-anterior: FPz, AFz, Fz, FCz; zentral-posterior: Cz, Pz, POz, Iz). EKP-Amplituden wurden mittels einer ANOVA mit Messwiederholung berechnet. Als within-Faktoren wurden gewählt: *Bedingung* (Identitätsbedingung vs. Variationsbedingung vs. Kontrollbedingung), *Phonem* (trainierte Phoneme /g/ und /k/ vs. untrainierte Phoneme /b/ und /p/), *Region* (Anterior vs. Posterior). Als between-Faktor wurde *Gruppe* (PHON vs. PHORT vs. CONTROL vs. ADULT) gewählt. Es wurde das gleiche Analyse-Zeitfenster für die cNEG wie in der Studie von Schild, Röder, & Friedrich (2011) gewählt (300 - 400 ms). Es werden nur signifikante Interaktionen mit dem Faktor *Bedingung* mit *Region*, *Phonem* und/oder *Gruppe* berichtet. Signifikante Interaktionen wurden mit konsekutiven ANOVA und *t*-Tests weiter berechnet. Alle *t*-Test Ergebnisse sind Holm-Bonferroni korrigiert.

Ergebnisse

300 - 400 ms. Die ANOVA ermittelte eine signifikante Interaktion: *Bedingung* x *Region* ($F(2, 162) = 5.14, p < .007, \eta p^2 = .06$).

Interaktion *Bedingung* x *Region*: Abbildung 1 illustriert den Interaktionseffekt. Ein signifikanter Effekt wurde über posterioren Regionen ermittelt. Amplituden in der Kontrollbedingung waren negativer als Amplituden aus der Identitäts- und Variationsbedingung, beide $t(84) \geq 2.13, p \leq .002, d \geq .35$. Es gab keinen Unterschied zwischen Amplituden der Identitäts- und Variationsbedingung, $t(84) = 1.05, n.s.$

Abbildung 1. cNEG im Zeitfenster von 300 - 400 ms über alle Gruppen hinweg.

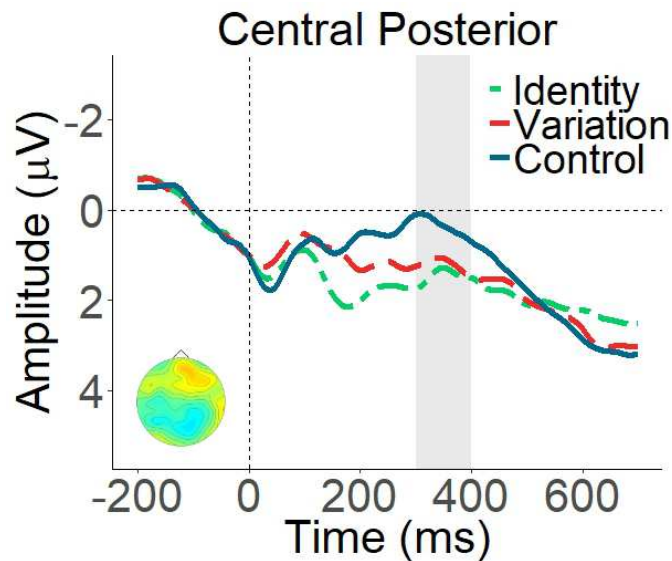


Abbildung 1. Amplitudendifferenzen über zentral-posterioren Regionen über alle Gruppen hinweg. Grün = Identifikationsbedingung (Identity), Rot = Variationsbedingung (Variation), Blau = Kontrollbedingung (Control). Topoplot für alle Gruppen zeigt Spannungsunterschiede zwischen der Identifikations- und Variationsbedingung.

Zusatzanalyse Central Negativity (cNEG), Studie 2: Vergleich zwischen Vorschulkindern, Erstklässlern, Zweitklässlern

Datenanalyse

Ereignis-korrelierte Potentiale: Hypothesengeleitet wurden zwei zentrale ROI (region of interest) ermittelt (zentral-anterior: FPz, AFz, Fz, FCz; zentral-posterior: Cz, Pz, POz, Iz). EKP-Amplituden wurden mittels einer ANOVA mit Messwiederholung berechnet. Als within-Faktoren wurden gewählt: *Bedingung* (Identitätsbedingung vs. Variationsbedingung vs. Kontrollbedingung), *Klassenstufe* (Vorschule vs. Klasse 1 vs. Klasse 2) und *Region* (Anterior vs. Posterior). Es wurde das gleiche Analyse-Zeitfenster für die cNEG wie in der Studie von Schild et al. (2011) gewählt (300 – 400 ms). Es werden nur signifikante Interaktionen mit dem Faktor Bedingung mit Region und/oder Altersstufe berichtet. Signifikante Interaktionen wurden mit konsekutiven ANOVA und *t*-Tests weiter berechnet. Alle *t*-Test Ergebnisse sind Holm-Bonferroni korrigiert.

Ergebnisse

300 – 400 ms. Die ANOVA ermittelte zwei signifikante Interaktionen: *Bedingung* x *Klassenstufe* ($F(2, 108) = 2.97, p < .022, \eta p^2 = .10$) und *Bedingung* x *Region* ($F(2, 54) = 22.91, p < .001, \eta p^2 = .46$).

Interaktion *Bedingung* x *Klassenstufe*: In der Gruppe der Vorschulkinder waren Amplituden in der Kontrollbedingung negativer als in der Identitäts- und Variationsbedingung, beide $t(27) \geq 2.22, p \leq .03, d \geq .41$. Es gab keinen Unterschied zwischen Amplituden der Identitäts- und Variationsbedingung, $t(27) = 0.20, n.s.$ Sowohl bei Erst- als auch Zweitklässlern wurden konsekutive ANOVA nicht signifikant, beide $F \leq 2.05, n.s.$

Interaktion *Bedingung* x *Region*: Signifikante Effekte wurden für beide Regionen (anterior und posterior) gefunden. Über anterioren Regionen unterschieden sich die Kontrollbedingung signifikant von der Identitäts- als auch Variationsbedingung, beide $t(83) \geq 2.85, p \leq .005, d \geq .30$. Es gab keinen Unterschied zwischen Amplituden der Identitäts- und Variationsbedingung, $t(83) = 0.80, n.s.$ Ein ähnliches Muster ergab sich über posterioren Regionen. Amplituden in der Kontrollbedingung waren negativer als in der Identitäts- und Variationsbedingung, $t(83) \geq 4.09, p \leq .0001, d \geq .45$. Es gab keinen Unterschied zwischen Amplituden der Identitäts- und Variationsbedingung, $t(83) = 0.24, n.s.$

Zusammenfassung: Im Zeitfenster von 300 – 400 ms ergaben sich Amplitudenunterschiede über zentralen Elektroden in der Gruppe der Vorschulkinder. Amplituden in der Kontrollbedingung unterschieden sich signifikant von den anderen beiden Bedingungen. Es gab keinen Unterschied zwischen der Identitäts- und Variationsbedingung. Über alle Gruppen hinweg ergab sich das gleiche Muster über anterioren und posterioren Regionen. Amplituden in der Kontrollbedingung unterschieden sich von der Identitäts- und Variationsbedingung. Es gab keinen Unterschied zwischen der Identitäts- und Variationsbedingung. Effekte über anterioren und posterioren Regionen werden in Abbildung 2 veranschaulicht.

Abbildung 2. cNEG im Zeitfenster von 300 - 400 ms über alle Altersgruppen hinweg.

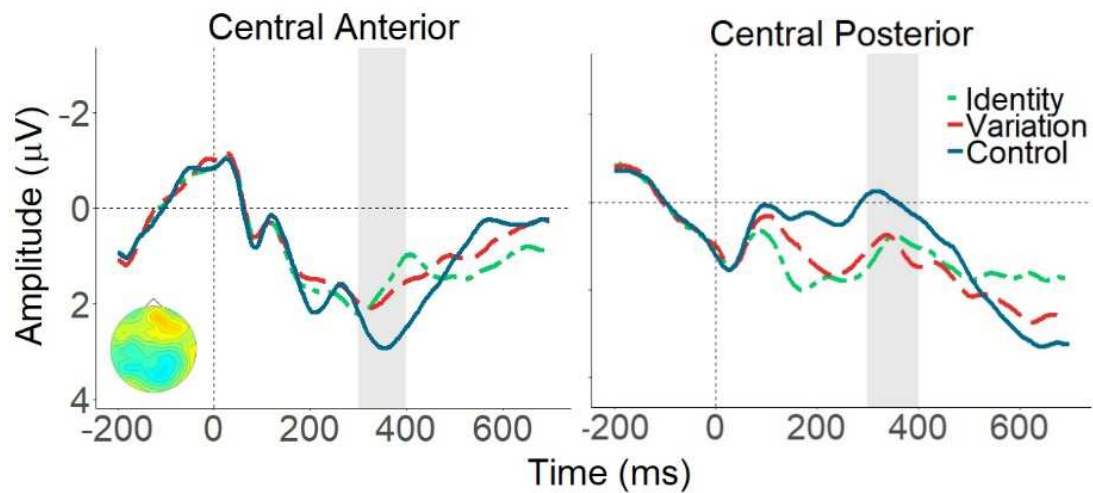


Abbildung 2. Amplitudendifferenzen über zentral-anterioren und zentral-posterioren Regionen über alle Altersgruppen hinweg. Grün = Identifikationsbedingung (Identity), Rot = Variationsbedingung (Variation), Blau = Kontrollbedingung (Control). Topoplot für alle Gruppen zeigt Spannungsunterschiede zwischen der Identifikations- und Variationsbedingung.

Referenz:

Schild, U., Röder, B., & Friedrich, C. K. (2011). Learning to read shapes the activation of neural lexical representations in the speech recognition pathway. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 1(2), 163-174. doi:10.1016/j.dcn.2010.11.002

Anhang IV

Ergebnisse explizite Tests Studie 1: *Spy Game* und *Letter Knowledge*.

Berichtet werden die Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholung, die für beide Tests gerechnet wurden. Als Within-Faktor wurde der Faktor *Zeit* (Prä- vs. Posttest), als Between-Faktor *Gruppe* (PHON vs. PHORT vs. CONTROL) gewählt. Ferner werden Mittelwerte und Standardabweichungen für die beiden Tests aufgeführt.

Tabelle 1.

Ergebnisse zum Prä-Post-Vergleich für den Test zur phonemischen Bewusstheit (Spy Game).

Variable	Faktor	F-Wert	p-Wert	Effektstärke ηp^2
Gesamtwert	Gruppe	3.40	.04	.10
	Zeit	20.82	< .001	.25
	Gruppe x Zeit	0.27	n.s.	.01
Phoneme /g/ & /k/	Gruppe	2.92	n.s.	.08
	Zeit	13.39	.001	.17
	Gruppe x Zeit	1.05	n.s.	.03
Phoneme /b/ & /p/	Gruppe	0.92	n.s.	.03
	Zeit	1.44	n.s.	.02
	Gruppe x Zeit	0.58	n.s.	.02

Tabelle 2.

Mittelwerte und Standardabweichungen der drei Trainingsgruppen für den Test zur phonemischen Bewusstheit (Spy Game) für den Prä- und Posttest.

Test Spy Game	PHON		PHORT		CONTROL	
	Prätest	Posttest	Prätest	Posttest	Prätest	Posttest
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>
Gesamtwert	7.58 (4.28)	9.29 (2.88)	6.27 (4.43)	8.50 (3.55)	4.95 (4.12)	6.47 (3.78)
Phoneme /g/ & /k/	1.04 (0.90)	1.50 (0.78)	0.77 (0.92)	1.36 (0.84)	0.66 (0.79)	0.85 (0.79)
Phoneme /b/ & /p/	1.04 (0.80)	1.04 (0.80)	1.00 (0.87)	1.09 (0.81)	0.66 (0.73)	0.90 (0.83)

Anmerkungen. PHON = phonemisches Training, PHORT = phonemisch-orthographisches Training, CONTROL = Kontrolltraining.

Tabelle 3.

Ergebnisse zum Prä-Post-Vergleich für den Test zum Buchstabenwissen (Letter Knowledge): Großbuchstaben.

Variable	Faktor	<i>F</i> -Wert	<i>p</i> -Wert	Effektstärke ηp^2
Gesamtwert	Gruppe	3.44	.03	.10
Letter Knowledge	Zeit	55.65	< .001	.39
Großbuchstaben	Gruppe x Zeit	0.73	n.s.	.02
Großbuchstaben	Gruppe	3.00	n.s.	.09
„G“ & „K“	Zeit	22.89	< .001	.26
	Gruppe x Zeit	1.55	n.s.	.05
Großbuchstaben	Gruppe	3.57	.034	.10
„B“ & „P“	Zeit	19.72	< .001	.24
	Gruppe x Zeit	0.10	n.s.	< .01

Tabelle 4.

Ergebnisse zum Prä-Post-Vergleich für den Test zum Buchstabenwissen (Letter Knowledge): Kleinbuchstaben.

Variable	Faktor	F-Wert	p-Wert	Effektstärke ηp^2
Gesamtwert	Gruppe	2.73	n.s.	.08
Letter Knowledge	Zeit	25.03	< .001	.28
Kleinbuchstaben	Gruppe x Zeit	1.43	n.s.	.04
Kleinbuchstaben	Gruppe	2.28	n.s.	.07
„g“ & „k“	Zeit	1.90	n.s.	.03
	Gruppe x Zeit	0.60	n.s.	.02
Kleinbuchstaben	Gruppe	1.15	n.s.	.03
„b“ & „p“	Zeit	6.36	.01	.09
	Gruppe x Zeit	1.24	n.s.	.04

Tabelle 5.

Mittelwerte und Standardabweichungen der drei Trainingsgruppen für den Test zum Buchstabenwissen (Letter Knowledge) für den Prä- und Posttest.

Test Letter Knowledge	PHON		PHORT		CONTROL	
	Prätest <i>M (SD)</i>	Posttest <i>M (SD)</i>	Prätest <i>M (SD)</i>	Posttest <i>M (SD)</i>	Prätest <i>M (SD)</i>	Posttest <i>M (SD)</i>
Gesamtwert	8.79	10.91	9.04	10.86	6.23	7.80
Großbuchstaben	(4.08)	(3.93)	(4.29)	(4.14)	(4.28)	(5.16)
Großbuchstaben „G“ & „K“	0.75 (0.79)	1.08 (0.97)	0.81 (0.85)	1.45 (0.80)	0.42 (0.67)	0.71 (0.90)
Großbuchstaben „B“ & „P“	1.20 (0.72)	1.45 (0.65)	1.09 (0.75)	1.40 (0.73)	0.66 (0.73)	0.95 (0.86)
Gesamtwert	5.33	7.66	6.22	7.31	3.61	5.00
Kleinbuchstaben	(4.32)	(3.93)	(4.17)	(4.16)	(3.04)	(4.25)
Kleinbuchstaben „g“ & „k“	0.50 (0.58)	0.66 (0.70)	0.77 (0.75)	0.77 (0.61)	0.33 (0.57)	0.42 (0.67)
Kleinbuchstaben „b“ & „p“	0.58 (0.71)	0.95 (0.75)	0.72 (0.82)	0.77 (0.86)	0.38 (0.58)	0.61 (0.66)

Anmerkungen. PHON = phonemisches Training, PHORT = phonemisch-orthographisches Training, CONTROL = Kontrolltraining.

Anhang V

Drop-Out-Raten Studie 1 und Studie 2.

Tabelle 1

Drop-Out Trainingsstudie.

	PHON	PHORT	CONTROL	TOTAL (n)
Training	37	30	35	102
Drop Out	13 (34.15%)	8 (26.67%)	14 (40.00%)	35 (34.31%)
Gültige Sets	24	22	21	67

Anmerkung. Überblick über die Anzahl der Teilnehmerzahlen aus allen drei Gruppen (PHON = phonemische Trainingsgruppe, PHORT = phonemisch-orthographische Trainingsgruppe, CONTROL = Kontrolltrainingsgruppe).

Tabelle 2

Drop-Out Längsschnittstudie.

Training (n = 102)	Vorschule	Klasse 1	Klasse 2
Teilnahme T1	96		
Teilnahme T2		72	
Teilnahme T3			69
Gültige Sets	67	47	44
Eingeschlossene Sets	29	29	29

Anmerkung. Überblick über die Anzahl der Teilnehmerzahlen über die drei Messzeitpunkte T1 (Vorschule), T2 (Klasse 1) und T3 (Klasse 2). Ursprünglich nahmen 102 Kinder an dem Training teil, davon 96 Kinder, die nach dem Training das Word Fragment Priming Experiment durchführten. Nach dem Abgleich der Ausschlusskriterien blieben 67 Kinder für die Analyse in der Vorschule. Nach Klasse 1 nahmen 72 Kinder an dem Experiment erneut teil (davon 47 gültige Datensätze). 69 Kinder nahmen in Klasse 2 teil, davon 44 gültige Datensätze. Von insgesamt 29 Kindern lagen gültige Datensätze über alle drei Messzeitpunkte vor. Diese 29 Kinder wurden in die Analyse eingeschlossen.

Anhang VI

Trainingsmanual für Training zur phonemischen Bewusstheit und Training zur phonemischen Bewusstheit mit Buchstabenwissen.

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN



**Mathematisch-
Naturwissenschaftliche
Fakultät**

**Fachbereich Psychologie
Entwicklungspsychologie**

Dr. Ulrike Schild

Entwicklungspsychologie
Telefon +49 7071 29-74373
Telefax +49 7071 29-5219
ulrike.schild@uni-tuebingen.de
www.kinderlab.uni-tuebingen.de

Manual ZUR TRAININGSSTUDIE

„Hören oder Sehen? - Welche Faktoren des Lesenlernens führen zu detaillierteren lexikalischen Repräsentationen? - Eine Trainingsstudie mit Vorschülern.“

Angelehnt an:

Küspert, P., & Schneider, W. (2008). Hören, lauschen, lernen - Sprachspiele für Kinder im Vorschulalter. 6. Auflage. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Plume, E., & Schneider, W. (2004). Hören, lauschen, lernen 2- Spiele mit Buchstaben und Lauten für Kinder im Vorschulalter. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

KITA: _____

TRAINER: _____

TEILNEHMENDE MONOLINGUALE KINDER:

1 _____

2 _____

3 _____

4 _____

5 _____

6 _____

7 _____

8 _____

9 _____

10 _____

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

INHALTSVERZEICHNIS

ANFANGS/SCHLUSSSPRÜCHE, MATERIALIEN, ABLAUF	4
WOCHENTRAININGSPLAN	5
5.1 Spiele zu Anlauten – Namen raten 3	8
7.1 (Buchstaben)-Laut-Verknüpfung Geschichte 6/3/2/3x	9
7.3 (Buchstaben)-Anlaut-Verknüpfung mit Bild 10x (A)	11
5.3 Ich denke an ... 6x (C)	12
7.4 (Buchstaben)-Schiff beladen mit... 6x (A)	13
6.5 Wir suchen nach dem ... 6x (C)	14
5.4 Achte auf den ersten Laut 4x (C)	15
6.1 Wie heißt das Wort? (A oder B) 4x	16
7.6 Buchstaben(Bilder)-Würfelspiel 6x	17
7.5 Bildertürme 6x (A)	18
7.7 Buchstaben(Bilder)Kartenspiel 6x	19
7.8 Anlaut-Domino 10x (A & B)	20
7.10 Buchstaben-Lotto 7x	21
6.2 Lautball 5x (C)	22
7.11 Buchstaben und Laute in kürzeren Wörtern 5x (C)	23
WORTLISTEN	24
WICHTIG	26

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

ANFANGSSPRUCH

Jetzt laufen wir nochmal im Kreise,
jetzt laufen wir nochmal im Kreise,
dann werden wir ganz still und leise,
dann werden wir ganz still und leise.

Wir wollen nicht mehr länger warten,
die Spiele können wir jetzt starten.
schhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhh

SCHLUSSSPRUCH

Jetzt sind wir nicht mehr still und leise,
jetzt sind wir nicht mehr still und leise,
jetzt laufen wir ganz schnell im Kreise
jetzt laufen wir ganz schnell im Kreise.

(Und sagen laut:)

Das war schön, das war schön,
morgen/Montag gibt's ein Wiedersehn.

Material:

- Namensliste: Anwesenheit
- Klebchen für Hefte (Bildchen) aussuchen lassen
- Wortlisten; Spielmaterial: 24 Bilderkarten, 33 restliche Bilderkarten, 6 Buchstabenkarten, eventuell Schiffe, Ball, Buchstaben- o. Bilderwürfel, Dominospiel

Ablauf:

- Anfangsspruch
- Kurz klarmachen: melden, nicht laut sagen, damit alle Kinder überlegen können, nur bei Aufforderung sprechen
- 2 Spiele (diese immer kurz erklären, falls ein Kind nicht weiterkommt, darf es sich ein anderes Kind als Helfer aussuchen)
- Schlusspruch
 - Klebchen für Hefte
 - notieren welche Kinder anwesend waren
 - kurz Anmerkungen zur Stunde notieren

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

WOCHENTRAININGSPLAN & ANWESENHEITSLISTE

Trainingseinheit pro Tag 10-15 min

1. Woche (2 Laute: A,E)

1.Tag	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag
- Vorstellung 5.1 Spiele zu Anlauten - Namen raten 7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (A)	5.1 Spiele zu Anlauten - Namen raten (Variation1) 7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (E)	5.1 Spiele zu Anlauten - Namen raten (Variation2) 7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (A & E)	7.3 Buchstaben-Anlaut-Verknüpfung – Namen raten 5.3 Ich denke an	7.3 Buchstaben-Anlaut-Verknüpfung – Namen raten 7.4 Schiff beladen
Trainer: Wer fehlt von den Kindern?: Anmerkungen:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:

2. Woche (2 Laute: G,I)

1.Tag	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag
7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (I) 6.5 Wir suchen nach dem ...	7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (G) 5.4 Achte auf den ersten Laut	7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (I & G) 6.5 Wir suchen nach dem ...	7.3 Buchstaben-Anlaut-Verknüpfung – Namen raten 5.3 Ich denke an	7.3 Buchstaben-Anlaut-Verknüpfung – Namen raten 7.4 Schiff beladen
T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:

3. Woche (2 Laute: K,O)

1.Tag	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag
7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (O) 5.4 Achte auf den ersten Laut	7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (K) 6.5 Wir suchen nach dem ...	7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (O & K) 6.1 Wie heißt das Wort?	7.3 Buchstaben-Anlaut-Verknüpfung – Namen raten 5.3 Ich denke an	7.3 Buchstaben-Anlaut-Verknüpfung – Namen raten 7.4 Schiff beladen
T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

4. Woche (3 Laute WH)

1.Tag	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag
7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (WH: A,E,G) 7.6 Buchstaben /Lautwürfel	7.3 Buchstaben-Anlaut-Verknüpfung – Namen raten 7.5 Bildertürme	7.6 Buchstaben /Lautwürfel 7.8 Anlautdomino	7.8 Anlautdomino 7.5 Bildertürme	7.8 Anlautdomino 7.7 Buchstaben /Lautkartenspiel
T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:

5. Woche (3 Laute WH – Spiele zu allen 6 Lauten)

1.Tag	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag
7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (WH: I,K,O) 7.5 Bildertürme	7.10 Lotto 7.8 Anlautdomino	7.6 Buchstaben /Lautwürfel 7.5 Bildertürme	7.8 Anlautdomino 5.4 Achte auf den ersten Laut	7.10 Lotto 7.6 Buchstaben/ Lautwürfel
T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:

6. Woche

1.Tag	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag
7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (WH: A,E,G, I,K,O) 7.7 Buchstaben /Lautkartenspiel	6.5 Wir suchen nach dem ... 7.8 Anlautdomino	5.4 Achte auf den ersten Laut 7.7 Buchstaben /Lautkartenspiel	5.3 Ich denke an 7.7 Buchstaben /Lautkartenspiel	7.8 Anlautdomino 7.4 Schiff beladen
T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:

7. Woche

1.Tag	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag
6.5 Wir suchen nach dem ... 7.10 Lotto	7.6 Buchstaben /Lautwürfel 7.11 Buchstaben/Laute in kürzeren Wörtern	7.8 Anlautdomino 6.1 Wie heißt das Wort?	7.10 Lotto 6.2 Lautball	7.7 Buchstaben /Lautkartenspiel 7.11 Buchstaben/Laute in kürzeren Wörtern

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

T:	T:	T:	T:	T:
K:	K:	K:	K:	K:
A:	A:	A:	A:	A:

8. Woche

1.Tag	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag
7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (WH: A,E,G, I,K,O) 6.5 Wir suchen nach dem ...	7.6 Buchstaben /Lautwürfel 7.11 Buchstaben/Laute in kürzeren Wörtern	7.8 Anlautdomino 7.10 Lotto	5.3 Ich denke an 7.4 Schiff beladen	7.5 Bildertürme 6.2 Lautball
T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:

9. Woche

1.Tag	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag
7.10 Lotto 7.5 Bildertürme	7.7 Buchstaben /Lautkartenspiel 7.11 Buchstaben/Laute in kürzeren Wörtern	7.8 Anlautdomino 6.1 Wie heißt das Wort?	5.3 Ich denke an 6.2 Lautball	7.4 Schiff beladen 6.2 Lautball
T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:

10. Woche

1.Tag	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag
7.1 Buchstaben-Laut-Verknüpfung (WH: A,E,G, I,K,O) 7.5 Bildertürme	7.10 Lotto 7.11 Buchstaben/Laute in kürzeren Wörtern	6.1 Wie heißt das Wort? 7.8 Anlautdomino	7.4 Schiff beladen 6.2 Lautball	- Verabschiedung (Spiel nach Wahl etc.)
Trackingsession				
T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:	T: K: A:

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

EINZELNE ÜBUNGEN

5.1 Spiele zu Anlauten – Namen raten 3x

Achtung nur: A,E,I,O,G,K; nicht B,P-Laute/Buchstaben; es sollte beim 2ten und beim 3ten Mal jeder Name vorkommen.

Material: Liste der Namen // Buchstabenkarten

Die Kinder sitzen im Kreis. Der Trainer sagt: „Damit ich mir eure Namen gut merken kann. Spielen wir jetzt ein Lausspiel mit Namen. Ratet mal, wessen Namen ich jetzt sagen will?“ Er sagt langsam und deutlich den ersten Laut des Namens eines der Kinder. Danach wird gefragt: „Gibt es vielleicht noch ein Kind, dessen Name am Anfang genauso klingt?“

// Zusätzlich in der phonologisch/orthographischen Trainingsgruppe: Das Kind, welches richtig geraten hat darf anhand von *Buchstabenkarten* (ausgelegt) raten, wie der erste Laut des Namens des gesuchten Kindes geschrieben wird und zeigt es den anderen Kindern. Das gesuchte Kind darf helfen. (Alle Kinder und Trainer durchgehen, wenn die Buchstaben passen. Bei zu wenig Anfangsbuchstaben schon wie beim 2.Mal oder 3.Mal vorgehen.)

□ 2.Mal: Es können auch gemeinsame Laute in den Namen erraten werden, z.B. (1) „Alle Kinder mit einem A im Namen dürfen sich melden!“ Dann werden die einzelnen Namen durchgegangen. // Es können auch gemeinsame Buchstaben in den Namen erraten werden, z.B. (1) „Ich habe hier diesen Buchstaben (Kärtchen zeigen, z.B. A). Alle Kinder mit diesem Buchstaben im Namen dürfen sich melden!“ Dann werden die einzelnen Namen durchgegangen.

□ 3.Mal: (2) „Welche Wörter fangen mit dem gleichen Laut an wie eure Namen/ die ihr in euren Namen habt?“ etc.) // Es können dann auch andere Wörter, die mit demselben Buchstaben beginnen nachgefragt werden: (2) „Welche Wörter fangen mit dem gleichen Buchstaben an wie eure Namen“.

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

7.1 (Buchstaben)-Laut-Verknüpfung Geschichte 14x

Material: Geschichten // Buchstabenkarten

A – Wir spielen einen Zahnarztbesuch

Zwei Kinder – Patient und Zahnarzt – stellen eine Szene im Behandlungszimmer. Trainer: „Der arme Alex hat schlimme Zahnschmerzen, dass er zum Zahnarzt gehen muss. Der Zahnarzt sagt zu Alex: „Mach bitte deinen Mund auf und sage laut...“ Was muss man beim Zahnarzt sagen, Kinder?“ – „Aaaaah!“

Alle Kinder sollen gemeinsam im Chor „Aah“ rufen. Der Trainer erklärt den Kindern, dass man beim „Ah“-Sagen den Mund ganz weit aufmachen muss. Die Kinder können das bei ihren Nachbarn beobachten. Die Arztszene wird jeweils von zwei Kindern wiederholt, wobei immer zum Schluss alle Kinder in das „Ah“ des Patienten einstimmen und bedauern: „Armer Alex hat Zahnschmerzen. Aaaa! Armer Alex...“ (Dabei wird der Laut „a“ betont lang gesprochen.)

Nachdem die Zahnarztsszene zum ersten Mal gespielt wurde, erklärt der Trainer: „Wir haben gerade den Laut „a“ kennengelernt, diesen Laut können wir sprechen und hören.“

// *Zusätzlich in der phonologisch/orthographischen Trainingsgruppe:* Trainer: „Ich möchte euch zeigen, dass zu diesem Laut „a“ ein bestimmter Buchstabe gehört, der so aussieht (dazugehörige Buchstabenkarte zeigen).

Der Buchstabe A sieht so aus wie ein Hausdach. Ich gebe den Buchstaben herum und ihr könnt ihn fühlen und tasten, denn der Buchstabe ist erhöht.“

Die Karte mit dem Buchstaben A wird zum Anfühlen herumgegeben und die Kinder bedauern Alex: „Armer Alex hat Zahnschmerzen. Ah! ...“

E – Wir essen Erdbeer-Pudding

„Stellt euch vor wir wollen einen Erdbeer-Pudding kochen. Damit der Pudding gut wird, müssen wir ihn lange mit dem Rührgerät rühren. (Trainerin macht vor, wie sie das Rührgerät in der Hand hält und kreisen lässt.) Das Rührgerät gibt ein Geräusch von sich, dass so klingt: Eeeeh.“ (Laut „e“ wird lang angehalten und gesungen.)

Alle Kinder imitieren die Kreisbewegung und ahmen das Brummen des Rührgeräts nach. Gemeinsam sagen die Kinder im Chor: „Eeeeh, wir essen Erdbeer-Pudding.“ Der Trainer zeigt den Kindern, dass man das Brummen des Rührgeräts (Laut „e“) sehr gut am Kehlkopf ertasten kann.

„Wir haben gerade den Laut „e“ kennengelernt, diesen Laut können wir sprechen und hören.“

// *Zusätzlich in der phonologisch/orthographischen Trainingsgruppe:* Trainer: „Ich möchte euch zeigen, dass zu diesem Laut „e“ ein bestimmter Buchstabe gehört, der so aussieht (dazugehörige Buchstabenkarte zeigen). Der Buchstabe E sieht aus wie ein Harke/ein Rechen.“ Die Karte mit dem Buchstaben E wird zum Anfühlen herumgegeben und die Kinder wiederholen: „Eeeeh, wir essen Erdbeer-Pudding, eeeh ...“

I – Igitt, Salz in der Nudelsuppe

„Wir sind zum Essen eingeladen, aber die Suppe schmeckt ganz komisch. Sie ist versalzen. Iiuh, Salz ist in der Nudelsuppe.“ (Der Laut „i“ wird dabei betont.)

Die Kinder sprechen den Satz im Chor nach. Der Trainer demonstriert, dass man beim I-Sagen die Nase kraus ziehen kann. Die Kinder können sich gegenseitig beobachten.

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

„Wir haben gerade den Laut „i“ kennengelernt, diesen Laut können wir sprechen und hören.“

// *Zusätzlich in der phonologisch/orthographischen Trainingsgruppe:* Trainer: „Ich möchte euch zeigen, dass zu diesem Laut „i“ ein bestimmter Buchstabe gehört, der so aussieht (dazugehörige Buchstabenkarte zeigen). Der Buchstabe I sieht aus wie ein gerader Strich.“ Die Karte mit dem Buchstaben I wird zum Anfühlen herumgegeben und die Kinder wiederholen: „liih, Salz ist in der Nudelsuppe, iih ...“

G – Gggg - Gurr, Gurr – machen die Tauben

„Wenn wir Tauben füttern, dann mögen die Tauben das und wir hören die Tauben gurren: Gggg - gurr, gurr, machen die Tauben, gggg - gurr, gurr.“ (Der Laut „g“ wird dabei betont und „gestottert“).

Alle Kinder spielen mit und füttern die Tauben.

„Wir haben gerade den Laut „g“ kennengelernt, diesen Laut können wir sprechen und hören.“

// *Zusätzlich in der phonologisch/orthographischen Trainingsgruppe:* Trainer: „Ich möchte euch zeigen, dass zu diesem Laut „g“ ein bestimmter Buchstabe gehört, der so aussieht (dazugehörige Buchstabenkarte zeigen). Der Buchstabe G sieht aus wie ein runder Pfeil“ Die Karte mit dem Buchstaben G wird zum Anfühlen herumgegeben und die Kinder wiederholen: „Gggg - gurr, gurr, machen die Tauben, gggg - gurr, gurr.“

O – Oh, da ist ja noch ein Osterei

„Stellt euch vor, wir laufen auf einer Wiese und finden noch ein Osterei. Da staunen wir sehr, denn Ostern ist ja schon vorbei. Wir wundern uns: Oh, da ist ja noch ein Osterei!“ (Der Laut „o“ wird dabei betont.)

Die Kinder sagen im Chor: „Oh, da ist ja noch ein Osterei!“ Der Trainer erklärt, dass beim O-Sagen die Lippen rund geformt sind. Die Kinder können sich gegenseitig betrachten.

„Wir haben gerade den Laut „o“ kennengelernt, diesen Laut können wir sprechen und hören.“

// *Zusätzlich in der phonologisch/orthographischen Trainingsgruppe:* Trainer: „Ich möchte euch zeigen, dass zu diesem Laut „o“ ein bestimmter Buchstabe gehört, der so aussieht (dazugehörige Buchstabenkarte zeigen). Der Buchstabe O sieht aus wie ein (Oster)Ei oder Kreis.“ Die Karte mit dem Buchstaben O wird zum Anfühlen herumgegeben und die Kinder wiederholen: „Oh, da ist ja noch ein Osterei ...“

K – Kkkk – kalt ist es im Winter

„Wenn es im Winter schneit und bitterkalt ist, frieren wir ganz fürchterlich und die Zähne klappern: Kkkk, kalt ist den Kindern im Winter.“ (Der Laut „k“ wird dabei betont und „gestottert“).

Alle Kinder spielen mit und reiben sich mit den Händen warm.

„Wir haben gerade den Laut „k“ kennengelernt, diesen Laut können wir sprechen und hören.“

// *Zusätzlich in der phonologisch/orthographischen Trainingsgruppe:* Trainer: „Ich möchte euch zeigen, dass zu diesem Laut „k“ ein bestimmter Buchstabe gehört, der so aussieht (dazugehörige Buchstabenkarte zeigen). Der Buchstabe K **XXX**“ Die Karte mit dem Buchstaben K wird zum Anfühlen herumgegeben und die Kinder wiederholen: „Kkkk, kalt ist den Kindern im Winter, kkkk...“

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

7.3 (Buchstaben)-Anlaut-Verknüpfung mit Bild 6x (A)

Material: 24 Bildkarten // Buchstabenkarten

„Was könnt ihr auf dem Bild sehen? Richtig, eine Ameise. Hört einmal genau hin: Welchen Laut könnt ihr am Anfang von Aameise hören? Sprecht mir alle nach: Aameise. Was hört ihr am Anfang? Ganz prima, da hören wir ein A.

// Passt genau auf für den Laut a gibt es auch einen Buchstaben. Welcher ist es? Richtig, der Buchstabe sieht so aus.

Zusammen: Wir hören ein a in Ameise. ... Damit wir uns den Laut // Buchstaben merken können, denken wir an Aameise und AAffe.“

Anschließend reicht der Trainer den Kindern abwechselnd die Bilder // Buchstabenkarten und die Kinder sagen, wie der Anfangslaut // Buchstabe heißt und an was sie dabei denken sollen.

- 1.Mal: Ameise, Affe, Elefant, Ente
- 2.Mal: alle 4 A/E- Bilder
- 3.Mal: A, E, I, G (Igel, Iglu; Gans, gelb)
- 4.Mal: A, E, I, G – alle 4 Bilder
- 5.Mal: A, E, I, B, O, K (Ofen, Osterei; Kuh, Kamm)
- 6.Mal: A, E, I, B, O, K – alle 4 Bilder
- 6.Mal: alle 24 Bildkarten

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

5.3 Ich denke an... 6x (C)

Material: Wortliste // Buchstabenkarten

„Jetzt sollt ihr erraten was ich denke es beginnt mit „a“ (alle sagen „a“). Die Sache an die ich denke ist ein winziges Tier. Die kleinen Tiere sind ganz fleißig und bauen einen großen Haufen.“ – „Ja, das ist richtig, es ist Ameise, A-meise, versucht mal alle A-meise zu sagen.“

// Welcher von diesen beiden/sechs Buchstaben gehört zum „a“?

- 1.Mal: A & E, Ameise, Apfel, Ampel, Affe; Ananas, Abend, Acker, Apotheke, Arbeit
Esel, Ente, Elefant, Erdbeere; Erde, Emu, Eltern, Ernte, Elster
- 2.Mal: I & G Iglu, Indianer, Insel, Igel; Insekt, Idee, Italien, Ida, Ina
Gans, gelb, Glas, Gitarre; Geld, Galopp, Gänseblümchen, Gespenst
- 3.Mal: O & K Ofen; Ohr, Osterei, Obst; Opa, Oma, Osterhase, Oase, Orange
Kamm, Keks, Kuh, Krokodil; Kaktus, Kamel, Kelle, Knopf, Kürbis

- 4.Mal: A, E, I, G, O & K
- 5.Mal: A, E, I, G, O & K
- 6.Mal: A, E, I, G, O & K

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

7.4 (Buchstaben)-Schiff beladen mit... 6x (A)

Material: 24 Bildkarten, Schiffe // Buchstabenkarten

In ein Schiff wird eine Bildkarte // Buchstabenkarte gestellt. „Wir wollen ein Schiff beladen, aber das Schiff nimmt nur bestimmte Sachen mit. Die Sachen müssen alle mit dem gleichen Laut // Buchstaben anfangen. Wie müssen die Wörter anfangen um auf dieses Schiff zu dürfen? ... Richtig, das ist ein A-Schiff.“ Die Kinder ziehen nacheinander Bildkarten und entscheiden, ob der abgebildete Gegenstand auf das Schiff geladen werden darf oder nicht.

- 1.Mal: 2 Schiffe A und E, alle 24 Karten
- 2.Mal: 2 Schiffe I und G, alle 24 Karten
- 3.Mal: 2 Schiffe O und K, alle 24 Karten
- 4.Mal: 3 Schiffe A,E,G, alle 24 Karten (oder ein Schiff mit 3 möglichen Buchstaben) **mg!** Laut im Wort drin
- 5.Mal: 3 Schiffe I,O,K alle Karten
- 6.Mal: 3 Schiffe G,K,A alle Karten

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

6.5 Wir suchen nach dem... 6x (C)

Material: Wortliste // Buchstabenkarten

„Heute geht es um den Laut//Buchstaben „i“ (// Buchstaben zeigen). Wer weiß wie der Buchstabe heißt? Richtig, es geht um das „i“.“

Alle Kinder wiederholen das i. „ Das „i“ kommt in ganz vielen Wörtern vor, z.B. in Ina oder Igel, aber auch in Tiger oder Sabine. Könnt ihr alle das „i“ in diesen Wörtern hören? Wisst ihr selbst Wörter in denen das „i“ vorkommt?“ Wenn den Kindern nichts einfällt noch einige Beispiele mit langgezogenem i geben (Ida, lieb, Ziege, Biber). „ich sage euch jetzt ein paar Wörter, und ihr sagt mir, ob ihr darin ein „i“ hört.“

Fallen euch noch andere Wörter mit „i“ ein?

- 1.Mal: „i“ //I Ida, Ina, Isa, Idee, Insekt, Italien; + **Ablenker**
- 2.Mal: „g“ //G gackern, gähnen, Galopp, garstig, Gas, Gast, Gauner, Geheimnis, Geier, Geist, geizig, Geld, Gemüse, gemütlich, gießen, Gift, Gipfel, Gips, Girlande, glatt, glauben, Gletscher, Glitzer, Glück, glühen, Gold, Gott, Gras, grau, Grießbrei, Grille, grillen, groß, Grund, gruseln, Gruß, Gulasch, Gurt, gut ; + **Ablenker**
- 3.Mal: „k“ //K Kanne, Kakau, Kakadu, Kaiser, Kajak, Kalb, Kalender, kalt Kamera, Kamin Kammer, Kampf, Kanal, Kaninchen, Kanone, Kante, Karton, Kanu, Käppi/Kappe, kaputt, Karotte, Karte, Kartoffel, Karton Kasten kauen, kaufen, Kaulquappe, Kaugummi kehren, Kellner, Keller, kennen, Kern, Kiefer, Kieselstein, Kind, Kittel, kitzeln, Klammer, klingen, Klappe, Klapperstorch, Klasse, klatschen, Kleber, kleckern, klein, Kleid, klettern, Klingel, krank, Klo, klopfen, klug, Knäckebrötchen, knacken, Knall, Knete, Knie, Knoblauch Knospe, Knüppel, kochen, Kohlrabi, komisch, konzentrieren, Konzert, Kopf, Korn, Körper, kosten, Krabbe, krabbeln, Krach, Kraft, Kragen, krank, kratzen, Kräuter, Kreide, Kreme, Kreuz, kriechen, Krieg, Kröte, krumm, Kuckuck, kühl, Kummer, kurz, Kuss; + **Ablenker**
- 4.Mal: „i“ //I in **Mitte** von Wörtern: Ziege, Dinosaurier, Fliege, Ski, Tiger, Giraffe, Biber, Biene, Dieb, Fliege, Krokodil, Nilpferd, Riese, Wiese, Ski, Lied, nie, Sophie, wie, Juli + **Ablenker**
- 5.Mal: „g“ //G in **Mitte** von Wörtern: , + **Ablenker**
- 6.Mal: „k“ //K in **Mitte** von Wörtern: , + **Ablenker**

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

5.4 Achte auf den ersten Laut 4x (C)

Material: Wortliste // Buchstabenkarten

„Ich sage jetzt ein ganzes Wort, und ihr achtet auf den ersten Laut und versucht zu erraten welcher es ist. // ... welcher Anfangsbuchstabe gehört zu dem Wort?“

- 1.Mal: A, E, I, G
- 2.Mal: A, E, I, G, O
- 3.Mal: A, E, I, G, O & K
- 4.Mal: A, E, I, G, O & K

A: Adler, Angel, Aprikose, Arm, Arzt, Ast, Axt, Abenteuer, Abschied, acht, allein, Amerika, Angst, Apotheke, Appetit, artig, Aschenputtel

E: Erbse, Engel, Egon, Eva, Emil, Ekel, Ecke, egal, Ehe, Ehrenwort, ehrlich, eklig, Eltern, Ende, Energie, Ernte, Elektriker

I: Igel, Iglu, Indianer, Insel Ida, Ina, Isa, Idee, Insekt, Italien

G: gackern, gähnen, Galopp, garstig, Gas, Gast, Gauner, Geheimnis, Geier, Geist, geizig, Geld, Gemüse, gemütlich, gießen, Gift, Gipfel, Gips, Girlande, glatt, glauben, Gletscher, Glitzer, Glück, glühen, Gold, Gott, Gras, grau, Grießbrei, Grille, grillen, groß, Grund, gruseln, Gruß, Gulasch, Gurt, gut

O: Oben, oder, ohne, Oktober, Onkel, Oper, Ort, Ozean, Orgel

K: Kanne, Kakau, Kakadu, Kaiser, Kajak, Kalb, Kalender, kalt Kamera, Kamin Kammer, Kampf, Kanal, Kaninchen, Kanone, Kante, Karton, Kanu, Käppi/Kappe, kaputt, Karotte, Karte, Kartoffel, Karton Kasten kauen, kaufen, Kaulquappe, Kaugummi kehren, Kellner, Keller, kennen, Kern, Kiefer, Kieselstein, Kind, Kittel, kitzeln, Klammer, klingen, Klappe, Klapperstorch, Klasse, klatschen, Kleber, kleckern, klein, Kleid, klettern, Klingel, krank, Klo, klopfen, klug, Knäckebrötchen, knacken, Knall, Knete, Knie, Knoblauch Knospe, Knüppel, kochen, Kohlrabi, komisch, konzentrieren, Konzert, Kopf, Korn, Körper, kosten, Krabbe, krabbeln, Krach, Kraft, Kragen, krank, kratzen, Kräuter, Kreide, Kreme, Kreuz, kriechen, Krieg, Kröte, krumm, Kuckuck, kühl, Kummer, kurz, Kuss

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

6.1 Wie heißt das Wort? (A und B) 4x

Material: 24 Bildkarten und 20 andere Bildkarten // Buchstabenkarten

Zwei Bilder werden gezeigt. // Und verschiedene Buchstaben werden ausgelegt.

„Ich werde euch jetzt ein Wort sagen. Ich werde es aber etwas anders sagen, als es normalerweise klingt, ich werde euch nämlich die einzelnen Laute von diesem Wort nacheinander vorsprechen, und ihr dürft dann auf den Bildern schauen, welches der beiden Dinge ich meine.

Mit welchem Laut // Buchstaben fängt das Wort an?“

(Laute mit 0.5 s Abstand lautieren, NICHT BUCHSTABIERN!)

Auszulautierendes Wort/Ablenkerbild, z.B. G-e-l-b/K-uh

- 1.Mal: G-e-l-b/K-uh; O-f-e-n/A-ff-e; I-g-l-u/Oh-r; K-a-mm/E-s-e-l; E-n-t-e/G-a-n-s; A-m-p-e-l/I-g-e-l
mit den gleichen Karten: Kuh/Kamm; Affe/Ampel; Ohr/Ofen; Igel/Iglu; Esel/Ente; Gans/Gelb
- 2.Mal: Kuh/Ampel; Affe/Ente; Ohr/Gelb; Igel/Ofen; Esel/Gelb; Gans/Kamm
mit den gleichen Karten: Kamm/Kuh; Ampel/Affe; Ofen/Ohr; Iglu/Igel; Ente/Esel; Gelb/Gans
- 3.Mal: **Ast/Erde; Oma/Igel; Grün/Axt; Kaktus**/Insel, Glas/Kuh, Gans/Kamm, **Kelle/Gras**
mit den gleichen Karten: Insel/Oma; Igel/Kamm; Axt/Ast; Erde/Gans; Gras/Kaktus;
Kamm/Glas; Kuh/Grün
- 4.Mal: **acht/elf; Angel/Engel; Opa**/Insel; **Geld/Gold**, Gras/**Kasse; Kamel/Kelle; Kran/Gespenst**
mit den gleichen Karten: Insel/acht; Engel/Opa; elf/Angel ; Gold/ Gras; Kasse/Geld;
Kelle/Kran; Gespenst/Kamel

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

7.6 Buchstaben(Bilder)-Würfelspiel 6x

Material: Bilderwürfel (Ameise, Elefant, Igel, Ofen, Gans, Kamm) // Buchstabenwürfel (A;E;I;O;G;K)

Die Würfel werden im Kreis herumgereicht. Jedes Kind würfelt selbst und benennt den Anfangslaut // Buchstaben. Jedes Kind soll dann ein Wort finden, in dem der Laut // Buchstabe vorkommt.

- 1.Mal: ein Kind würfelt und sagt Laut/Buchstaben und findet neues Wort (falls schwierig, darf es sich einen Helfer aussuchen)
- 2.Mal: ein Kind würfelt und sagt Laut/Buchstaben und findet neues Wort mit Anlaut (ohne Helfer)
- 3.Mal: auch Wörter in denen der Laut/Buchstabe vorkommt (muss nicht der Anfang sein), sollen genannt werden (mit Helfer)
- 4.Mal: ein Kind würfelt und sagt Laut/Buchstaben und findet neues Wort mit Laut/Buchstabe im Wort
- 5.Mal: wie 4.Mal
- 6.Mal: wie 4.Mal

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

7.5 Bildertürme 6x (A)

Material: 24 Bilderkarten // Buchstabenkarten

Die Bildkarten werden an die Kinder verteilt, so dass jedes Kind mehrere Bildkarten bekommt. Die Kinder benennen den Anfangslaut ihrer Bildkarten. Die Bildkarten mit dem gleichen Anfangslaut werden übereinandergelegt. Welcher Kartenstapel ist zum Schluss am größten?

// Zusätzlich in der phonologisch/orthographischen Trainingsgruppe: Die Buchstabenkarten werden in die Mitte gelegt. Die Kinder benennen den Anfangslaut ihrer Bildkarten und ordnen ihm einen Buchstaben zu. Die Bildkarten mit dem gleichen Anfangslaut bzw. Buchstaben werden übereinandergelegt. Welcher Kartenstapel ist zum Schluss am größten?

- 1.Mal: A
- 2.Mal: A
- 3.Mal: A
- 4.Mal: A & B
- 5.Mal: A & B
- 6.Mal: A & B

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

7.7 Buchstaben(Bilder)Kartenspiel 6x (A)

Material: Bilderkarten // Buchstabenkarten

Die Bilderkarten werden den Kindern verdeckt vorgelegt. Ein Kind zieht eine Bilderkarte und benennt den ersten Laut. // Es sucht die passende Buchstabenkarte dazu aus.

Es soll nun ein Wort finden, in dem der Anfangsbuchstabe auch vorkommt, am Anfang oder in der Mitte oder beides.

- 1.Mal: Mitte: alle 6 Buchstabenkarten, Bildkarten (A)
- 2.Mal: Mitte: alle 6 Buchstabenkarten, Bildkarten (A)
- 3.Mal: Mitte: alle 6 Buchstabenkarten, Bildkarten (A)
- 4.Mal: Mitte: alle 6 Buchstabenkarten, Bildkarten (A & B)
- 5.Mal: Mitte: alle 6 Buchstabenkarten, Bildkarten (A & B)
- 6.Mal: Mitte: alle 6 Buchstabenkarten, Bildkarten (A & B)

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

7.8 Anlaut-Domino 10x (A)

Material: 24 Domino-Bilderkarten // 24 Domino-Bild/-Buchstabenkarten

Die Dominokarten (mit zwei Bildern) werden gemischt und an die Kinder verteilt. Die Kinder sind reihum dran. An der freien Seite muss ein Bild abgelegt werden, welches den gleichen Anfangslaut hat. Wer keine passende Karte hat muss aussetzen.

// In der phonologisch/orthographischen Trainingsgruppe:

An der freien Seite mit Buchstabe (Dominokarten mit Bild und Buchstabe) muss ein Bild abgelegt werden, welches den gleichen Anfangslaut hat. Die Kinder sind reihum dran.

Achtung: Es sollten nicht die gleichen Bilder aneinandergelegt werden. // Es sollen immer im Wechsel Buchstaben und Bilder aneinandergelegt werden.

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

7.10 Buchstaben-Lotto 7x (A & B)

Material: 6 Bilderkarten für Kinder, restliche Bilderkarten mit Anlauten // Buchstabenkarten

Jedes Kind erhält eine Bilderkarte (insgesamt 6 Kinder, oder Zweiergruppen mit unterschiedlichen Anlauten) // Buchstabenkarte. Die (restlichen) Bildkarten werden gemischt und verdeckt hingelegt. Das Kind, das ein Bild mit dem gleichen Anfangslaut besitzt // mit dem passenden Buchstaben besitzt, ruft: „HIER“. Das Kind benennt den Anfangslaut und bekommt die Bilderkarte.

- 1.Mal: A
- 2.Mal: A
- 3.Mal: A & B
- 4.Mal: A & B
- 5.Mal: A & B
- 6.Mal: A & B
- 7.Mal: A & B

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

6.2 Lautball 5x (C)

(fortgeschrittene Variante zu „Wie heißt das Wort?“)

Material: Wortliste, **Ball** // Buchstabenkarten

(Laute mit 0.5 s Abstand lautieren, NICHT BUCHSTABIERN!)

„Ich werde euch jetzt die Laute eines Wortes sagen, dann werfe ich einem Kind den Ball zu, und dieses Kind darf mir dann das ganze Wort sagen und danach den Ball zu mir zurückwerfen. // Dann kommt ein anderes Kind dran, zu dem ich den Ball werfe und das darf dann den Anfangslaut // Buchstaben des Wortes sagen // zeigen. Dann kommt das nächste Wort dran, und ich werfe den Ball zu einem anderen Kind, das mir dann die Lösung sagen darf.“

- 1.Mal: Ku-h, G-a-s, A-r-m, K-a-mm, G-e-l, Oh-r, G-ei-z, K-oh-l, K-ie-s, g-u-t, A-ff-e, Au-t-o
- 2.Mal: Kiwi, Gans, Ente, Gabe, Geld, Kilo, Kanu, Igel, Ofen, Gelb, Kita, Esel
- 3.Mal: Erde, Kran, Grab, Oma, Gott, Grau, Ina, Kappe, Kelle, Ida, Kasse, Gast
- 4.Mal: Gaul, Kuss, Geier, Ende, Graf, grob, Kind, Opa, Idee, Kleid, Oase, Kinn
- 5.Mal: Kamm, gut, Omi, Kasse, Gasse, Kran, Grau, Opi, Glas, Kloß, Isa, Affe

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

7.11 Buchstaben und Laute in kürzeren Wörtern 5x (C)

Material: Wortliste, Klötzchen // Buchstabenkarten

Der Trainer beginnt mit einem kurzen Wort, zum Beispiel „o-m-a“, und betont dabei die 3 Laute (h-u-t). Die Kinder wiederholen im Chor. Mit drei Klötzchen in unterschiedlichen Farben verdeutlicht der Trainer nochmal, dass das Wort aus drei Lauten besteht.

Der Trainer erzählt jetzt, dass ein Wort aus auch mehr Lauten bestehen kann und sagt dann beispielsweise „Mama“ (4 Laute). Die Kinder wiederholen im Chor. Der Trainer legt jetzt einen neuen farbigen Klotz hinter die anderen.

So werden weitere Wörter lautiert und diese Laute durch Bauklötze symbolisiert. Mit der Zeit dürfen die Kinder selbst versuchen die Wörter zu lautieren und dazu die Klötzchen zu legen. Die Wörter können im Verlauf immer länger und damit schwieriger werden.

// Zusätzlich in der phonologisch/orthographischen Trainingsgruppe: Der Trainer erklärt den Kindern, dass in dem Wort „m-a-m-a“ ein Laut vorkommt, dessen Buchstabenbild sie schon kennen: „In dem Wort Mama (>m-a-m-a<) können wir einen Laut hören, von dem wir den Buchstaben kennen. Welcher Laut ist es? Richtig, es ist der Laut >a<. Welcher Buchstabe gehört zum Laut >a<?“ Der Trainer nimmt die entsprechende Buchstabenkarte und legt es auf den zuletzt hinzugefügten Bauklotz. Die Kinder wiederholen diese Schrittabfolge. Die Wörter können später länger werden und die Kinder suchen dann selber die Buchstaben heraus und legen sie auf die bestimmten Bauklötze. *Die Buchstaben für die Anfänge sollten rausgesucht werden.*

IMMER DRAN DENKEN, NUR DIE **LAUTE** LEGEN LASSEN. (Beispiel in erster Reihe; z.B. „au“ oder „ie“ oder „ei“ ist ein Laut, Doppellaute sind ein Laut z.B. „ff“; h wird nicht lautiert)

- 1.Mal: K-uh, G-a-s, A-r-m, K-a-mm, G-e-l, Oh-r, G-ei-z, K-oh-l, K-ie-s, g-u-t, A-ff-e, Au-t-o
- 2.Mal: Kiwi, Gans, Ente, Gabe, Geld, Kilo, Kanu, Igel, Ofen, Gelb, Kita, Esel
- 3.Mal: Erde, Kran, Grab, Oma, Gott, Grau, Ina, Kappe, Kelle, Ida, Kasse, Gast
- 4.Mal: Gaul, Kuss, Geier, Ende, Graf, grob, Kind, Opa, Idee, Kleid, Oase, Kinn
- 5.Mal: Kamm, gut, Omi, Kasse, Gasse, Kran, Grau, Opi, Glas, Kloß, Isa, Affe

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

WORTLISTEN

Kanne, Kakau, Kakadu, Kaiser, Kajak, **Kaktus**, Kalb, Kalender, kalt, **Kamel**, Kamera, Kamin, **Kamm**, Kammer, Kampf, Kanal, Kaninchen, **Känguruh**, Kanone, Kante, Karton, Kanu, Käppi/Kappe, kaputt, Karotte, Karte, Kartoffel, Karton, **Karussell**, **Kasper**, Kasse, Kasten, **Kegel**, **Kelle**, **Kastanie**, kauen, kaufen, Kaulquappe, Kaugummi, **Krebs**, kehren, **Keks**, Kellner Keller, kennen, Kern, Kiefer, Kieselstein, Kind, Kittel, kitzeln, Klammer, klingen, Klappe, Klapperstorch, Klasse, klatschen, **Klavier**, Kleber, kleckern, klein, Kleid, klettern, Klingel, krank, Klo, klopfen, klug, Knäckebrötchen, knacken, Knall, Knete, Knie, Knoblauch, **Knopf**, **Knochen**, Knospe, **Knoten**, Knüppel, kochen, Kohlrabi, komisch, konzentrieren, Konzert, Kopf, Korn, Körper, kosten, Krabbe, krabbeln, Krach, Kraft, Kragen, **Kran**, krank, kratzen, Kräuter, Kreide, **Kreis**, Kreme, Kreuz, kriechen, Krieg, **Krokodil**, Kröte, krumm, Kuckuck, **Kuh**, kühl, Kummer, **Kürbis**, kurz, Kuss,

gackern, gähnen, Galopp, **Gans**, **Gänseblümchen**, **Gardine**, garstig, Gas, gast, Gauner,
 gebacken, Gebäude, geben, Gebirge, Geburt, Gecko, Gedanke, Gedicht, Gefahr, Gefängnis,
 Geheimnis,

Geier, Geist, geizig, **gelb**, **grün**, Geld, Gemüse, gemütlich, **Gespens**, gießen, Gift, Gipfel, Gips,
 Girlande, **Gitarre**, Glas, glatt, glauben, Gletscher, Glitzer, Glück, glühen, Gold, Gott, Gras, grau,
 Grießbrei, Grille, grillen, groß, Grund, gruseln, Gruß, Gulasch, Gummi(bärchen), Gurt, gut

Ergänzungen:

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

Bilder Set A und dickgedruckte Wörter aus Set B gibt es als Bilder

	Set A (24 Bilder)	Set B (7.5, 7.7, 6.1, 7.10) (33 Bilder)	C
Buchstaben	je 4 Karten mit Anfangsbuchstaben	Mögliche Karten mit Anfangs- bzw. mittleren Buchstaben	Wörter mit abgestärkten Anfangs- und mittleren Buchstaben
A	Ameise Ampel Apfel Affe	Ananas , Adler, Angel , Aprikose, Arm, Arzt, Ast , Axt , acht ; Nase, Strand, Flasche, Kasper, Tasse, Wal, Hase, Schaf, Kanne, Hand, Hahn, Mann, Sahne, Wasserhahn, Kamel, Schal, Rakete, Katze, Giraffe	Abend, Acker, Aal, ahnen, Arbeit, anstrengend, aber, Abenteuer, Abschied, Alarm, alle, allein, Amerika, Angst, Apotheke, Appetit, artig, Aschenputtel, atmen, Axel, April;
E	Esel Ente Elefant Erdbeere	Erde , Elster , Erbse , Engel , Elfe , ; Tee, Klee, See, Rakete	Emu, Egon, Eva, Emil, Ekel, Ecke, egal, Ehe, Ehrenwort, ehrlich, eklig, Eltern, Ende, Energie, Ernte, ewig, Elektriker ;
I	Igel Iglu Indianer Insel	; Ziege, Dinosaurier, Fliege, Ski, Tiger, Giraffe, Biber, Biene, Dieb, Fliege, Krokodil, Nilpferd, Riese, Wiese, Ski,	Ida, Ina, Isa, Idee, Insekt, Italien ; Lied, nie, Sophie, wie, Juli
G	Gans Gelb Glas Gitarre	Gänseblümchen , Gardine , grün , Gespent , Gummi(bärchen) , Gras , Geld , Gold , Giraffe , Grashüpfer	gackern, gähnen, Galopp, garstig, Gas, Gast, Gauner, gebacken, Gebäude, geben, Gebirge, Geburt, Gecko, Gedanke, Gedicht, Gefahr, Gefängnis, Geheimnis, Geier, Geist, geizig, Geld, Gemüse, gemütlich, gießen, Gift, Gipfel, Gips, Girlande, glatt, glauben, Gletscher, Glitzer, Glück, glühen, Gold, Gott, Gras, grau, Grießbrei, Grille, grillen, groß, Grund, gruseln, Gruß, Gulasch, Gurt, gut
O	Ofen Ohr Osterei Obst	Osterhase , Oma , Opa , Oase, Orange , Orgel ; Sonne, Hose, Foto, Sofa, Auto, Rose, Topf	Oben, oder, ohne, Oktober, Onkel, Oper, Ort, Ozean ; Montag
K	Kamm Keks Kuh Krokodil	Kaktus , Kamel , Känguruh , Karussell , Kasper , Kasse , Kastanie , Kegel , Kelle , Krebs , Klavier , Knopf , Knochen , Knoten , Kran , Krokodil , Kürbis , Kreis , Kreisel , Kleid	Kanne, Kakau, Kakadu, Kaiser, Kajak Kalb, Kalender, kalt Kamera, Kamin Kammer, Kampf, Kanal, Kaninchen, Kanone, Kante, Karton, Kanu, Käppi/Kappe, kaputt, Karotte, Karte, Kartoffel, Karton Kasten kauen, kaufen, Kaulquappe, Kaugummi kehren, Kellner, Keller, kennen, Kern, Kiefer, Kieselstein, Kind, Kittel, kitzeln, Klammer, klingen, Klappe, Klapperstorch, Klasse, klatschen, Kleber, kleckern, klein, klettern, Klingel, krank, Klo, klopfen, klug,

Wichtig: an schwächeren Kindern orientieren, Auslautieren und nicht Buchstaben benennen, Kinder sollten sich melden und erst aufgefordert Antwort sagen (nicht herausschreien), damit alle Zeit zum Überlegen haben, schwächer Kinder auch mal auffordern, jedes Kind sollte gleich oft drankommen, was zu fragen geht erst fragen und antworten lassen, nicht gleich selbst sagen, Wörter und Laute laut wiederholen lassen

			Knäckebrötchen, knacken, Knall, Knete, Knie, Knoblauch Knospe, Knüppel, kochen, Kohlrabi, komisch, konzentrieren, Konzert, Kopf, Korn, Körper, kosten, Krabbe, krabbeln, Krach, Kraft, Kragen, Krake, krank, kratzen, Kräuter, Kreide, Krems, Kreuz, kriechen, Krieg, Kröte, krumm, Kuckuck, kühl, Kummer, kurz, Kuss
--	--	--	---

WICHTIG: folgende Wörter aus späterem Experiment nicht benutzen:

B

Baby, Bambus, Becher, Beere, Besen, Beutel, Biber, Biene, Birne, Blase, Blüte, Blume, Bluse, Bombe, Bonbon, Brause, Bremse, Brezel, Brille, Bruder, Brücke, Brüste, Brunnen, Buckel, Büffel, Bügel, Bühne, Butter

G

Gabel, Geier, Geige, Gitter, Glocke, Graben, Grenze, Grube, Gruppe, Gummi, Gurke, Gürtel

K

Kabel, Kaffee, Kater, Katze, Kerze, Kette, Keule, Kino, Kirche, Kirsche, Kissen, Kiste, Knochen, Knoten, König, Koffer, Krähe, Kräuter, Kralle, Kreide, Kröte, Krone, Krümmel, Kuchen, Küche, Küken, Kugel, Kurve, Kutsche

P

Panne, Pappe, Peitsche, Pickel, Pizza, Pommes, Pony, Pudding, Pulver, Pumpe, Puppe, Puzzle