

# Themenschwerpunkt

# Lese- und Rechtschreibstörung im Schulalter

## Neuropsychologische Aspekte

Gerd Schulte-Körne

Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie, Psychosomatik und Psychotherapie,  
Klinikum der Universität München

**Zusammenfassung.** Die Lese-Rechtschreibstörung gehört mit einer Prävalenz um 5 % zu den häufigsten umschriebenen Entwicklungsstörungen, die nachhaltige die schulische, psychische und soziale Entwicklung der Kinder und Jugendlichen beeinflusst. Zu den neuropsychologisch am besten untersuchten Faktoren, die bedeutsam für den Lese- und Rechtschreibprozess sind, gehören phonologische Bewusstheit und orthographisches Wissen. Die neurobiologischen Korrelate dieser Faktoren konnten in einem Netzwerk des Lesens erfolgreich beschrieben werden. Funktionseinschränkungen wurden in der linken Hemisphäre des Gehirns in der visuellen Wortformregion, dem Cortex temporalis superior und inferior frontalen Gehirnregionen wiederholt beschrieben.

**Schlüsselwörter:** Lese-Rechtschreibstörung, Phonologische Bewusstheit, orthographisches Wissen, Neurobiologische Korrelate

### Dyslexia – Neuropsychological Aspects

**Abstract.** Dyslexia occurs with a prevalence rate of 5 %. It is a very common developmental disorder which has a negative impact on the psycho-social and school development of children and adolescents. Phonological awareness and orthographic knowledge are highly relevant for learning how to read and write. Neurobiological correlates of these processes were repeatedly identified in a cortical reading network in the left hemisphere. These regions are the visual word form areal, the gyrus temporalis superior und inferior frontal regions.

**Keywords:** dyslexia, phonological awareness, orthographic knowledge, neurobiological correlates

## Symptomatik

### Lesestörung

Die Lesestörung (LS) ist primär gekennzeichnet durch eine deutlich verlangsamte Lesegeschwindigkeit, die insbesondere die Hauptsymptomatik bei Erwachsenen mit einer Lesestörung bildet. Bei Kindern und Jugendlichen ohne eine Lesestörung entwickelt sich die Lesegeschwindigkeit kontinuierlich bis zur achten Klasse (Spinelli et al., 2005) und darüber hinaus.

Ein Einflussfaktor auf die Lesegeschwindigkeit bildet die Wortlänge (Anzahl der Grapheme). Der Wortlängeneffekt beschreibt die Beobachtung, dass mit Zunahme der Wortlänge die Lesegeschwindigkeit zunimmt. Dieser Effekt ist abhängig von der Leseerfahrung und zeigt sich erst bei einer Wortlänge größer als fünf Grapheme. Kinder der vierten Klasse zeigen einen geringeren Wortlängeneffekt

im Vergleich zu Kindern der zweiten Klasse (Zoccolotti et al., 2005). Dieser Effekt fand sich bei Kindern mit einer Lesestörung deutlich abgeschwächt (Spinelli et al., 2005; Ziegler et al., 2003[in Lit.liste 2005 + 2010]). In der Studie von Zoccolotti et al. (2005) führte die Verlängerung eines Wortes um ein Graphem zu einer Abnahme der Lesegeschwindigkeit um 170 ms. Diese Zeitverlängerung entsprach der Lesegeschwindigkeit der untersuchten Erstklässler. Bei den nicht-leseschwachen Drittklässler lag der Wortlängeneffekt bei ca. 36 ms pro zusätzliches Graphem. Diese Befunde wurden auf dem Hintergrund des Zwei-Wege-Modells des Lesens diskutiert (siehe Abbildung 1). Der Befund, dass Kinder mit einer Lesestörung noch zum Ende der Grundschulzeit einen deutlichen Wortlängeneffekt zeigen, unterstützt die Hypothese, dass diese Kinder trotz mehrjähriger Unterrichtung im Lesen auf dem indirekten Zugangsweg, (der Graphem-Phonem-Zuordnung) verharren. Hingegen kann ein Kind ohne eine Lesestörung durch den Zugriff auf das lexikalische Lexikon schneller lesen.

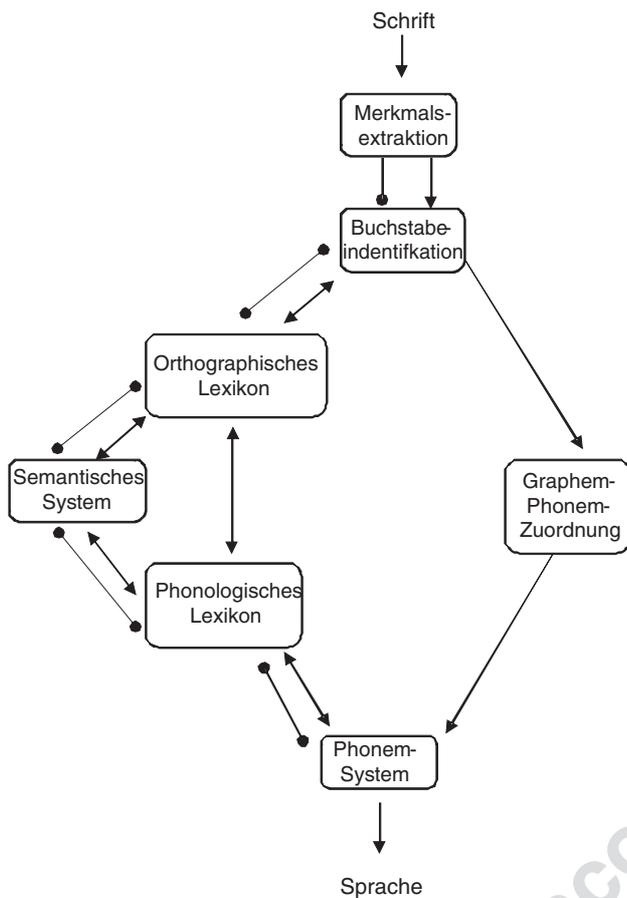


Abbildung 1. Zwei-Wege-Modell des Lesens.

Neben der Lesegeschwindigkeit sind die Lesegenauigkeit und das Leseverständnis weitere zentrale Kennzeichen der Lesestörung.

## Rechtschreibstörung

Die Rechtschreibstörung (RS) ist gekennzeichnet durch erhebliche Schwierigkeiten, einzelne Wörter gemäß der orthographischen Konvention der einzelnen Sprachen zu verschriftlichen. Trotz eines Unterrichts, der die notwendigen Kenntnisse und Übungen zum Erlangen einer sicheren, richtigen Orthographie vermittelt, können Kinder mit einer Rechtschreibstörung einzelne Wörter und Sätze nur fehlerhaft schreiben. Beim Rechtschreiben zeigen sich zwar keine für die Störung spezifischen Rechtschreibfehler. Allerdings repräsentieren die Fehler das individuelle Rechtschreibniveau. Unterschieden werden daher Rechtschreibfehler, die eine lautgetreue Verschriftlichung (z. B. «gästern» für gestern) darstellen, von Rechtschreibfehler, die fehlendem orthographischen Wissen (z. B. «Muter», phonologisch richtig, orthographisch falsch) zugeordnet werden. Die Rechtschreibfehler zeigen sich auch beim Erlernen einer Fremdsprache. Die Rechtschreibstörung verläuft meist chronisch, d. h. viele Kinder, die bereits in den ersten Schuljahren erheb-

liche Rechtschreibprobleme aufwiesen, sind auch als Erwachsenen sehr unsicher in der richtigen Verschriftlichung und vermeiden meist das Schreiben (Schulte-Körne & Stieglitz, 2009; Schulte-Körne et al., 2003).

## Diagnostik

Die ICD-10 (Dilling, Mombour & Schmidt, 2008) unterscheidet eine Lese- und Rechtschreibstörung (F81.0), die isolierte Rechtschreibstörung (F81.1) und die kombinierte Störung schulischer Fertigkeiten (F81.3). Eine isolierte Lesestörung wird nicht aufgeführt, obwohl epidemiologische Studien das Vorliegen einer isolierten Lesestörung unterstützen (Landerl & Moll, 2009). Die Prävalenz der Lese-Rechtschreibstörung (LRS) liegt bei 8 %, der Rechtschreibstörung um 6 % und der Lesestörung um 7 % (Landerl & Moll, 2010).

Im Vordergrund der Diagnostik steht die Erfassung der Kernsymptomatik der Störung. Hierzu gehört die Erfassung der Lese- und Rechtschreibfähigkeit anhand standardisierter Testverfahren, deren Normierung nicht älter als zehn Jahre sein sollte. Zur Diagnostik der Lesestörung sollten Testverfahren zur Messung der Lesegeschwindigkeit, der Lesegenauigkeit, des Leseverständnisses und der Rechtschreibleistung durchgeführt werden (Übersicht in Schulte-Körne, 2010[nicht in Lit.liste]; [www.kjp.med.uni-muenchen.de/forschung/legasthenie/diagnose.php](http://www.kjp.med.uni-muenchen.de/forschung/legasthenie/diagnose.php)). Die in den Testverfahren ermittelten Leistungen eines Kindes werden mit Leistungen der Schüler der gleichen Klassenstufe verglichen. Bei einer deutlichen Diskrepanz, von einer bis zwei Standardabweichungen zwischen der Leistung im Lesen und/oder Rechtschreiben, die aufgrund der Klassenstufe zu erwarten wäre und der aktuellen Leistung des Kindes, wird eine Lese- und/oder Rechtschreibstörung diagnostiziert. Die ICD-10 empfiehlt die Verwendung eines Intelligenzdiskrepanzkriteriums. Dies bedeutet, dass die Lese- und/oder Rechtschreibleistung des Kindes von der Leistung abweicht, die aufgrund der kognitiven Fähigkeiten des Kindes zu erwarten wäre (Schulte-Körne, 2010). Ausschlusskriterien sind erworbene Störungen des Lesens und Schreibens (Alexie und Agraphie), erworbene Störungen des Sehens und Hörens sowie psychische Störungen, die das Erlernen des Lesens und Rechtschreibens nachhaltig beeinflussen.

Zu den komorbiden Störungen gehören mit ca. 20 % die Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätsstörung, mit 20 bis 40 % die Rechenstörung, mit zwischen 20 bis 40 % die Angst- und depressiven Störungen (Goldston et al., 2007; Landerl & Moll, 2010; Mugnaini, Lassi, La Malfa & Albertini, 2009; von Aster & Shalev, 2007), sowie im Jugendalter die Störungen des Sozialverhaltens. Häufig treten somatische Störungen in den Vordergrund, wie z. B. unspezifische Bauch- und Kopfschmerzen, verbunden mit Übelkeit und Erbrechen (Schulte, Petermann & Noeker, 2010). Diese Symptomatik tritt meist nicht in den Schulfe-

rien auf und ist nicht selten mit spezifischen Schulanforderungen im Fach Deutsch verbunden.

## Neurokognitive Korrelate

### Phonologische Bewusstheit

Mit phonologischer Bewusstheit werden Fähigkeiten bezeichnet, Phoneme voneinander zu unterscheiden, Phoneme im Gedächtnis abzurufen und Phoneme miteinander zu verbinden. Sowohl für das Rechtschreiben als auch für das Lesen wurde wiederholt gezeigt, dass die phonologische Bewusstheit mit der Entwicklung in beiden Bereichen mittelhoch bis hoch korreliert (Schulte-Körne, 2001; Stanovich, 1992). Aus diesem Grund wird auch im Vorschulalter die Prävention von Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten im Wesentlichen auf die Förderung von phonologischer Bewusstheit aufgebaut, sowohl im Kindergarten (Schneider, Roth & Küspert, 1999) als auch im häuslichen Bereich (vgl. elternbezogene Förderprogramme; s. Koglin, Froehlich, Metz, & Petermann, 2008; Rückert, Kunze, Schillert & Schulte-Körne, 2010).

Die Bedeutung phonologischer Bewusstheit für die Lese- und für die Rechtschreibstörung wurde in vielen Studien gezeigt. Die Korrelationen zwischen einzelnen Komponenten des phonologischen Bewusstseins, wie z. B. Lautdifferenzieren, gemessen mit dem Test Lautestreichen, liegen im mittelhohen Bereich. Dieser Zusammenhang zeigt sich in vielen Sprachen (Englisch, Deutsch, Französisch, Portugiesisch, Griechisch, Holländisch, Dänisch), die sich hinsichtlich der Graphem-Phonem-Korrespondenz deutlich unterscheiden. Es lassen sich Schriftsprachen, die eine hohe Übereinstimmung zwischen Graphem-Phonem-Konsistenz aufweisen (z. B. Italienisch, Spanisch, Finnisch) von Schriftsprachen mit niedrigerer Korrespondenz abgrenzen (Englisch, Dänisch, Französisch). Es fanden sich deutlich Zusammenhänge zwischen phonologischer Bewusstheit, dem Lesen und Rechtschreiben. Einzelne Studien zeigen, dass die phonologische Bewusstheit ein besserer Prädiktor der Lesefähigkeit in Schriftsprachen mit niedriger Konsistenz ist (Furnes & Samuleson, 2010; Georgiou, Parrila & Papadopoulos, 2008; Mann & Wimmer, 2002). Die Befunde der wenigen Studien, die sprachvergleichend den Zusammenhang für Kinder mit einer Lesestörung untersuchten (Caravolas, Volin & Hulme, 2005; Ziegler et al., 2010), zeigen, dass die phonologische Bewusstheit gleichbedeutend für die Lesefähigkeit, unabhängig von der Graphem-Phonem-Konsistenz, ist.

Einzelne Studien zeigen, dass die phonologische Bewusstheit bedeutsamer für die Rechtschreibung als für die Lesefähigkeit ist (Moll, Fussenegger, Willburger & Landerl, 2009). Für die Förderpraxis ist insbesondere in den ersten Grundschuljahren das Trainieren von phonologischer Bewusstheit von großer Bedeutung (Rückert et al., 2010). Für Kinder und Jugendliche mit einer LRS ab der

fünften Klasse ist das Trainieren von basalen phonologischen Fertigkeiten in Schriftsprachen mit einer hohen Graphem-Phonem-Konsistenz nicht zu empfehlen. Hingegen zeigen sich in Schriftsprachen mit niedriger Konsistenz auch positive Fördereffekte bei Schülern mit einer Lesestörung in höheren Klassen.

### Schnelles Benennen

Das schnelle Benennen von visuellen Reizen, wie Buchstaben, Zahlen, Bilder und Farben wird als bedeutsamer Prädiktor für das Lesen und Rechtschreiben beschrieben. Der Abruf von Wörtern, Buchstaben und Zahlen in einer seriellen Benennaufgabe wird wiederholt eingesetzt, um die Fähigkeit zum schnellen Benennen zu erfassen (Wolf, 1999). Schnelles Benennen zielt auf die Abbildung eines geschwindigkeitsabhängigen Prozess, der lexikalisches oder auch nur orthographisches Wissen abruf. Aufgrund der Aufgabenkonstruktion, die das schnelle Abbilden von einzelnen Elementen, die in einer Reihe und Blöcken von Reihen präsentiert werden, wird der Prozess auch mit dem Grad der Automatisierung des Abrufs in Verbindung gebracht (Wolf, 1991). Allerdings ist es fraglich, ob es gelingt, bei einer so komplexen Aufgabe die Fertigkeiten zur Bewältigung dieser auf eine einzelne Komponente zu reduzieren. Neben der Geschwindigkeit sind Faktoren wie Gedächtnis, Semantik, Phonologie und Sprachmotorik potenzielle Einflussfaktoren für das schnelle Benennen (Wolf, Bowers & Biddle, 2000). Wenn schnelles Benennen im Zusammenhang mit weiteren Korrelaten des Lesens und Rechtschreibens betrachtet wird (wie auditives Kurzzeitgedächtnis, orthographische Wissen, phonologische Bewusstheit, non-verbale Intelligenz, Lesegeschwindigkeit, Lesefehler und Leseverständnis), so findet sich ein hoher Zusammenhang zwischen den geschwindigkeitsabhängigen Variablen (auditive Kurzzeitgedächtnis, Satzbau, Lesegeschwindigkeit) untereinander und zwischen den nichtgeschwindigkeitsabhängigen Variablen (Schulte-Körne et al., 2007).

Das schnelle Benennen war in klinischen Stichproben wiederholt bei Kindern und Jugendlichen mit LRS beeinträchtigt (Wolf & Bowers, 1999). Es konnten Kinder identifiziert werden, die sowohl eine geringere Benennungsgeschwindigkeit und eine geringere phonologische Bewusstheit aufwiesen. Diese Kinder waren diejenigen Kinder, die am schwersten von einer Lesestörung betroffen waren. Weniger schwer von einer Lesestörung waren hingegen die Kinder betroffen, die nur eine geringe phonologische Bewusstheit oder nur eine langsamere Benennungsgeschwindigkeit aufwiesen. Allerdings konnten diese Subgruppenbildung durch weitere empirische Studien nicht bestätigt werden und stellt diesen Ansatz in Frage (Morris et al., 1998; Pennington, Cardoso-Martins, Green & Lefly, 2001). Etwas unerwartet wird dieser Subgruppenansatz durch aktuelle genetische Studien unterstützt. So konnten in einer genomweiten Kopplungsanalyse Hinweise für einen Lokus

auf Chromosom 6 gefunden werden, der hoch bedeutsam für das schnelle Benennen bei der LRS ist (König et al., im Druck).

## Orthographisches Wissen

Im Vergleich zur phonologischen Bewusstheit ist das Verständnis des Konstrukts «orthographisches Wissen» noch recht unklar. Das Erkennen von orthographischen Regelmäßigkeiten, die Speicherung und das Abrufen dieses Wissens stellen nach bisherigem Verständnis die wesentlichen Komponenten des orthographischen Wissens dar. Sowohl für das Lesenlernen (Holmes, 1996) als auch für die Rechtschreibung (Burt & Tate, 2002) ist orthographisches Wissen von Bedeutung. Während phonologische Bewusstheit insbesondere für den indirekten Weg im Zwei-Wege-Modell des Lesenlernens von Bedeutung ist (Abbildung 1), wird für den direkten, den lexikalischen Weg, der Zugriff auf die Wörter mittels orthographischer Verarbeitung angenommen (Olson, Forsberg & Wise, 1994).

Orthographisches Wissen wird mittels verschiedener Tests untersucht. Sehr häufig sind sogenannte Pseudohomophon-Aufgaben (z. B. Manis, Szeszulski, Holt & Graves, 1990; Schulte-Körne et al., 2007). Bei diesem Aufgabentyp werden zwei Wörter, die gleich klingen, aber unterschiedlich geschrieben werden (ein Wort ist richtig, das andere orthographisch falsch, z. B. «Boot» und «Boht» geschrieben) visuell präsentiert und die Entscheidung gefordert, welches der beiden Wörter die orthographisch richtige Repräsentation darstellt. Bei einer Homophonaufgabe wird z. B. die Frage gestellt: «Was schwimmt im Meer?» Aus den beiden zur Verfügung stehenden Antworten, «Wahl» oder «Wal», soll die richtige ausgewählt werden (Barker, Torgesen & Wagner, 1992). Die Ähnlichkeit dieser Verfahren zu Rechtschreibtests wurde wiederholt kritisiert, verbunden mit der Annahme, dass orthographisches Wissen kein unabhängiger Faktor für das Lese- und Rechtschreiblernen darstellt. Diese Kritik ist umso mehr gerechtfertigt, wenn Verfahren benutzt werden, wie z. B. eine lexikalische Überprüfungsaufgabe. Bei dieser Aufgabe wird ein Wort vorgesprochen oder über Lautsprecher präsentiert und das Kind soll entscheiden, ob das auf dem Bildschirm präsentierte Wort, das das gehörte Wort repräsentieren soll, richtig geschrieben ist (z. B. gehört: Glück, visuell präsentiert: Glüg; vgl. Stanovich & Siegel, 1994).

Der Zusammenhang zwischen orthographischem Wissen, phonologischer Bewusstheit und Leseerfahrung (im Englischen *print exposure*) wurde wiederholt untersucht. Die gemeinsame Varianz zwischen phonologischer Bewusstheit und orthographischem Wissen liegt bei Grundschulkindern zwischen 10 und 25 % (Cunningham, Perry & Stanovich, 2001; Cunningham, Perry, Stanovich & Share, 2002). Die Leseerfahrung von Kindern mit einer Lesestörung und solchen ohne eine Lesestörung ist sehr unterschiedlich. So lesen Kinder üblicherweise Mitte der Grundschulzeit ca. 1.000.000 bis 50.000.000 Wörter pro Jahr,

Kinder mit einer Lesestörung hingegen nur ca. 100.000 Wörter pro Jahr (Nagy & Anderson, 1984). Die Bedeutung der Leseerfahrung für orthographisches Wissen liegt zwischen 7 und 28 % (aufgeklärte Varianz), wenn die phonologische Bewusstheit berücksichtigt wird (Braten, Lie, Andreassen & Olaussen, 1999).

Der Einfluss der Leseerfahrung auf orthographisches Wissen könnte auch ein Grund sein, warum Studien, die Kinder mit einer Lesestörung mit Kindern ohne eine Lesestörung (parallelisiert nach Alter, vergleichbare Leseerfahrung) vergleichen, kaum oder nur geringere orthographische Verarbeitung bei den lesegestörten Kindern finden (Badian, 1997; Hultquist, 1997).

In einzelnen Studien wurde sogar ein besseres orthographisches Wissen bei den lesegestörten Kindern gefunden, vermutlich deshalb, weil diese Kinder aufgrund der längeren Unterrichtung und Erfahrung über bessere phonologische Bewusstheit verfügten und damit ihre Schwierigkeiten möglicherweise kompensieren können (Olson, Wise, Conners & Rack, 1990). Der Einfluss orthographischen Wissens auf das Wortlesen liegt bei 7 bis 10 % (Cunningham & Stanovich, 1990), wenn der Einfluss für phonologische Bewusstheit kontrolliert wird. Wenn die Leseerfahrung zusätzlich berücksichtigt wird, sinkt der Einfluss orthographischen Wissens auf 6 % (Stanovich, West & Cunningham, 1991).

## Neurobiologische Korrelate

Mittels der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT), der Positronemissionstomographie (PET) und ereigniskorrelierten Potentialen (ERP) ist es zunehmend möglich, neurobiologische Korrelate des Leselernens, des Wortlesens, von phonologischer Bewusstheit und orthographischem Wissen zu beschreiben (Abbildung 2). An dem Zwei-Wege-Modell orientierend werden auch zwei funktionelle Wege des Wortlesens in kortikalen und subkortikalen Strukturen des Gehirns postuliert. Dem phonologischen Zugang über die Graphem-Zuordnung wird der dorsale Weg zugeordnet, der visuelle, lexikalische Weg wird einem ventralen Weg zugeordnet. Diese Bezeichnung orientiert sich an den im Wesentlichen beteiligten Gehirnprozessen.

Folgende Hirnregionen des Leseprozesses wurden identifiziert:

- für die visuelle Verarbeitung von Bildinformation (z. B. Raumfrequenz, Kontrast, Farbe) der primär visuellen Cortex (V1);
- für die Verarbeitung von spezifischen Buchstabeninformation der extrastriären Cortex (V5) und eine Region ventral am Übergang von occipital zu temporalem Cortex und das visuelle Wortform-Areal (VWFA, Cohen et al., 2000).

Die spezifische Funktionalität des visuellen Wortform-Areals wurde wiederholt untersucht, insbesondere die Abgrenzung der Wortverarbeitung von der Verarbeitung von

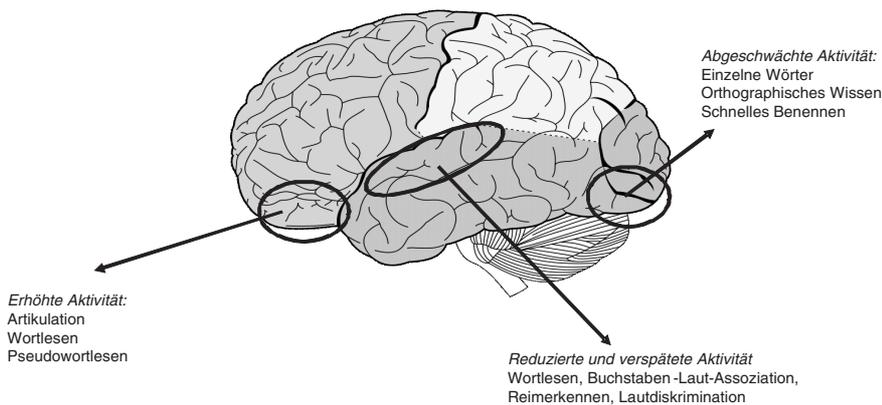


Abbildung 2. Neurobiologische Korrelate kognitiver Prozesse beim Lesen.

Gesichtern und anderen bedeutungstragenden visuellen Reizen (McCandliss, 2003 [in Lit. liste McCandliss, Cohen & Dehaene]). Allerdings zeigen alle fMRT-Studien auch, dass in den identifizierten Regionen die maximale Aktivität zu beobachten war. Dies bedeutet aber, dass auch in anderen Gehirnregionen geringere Aktivitäten bei den einzelnen Prozessen zu beobachten sind. Die Bedeutung des visuellen Wortform-Areals für den Leseprozess bestätigte sich in einer Reihe von Studien. Der Vergleich von beginnenden Lesern mit erfahrenen Lesern zeigt die Plastizität dieser Hirnregion im Sinne einer Spezialisierung des visuellen Wortform-Areals. Während zu Beginn des Leseprozesses Aktivität in beiden Hemisphären des visuellen Wortform-Areals zu beobachten ist, nimmt mit zunehmender Lesegeschwindigkeit die Aktivität in der rechten Hemisphäre ab und in der linken zu (Brown et al., 2005; Shaywitz et al., 2002; Turkeltaub, Gareau, Flowers, Zeffiro & Eden, 2003). Die Aktivität des rechten visuellen Wortform-Areals korreliert mit einer schlechteren Leseleistung (langsamere Lesegeschwindigkeit), das linke visuelle Wortform-Areal hingegen mit der besseren (höhere Lesegeschwindigkeit). Eine Interventionsstudie zeigte, dass die Aktivität des visuellen Wortform-Areals durch ein Lesetraining gesteigert werden kann. Bei einer großen Gruppe von leseschwachen Zweit- und Drittklässlern, die täglich ein 50minütiges phonologiebasiertes Training erhielt, fanden sich nach einem Jahr deutliche funktionelle Veränderungen im Sinne einer Aktivitätszunahme in verschiedenen Gehirnregionen, im occipitalen Cortex (Gyrus occipitalis inferior und medialis) einschließlich des visuellen Wortform-Areals, aber auch in anderen Hirnregionen des Lesernetzwerks, dem Temporalcortex (posteriorer Anteil des Gyrus temporalis inferior und medius) (Shaywitz et al., 2004). Diese Befunde bestätigen die Bedeutung dieser Hirnregionen für den Lernprozess des Lesens und für den gestörten Leseprozess bei Kindern und Erwachsenen mit einer Lesestörung.

Die phonologische Verarbeitung wird drei Regionen zugeordnet, den perisylvischen Regionen (Gyrus supramarginalis, angularis und temporalis superior) und der inferior frontalen Region der linken Hemisphäre mit der Verbindung zum dorsalen prämotorischen Cortex.

Die Verbindung von orthographischer und phonologischer Information wird im Wesentlichen im Temporalcortex lokalisiert. Die Graphem-Phonem-Zuordnung ist das Ergebnis eines Lernprozesses, der ab der Einschulung intensiv geübt wird. Die zu diesem Prozess korrespondierende Gehirnregion im linken Temporallappen wurde auch bei Erwachsenen mit einer Lesestörung untersucht (Blau et al., 2007 [Blau, Atteveldt, Ekkebus, Goebel & Blomert, 2009?]). Spezifisch in der Region des Temporalcortex, in der die neurophysiologischen Korrelate der Graphem-Phonem-Assoziation wiederholt beschrieben wurden (van Atteveldt, Formisano, Goebel & Blomert, 2004), war die neuronale Aktivität deutlich vermindert.

Nicht nur für die Graphem-Phonem-Assoziation wurden spezifische Aktivierungsmuster entsprechend dem zu verarbeitenden Stimulusmaterial, d. h. visuell oder akustisch, gefunden. Auch bei Aufgaben zur phonologischen Bewusstheit (z. B. Reimerkennen von Pseudowörtern) war die maximale Aktivierung in perisylvischen Regionen, bei Aufgaben zur orthographischen Verarbeitung in der linken visuellen Wortform-Areals (Booth et al., 2002). Bei einer crossmodalen Versuchsbedingung, der Integration von akustisch präsentiertem Wortmaterial mit der orthographischen Repräsentation, fand sich die stärkste Aktivierung über dem Gyrus angularis und supramarginalis. Interessanterweise ist das Aktivierungsmuster bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen über dem Gyrus angularis abgeschwächt, möglicherweise ein Korrelat der sich weiter entwickelnden Automatisierung des Leseprozesses (Booth et al., 2004). Bereits bei Kindern im Kindergarten, die das Risiko aufweisen, eine Lesestörung zu entwickeln, ist die neuronale Aktivität im Gyrus temporalis superior der linken Hemisphäre abgeschwächt (Simos et al., 2002). Bei den Risikokindern war im Gegensatz die Aktivität über dem rechten Gyrus temporalis superior erhöht. Dieser Befund korrespondiert gut mit den Interventionsstudien, die mittels MRT Korrelaten die Leseförderung untersuchten. Als Korrelate der Kompensation bei den Kindern mit einer Leseschwäche wurde eine Aktivitätszunahme des rechten Temporallappens, hier der Gyrus temporalis superior und temporalis medialis, beschrieben.

Studien zum Wortlesen bei Erwachsenen mit einer Le-

seschwäche zeigen eine geringere Aktivierung der linken inferioren occipito-temporalen Region bereits nach 150 ms (Helenius, Tarkiainen, Cornelissen, Hansen & Salmelin, 1999), die Aktivierung des dorsalen Wegs zeigt ab 200–400 ms eine deutlich verzögerte und verminderte Aktivierung im Gyrus temporalis superior (Salmelin, Service, Kiesila, Uutela & Salonen, 1996). Interessanterweise zeigen sich diese Effekte nicht, wenn die Kinder mit einer Lesestörung die Wörter nur hörten und nicht lesen mussten.

Strukturelle Untersuchungen, korrespondierend mit den funktionellen Untersuchungen, haben in den letzten Jahren gezeigt, dass in der weißen Substanz, überwiegend in der linken temporo-parietalen Region, die fraktionale Anisotropie bei den Leseschwachen verringert war. In einzelnen Studie wurde postuliert, dass die Corona radiata superior im Bereich des Corpus callosum, also die Verbindung der beiden Hemisphären, betroffen sei (Beaulieu et al., 2005; Niogi & McCandliss, 2006). Zuvor konnte gezeigt werden, dass eine hohe fraktionale Anisotropie, die als Korrelat für eine gute Myelinisierung der Axone steht, in der Corona radiata mit der Geschwindigkeit des Lesens hoch korreliert. Die Bahn, die aber am wahrscheinlichsten bei den Leseschwachen beeinträchtigt ist, ist die Verbindung des Fasciculus longitudinalis, der persylvische Strukturen mit dem inferioren frontalen Gyrus der linken Hemisphäre verbindet (Carter et al., 2009; Klingberg et al., 2000). Insbesondere im inferioren frontalen Cortex konnte kürzlich (Rimrod, Peterson, Denckla, Kaufmann & Cutting, 2010) eine atypische Mikrostruktur der weißen Substanz beschrieben werden.

Insgesamt weisen die Studien mittels Diffusion-Tension-Imaging (DTI) auf eine veränderte Verbindung kortikaler Regionen, die wesentlich für basale Prozesse des Lesens sind. Die gestörte Konnektivität könnte eine Folge von Hirnreifungsprozessen sein, die wiederum einer genetischen Steuerung unterliegen. Die molekulargenetische Befunde der letzten Jahre liefern erste Modelle, wie einzelne Kandidatengene die Funktionalität der neuronalen Migration beeinflussen.

## Schlussfolgerungen für die klinische Praxis

Sowohl für die Diagnostik als auch für die Förderkonzeption sind die Erkenntnisse der neuropsychologischen Forschung von großer Bedeutung. Neben der Überprüfung der Lese- und Rechtschreibfertigkeiten kann die Erfassung von phonologischer Bewusstheit und orthographischem Wissen wichtige Zusatzinformationen über die individuelle Ausprägung der Entwicklungsstörungen geben. So ist z. B. mit den Basiskompetenzen für Lese- und Rechtschreibleistungen (BAKO) (Stock, Marx & Schneider, 2003) die Testung phonologischer Bewusstheit von Kindern im Grundschulalter möglich. Der Test besteht aus insgesamt 74 Auf-

gaben, die sich folgenden sieben Subtests zuordnen lassen: Pseudowort-Segmentierung, Vokalersetzung, Restwortbestimmung, Phonemvertauschung, Lautkategorisierung zur Erfassung orthographischen Wissens, Vokallängenbestimmung und Wortumkehr. Mit Knuspels Leseaufgaben steht ein Verfahren zur Verfügung (Marx, 1998), das jedoch hinsichtlich der Normierung veraltet ist. Durch den Einsatz von Testverfahren möchte man die korrelierte Fähigkeiten des Lese- und Rechtschreibprozesses erfassen, eine spezifischer Diagnostik durchzuführen und darauf aufbauend eine individuelle Förderkonzeption begründen.

Die Förderung von phonologischer Bewusstheit beginnt bereits im Vorderschulalter, wie bereits dargestellt. Lauterkennen und -diskrimination kann erfolgreich im letzten halben Jahr vor der Einschulung gefördert werden und kann die Voraussetzungen für den Schriftspracherwerb deutlich verbessern. Die Einbindung der Förderung von phonologischer Bewusstheit ist aber auch in Förderprogrammen zur Verbesserung der Rechtschreibleistung sinnvoll. Zum Beispiel werden in dem Förderprogramm «Lautgetreue Lese-Rechtschreibförderung» (Reuter-Liehr, 2001–2007) und im Marburger Rechtschreibtraining (Schulte-Körne & Mathwig, 2009) phonologische Fertigkeiten gefördert und explizit orthographisches Wissen durch Vermittlung von orthographischen Regelmäßigkeiten trainiert. Die Evaluation dieser therapeutischen Konzepte zeigte, dass durch die Integration der Förderung von phonologischer Bewusstheit und orthographischem Wissen in die Lese- und Rechtschreibförderung die Lese- und Rechtschreibleistung von Kindern und Jugendlichen mit einer LRS deutlich verbessert werden kann. Durch die Integration von neurophysiologischen Methoden in die Therapieevaluation soll zukünftig untersucht werden, welche Prozesse im neurobiologischen Netzwerk des Lesens durch die einzelnen neuropsychologischen Faktoren beeinflusst werden können.

## Literatur

- Atteveldt, N. van, Formisano, E., Goebel, R. & Blomert, L. (2004). Integration of letters and speech sounds in the human brain. *Neuron*, 43, 271–82.
- Badian, N. A. (1997). Dyslexia and the double deficit hypothesis. *Annals of Dyslexia*, 47, 69–87.
- Barker, T. A., Torgesen, J. K. & Wagner, R. K. (1992). The role of orthographic processing skills on five different reading tasks. *Reading Research Quarterly*, 27, 334–345.
- Beaulieu, C., Plewes, C., Paulson, L. A., Roy, D., Snook, L., Concha, L. & Phillips, L. (2005). Imaging brain connectivity in children with diverse reading ability. *Neuroimage*, 25, 266–271.
- Blau, V., Atteveldt, N. van, Ekkebus, M., Goebel, R. & Blomert, L. (2009). Reduced neural integration of letters and speech sounds links phonological and reading deficits in adult dyslexia. *Current Biology*, 19, 503–508.
- Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Gitelman, D. R., Parrish,

- T. B. & Mesulam, M. M. (2002). Functional anatomy of intra- and cross-modal lexical tasks. *Neuroimage*, *16*, 7–22.
- 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*, 1234–1249.
- Braten, I., Lie, A., Andreassen, R. & Olaussen, B. S. (1999). Leisure time reading and orthographic processes in word recognition among Norwegian third- and fourth-grade students. *Reading and Writing*, *11*, 65–88.
- Brown, T. T., Lugar, H. M., Coalson, R. S., Miezin, F. M., Petersen, S. E. & Schlaggar, B. L. (2005). Developmental changes in human cerebral functional organization for word generation. *Cerebral Cortex*, *15*, 275–290.
- Burt, J. S. & Tate, H. (2002). Does a reading lexicon provide orthographic representations for spelling? *Journal of Memory and Language*, *46*, 518–543.
- Caravolas, M., Volin, J. & Hulme, C. (2005). Phoneme awareness is a key component of alphabetic literacy skills in consistent and inconsistent orthographies: Evidence from Czech and English children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *92*, 107–139.
- Carter, J. C., Lanham, D. C., Cutting, L. E., Clements-Stephens, A. M., Chen, X., Hadzipasic, M. et al. [bitte alle Autoren nennen] (2009). A dual DTI approach to analyzing white matter in children with dyslexia. *Psychiatry Research*, *172*, 215–219.
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéicy, S., Dehaene-Lambertz, G., Hénaff, M. A. & Michel, F. (2000). The visual word form area: Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain*, *123*, 291–307.
- Cunningham, A. E. & Stanovich, K. E. (1990). Assessing print exposure and orthographic processing skill in children: A quick measure of reading experience. *Journal of Educational Psychology*, *82*, 733–740.
- Cunningham, A. E., Perry, K. E. & Stanovich, K. E. (2001). Converging evidence for the concept of orthographic processing. *Reading and Writing*, *14*, 549–568.
- Cunningham, A. E., Perry, K. E., Stanovich, K. E. & Share, D. L. (2002). Orthographic learning during reading: Examining the role of self-teaching. *Journal of Experimental Child Psychology*, *82*, 185–199.
- Dilling, H., Mombour, W. & Schmidt, M. H. (Hrsg.). (2008). *Internationale Klassifikation psychischer Störungen. ICD-10 Kapitel V (F). Klinisch-diagnostische Leitlinien* (6., vollst. überarb. Aufl.). Bern: Huber.
- Furnes, B. & Samuelsson, S. (2010). Predicting reading and spelling difficulties in transparent and opaque orthographies: A comparison between Scandinavian and US/Australian children. *Dyslexia*, *16*, 119–142.
- Georgiou, G. K., Parrila, R. & Papadopoulos, T. C. (2008). Predictors of word decoding and reading fluency across languages varying in orthographic consistency. *Journal of Educational Psychology*, *100*, 566–580.
- Goldston, D. B., Walsh, A., Mayfield, A. E., Reboussin, B., Sergeant Daniel, S., Erkanli, A. & Wood, F. B. (2007). Reading problems, psychiatric disorders, and functional impairment from mid to late adolescence. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, *46*, 25–32.
- Helenius, P., Tarkiainen, A., Cornelissen, P., Hansen, P. C. & Salmelin, R. (1999). Dissociation of normal feature analysis and deficient processing of letter-strings in dyslexic adults. *Cerebral Cortex*, *9*, 476–483.
- Holmes, V. M. (1996). Skilled reading and orthographic processing. *Australian Journal of Psychology*, *48*, 149–154.
- Hultquist, A. M. (1997). Orthographic processing abilities of adolescents with dyslexia. *Annals of Dyslexia*, *47*, 89–114.
- Klingberg, T., Hedehus, M., Temple, E., Salz, T., Gabrieli, J. D., Moseley, M. E. & Poldrack, R. A. (2000). Microstructure of temporo-parietal white matter as a basis for reading ability: Evidence from diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Neuron*, *25*, 493–500.
- König, I. R., Schumacher, J., Hoffmann, P., Kleinsang, A., Ludwig, K. U., Grimm, T. & Schulte-Körne, G. (im Druck). Mapping for dyslexia and related cognitive trait loci provides strong evidence for further risk genes on chromosome 6p21. *American Journal of Medical Genetics: Neuropsychiatric Genetics*.
- Koglin, U., Froehlich, L. P., Metz, D. & Petermann, F. (2008). Elternbezogene Förderung der phonologischen Bewusstheit im Kindergartenalter. *Kindheit und Entwicklung*, *17*, 173–181.
- Landerl, K. & Moll, K. (2009). Double dissociation between reading and spelling. *Scientific Studies of Reading*, *13*, 359–382.
- Landerl, K. & Moll, K. (2010). Comorbidity of learning disorders: Prevalence and familial transmission. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *51*, 287–94.
- Manis, F. R., Szeszlowski, P. A., Holt, L. K. & Graves, K. (1990). Variation in component word recognition and spelling skills among dyslexic children and normal readers. In T. Carr & B. A. Levy (Eds.), *Reading and its development: Component skills approaches* (pp. 207–259). New York: Academic Press.
- Mann, V. & Wimmer, H. (2002). Phoneme awareness and pathways into literacy: A comparison of German and American children. *Reading and Writing*, *15*, 653–682.
- Marx, H. (1998). *Knuspels Leseaufgaben (KNUSPEL-L)*. Göttingen: Hogrefe.
- Moll, K., Fussenegger, B., Willburger, E. & Landerl, K. (2009). RAN is not a measure of orthographic processing. Evidence from the asymmetric German orthography. *Scientific Studies of Reading*, *13*, 1–25.
- McCandliss, B. D., Cohen, L. & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: Expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 293–299.
- Morris, R. D., Stuebing, K. K., Fletcher, J. M., Shaywitz, S. E., Lyon, G. R., Shankweiler, D. P. & Shaywitz, B. A. (1998). Subtypes of reading disability: Variability around a phonological core. *Journal of Educational Psychology*, *90*, 347–373.
- Mugnaini, D., Lassi, S., La Malfa, G. & Albertini, G. (2009). Internalizing correlates of dyslexia. *World Journal of Pediatrics*, *5*, 255–264.
- Nagy, W. E. & Anderson, R. C. (1984). How many words are there in printed school English? *Reading Research Quarterly*, *19*, 304–330.
- Niogi, S. N. & McCandliss, B. D. (2006). Left lateralized white matter microstructure accounts for individual differences in reading ability and disability. *Neuropsychologia*, *44*, 2178–2188.
- Olson, R. K. (2002). Dyslexia: Nature and nurture. *Dyslexia*, *8*, 143–159. [nicht im Text]
- Olson, R. K., Forsberg, H. & Wise, B. (1994). Genes, environment, and the development of orthographic skills. In V. W. Berninger (Ed.), *The varieties of orthographic knowledge*:

- Theoretical and developmental issues*, Vol. . (pp. 27–71). Dordrecht: Kluwer Academic.
- Olson, R. K., Wise, B., Conners, F. & Rack, J. (1990). Organisation, heritability, and remediation of component word recognition and language skills in disabled readers. In T. H. Carr & B. A. Levy (Eds.), *Reading and its development: Component skills approaches* (pp. 261–322). New York: Academic Press.
- Pennington, B. F., Cardoso-Martins, C., Green, P. A. & Lefly, D. (2001). Comparing the phonological and double deficit hypotheses for developmental dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 14, 707–755.
- Reuter-Liehr, C. (2001–2007). *Lautgetreue Lese-Rechtschreibförderung*. Bochum: Winkler.
- Roeske, D., Ludwig, K., Neuhoff, N., Becker, J., Bartling, J., Bruder, J., . . . Schulte-Körne, G. (2009). First genome-wide association scan on neurophysiological endophenotypes points to trans-regulation effects on SLC2A3 in dyslexic children. *Molecular Psychiatry* [Epub ahead of print]. [nicht im Text]
- Rimrod, S. L., Peterson, D. J., Denckla, M. B., Kaufmann, W. E. & Cutting, L. E. (2010). White matter microstructural differences linked to left perisylvian language network in children with dyslexia. *Cortex*, 46, 739–749.
- Rückert, E. M., Kunze, S., Schillert, M. & Schulte-Körne, G. (2010). Prävention von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten Effekte eines Eltern-Kind-Programms zur Vorbereitung auf den Schriftspracherwerb. *Kindheit und Entwicklung*, 19, 82–89.
- Salmelin, R., Service, E., Kiesila, P., Uutela, K. & Salonen, O. (1996). Impaired visual word processing in dyslexia revealed with magnetoencephalography. *Annals of Neurology*, 40, 157–162.
- Scerri, T. S. & Schulte-Körne, G. (2010). Genetics of developmental dyslexia. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 19, 179–197. [nicht im Text]
- Schlaggar, B. L. & McCandliss, B. D. (2007). Development of neural systems for reading. *Annual Review of Neuroscience*, 30, 475–503. [nicht im Text]
- Schneider, W., Roth, E. & Küspert, P. (1999). Frühe Prävention von Lese-Rechtschreibproblemen: Das Würzburger Trainingsprogramm zur Förderung sprachlicher Bewusstheit bei Kindergartenkindern. *Kindheit und Entwicklung*, 8, 147–152.
- Schulte, I. E., Petermann, F. & Noeker, M. (2010). Functional abdominal pain in childhood: From etiology to maladaptation. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 79, 73–86.
- Schulte-Körne, G. (2001). *Lese-Rechtschreibstörung und Sprachwahrnehmung Psychometrische und neurophysiologische Untersuchungen zur Legasthenie*. Münster: Waxmann.
- Schulte-Körne, G. (2002). *Legasthenie*. Bochum: Winkler. [nicht im Text]
- Schulte-Körne, G. (im Druck). Legasthenie (Lese-Rechtschreibstörung)-Diagnostik, Ursachen und Therapie. *Deutsches Ärzteblatt*. [nicht im Text]
- Schulte-Körne, G. & Bruder, J. (2010) Clinical neurophysiology of visual and auditory processing in dyslexia: A review. *Clinical Neurophysiology* [Epub ahead of print]. [nicht im Text]
- Schulte-Körne, G. & Mathwig, F. (2009). *Das Marburger Rechtschreibtraining. Ein regelgeleitetes Förderprogramm für rechtschreibschwache Schüler*. Bochum: Winkler.
- Schulte-Körne, G. & Stieglitz, R. D. (2009). Lese- und Rechtschreibstörung. In J. M. Fegert, A. Streeck-Fischer & H. J. Freyberger (Hrsg.), *Adoleszenzpsychiatrie. Psychiatrie und Psychotherapie der Adoleszenz und des jungen Erwachsenenalters* (S. 476–487). Stuttgart: Schattauer.
- Schulte-Körne, G., Deimel, W., Jungermann, M. & Remschmidt, H. (2003). Follow-up of a sample of children with reading-spelling disorders in adulthood. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*, 31, 267–276.
- Schulte-Körne, G., Ludwig, K. U., Sharkawy, J., Nöthen, M. M., Müller-Myhsok, B. & Hoffmann, P. (2007) Genetics and neuroscience in Dyslexia: Perspectives for education and remediation. *Mind, Brain, and Education*, 1, 162–172.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K. & Gore, J. C. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*, 52, 101–110.
- Shaywitz, B., Shaywitz, S., Blachman, B., Pugh, K., Fulbright, R., Skudlarski, P. & Gore, J. C. (2004). Development of left occipito-temporal systems for skilled reading in children after a phonologically-based intervention. *Biological Psychiatry*, 55, 926–933. [nicht im Text]
- Simos, P. G., Fletcher, J. M., Foorman, B. R., Francis, D. J., Castillo, E. M., Davis, R. N., . . . Papanicolaou, A. C. (2002). Brain activation profiles during the early stages of reading acquisition. *Journal of Child Neurology*, 17, 159–163.
- Spinelli, D., de Luca, M., di Filippo, G., Mancini, M., Martelli, M. & Zoccolotti, P. (2005). Length effect in word naming in reading: Role of reading experience and reading deficit in Italian readers. *Developmental Neuropsychology*, 27, 217–235.
- Stanovich, K. E. (1992). Speculations on the causes and consequences of individual differences in early reading acquisition. In P. B. Gough, L. C. Ehri & R. Treiman (Eds.), *Reading acquisition* (pp. 307–342). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stanovich, K. E. & Siegel, L. S. (1994). Phenotypic performance profile of children with reading disabilities: A regression-based test of the phonological-core difference model. *Journal of Educational Psychology*, 86, 24–53.
- Stanovich, K. E., West, R. F. & Cunningham, A. E. (1991). Beyond phonological processes: Print exposure and orthographic processing. In S. A. Brady & D. P. Shankweiler (Eds.), *Phonological processes in literacy: A tribute to Isabelle Y. Liberman* (pp. 219–235). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stock, C., Marx, P. & Schneider, W. (2003). *Basiskompetenzen für Lese- und Rechtschreibleistungen (BAKO 1–4)*. Göttingen: Beltz.
- Turkeltaub, P. E., Gareau, L., Flowers, D. L., Zeffiro, T. A. & Eden, G. F. (2003). Development of neural mechanisms for reading. *Nature Neuroscience*, 6, 767–773.
- von Aster, M. & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49, 868–873.
- Wolf, M. (1991). Naming speed and reading: The contribution of the cognitive neurosciences. *Reading Research Quarterly*, 26, 123–141.
- Wolf, M. (1999). What time may tell: Towards a new conceptualization of developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 49, 3–8.
- Wolf, M. & Bowers, P. G. (1999). The double-deficit hypothesis for the developmental dyslexias. *Journal of Educational Psychology*, 91, 415–438.
- Wolf, M., Bowers, P. G. & Biddle, K. (2000). Naming-speed processes, timing, and reading: A conceptual review. *Journal of Learning Disabilities*, 33, 387–407.
- Ziegler, A., König, I. R., Deimel, W., Plume, E., Nöthen, M. M.,

- Propping, P., . . . Schulte-Körne, G. (2005). Developmental dyslexia – Recurrence risk estimates from a German bi-center study using the single proband sib pair design. *Human Heredity*, 59, 136–143.[nicht im Text]
- Ziegler, J. C., Bertrand, D., Toth, D., Csepe, V., Reis, A., Faisca, L. & Blomert, L. (2010). Orthographic depth and its impact on universal predictors of reading: A cross-language investigation. *Psychological Science*, 21, 551–559.
- Zoccolotti, P., de Luca, M., di Pace, E., Gasperini, F., Judica, A. & Spinelli, D. (2005). Word length effect in early reading and in developmental dyslexia. *Brain and Language*, 93, 369–373.

Prof. Dr. Gerd Schulte-Körne

---

Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie, Psychosomatik  
und Psychotherapie  
Klinikum der Universität München  
Nußbaumstr. 5a  
D-80996 München  
E-Mail: Gerd.Schulte-Koerne@med.uni-muenchen.de

Uncorrected proofs  
not for distribution