

Kommentierte Übersichtsarbeit

Blickbewegungen beim Lesen, Leseentwicklung und Legasthenie

Ralph Radach¹, Thomas Günther² und Lynn Huestegge³

¹Lehrstuhl für Allgemeine und Biologische Psychologie, Bergische Universität Wuppertal;

²Klinik für Psychiatrie, Psychosomatik und Psychotherapie des Kindes- und Jugendalters, Universitätsklinikum der RWTH Aachen; ³Institut für Psychologie, RWTH Aachen

Zusammenfassung: In den letzten Jahrzehnten hat sich die Messung und Analyse von Blickbewegungen mehr und mehr zur einer Standardmethode für die Untersuchung des Lesens und der Leseentwicklung im Kindesalter entwickelt. Im vorliegenden Artikel werden zunächst einige grundlegende Erkenntnisse zur Dynamik des Lesens aus der Sicht der Blickbewegungsforschung skizziert. Auf dieser Grundlage erfolgt eine Darstellung wichtiger Aspekte der normalen und gestörten Leseentwicklung. Dabei wird vertiefend auf Befunde zu Blickbewegungen von Kindern mit Legasthenie eingegangen, die zum Teil widersprüchlich sind und in der Literatur kontrovers diskutiert werden. Hieraus ergeben sich Empfehlungen für die weitere Forschung bezüglich der Identifikation visuomotorischer Defizite, der Informationsaufnahme innerhalb der Blickspanne sowie die Verarbeitung phonologischer und räumlicher Information. Abschließend wird eine leseähnliche Scanningaufgabe vorgestellt, mit der die nichtsprachlichen Anforderungen des Lesens gut approximiert werden können. Damit kann die Frage untersucht werden, ob abweichende Blickbewegungen bei Legasthenie auch durch Faktoren wie visuelle Informationsverarbeitung und Aufmerksamkeit, Blicksteuerung oder räumliche Navigation mitverursacht sein können.

Schlüsselwörter: Lesen, Leseentwicklung, Blickbewegungen, Blickspanne, Aufmerksamkeit, Legasthenie, Dyslexie

Experimentelle Ansätze in der Leseforschung

In der gegenwärtigen Leseforschung kooperieren (und konkurrieren) verschiedene wissenschaftliche Ansätze in dem Bemühen, den Weg vom geschriebenen Zeichen bis zu einer mentalen Repräsentation eines Textes immer besser zu verstehen. Dabei ist sicher die Mehrzahl der publizierten Arbeiten der psychometrischen Forschung zuzuordnen, in der mittels geeigneter Testaufgaben Komponenten des Lesens abgebildet und ihre Zusammenhänge untersucht werden. Diese Ansätze sind außerordentlich erfolgreich in der Diagnostik von individuellen Leistungen und liefern sehr gute Vorhersagen über die zukünftige Leseentwicklung (siehe z. B. den Beitrag von Moll, Wallner & Landerl, 2012, in Heft 1/12). Allerdings ist mitunter nicht ganz klar, wie Testleistungen und Vorhersagen eigentlich zustande kommen, so dass der Wert mancher Indikatoren für ein kausales Verständnis von Leseprozessen begrenzt bleibt. Ein Beispiel hierfür ist das «rapid automatized naming» (RAN), sicher einer der aktuell am meisten benutzten Aufgabentypen (Denckla and Rudel, 1974). Hierbei werden Probanden gebeten, Buchstaben, Zahlen, Bilder etc. so schnell wie möglich zu benennen und die dabei erzielten Leistungen

sind recht gut geeignet, Lesefähigkeiten vorherzusagen. Fragt man allerdings, was diese Klasse von Aufgaben eigentlich misst, erhält man eine ganze Palette von Antworten. Beispielsweise nehmen Wolf und Bowers (1999) an, dass schnelles Benennen gemeinsam durch visuelle, aufmerksamkeitsbezogene, lexikalische, semantische und artikulatorische Prozesse sowie deren Koordination bestimmt wird. Angesichts dieser Komplexität wäre eigentlich ein ganzes Forschungsprogramm nötig, um die Anforderung selbst im Detail zu verstehen. Damit wird deutlich, dass eine psychometrische Herangehensweise trotz ihrer unschätzbaren Bedeutung für die Diagnostik immer dann an ihre Grenzen stößt, wenn es um eine Erklärung des Lesens auf der Detailebene der Informationsverarbeitung geht.

Das komplementäre Problem besteht für die *experimentelle* Leseforschung, in der oft erst durch eine Reduktion auf isolierte, oft recht leseunähnliche, Versuchsbedingungen eine genaue Analyse von Leseprozessen ermöglicht wird. Dabei ist die experimentelle Forschung geprägt durch das Nebeneinanderbestehen zweier Traditionslinien. Schon seit über 100 Jahren wird die Erkennung von Einzelwörtern mit Hilfe von Methoden untersucht, bei denen Zielwörter für kurze Zeit visuell dargeboten und dann Reaktionszeiten und/oder Erkennungsleistungen erfasst werden. Dabei hat sich jenseits von Detailunterschieden

zwischen alternativen Modellen ein relativ breiter Konsens über grundlegende Mechanismen der Wortverarbeitung herausgebildet (siehe Jacobs & Grainger, 1994; Grainger, 2008, für Übersichten). Parallel dazu werden ebenfalls schon seit Beginn des 20. Jahrhunderts Blickbewegungen zur Untersuchung des kontinuierlichen Lesens zusammenhängender Sätze und Texte eingesetzt (siehe Wade, Tatler, & Heller, 2003, für eine Darstellung der historischen Entwicklung). Beide Herangehensweisen haben in Kombination mit der klinisch orientierten Neurolinguistik zu einer Fülle von Erkenntnissen über normale und gestörte Leseprozesse geführt.

Unter den experimentellen Methoden nimmt die Messung von Blickbewegungen eine Sonderstellung ein, weil hier Leseprozesse quasi in Echtzeit unter ökologisch validen Bedingungen beobachtet werden können. Dabei zeigen die Richtung und Abfolge der Blickbewegungen den jeweiligen Gegenstand der Verarbeitung an und die Dauer der Fixationen reflektiert den mentalen Aufwand z. B. für die Erkennung eines Wortes (Radach & Kennedy, 2004; Rayner, 2009). Zudem stehen mittlerweile zuverlässige Registrierungsmethoden (<http://www.eyemovementresearch.com>) und leistungsfähige Software zur Datenanalyse (z. B. Tang, Reilly & Vorstius, 2011) zur Verfügung. Eine typische Meßanordnung ist in der Infobox «Forschungsmethoden» dargestellt.

Gleichzeitig führte die Entwicklung der kognitiven Psychologie und Psycholinguistik zu einer Fülle neuer Fragestellungen, die experimentell untersucht werden können. In der Regel wird hierfür Textmaterial über Gruppen oder Bedingungen nur in einem interessierenden Detail variiert (z. B. der Wortvertrautheit oder Regularität), und es werden daraus resultierende Parameteränderungen analysiert. Ergänzend zur experimentellen Methodik werden zunehmend auch Blickbewegungen beim Lesen «natürlicher» Texte gemessen, u. a. um Eingangsdaten für die Entwicklung von Theorien und Modellen zu gewinnen (siehe Kliegl, Nuthmann & Engbert, 2006; Radach, R., Huestegge & Reilly, 2008 für Beispiele zum Lesen im Deutschen). Solche Untersuchungen haben erheblich zum Verständnis der lexikalischen Verarbeitung, der semantischen und der syntaktischen Analyse, der Inferenzbildung und anderer Komponenten der Sprach- und Textverarbeitung beigetragen. Einen guten Gesamtüberblick über den dabei erreichten Wissenstand bietet das Lehrbuch von Rayner, Pollatsek, Ashby & Clifton (2011).

Vor diesem Hintergrund verfolgt dieser Artikel drei Ziele: Zunächst sollen nach einer kurzen Einleitung einige Grundlinien der Leseentwicklung im Kindesalter aus der Sicht der Blickbewegungsforschung nachgezeichnet werden. Im zweiten Teil werden wir den aktuellen Wissensstand zur Okulomotorik bei Lesestörungen skizzieren, wobei die Frage eine Rolle spielen wird, ob von der Norm abweichende Blickbewegungen nur Folge einer Lesestörung sind oder visuomotorische Prozesse auch eine Rolle bei der Verursachung von Legasthenie spielen können. Auf dieser Grundlage werden wir abschließend einige

Empfehlungen zur weiteren Entwicklung der Forschung formulieren.

Blickbewegungen beim Lesen: Ein Überblick

Nach unserem subjektiven Eindruck wird beim Lesen die Textinformation kontinuierlich aufgenommen. In der Realität bewegen wir allerdings unsere Augen mit schnellen, ruckartigen Bewegungen (Sakkaden) relativ gut koordiniert (Heller & Radach, 1999; Nuthmann & Kliegl, 2009) über die Textzeile. Abbildung 1 zeigt als Beispiel einen Blickpfad beim Lesen einer Textseite. Es wird in der Abbildung deutlich, dass die überwiegende Mehrzahl der Lesesakkaden (je nach Leser und Textschwierigkeit etwa 75 bis 95 Prozent) von links nach rechts in Leserichtung geben. Diese «progressiven Sakkaden» haben eine Amplitude (Länge) von unter 1 bis maximal etwa 20 Buchstabeneinheiten, wobei Mittelwerte bei guten Lesern in etwa bei 6 bis 8 Buchstaben liegen. Die Blickbewegungen entgegen der Leserichtung (regressive Sakkaden) haben dagegen nur etwa halb so lange Amplituden. Neben der Leserichtung wird auch unterschieden, ob eine Sakkade innerhalb eines Wortes verläuft (Intrawortsakkaden) oder eine Wortgrenze überschreitet (Interwortsakkaden).

Die Sakkaden werden unterbrochen von Fixationen, die im Mittel etwa 220 bis 250 ms dauern, wobei die Variationsweite (2 Standardabweichungen) etwa zwischen 70 ms und 600 ms liegt. Das während einer Fixation wahrgenommene Gesichtsfeld wird in drei Bereiche geteilt: eine «foveale» Region von etwa 1 Grad Radius um den Fixationspunkt, einen «parafovealen» Bereich bis zu 5 Grad und eine darüber hinausgehende «periphere Region». Allerdings benutzen viele Autoren vereinfachend die Begriffe «foveale» für das gerade fixierte Wort und «parafoveale» für benachbarte Wörter. Den Bereich links und rechts von der Fixationsposition, innerhalb dessen Information aufgenommen wird, bezeichnet man als Blickspanne oder *perceptual span*. Eine wichtige Untersuchungsmethode hierfür ist die *moving window* – Technik, bei der Text außerhalb eines Fensters links und rechts von der Fixation z. B. durch sinnlose Buchstaben maskiert wird. Wird dieses Fenster zu klein, verringert sich die Lesegeschwindigkeit, so dass eine Fenstergröße, bei der dies gerade nicht passiert, der Blickspanne entsprechen würde. Eine Reihe von Studien führte zu dem Schluss, dass sich die Spanne für Wortlängeninformation (d. h. die Lage der Wortzwischenräume) etwa 15 Buchstaben und für Buchstabendiskrimination etwa 8 bis 10 Buchstaben nach rechts erstreckt. Nach links geht die Buchstabenidentifikationsspanne nur bis zu 4 Buchstaben. Die Asymmetrie der Blickspanne ist eine Funktion der Leserichtung. Sie kehrt sich um, wenn in einem Schriftsystem mit rechts/links-Richtung gelesen wird (siehe Rayner et al., 2011, für eine zusammenfassende Darstellung).

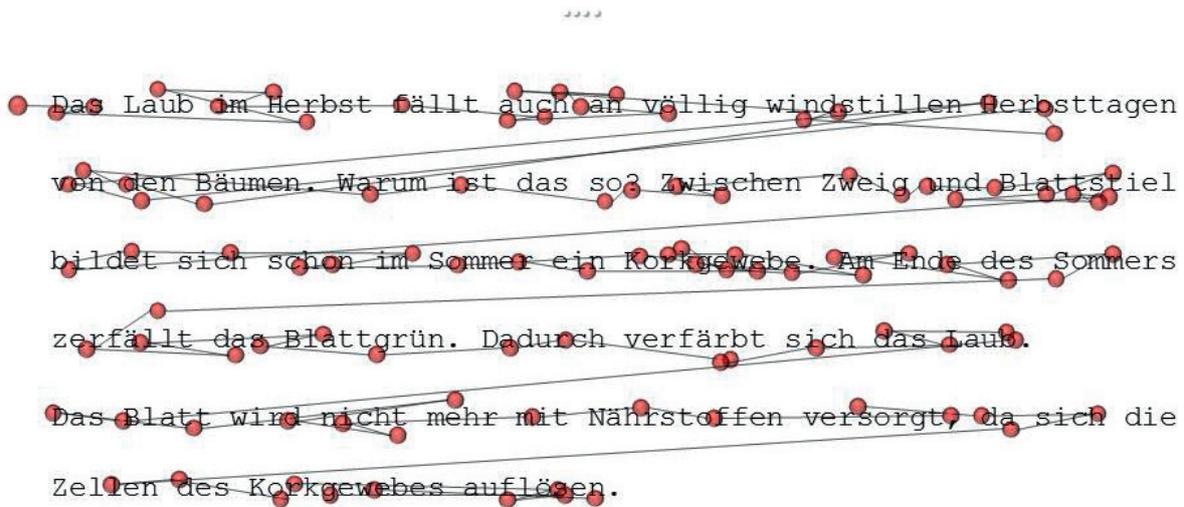


Abbildung 1. Typisches Blickbewegungsmuster eines Schülers der vierten Klasse beim Lesen einer relativ schwierigen Textseite. Die Fixationen sind als Punkte dargestellt, verbunden durch gerade Linien, mit denen Sakkaden abgebildet werden (die in der Realität jedoch leicht kurvilinear sind). Etwa ein Viertel der Sakkaden gehen typischerweise von rechts nach links (Regressionen), wobei als Ursachen Schwierigkeiten bei der Worterkennung, Fehler im Verständnis oder auch eine Landung der Sakkade auf dem falschen Wort in Frage kommen. Auffällig ist eine Häufung von Regressionen und Refixationen innerhalb des gleichen Wortes bei unvertrauten Wörtern. Ein Beispiel dafür ist das Wort «Korkgewebe», wobei beim zweiten Lesen in Zeile sechs die Anzahl der Fixationen nur noch 4 beträgt, nachdem das Wort zunächst in Zeile drei mühsam mit 8 Fixationen in zwei Lesedurchgängen erarbeitet wurde. Der lange Zeilenrücksprung landet bei vielen Kindern oft zu kurz (z. B. am Beginn der vierten Zeile), womit die Fähigkeit zur räumliche Navigation auf der Textseite angesprochen wird.

Es gilt als gesichert, dass zwischen dem beobachtbaren Blickverhalten und der sprachlichen Verarbeitung der gelesenen Textinformation enge Beziehungen bestehen. Dabei erfolgt die Steuerung wortbasiert, d. h. jede Blickbewegung wird so vorbereitet, dass die ausgeführte Sakkade möglichst auf einem bestimmten Wort landet. Bei dieser Selektion wirken visuell-räumliche und kognitive Faktoren zusammen, so dass Wörter mit größerer Wahrscheinlichkeit «übersprungen» werden, wenn sie kurz und leicht zu verarbeiten sind. Wenn ein Wort als Ziel für die nächste Fixation ausgewählt ist, wird eine entsprechende Sakkade vorbereitet, die idealerweise zur Wortmitte führen sollte. Tatsächlich landen aufgrund von motorischen und/oder perzeptuellen Fehlertendenzen viele progressive Blickbewegungen zu kurz, so dass die häufigsten Landepositionen der ankommenden Sakkaden etwa auf halbem Weg zwischen Wortbeginn und Wortmitte liegen (McConkie, Kerr, Reddix, & Zola, 1988). Dieses Phänomen wird in der Literatur als «präferierte Blickposition» bezeichnet (siehe z. B. Radach, 1996 für eine Einführung in Mechanismen der Blickbewegungssteuerung).

Die Entscheidung darüber, wann die aktuelle Fixation beendet wird und die nächste beginnt, wird stark von der Wortverarbeitung beeinflusst. Dabei variieren die Meinungen darüber, wie eng diese sogenannte *eye mind relation* ist. Einige Forscher vertreten die Auffassung, dass jede Sakkade dadurch ausgelöst wird, dass die Verarbeitung des aktuellen Wortes ein bestimmtes Niveau

erreicht. Im Zusammenhang damit steht auch die weiterführende Annahme, dass Wörter nur einzeln und streng nacheinander verarbeitet werden können (siehe hierzu das E-Z Reader-Modell von Reichle, Rayner & Pollatsek, 2003). Andere Autoren nehmen dagegen an, dass die Steuerung der Okulomotorik eher autonom ist, aber stark von der sprachlichen Verarbeitung beeinflusst wird, z. B. indem innerhalb der aktuellen Blickspanne mehrere Wörter parallel verarbeitet werden. Dies gilt für das von uns mit entwickelte Glenmore-Modell, in dem basale visuelle Mechanismen mit einem konnektionistischen Wortverarbeitungsmodell kombiniert werden, um die Wechselwirkungen zwischen visueller und sprachlicher Verarbeitung abzubilden (Reilly & Radach, 2006). Ähnliche theoretische Positionen werden von der Potsdamer Arbeitsgruppe um Engbert und Kliegl vertreten, deren SWIFT-Modell gegenwärtig als das erfolgreichste computationale Lesemodell gelten kann (z. B. Engbert, Nuthmann, Richter & Kliegl, 2005). Fragen der Modellbildung und -evaluation werden in einer Übersicht von Radach, Reilly & Inhoff (2007) einführend dargestellt.

Trotz der oben skizzierten Meinungsverschiedenheiten zu Detailfragen besteht weitgehende Einigkeit darüber, dass die Richtung und Amplitude der Sakkaden im Mittel gut mit dem Gegenstand und der Abfolge der visuellen und sprachlichen Informationsverarbeitung korrespondieren. Ebenso gesichert ist die enge Beziehung zwischen der Dauer einer Fixation und dem mentalen Aufwand zur

Aufnahme und weiteren Verarbeitung der entsprechenden Textinformation. Damit stellt die Blickbewegungsforschung valide Messparameter zur Verfügung, die unter ökologisch validen Bedingungen die Informationsverarbeitung beim dynamischen Lesen abbilden können.

Grundlinien normaler Leseentwicklung aus der Perspektive der Blickbewegungsforschung

Gemessen an der immensen Menge an Publikationen über Blickbewegungen beim Lesen Erwachsener ist es erstaunlich, wie wenig über die Dynamik des normalen Lesens im Kindesalter bekannt ist. Aus Sicht der Forschung über Lesestörungen ist diese Situation unbefriedigend, denn obwohl es hier in den letzten Jahren rasante Fortschritte gab (z.B. Wimmer & Schurz, 2010), liegen bisher noch keine allgemein anerkannten kausalen Erklärungen vor. Statt dessen existieren eine Reihe konkurrierender Theorien, zwischen denen nur schwer entschieden werden kann, und die möglicherweise Subtypen oder auch unterschiedliche Facetten einer Grundstörung reflektieren (siehe u. a. Jacobs, Heller & Nazir, 1992, sowie Ramus et al., 2003, für die Diskussion von Klassifikationen und Erklärungsansätzen).

Nach unserer Meinung besteht ein Grund für diese Situation darin, dass, gemessen an den zahllosen Studien zu Symptomen und Korrelaten der Legasthenie, bisher zu wenig in die detaillierte Erforschung der normalen Entwicklung des Lesens investiert wurde. Dabei sollte es eigentlich auf der Hand liegen, dass eine genaue Kenntnis der normgerechten Leseentwicklung eine notwendige Voraussetzung dafür ist, die Gründe für Verzögerungen und Störungen dieser Entwicklung besser zu verstehen. Im folgenden Abschnitt werden wir den gegenwärtigen Stand der Forschung skizzieren. Dabei sind wir uns der Tatsache bewusst, dass neben den Blickbewegungsanalysen auch andere wertvolle methodische Zugänge existieren (z.B. EEG und bildgebende Verfahren), auf deren Ergebnisse wir hier nicht eingehen können.

Bedeutende frühe Untersuchungen zur Leseentwicklung anhand von Blickbewegungen wurden von Buswell (1922) und Taylor, Frackenpohl, & Petee (1960) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten erwartungsgemäß, dass sich die steigende Effizienz des Lesens über die ersten 6 Schuljahre in einer kontinuierlichen Reduktion der mittleren Fixationsdauer (pro Textabschnitt oder Zeile) und der Anzahl an Fixationen niederschlägt. Interessanterweise galt dieser Trend nicht für regressive Blickbewegungen zurück zu bereits gelesenen Text, die mehr oder weniger konstant etwa 20–25% aller Sakkaden ausmachten. Eine Einschränkung dieser frühen Studien liegt in mangelnder Genauigkeit und geringer zeitlicher Auflösung der Messungen, durch die mit hoher Wahrscheinlichkeit viele kurze Sakkaden und Fixationen mit geringer Dauer übersehen wurden (Inhoff & Radach, 1998).

Aktuellere Arbeiten konnten dank verbesserter Methodik und Technik spezifischere Fragen in den Mittelpunkt stellen. Ein zentrales Thema betrifft dabei die Blickspanne (perceptual span), also den Bereich um die momentane Fixationsposition, in dem sprachliche Informationen während einer Fixation aufgenommen werden. Nach Rayner (1986) ist die Blickspanne bei englisch lesenden Kindern kleiner als bei Erwachsenen, während die typische Asymmetrie mit mehr parafovealer Verarbeitung rechts vom Fixationspunkt bereits bei sehr jungen Lesern zu finden ist. Diese Resultate wurden vor einigen Jahren von Häikiö, Bertram, Hyönä & Niemi (2009) für finnische Leser bestätigt. Sie berichten, dass achtjährige Leser etwa 5, zehnjährige etwa 7 Buchstaben rechts von der aktuellen Fixationsposition identifizieren können, während bei zwölfjährigen mit 9 Buchstaben bereits das Niveau eines typischen Erwachsenen erreicht wird. Interessanterweise ist in jeder Altersgruppe die Blickspanne für schnellere Leser größer, womit gezeigt ist, dass langsamere Leser fast ihre gesamte Verarbeitungskapazität auf das aktuelle fixierte Wort richten.

Die erste Längsschnittstudie mit buchstabengenaue Messung wurde von McConkie et al. (1991) veröffentlicht. Sie verfolgten eine Stichprobe von ursprünglich über 200 Kindern von der ersten bis zur fünften Klasse. Die Analysen zeigten, dass in den unteren Klassenstufen die Variabilität der Blickbewegungen im Vergleich zu erwachsenen Lesern deutlich größer ist und sich später verringert. Ein wichtiges Ergebnis war, dass viele junge Leser eine hohe Anzahl an kleinen Blickbewegungen machen. So waren neun Prozent aller Sakkaden der Erstklässler weniger als zwei Buchstaben lang, gegenüber nur vier Prozent bei Schülern der fünften Klasse. Dies reflektiert die stärkere Gewichtung sublexikalischer (z.B. silbischer oder morphematischer) Verarbeitungseinheiten bei jüngeren Kindern, z.B. beim schrittweisen Erarbeiten wenig bekannter Wörter. Ebenfalls interessant ist, dass der Anteil an sehr kurzen Fixationsdauern unter 120 ms bei jungen Lesern deutlich größer ist. So kurze Fixationen werden nicht direkt durch die sprachlichen Informationen beeinflusst, die während der laufenden Fixation aufgenommen werden. Als Erklärung kommt eine noch nicht optimale Automatisierung der Blickbewegungssteuerung in Frage, insbesondere wenn Sakkadenprogramme noch häufig korrigiert werden müssen, nachdem die Ausführung der Bewegung bereits angefordert wurde (Deubel, O'Regan & Radach, 2000).

Ein weiteres wichtiges Merkmal der Arbeit von McConkie et al. (1991) liegt darin, dass sie erstmalig die Landepositionen der Sakkaden im Wort genau untersuchten und dabei feststellten, dass bereits am Ende des ersten Schuljahres die typische präferierte Blickposition ausgebildet ist. Die Variabilität der Landepositionen waren dabei nicht größer als die von erwachsenen Lesern, was darauf hindeutet, dass sich basale okulomotorische Mechanismen zur Selektion von Zielwörtern und zur Spezifikation einer entsprechenden Sakkade schon sehr früh etabliert haben.

Ein anderer interessanter Befund ist die starke Verringerung der Häufigkeit, mit der ein aktuell fixiertes Wort unmittelbar erneut fixiert wurde (Refixationen), was einen höheren Automatisierungsgrad der Worterkennung als wesentlichen Entwicklungsfortschritt reflektiert. Beispielsweise fixierten Erstklässler in 57% der Fälle fünfbuchstabile Wörter ein zweites Mal, im Vergleich zu nur 15% in einer Erwachsenenstichprobe (McConkie, Kerr, Reddix, Zola & Jacobs, 1989). Die von McConkie et al. durchgeführten wortbasierten Analysen klärten auch die oben erwähnte Frage, warum die Regressionsrate während der ersten sechs Schuljahre mehr oder weniger konstant bleibt. Wie zu erwarten, werden mit fortschreitender Entwicklung Intra wortregressionen (regressive Refixationen im gleichen Wort) seltener. Demgegenüber erhöht sich mit zunehmendem Alter der Anteil an Interwortregressionen kontinuierlich, so dass sich ein interessanter Tradeoff ergibt.

Bei allem Fortschritt ergeben sich allerdings bei der Interpretation der Daten von McConkie et al. (1991) zwei grundlegende Probleme. Zum einen wurde nur ein relativ kleiner Teil der Stichprobe für die Veröffentlichung ausgewählt. Es ist denkbar, dass vor allem Kinder unberücksichtigt blieben, bei denen die Messung besonders schwierig war und/oder deren Daten eher unsystematisch wirkten. Damit wurden möglicherweise Kinder ausgeschlossen, bei denen am Ende des ersten Schuljahres die Blickbewegungssteuerung noch nicht in dem Maße entwickelt war, wie dies die Autoren berichten. Zweitens wurden über die Messzeitpunkte von Klasse 1 bis 5 die teilnehmenden Kinder gebeten, «altersgerechte» Texte zu lesen, die sich bezüglich mehrerer Eigenschaften wie Vokabular, syntaktische Komplexität und Textkohärenz unterschieden. Daher ist es nicht möglich, Veränderungen vollständig auf Entwicklungsfaktoren zurückzuführen, da sie sich teilweise auch aus Unterschieden der Texteeigenschaften ergeben haben könnten.

In einer neueren Untersuchung von Huestegge, Radach, Corbic & Huestegge (2009) wurden diese Probleme so gut wie möglich vermieden. Die Autoren baten Schüler in der zweiten Klasse und zwei Jahre später in der vierten Klasse jeweils *identische Sätze* laut vorzulesen. Zusätzlich wurden in einem weiteren Experiment Benennungslatenzen für die einzeln präsentierten Zielwörter sowie entsprechende Bilder erfasst. Als Beispiel für die Leseanforderung soll der folgende Satz dienen¹:

Über Nacht hat ein *fetter Käfer alle* Blätter am Baum angefressen.

Als Zielwörter dienten Substantive, im Beispiel das Wort «Käfer», die bezüglich Länge und Schwierigkeit (Häufigkeit pro Million) in einem 2x2 Design variiert wurden. Zur besseren Vergleichbarkeit stand vor jedem Zielwort ein Adjektiv kontrollierter Länge und Häufigkeit. Die teil-

nehmenden Kinder wurden gebeten, den Satz einmal in ihrem gewohnten Tempo so durchzulesen, dass sie seinen wesentlichen Inhalt verstanden und in der Lage waren, Fragen dazu zu beantworten. Die Leserate stieg von 66 Wörtern pro Minute am Ende der zweiten Klasse auf 103 Wörtern pro Minute am Ende der vierten Klasse, was einen Anstieg von etwa 36 Prozent bedeutet. Dabei blieb die Verständnisleistung etwa konstant, die Kinder waren also in der Lage, die Leseflüssigkeit dem Verständnisniveau anzupassen. Als besonders interessante Beobachtung zeigte sich, dass die Schüler der 2. Klasse die Zielwörter weiter links fixierten, egal von wo die ankommenden Blickbewegungen gestartet waren. Dies ist bemerkenswert, weil die gleichzeitig beobachtete erhöhte Anzahl an Refixationen auf dem Adjektiv vor dem Zielwort eigentlich zu Landepositionen weiter rechts im Wort geführt haben müsste (Radach & McConkie, 1998). Nach unserer Ansicht ist die beste Erklärung für dieses Ergebnismuster eine eher konservative oder «vorsichtige» Lesestrategie (O'Regan, 1992) bei den Zweitklässlern. Dieser Strategieunterschied ist eine Top-down-Anpassung, die zusammen mit Veränderungen des mentalen Aufwands in der Wortverarbeitung die zu beobachtenden Entwicklungsunterschiede im Leseverhalten produziert.

Abbildung 2 zeigt Blickzeitdaten für die Zielwörter in der 2. und 4. Klasse. Die Lesezeiten pro Wort nahmen innerhalb von zwei Jahren dramatisch ab. Dabei sind die typischen Wortlängen- und Frequenzeffekte bei den Gesamtlesezeiten offensichtlich, wohingegen die initialen Fixationsdauern und Blickzeiten von der Worthäufigkeit kaum beeinflusst wurden. Die Effektstärken der Blickzeit und der Gesamtlesezeit fielen in der 4. Klasse geringer aus, was sich durch den automatisierteren Zugriff auf das mentale Lexikon bei fortgeschritteneren Lesern erklärt. Die deutlich höhere Variabilität in der zweiten Klasse deutet darauf hin, dass hier individuelle Probleme mit bestimmten Wörtern bestehen. Allerdings ist durch die parallel durchgeführten Wort- und Bildbenennungsaufgaben gesichert, dass die Zielwörter den Zweitklässlern in jedem Fall konzeptuell und lexikalisch bekannt waren. An dieser Stelle zeigt sich sehr deutlich, dass bei unvertrauten Wörtern der Versuch unternommen wird, diese über eine schrittweise sublexikalische Verarbeitung zu erschließen (Wimmer & Schurz, 2010).

Der Rückgang der Lesezeiten pro Wort von der 2. zur 4. Klasse spiegelt sich in allen drei relevanten zeitlichen Parametern, verteilt sich also auf initiale Fixationen, unmittelbare Refixationen sowie die Zeit für das erneute Lesen eines Wortes, nachdem es vorher verlassen worden war. Damit ist gezeigt, dass sich die Leistung über alle Wortverarbeitungsstufen stark verbessert. Unerwartet war dabei der besonders drastische Unterschied in der Gesamtlesezeit, die z. B. für die langen und schwierigen Wörter von 1150 ms auf 543 ms um nahezu die Hälfte abnimmt, wäh-

1 In unseren Lesexperimenten verwenden wir immer die nichtproportionale Schriftart Courier New, weil hier alle Zeichen die gleiche Breite haben und damit Fixationspositionen buchstaben genau bestimmt werden können (Inhoff & Radach, 1998).

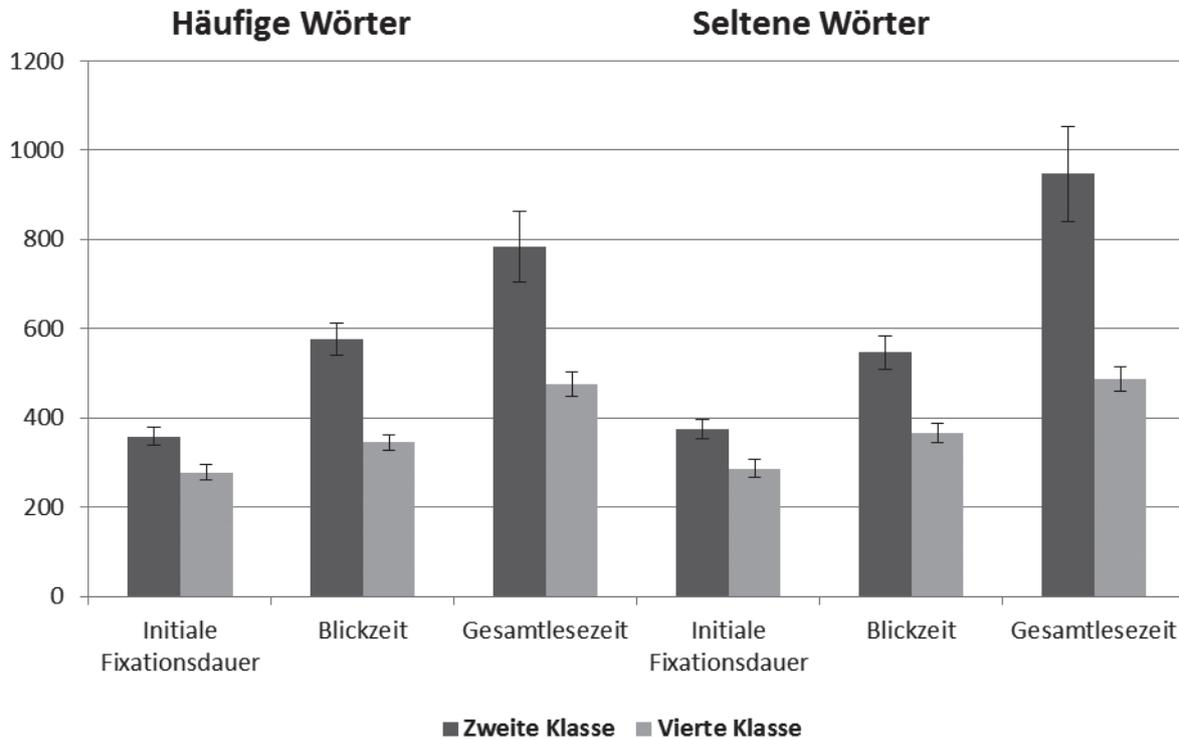


Abbildung 2. Daten der gleichen Schüler in der zweiten und vierten Klasse beim Lesen identischer Targetwörter innerhalb von einfachen erweiterten Aussagesätzen. Zur Interpretation der Daten wird angenommen, dass die Dauer der ersten (initialen) Fixation im Wort die orthographische und frühe lexikalische Verarbeitung reflektiert. Die Blickzeit ist die Summe aller Fixationsdauern im ersten Lesedurchgang bis zum Verlassen des Wortes. Sie steht mit dem Abschluß der Wortverarbeitung in Zusammenhang. Die Gesamtlesezeit summiert alle Fixationen auf dem Zielwort und bildet damit auch den mentalen Aufwand für die Integration des Wortes auf Satzebene ein. Weitere Erläuterungen im Text.

rend die Abnahme bei der Blickzeit nur etwa ein Drittel ausmacht. Warum müssen von sehr jungen Lesern so häufig die gleichen Wörter oder Wortgruppen mehrfach gelesen werden? Eine Möglichkeit wäre, dass die Worterkennung beim ersten Mal nicht gelingt, das Kind aber schon weiterleitet und dann wieder zurück gehen muss. Wäre diese Erklärung zutreffend, sollten sich diese Schwierigkeiten auf dem Wortniveau auch in den im Kontrollexperiment gemessenen Zeiten für die *Benennung* der gleichen Wörter niederschlagen. Da diese vom 2. zum 4. Schuljahr im Mittel aber nur von 1161 ms auf 917 ms abnehmen, muss der Hauptgrund jenseits der Worterkennung liegen. Dies kann z. B. der Fall sein, wenn die semantische Rolle eines Wortes im Satz (Handlungsträger, Objekt, Instrument usw.) nicht verstanden oder eine grammatische Konstruktion nicht bewältigt wurde. Insgesamt zeigt also das Befundmuster, dass in der Entwicklung von der zweiten zur vierten Klasse der Zeitanteil für postlexikalische Verarbeitung auf dem Satzniveau stark sinkt, umgekehrt also junge Leser sehr viel mehr mentalen Aufwand aufbringen müs-

sen, um die Integration von Wörtern in die Repräsentation des Satzes zu bewältigen.

Die oben dargestellte Längsschnittstudie von McConkie et al. (1991) war dem leisen Lesen gewidmet, während in unserer gerade skizzierten Untersuchung die Kinder gebeten wurden, laut zu lesen. Damit ist die Frage eines Vergleichs der beiden Lesemodi im Entwicklungsverlauf angesprochen. Im Schulalltag wird die Leseleistung von Kindern in der Regel über das laute (Vor)lesen erfasst, wobei offensichtlich Fehler bzw. Defizite leicht aufgedeckt werden können. Dementsprechend betrachten viele Lehrer die Leistung beim lauten Lesen als einen validen und reliablen Indikator der allgemeinen Lesefähigkeit eines Kindes. Unserer Meinung nach ist es jedoch unklar, inwieweit eine Extrapolation vom lauten auf das leise Lesen gerechtfertigt ist.²

Ein Blick auf die Literatur zeigt, dass gegenwärtig nur sehr begrenzte Erkenntnisse über die Unterschiede zwischen den Lesemodi leise vs. laut und deren Entwicklungsdynamik vorliegen. Einen ersten Schritt haben wir getan, indem wir deutsche Schüler der 4. Klasse baten, einen Teil

2 Das Problem eines Vergleichs von lautem und leisem Lesen ist vielschichtig und kann aus Platzgründen hier nicht ausführlich behandelt werden. Wir verweisen dazu auf Radach, Schmitt, Glover, & Huestegge, (2009), die das Problem in u.a. Bezug auf Lesetempo und Leseverständnis sowie Probleme der phonologischen (Re)kodierung und des «inneren Sprechens» ausführlich diskutieren.

der Sätze von Huestegge et al. (2009) laut und einen weiteren Teil leise zu lesen, während Ihre Blickbewegungen gemessen wurden. Wenig später wurde das Experiment anhand von strukturgleichen (in der Regel direkt übersetzten) Sätzen an einer Schule in den USA wiederholt. Bei der Analyse der Ergebnisse zeigte sich in Übereinstimmung mit vorangegangenen Untersuchungen, dass beim lauten Lesen mehr Fixationen pro Wort gemacht wurden und die Interwortsakkaden deutlich geringere Amplituden aufwiesen. Die etwa um 1/3 verlängerte Lesezeit manifestiert sich in stark erhöhten Blick- und Gesamtlesezeiten, wobei Worthäufigkeitseffekte vergleichbar groß sind.

Im Sprachvergleich zeigen sich in beiden Modi deutlich langsamere Lesezeiten für die englischsprachigen Kinder, was angesichts des besonders großen Gewichts des Leseunterrichts in amerikanischen Schulen bemerkenswert ist. Der Grund dafür könnte sein, dass die englische Schriftsprache besonders intransparent ist d.h. häufig keine gute Übereinstimmung zwischen Lauten und Graphemen besteht. In transparenten Sprachen wie dem Deutschen können Kinder allgemein deutlich früher über eine sublexikalische (z. B. lautierende) Strategie Lesen lernen (z. B. Sprenger-Charolles, 2011). Besonders auffällig ist, dass der Unterschied zwischen leisem und lautem Lesen im Englischen viel ausgeprägter ist, womit die Diskussion über die Unterschiede zwischen Leseprozessen in transparenten vs. intransparenten Orthographien einen neuen Blickwinkel erhält (Wimmer & Goswami, 1994). Dabei ist interessant, dass wortbasierte Blickbewegungsmaße beim lauten Lesen neben der Wortverarbeitung auch zeitlich nachgeschaltete Prozesse der Sprachplanung und Artikulation abbilden (Inhoff & Topolski, 1994), die im Englischen möglicherweise schwieriger sind.

Bei zukünftigen Untersuchungen zum Vergleich von lautem und leisem Lesen sollte beachtet werden, dass die Dynamik des lauten Lesens nicht nur durch ein «Hinzukommen» von weiteren Komponenten geprägt ist, sondern eine komplexe Koordination zwischen Wortverarbeitung und Sprachproduktion realisiert wird, durch die auch die rezeptive Seite des Lesen verändert wird. Dabei könnte man annehmen, dass die Artikulation vor allem bei jungen Kinder unterstützend wirkt und sich später als «Lesebremse» erweist. Damit wird die allgemeinere Frage angesprochen, wann (und warum) im Verlauf der Entwicklung das leise gegenüber dem lauten Lesen effizienter wird. Zur Untersuchung dieses Problems könnte eine experimentelle Methode beitragen, bei der die Koordination von visueller Wortverarbeitung und Sprachproduktion mittels gleichzeitiger Registrierung von Blickbewegungen und Stimme als «eye voice span» erfasst wird (Inhoff, Solomon, Radach & Seymour, 2011).

Blickbewegungen bei Legasthenie

Angesichts der oben gezeigten Sensitivität der Okulomotorik für die sprachliche Verarbeitung beim Lesen er-

scheint es geradezu zwingend, dass die Blickbewegungen bei Kindern und Erwachsenen mit Lesestörungen von denen normaler Leser abweichen. Damit stellt sich die Frage nach den Ursache der veränderten Blickbewegungen, wobei es zunächst naheliegend ist, Abweichungen direkt auf die gestörte linguistische Verarbeitung zurückzuführen. Eine alternative Möglichkeit besteht jedoch darin, dass der Leser bereits eine Störung mitbringt, die außerhalb der sprachlichen Verarbeitung liegt, z. B. bezüglich der selektiven Aufmerksamkeit, der räumlichen Navigation, der basalen visuomotorischen Steuerung oder der binokularen Koordination. In diesem Falle wären also die abweichenden Blickbewegungen eher Ursache als Folge der gestörten linguistischen Verarbeitung. Alternativ könnten sie auf eine Weise beeinträchtigt sein, die sowohl die visuell-räumliche wie auch linguistische Verarbeitung betrifft, etwa bei einer Störung des Arbeitsgedächtnisses.

Blickbewegungen von Betroffenen mit Legasthenie in Nicht-Leseaufgaben

Von Augenärzten bzw. Augenoptikern und Neurologen wird oft darauf hingewiesen, dass Legasthenie mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit visueller und/oder visuomotorischer Defizite einhergeht, die im Einzelfall ursächlich für eine Störung sein können, auf jeden Fall aber das Lesen erheblich erschweren. In diesen Zusammenhang gehören u. a. binokulare Instabilität, akkomodative Insuffizienz und vor allem auch «visueller Stress» z. B. in Form des sogenannten Meares-Irlen Syndroms. Beispielsweise wird bei Evans (2001) die Prävalenz eines beeinträchtigten Binokularsehens mit 5 Prozent für normal Lesende und 15 Prozent für legasthenische Kinder angegeben. Darüber hinaus existiert eine Reihe von neurologischen Ursachen für gestörte Blickbewegungen, die diagnostisch abgeklärt werden sollten (z. B. Ciuffreda & Tannen 1995). Für den deutschsprachigen Raum haben Dusek, Pierscionek & McClelland (2010) eine aktuelle Übersicht zu visuell-optometrischen Störungen bei Kindern im Schulalter vorgelegt.

Ein wichtiger Impuls für die Untersuchung von Blickbewegungen bei Menschen mit Legasthenie ging von Pavlidis (1981) aus, der die Abfolge der Blickbewegungen beim Lesen nachbilden wollte. Bei seiner Aufgabe springt ein Lichtpunkt horizontal von links nach rechts, und Probanden werden aufgefordert, diesem Zielpunkt mit den Augen zu folgen. Dabei fand Pavlidis, dass Kinder mit Legasthenie deutlich mehr Sakkaden ausführten und ihre Fixationsdauern stark reduziert waren. Geradezu sensationell waren die Unterschiede bezüglich der Regressionen, die etwa um das zehnfache häufiger auftraten. Obwohl die Ergebnisse so gut wie kaum repliziert werden konnten (z. B. Olson, Kliegl & Davidson, 1983), wurde im gleichen Kontext versucht, das Ausführen von regelmäßigen «treppenartigen» Blickbewegungen zu trainieren. Diese Trainingsansätze

haben sich jedoch als «dramatisch erfolglos» (Pirozzolo, 1983) bei der Behandlung von Lesestörungen erwiesen.

In neueren Untersuchungen, u. a. von Fischer & Weber (1990), wurde vorgeschlagen, dass legasthenische Kinder Probleme mit dem Timing von Sakkaden haben. In einer typischen Aufgabe werden Probanden gebeten, eine einzelne Sakkade zu einem Ziel auszuführen, das links oder rechts von Fixationspunkt auftaucht. Dabei wurde eine erhöhte Anzahl von sogenannten Express-Sakkaden mit besonders kurzen Latenzen (Dauer bis zur Ausführung einer Sakkade) gefunden. In weiteren Untersuchungen mit der sogenannten Antisakkadenaufgabe wurde wieder ein peripheres Ziel dargeboten, die Probanden waren jedoch instruiert, diesen Reiz zu ignorieren und die Augen so schnell wie möglich in die entgegengesetzte Richtung zu bewegen. Dazu ist es notwendig, den automatischen Impuls zum Ziel hin zu unterdrücken und durch eine willentliche Sakkade in die entgegengesetzte Richtung zu ersetzen. Hierbei kommt es zu einer erheblichen Zunahme der Latenz, metrischen Ungenauigkeiten sowie einem relativ hohen Anteil fehlerhafter Sakkaden, die auf das sichtbare Ziel gerichtet sind. In Vergleichen zwischen normal lesenden Kindern und Kindern mit Legasthenie wurde beobachtet, dass letztere in der Antisakkadenaufgabe besondere Probleme haben und insbesondere durch eine hohe Fehlerzahl auffallen (Biscaldi, Fischer, Hartnegg, & Gutjahr, 2000). In der Folge wurde ein visuomotorisches Trainingsverfahren entwickelt, das bei einer Stickprobe von legasthenischen Kindern mit Defiziten in der Blickbewegungskontrolle zu einer Verbesserung der Leistung in der Antisakkadenaufgabe führte (Fischer & Hartnegg, 2000). Nach unserer Kenntnis gibt es jedoch keine publizierten Untersuchungen, die einen spezifischen Transfer solcher Leistungen auf leserelevante Prozesse belegen.

Unserer Ansicht nach sollte man bei der Diskussion einer möglichen Bedeutung von Blickbewegungen in Nichtlese-Aufgaben zwischen einer unmittelbaren und einer mittelbaren Relevanz unterscheiden. Eine *unmittelbare Relevanz* liegt vor, wenn man zeigen kann, dass in einer bestimmten Aufgabe visomotorische Mechanismen gefordert sind, die mit den beim Lesen eingesetzten identisch oder zumindest funktional äquivalent sind. Von einer *mittelbaren Relevanz* kann gesprochen werden, wenn veränderte Blickbewegungen als Symptom im Rahmen eines Dyslexie-Syndroms auftreten, wie dies z. B. im Rahmen der magnozellularen Theorie der Dyslexie (Stein, 2001) als Folge von Defiziten in der visuellen Wahrnehmung vermutet wird (siehe Hutzler, Kronbichler, Jacobs & Wimmer, 2006, für eine differenzierte Diskussion).

Dieser Gedanke kann anhand der Antisakkadenaufgabe diskutiert werden. Wie bereits erwähnt, kommt es hier darauf an, einen automatischen Impuls zur Ausführung

einer normalen Prosakkade zu unterdrücken und stattdessen «willentlich» eine Antisakkade auszuführen. Natürlich könnte man allgemein argumentieren, dass man beim Lesen ein zielgerichtetes, gut kontrolliertes Blickverhalten benötigt. Allerdings tauchen die Wörter nicht plötzlich und einzeln auf der Zeile auf, so dass eine reflexartige Reaktion zur Fixation des nächsten Wortes entstehen könnte. Daher ist es nicht notwendig, solche automatische Impulse zu unterdrücken und von einer Ausführung «willentlicher» Sakkaden kann schon deshalb nicht gesprochen werden, weil sich eine Leserin ihres Blickverhaltens normalerweise gar nicht bewusst wird. Stattdessen kann (möglicherweise mit Ausnahme eines Teils der Interwort-Regressionen) die Mehrzahl der Lesesakkaden als Bestandteil eines lernabhängig nach und nach automatisierten Scanningverhaltens (Findlay & Walker, 1999) angesehen werden.

Es gibt daher weder eine theoretische Begründung noch einen empirischen Beleg dafür, dass die Antisakkadenaufgabe für das Lesen unmittelbar relevant ist.³ Es könnte jedoch sein, dass ein solcher Zusammenhang indirekt besteht, z. B. vermittelt durch die Fähigkeit, sich über einen längeren Zeitraum auf eine visuelle Aufgabe zu konzentrieren. Die hohe Komorbidität von Legasthenie und Aufmerksamkeitsstörungen könnte dazu führen, dass viele Betroffene in einem ganzen Spektrum von experimentellen Aufgaben schlechtere Leistungen zeigen (Ruland, Willmes & Günther, 2012). Nach unserer Kenntnis sind Antisakkadenaufgabe und visuomotorisches Training nie in einem geeigneten Kontrollgruppendesign gegen andere Aufgaben geprüft worden, die Aufmerksamkeitsleistungen erfordern, sodass von einer direkten und spezifischen Relevanz für Lesen und Legasthenie nicht ausgegangen werden kann. Die häufigen Misserfolge beim Versuch der Herstellung solcher Beziehungen zwischen mehr oder weniger willkürlichen Scanningaufgaben und Lesestörungen ist sicher ein Grund dafür, dass vor allem in der US-amerikanischen Literatur die Frage der Beteiligung visueller oder visuomotorischer Faktoren an der Verursachung legasthenischer Störungen oft geradezu aversiv diskutiert wird (siehe z. B. Vellutino, Fletcher, Snowling und Scanlon, 2004).

Blickbewegungen von Betroffenen mit Legasthenie beim Lesen

Es ist angesichts der Bedeutung des Themas nicht überraschend, dass es bereits eine ganze Reihe von Versuchen gegeben hat, Störungen des Lesens anhand von Blickbewegungen zu charakterisieren. In frühen Arbeiten zu diesem Thema wurden immer wieder Auffälligkeiten berichtet, insbesondere eine erhöhte Anzahl und Dauer von Fixati-

3 Dies gilt nicht generell für alle vergleichbaren Paradigmen der Grundlagenforschung. Beispielsweise wird für die Doublestep-Aufgabe (Becker & Jürgens, 1979) eine funktionale Äquivalenz zur Reprogrammierung von Lesesakkaden bei einem Wechsel des Zielwortes angenommen (Deubel, O'Regan & Radach, 2000). Folgerichtig fanden Ram-Tsur, Faust, Caspi, Gordon & Zivotofsky (2006) für Betroffene mit Legasthenie in dieser Aufgabe eine Verlangsamung bei der flexiblen Reprogrammierung von Sakkaden.

onen. Als qualitativ von normalen Lesern verschiedenes Merkmal wurde ebenfalls ein stark erhöhter Anteil von Regressionen beschrieben, bis hin zu einer kaum zu unterdrückenden Tendenz, den Text von rechts nach links zu lesen (siehe Pirozzolo, 1983; Ciuffreda & Tannen, 1995, für Zusammenfassungen).

Die Gegenposition wird von Arbeiten gebildet, in denen nahezu keine Unterschiede gefunden werden und vor allem eine kausale Rolle visuomotorischer Faktoren negiert wird. Als typisches Beispiel kann eine häufig zitierte Untersuchungsserie von Olson und Mitarbeitern genannt werden (Olson, Conners & Rack, 1991). Hier wurden nicht gleichaltrige Leser mit und ohne Legasthenie verglichen, sondern eine bezüglich des «Lesealters» parallelisierte Kontrollgruppe verwendet. Dazu wurden die Teilnehmer so ausgewählt, dass sich bezüglich ihrer Worterkennungsleistung keine Unterschiede ergaben. Im Ergebnis gab es keine erheblichen Unterschiede sowohl bezüglich allgemeiner Blickbewegungsparameter als auch hinsichtlich der Auswirkungen von Wortlänge und -häufigkeit auf Blickzeiten für ausgewählte Wörter (Hyönä & Olson, 1995). Nach Meinung der Autoren zeigen diese Ergebnisse, dass Unterschiede in den Blickbewegungen eher eine Folge als eine Ursache von Leseschwierigkeiten darstellen, und sie wenden sich auf dieser Grundlage gegen die Idee, Legasthenie als spezifische Störung von einem allgemeinen Rückstand der Leseentwicklung abzugrenzen.

Diese gegensätzlichen Resultate sind sicher zum Teil auf Stichprobenunterschiede zurückzuführen. Schon Pirozzolo (1983) hat in diesem Zusammenhang vorgeschlagen, mindestens zwei Subtypen von Entwicklungsdyslexie zu unterscheiden. Ein erster, häufiger vorkommender Typ, die *auditorisch-linguistische Dyslexie*, ist durch sprachliche Defizite und massive Probleme in der Verarbeitung phonologischer Informationen gekennzeichnet. Beim Lesen zeigen sich nur für schwieriges Material okulomotorische Auffälligkeiten. Demgegenüber zeichnet sich ein Typ *visuell-räumlicher Dyslektiker* durch Störungen in verschiedenen Aspekten der visuellen Verarbeitung sowie durch motorische Defizite aus. Die Blickbewegungen erscheinen relativ unabhängig vom Textmaterial gestört, u. a. in Form einer Tendenz zu «regressivem Scanning». Besonders auffällig sind die Zeilenrücksprünge, die häufig ungenau sind und oft sogar die richtige Zeile verpassen (Hofmeister, Heller & Radach, 1999).

In den letzten Jahren haben vor allem auch Forscher aus dem deutschsprachigen Raum dazu beigetragen, die Diskussion entscheidend voranzubringen. Hutzler & Wimmer (2004) verglichen eine Gruppe 13 Jahre alter Legastheniker mit altersparallelisierten Kontrollkindern und fanden mehr und wesentlich längere Fixationen, aber keine drastische Zunahme der Regressionen. Der Effekt der Wortlänge auf Fixationsanzahl und Lesezeitparameter war bei den Legasthenikern deutlich höher. Ähnliche Ergebnisse erzielten Dürrwächter, Sokolov, Reinhard, Klosinski & Trauzettel-Klosinski (2010), wobei für ihre in Mittel 9.5 Jahre alten Kinder mit Legasthenie besonders bei Wör-

tern mit niedriger Häufigkeit etwas mehr Regressionen und stärker erhöhte Lesezeiten auftraten. In einer weiteren Untersuchung wurden die gleichen Kinder gebeten, laut zu lesen. Dabei zeigte sich bei Legasthenie eine besonders ausgeprägte Erhöhung der Fixationsanzahl bei nahezu gleichbleibender Fixationsdauer, was als Beleg für kleinere Einheiten der Wortverarbeitung und eine Präferenz für die sublexikalische Route der Wortverarbeitung (siehe unten) interpretiert wird (Trauzettel-Klosinski et al., 2010).

Eine sehr differenzierte und theoretisch interessante Analyse von Blickbewegungen beim Lesen von natürlichem Satzmaterial (Potsdam-Korpus; Kliegl, Grabner, Rolfs & Engbert, 2004) haben Hawelka, Gagl und Wimmer (2010) für eine Stichprobe von jungen Erwachsenen mit Legasthenie vorgelegt. Sie erklären die gegenüber normalen Lesern verminderte Anzahl von Wörtern, die nicht fixiert (d. h. übersprungen) wurden als Folge eines häufigen Scheiterns der direkten bzw. ganzheitlich-lexikalischen Worterkennung. Eine Verlängerung der Fixationsdauer bei Wörtern, die nur eine Fixation erhalten, wird analog im Sinne einer geringeren Effizienz dieser direkten Route der Wortverarbeitung interpretiert. In dieses Muster passt ebenfalls ein besonders starker Wortlängeneffekt bei (unvertrauten) Wörtern mit niedriger Häufigkeit sowie eine Verschiebung der ersten Fixationsposition im Wort mit nachfolgenden kleinschrittigen progressiven Sakkaden, die auf eine bevorzugte sublexikalische Wortverarbeitung hindeuten.

Die hier verwendete Unterscheidung zwischen einer lexikalischen und einer sublexikalischen Route der Wortverarbeitung beruht auf einer Übertragung der in der Neurolinguistik üblichen Unterscheidung zwischen phonologischen Dyslexien vs. Oberflächendyslexien auf die Legasthenieforschung (Castles & Coltheart, 1993). Tatsächlich haben die oben skizzierten Befunde große Ähnlichkeit mit einer aktuellen Beschreibung der Blickbewegungsmuster «sublexikalischer Leser» mit erworbener Dyslexie (Schattka, Radach & Huber, 2010). Ob sich damit bereits ein Zugang für die Erklärung legasthenischer Störungen abzeichnet oder die Bevorzugung einer sublexikalischen Strategie der Wortverarbeitung eher eine Reaktion auf eine tieferliegende Grundstörung ist, muss die weitere Forschung zeigen. Auf jeden Fall liefert die Analyse von Blickbewegungsmustern in Verbindung mit dem Mehrroun-Modell der Wortverarbeitung einen nützlichen Rahmen für die differenzierte Beschreibung von Legasthenie nicht zuletzt auch in Bezug auf deren Charakteristika in verschiedenen transparenten Schriftsprachen (Ziegler, Perry, Ma-Wyatt, Ladner & Schulte-Körne, 2003).

Empfehlungen zur Blickbewegungsforschung über Lesestörungen

Im vorangegangenen Abschnitt wurde deutlich, dass in den letzten Jahren deutliche Fortschritte bei der Untersu-

chung von Lesestörungen mit Hilfe von Blickbewegungen erzielt wurden. Die Diskussion der Frage, ob Blickbewegungen gestört oder normal sind, wurde abgelöst durch differenzierte Untersuchungen von Teilaspekten der beim Lesen stattfindenden sprachlichen und visuellen Verarbeitung. Insgesamt ist jedoch nach unserer Ansicht das Spektrum möglicher Forschungsansätze bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Einige Möglichkeiten hierfür sollen in den folgenden Abschnitten dargestellt werden.

Identifikation visuomotorischer Defizite beim Lesen?

Eine zentraler Punkt der bereits vor etwa einem Jahrzehnt von Radach, Heller & Huestegge (2002) formulierten Vorschläge war, visuomotorische Grundfunktionen während des Lesens selbst zu untersuchen. Dabei waren wir davon ausgegangen, dass die metrischen Eigenschaften von Lesesakkaden, also im wesentlichen deren Amplitude und Landepositionen, von basalen visuellen und motorischen Prozessen bestimmt werden, die von der Sprachverarbeitung weitgehend unabhängig sind. Besonders wichtig ist dabei die in der Literatur als «saccadic range error» bezeichnete Tendenz, dass nahe am Ziel gestartete progressive Sakkaden oft zu lang geraten, während von weiter links kommende eher zu kurz landen. Daneben wird ein sogenannter «center of gravity effect» oder «global effect» diskutiert, demzufolge Sakkaden verlängert sind, wenn sich am Ziel eine größere «Masse» befindet, wodurch z. B. Sakkaden weiter in lange Wörter «hineingezogen» werden könnten (siehe Radach & McConkie, 1998, für eine ausführliche Diskussion dieser Effekte).

Sehr interessant sind in diesem Zusammenhang die Ergebnisse von Crawford und Higham (2001). Sie baten normal lesende und legasthenische Erwachsene zunächst, einzelne Sakkaden zu 5 oder 12 Grad seitlich dargebotenen Zielen auszuführen. Hierbei zeigte sich kein Unterschied zwischen den Gruppen. Wurden jedoch zwei Reize gleichzeitig dargeboten, führten die normallesenden Probanden eine Sakkade aus, deren Landeposition zwischen den beiden Zielen lag. Demgegenüber landeten bei der Mehrzahl der legasthenischen Versuchsteilnehmer die Sakkaden wesentlich näher an der ersten Position. Die Autoren interpretieren diese Daten als Beleg für einen schwächeren center of gravity Effekt und damit für ein Defizit bei der Verarbeitung globaler räumlich-visueller Information. Bezogen auf das Lesen wäre die entsprechende Hypothese, dass bei vielen Menschen mit Legasthenie aufgrund des schwächeren center of gravity-Effekts die Landeposition ankommender progressiver Sakkaden weiter links liegen müsste.

Genau dieses Ergebnis haben, wie oben dargestellt, Hawelka et al. (2010) gefunden und in einem völlig anderen theoretischen Rahmen interpretiert. Allgemein gesagt liegt das Problem darin, dass eine ganze Reihe basaler

visueller *und* linguistischer Verarbeitungsprozesse die Landeposition von Sakkaden beeinflussen können. Wie u. a. von Radach, Inhoff & Heller (2004) gezeigt wurde, landen Sakkaden etwas weiter links, wenn die ersten Buchstaben des Zielwortes eine hohe orthographische Regularität haben. Dies gilt trotz gleicher Worthäufigkeit z. B. bei dem Wort «Rhabarber» mit der seltenen Anfangssequenz *rhab* gegenüber «Autopsie» mit dem häufigen Beginn *auto*. Damit ist gezeigt, dass Prozesse auf der Mikroebene der Wortverarbeitung die Sakkadensteuerung mitbestimmen.

Eine weitere, noch gravierendere Schwierigkeit ergibt sich aus der Tatsache, dass top down Faktoren wie Strategien und Intentionen, etwa auf einer Skala von «oberflächlich» nach «sorgfältig» neben zeitlichen ebenfalls auch räumliche Aspekte der Okulomotorik relativ stark modifizieren. So zeigten Radach et al. (2008), dass allein die Verwendung von schwierigeren Verständnisfragen zu einer «vorsichtigen» visuomotorischen Lesestrategie führt (O'Regan, 1992), die sich u. a. in mehr Fixationen und einer Linksverschiebung von Sakkadenlandepositionen manifestiert (siehe Wotschack & Kliegl, 2011, für ähnliche Befunde zur parafovealen Wortverarbeitung). Damit ist dem Optimismus von Radach et al. (2002) der Boden entzogen. Offensichtlich ist die Möglichkeit einer Diagnose visuomotorischer Defizite während des Lesens selbst stärker eingeschränkt als wir ursprünglich angenommen hatten. Wir werden am Ende dieses Artikels einen Lösungsvorschlag für dieses Problem machen.

Räumlich verteilte Informationsaufnahme innerhalb der Blickspanne

Die Aufnahme von Buchstabeninformation innerhalb der Blickspanne ist ein wichtiges Thema der Grundlagenforschung zum Lesen, wobei zunehmend die Interaktion von fovealer und parafovealer Information von Interesse ist (z. B. Radach & Kennedy, 2004). In Untersuchungen von Geiger und Lettvin (1987) zur Verarbeitung von exzentrisch dargebotenen Zeichenketten mit Kindern hatte sich gezeigt, dass die Erkennungsleistung für periphere Zeicheninformation bei Kindern mit Legasthenie *besser* ist als bei normalen Lesern. Dieses paradox erscheinende Ergebnis wurde von den Autoren darauf zurückgeführt, dass zum Ausgleich von Schwierigkeiten in der fovealen Zeichenverarbeitung alternative visuelle Verarbeitungsstrategien gelernt werden. Obwohl diese Effekte und ihre Interpretation z. T. heftig kritisiert worden sind (z. B. Klein, Berry, Briand, D'Entremont, & Farmer, 1990), finden sich auch immer wieder empirische Daten, die in die gleiche Richtung weisen. So berichteten Facchetti und Molteni (2000), dass bei gesunden Kindern eine manuelle Reaktion auf einen Lichtpunkt umso länger dauert, je weiter seitlich sich dieser Zielpunkt befindet. Bei legasthenischen Kindern besteht dagegen kein solcher systematischer Zusammenhang, weshalb die Autoren hier von

einer «diffusen Verteilung visueller Verarbeitungsressourcen» sprechen (siehe auch Lorusso et al., 2004).

Diese Problematik ist noch aus einer weiteren theoretischen Perspektive hochaktuell. Bosse, Tainturier & Valdois (2007) haben untersucht, wie viele Elemente innerhalb einer Matrix von kurzzeitig dargebotenen Zeichen parallel verarbeitet werden können. Aufgrund der von ihnen gefundenen Minderleistung vieler Menschen mit Legasthenie haben sie die *visual attention span* – Hypothese vorgeschlagen, nach der ein Defizit in der «Aufmerksamkeitsspanne» neben Störungen in der phonologischen Verarbeitung eine zweite Hauptursache der Legasthenie ist. Interessanterweise war in einer ähnlichen Aufgabe die Leistung bei der Zeichenerkennung mit der Anzahl der progressiven Sakkaden beim Lesen korreliert (Prado, Dubois & Valdois, 2007). In einer aktuellen Untersuchung haben Stenneken et al. (2011) die Minderleistung von Betroffenen mit Legasthenie in der parallelen Zeichenerkennung repliziert und gezeigt, dass hierfür eine verminderte visuelle Verarbeitungsgeschwindigkeit ursächlich ist und nicht die in der Aufgabe ebenfalls geforderte Leistung des Arbeitsgedächtnisses. Andererseits wurde die Interpretation der oben skizzierten Ergebnisse im Sinne eines generellen «Aufmerksamkeitsdefizits» überzeugend von Ziegler, Pech-Georgel, Dufau, & Grainger (2010) kritisiert, in deren Untersuchung eine Leistungseinbuße bei Legasthenikern spezifisch für Buchstaben und Zahlen auftrat, nicht aber für abstrakte Symbole.

Angesichts dieser sehr interessanten, aber auch widersprüchlichen Befunde erscheint es folgerichtig, Prozesse der räumlich verteilten Zeichenerkennung innerhalb der Blickspanne während des Lesens direkt zu untersuchen. Dazu steht als Methode der Wahl die Boundary-Technik zur Verfügung. Hierbei wird ein Zielwort in der visuellen Peripherie durch einen Nichtwortstring (oder ein anderen Wort) ersetzt, und erst während eine Sakkade dorthin ausgeführt wird, erfolgt innerhalb weniger Millisekunden die Darbietung des richtigen Wortes. Solche Manipulationen werden in der Regel vom Leser nicht bemerkt und führen zu einer Verlängerung von Fixations- und Blickzeiten auf dem Zielwort, die als «parafoveal preview benefit» den Effekt einer parafovealen Vorverarbeitung des Wortes abbildet (siehe Schotter, Angele & Rayner, 2012, für einen aktuellen Überblick).

Die Nutzung dieses Paradigmas kann am Beispiel einer im Sommer 2012 an der Bergischen Universität Wuppertal von V. Krenkel durchgeführten Untersuchung illustriert werden. Dabei lesen die teilnehmenden Kinder einfache erweiterte Aussagesätze der Form:

Wie der Schwan und die Gans lebt die kleine *Ente* (*Ende/Enge/Kiov*) fröhlich im Wasser.

In den experimentellen Bedingungen wird, wie oben beschrieben, das Zielwort in der Parafovea durch verschiedene andere Zeichenketten ersetzt. In einer Bedingung wird mit Hilfe von sinnlosen Nichtwortstrings (Beispiel: «Kiov») untersucht, welche Verlängerung von Fixations-

und Blickzeiten die komplette Verhinderung einer parafovealen Verarbeitung des Zielwortes nach sich zieht. Besonders interessant sind zwei weitere Bedingungen, in denen jeweils nur ein Buchstabe manipuliert wird, um eine ähnlich klingende («Ende») oder nur orthographisch ähnliche («Enge») Variante zu erzeugen. Falls die ähnlich klingenden parafovealen Strings zu kürzeren Blickzeiten führen, wäre dies ein erster Beleg dafür, dass bei normal lesenden Kindern schon sehr früh über die Orthographie hinaus auch die Klanginformation von Wörtern verarbeitet werden kann. An diesem Beispiel wird deutlich, wie experimentell geprüft werden kann, welche Form von räumlich verteilter Verarbeitung innerhalb der Blickspanne ausgeführt wird (vgl. Pollatsek, Lesch, Morris & Rayner, 1992).

Untersuchungen zu Störungen der phonologischen Verarbeitung

Die Verarbeitung phonologischer Information spielt beim Lesen mindestens an zwei Stellen eine wesentliche Rolle. Zunächst ist die Phonologie schon frühzeitig an der Wortverarbeitung selbst beteiligt (siehe auch das Beispiel oben zur parafovealen Verarbeitung). Bei der hierzu von Lee, Binder, Kim, Pollatsek & Rayner (1999) entwickelten *fast priming*-Technik wird zu Beginn einer Fixation ein Buchstabenstring als Prime präsentiert, der nach einem variablen Zeitintervall durch ein Zielwort ersetzt wird. Dabei zeigte sich bei der Verwendung von Homophonen (gleichklingenden Wörtern) als Prime schon bei Darbietungsdauern von nur 30 ms eine Verkürzung der nachfolgenden Blickzeit. Damit konnte für das flüssige Lesen gezeigt werden, dass phonologische Information schon frühzeitig und wesentlich an der Wortverarbeitung beteiligt (vgl. auch Huestegge, 2010). Dieser Ansatz ist auch für die Untersuchung von Betroffenen mit Legasthenie außerordentlich interessant, weil er ermöglichen würde, eine Hypothese eines phonologischen Verarbeitungsdefizits direkt im natürlichen Lesevorgang zu prüfen.

Eine zweite wichtige Funktion hat phonologische Information bei der Bereitstellung einer geordneten Repräsentation der gerade gelesenen Textinhalte innerhalb des Arbeitsgedächtnisses. Inhoff, Conninie & Radach (2002) haben hierzu das sogenannte *contingent speech*-Paradigma entwickelt, bei dem das Lesen eines Zielwortes mit der akustischen Darbietung eines anderen Wortes kombiniert wird. Dabei wird die Präsentation eines gesprochenen Wortes per Kopfhörer ausgelöst, sobald eine progressive Lesesakkade eine unsichtbare Grenze knapp links vom Zielwort überschreitet. Während also ein bestimmtes Wort gelesen wird, nimmt der Leser gleichzeitig ein weiteres, akustisch dargebotenes Wort auf. In mehreren Experimenten mit dieser Technik wurden Eigenschaften des gesprochenen Wortes variiert, wobei es sich entweder um das gleiche Wort (z. B. plate), ein phonologisch ähnliches Wort (place) oder ein phonologisch unähnliches Wort (horse) handeln konnte.

In allen Bedingungen kam es durch die akustische Präsentation zu einer unmittelbaren Verzögerung des Leseflusses, die sich in einer Verlängerung der Blickzeit für das kritische Wort ausdrückte. Zusätzlich trat ausschließlich in der Bedingung mit phonologisch ähnlich geschriebenen und gesprochenen Wörtern eine über mehrere weitere Wörter andauernde Verlangsamung auf. Wir interpretieren dies als Wirkung einer Interferenz zwischen zwei konkurrierenden phonologischen Repräsentationen und betrachten die Zeit bis zur Rückkehr zu «normalen» Blickzeiten als Bestandsdauer des phonologischen Codes im Arbeitsgedächtnis. Besonders interessant ist dabei ein Vergleich zwischen besseren (schnelleren) und schlechteren (langsameren) Lesern, der zeigte, dass die Interferenzwirkung für bessere Leser deutlich länger anhielt (Inhoff, Connine, Eiter, Radach & Heller, 2004). Dieser Befund spricht dafür, dass bessere Leser über dauerhaftere phonologische Repräsentationen verfügen. Das contingent speech-Paradigma ist nach unserer Meinung ein vielversprechender Ansatz für die Entwicklung einer Methode zur online-Untersuchung von Charakteristika des phonologischen Arbeitsgedächtnisses bei Menschen mit Legasthenie.

Räumliche Verarbeitung visueller Information

Lehrer und Legasthenietherapeuten berichten immer wieder, dass Kinder mit Lesestörungen Schwierigkeiten haben, sich im Text zu orientieren, immer am richtigen Zeilenanfang zu beginnen oder eine bestimmte Information wiederzufinden. Solche Beobachtungen verweisen auf die Bedeutung des räumlichen Gedächtnisses für die Steuerung der Blickbewegungen beim Lesen.

Wie bereits oben diskutiert wurde, zeigen progressive Interwort-Sakkaden bei Normallesern charakteristische Fehlertendenzen. Besonders wesentlich ist der Sakkadendistanzfehler, der darin besteht, dass für nahegelegene Zielwörter Sakkaden tendenziell eher zu lang und für weiter entfernte Zielwörter eher zu kurz sind. Diese Fehler verschwinden völlig, wenn im Nahbereich Sakkaden zu bereits vorher fixierten Wörtern ausgeführt werden, der Lesefluss also unterbrochen und eine einzelne zielgerichtete Bewegung ausgeführt wird (Radach und McConkie, 1998; Inhoff, Weger & Radach, 2005).

Dies spricht dafür, dass beim Lesen zwei unterschiedliche Modi der Steuerung von Blickbewegungen existieren. Üblicherweise werden Sakkaden durch automatisierte Routinen generiert, die mit einem Minimum an visuellen Verarbeitungsressourcen auskommen, deswegen aber auch relativ ungenau sind. Daneben besteht offenbar ein zweiter Steuerungsmodus, der eher mit der Ausführung «willentlicher» Sakkaden vergleichbar ist. Mit Hilfe einer entsprechend präzisen Analyse von Blickbewegungsmustern von legasthenischen Kindern könnte eine Dissoziation der beiden Steuerungsmodi realisiert werden. Dabei ist zunächst interessant, ob der automatisierte Modus optimal funktio-

niert, was anhand detaillierter Analysen von Sakkadenlandepositionen z. B. als Funktion von Wortlänge und Startdistanz geklärt werden könnte (z. B. Radach, 1994; Krügel & Engbert, 2010).

Noch wesentlicher ist die Frage, wie von Lesern mit Legasthenie oder anderen Lesedefiziten regressive Sakkaden zurück zu weiter entfernten Wörtern ausgeführt werden. In der Literatur besteht Uneinigkeit über die Präzision solcher Sakkaden bei normalen Lesern. Während z. B. Kennedy, Brooks, Flynn und Prophet (2003) von einer hohen Treffgenauigkeit aufgrund von Information aus dem räumlichen Arbeitsgedächtnis ausgehen, sind nach Inhoff & Weger (2005) solche Regressionen ausgesprochen ungenau. Wir haben in aktuellen Untersuchungen diesen Widerspruch aufgelöst und gezeigt, dass Regressionen auch weit entfernte Wörter genau treffen, wenn klar ist, zu welchem Wort die Sakkade (zurück) gehen soll (Radach & Vorstius, 2011). Bei diesen Untersuchungen haben wir durch spezielle blickbewegungskontingente Displaymanipulationen ebenfalls demonstriert, dass die zur Planung von Regressionen genutzte Positionsinformation tatsächlich aus dem räumlichen Gedächtnis stammt und nicht aus der peripheren Wahrnehmung. Damit ist ein Ansatz aufgezeigt, die räumliche Navigation bei Lesern mit Legasthenie zu untersuchen. Falls sich ein solcher Zusammenhang findet, wäre denkbar, dass ein generelles Defizit im räumlichen Arbeitsgedächtnis vorliegt, oder aber dass sich immer dann eine Minderleistung zeigt wenn wegen hoher Textschwierigkeit keine zusätzliche Verarbeitungskapazität für die Enkodierung von Wortpositionen verfügbar ist.

Ausblick: Eine neuer Zugang zur Analyse von Blickbewegungen bei Lesestörungen

Es ist in diesem Artikel an mehreren Stellen deutlich geworden, dass die Klärung der Frage, ob bei Legasthenie veränderte Blickbewegungen ausschließlich auf Störungen der sprachlichen Verarbeitung beruhen, nicht einfach ist. Wir hatten im Abschnitt 4.1 zunächst argumentiert, dass lesefremde Aufgaben wie etwa das Antisakkadenparadigma für die Klärung dieser wichtigen Frage nicht geeignet sind, da sie die spezifischen Anforderungen an die visuelle Verarbeitung und visuomotorische Steuerung beim Lesen nur unvollkommen abbilden. In den Abschnitt 4.2 und 5.1 stellten wir den Stand der Forschung über Blickbewegungen bei Kindern mit Lesestörungen dar und begründeten unsere Auffassung, dass eine Vermengung nichtsprachlicher und sprachlicher Einflüsse auf die Okulomotorik bei Leseanforderungen im Grunde nie ganz ausgeschlossen werden kann.

Einen Ausweg aus dieser methodisch schwierigen Situation würde eine Aufgabe bieten, die keine sprachlichen Anforderungen stellt, dem normalen Lesen sonst aber funktional äquivalent ist. Der einzige Kandidat für eine

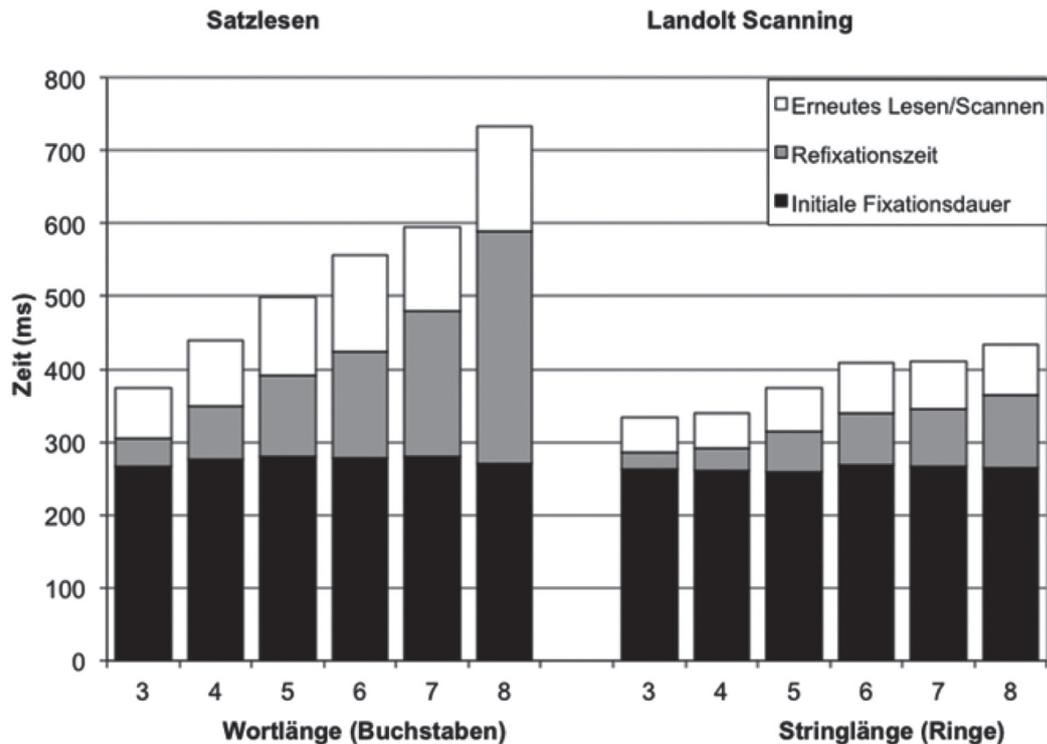


Abbildung 3. Vergleich der Zeiten für das Lesen vs. Scannen von Sätzen bzw. Strings von Normsehzeichen mit identischer visueller Konfiguration. Die unteren Balken zeigen jeweils die Dauer der ersten (initialen) Fixation, die mittleren die Zeit für Refixationen und die oberen die Zeit für erneute Fixationen nach dem Verlesen des Wortes oder Strings. Die Analyse der Zeiten für die Landolt-Aufgabe schließt nur Strings ohne Zielreiz ein.

solche Anforderung, der in der bisherigen Literatur beschrieben wurde, ist das sogenannte «mindless reading»-Paradigma (Vitu, O'Regan, Inhoff & Topolski, 1995; Rayner & Fischer, 1996; Nuthmann & Engbert, 2009). Dabei werden alle Buchstaben einer Textzeile durch Strings von «zzzzzz» ersetzt, so dass die räumliche Konfiguration des Textes erhalten bleibt. Die Probanden werden entweder instruiert, die Zeilen so zu scannen, als ob sie Lesen würden, oder aber, sich vorzustellen, sie würden tatsächlich lesen.

Im Ergebnis fallen die räumlichen Parameter der Blickbewegungen (Amplituden und Landepositionen der Sakkaden) relativ leseähnlich aus. Andererseits ist die Fixationsdauer als primärer zeitlicher Parameter stark erhöht, was angesichts der Abwesenheit von sinnvollem Text ein paradox erscheinendes Resultat ist. Unsere Erklärung hierfür ist, dass die Instruktion sich «wie beim Lesen» zu verhalten eben nicht zu «mindless reading» führt, sondern zu einer Art Imitationsverhalten, bei dem ein Leserhythmus willentlich erzeugt wird. Ein weiterer gravierender Nachteil dieser Aufgabe besteht darin, dass ihre Schwierigkeit nicht manipulierbar und «Leistung» nicht messbar ist.

Vor diesem Hintergrund haben wir ein Paradigma entwickelt, mit dem die nichtlinguistischen Anforderungen beim Lesen (u. a. visuelle Selektion/Aufmerksamkeit, räumliche Navigation, okulomotorische Steuerung) auf eine Weise abgebildet werden, die eine weitgehende funktionale Approximation herstellt. In dieser Aufgabe werden

die Buchstaben eines Satzes durch Landolt-Ringe (optometrische Normsehzeichen) ersetzt, wobei die visuelle Konfiguration des Schriftbildes erhalten bleibt. Radach, Wohlgemuth, Vorstius & Günther (2009) haben mehrere Varianten einer solchen Anforderung getestet. Ein optimales Ergebnis wurde erzielt, wenn alle Wörter durch Strings aus geschlossenen Ringen ersetzt wurden, innerhalb derer hin und wieder ein offener Ring zu entdecken war (s. Abb. 4). Für diese Aufgabe waren neben Sakkadenamplituden und Landepositionen auch die mittleren Fixationsdauern denen beim Lesen der entsprechenden Texte sehr ähnlich. Eine Dekomposition der Gesamtblickzeit pro String in die Anteile für die erste Fixation, Refixationen und erneutes Lesen/Scannen (vgl. Abbildung 3) ergab, dass die Refixationszeit in den Landolt-String Bedingung relativ zum Lesen etwas erhöht ist, wogegen die Rescanning-Zeit etwas kürzer ausfällt. Diese Unterschiede entsprachen den Erwartungen, da Probleme in Wort- und Satzverarbeitung als mögliche Ursachen für Regressionen und erneutes Fixieren des gleichen Strings in der Landoltaufgabe wegfallen. Wesentlich für die Validität der Aufgabe ist weiterhin, dass Radach, Wohlgemuth et al. (2009) mit Hilfe der Boundary-Methode gezeigt haben, dass beim Landoltscanning ein dem Lesen äquivalenter Nutzen der parafovealen Vorverarbeitung auftritt, die Normsehzeichen also in ähnlicher Weise wie Buchstaben räumlich verteilt verarbeitet werden.

Paul möchte sich heute die alte Gitarre von seinem Vater ausleihen
 ○○○○ ○○○○○○ ○○○○ ○○○○○○ ○○○ ○○○○ ○○○○○○○○ ○○○ ○○○○○○ ○○○○○○ ○○○○○○○○○

Abbildung 4. Leseähnliche Scanning Aufgabe, bei der alle Buchstaben eines Satzes durch Landoltringe ersetzt wurden. Den teilnehmenden Kindern wurde erklärt, dass es sich hier um eine Schrift handelt, die sich ein Clown ausgedacht hat. Sie wurden gebeten, die Wörter wie beim Lesen der Reihe nach anzusehen, um zu sehen, ob der Clown alle Wörter richtig geschrieben hat. Bei einem der wenigen Fehler (offener Ring) sollte eine Taste gedrückt werden. Die Hälfte der Zeilen hatten keine Zielreize, ein Viertel hatte einen und ein weiteres Viertel zwei wie im Beispiel. In die Auswertung werden in der Regel nur Strings (oder ganze Zeilen) ohne Zielreize einbezogen.

Das Paradigma wurde inzwischen an mehreren Stichproben von Grundschulern in den USA und Deutschland validiert. Abbildung 3 zeigt Daten von 25 Schülern der 3 und 4 Klasse, die gebeten wurden, 36 Sätze der unten gezeigten Art zu lesen bzw. in der Landoltstring-Form zu scannen. Dabei hatten die Hälfte aller Landolt-Sätze keinen Zielreiz, während bei je einem Viertel ein offener Ring als mittleres Zeichen in einem und bei einem weiteren Viertel in zwei Strings platziert wurden. Im folgenden Beispiel gilt das für die Strings, denen im Satz die Wörter «möchte» und «seinem» entspricht.

Das Beispiel zeigt, dass die initiale Fixationsdauer (im Gegensatz zum oben erwähnten «zzz_lesen») bei Lesen und Scanning nahezu identisch ist. Hinsichtlich der Fixationsdauern besteht eine weitere wichtige Übereinstimmung darin, dass wenn zwei Fixationen gemacht werden, die erste im Mittel etwa 30 ms kürzer ist als eine einzelne Fixation auf einem Wort/String (Kliegl, Olson & Davidson, 1983). Dies ist ein starkes Indiz dafür, dass bei beiden Aufgaben funktional äquivalent die Entscheidung für die Planung einer zweiten Sakkade relativ früh aufgrund einer vorläufigen visuellen Analyse erfolgt (Radach & Heller, 2000).

In Abbildung 3 wird deutlich, dass die im Mittel 9.5 Jahre alten Kinder in der Stichprobe der Untersuchung die Landolt-Anforderung ohne Schwierigkeiten bewältigt haben. Die Zeitanteile für Refixationen und erneutes Lesen/Scannen entsprechen dabei qualitativ den von Radach, Wohlgenuth et al. (2009) für Erwachsene berichteten Werten. Demgegenüber ergibt sich relativ zu dieser Baseline beim Lesen vor allem bei den Refixationen eine starke Zunahme, die den hohen mentalen Aufwand für die Wortverarbeitung reflektiert. Dabei spricht die Größe des Wortlängeneffektes für eine noch stark sequentielle Lesestrategie, die an sublexikalischen Worteinheiten ansetzt. Insgesamt bietet der Vergleich zwischen Scanning und Lesen die Möglichkeit einer differenzierten (auch individuellen) Analyse visuomotorischer und kognitiver Verarbeitungs- und Steuerungs-

prozesse, nicht zuletzt auch bezüglich der oben behandelten Aspekte der extrafovealen Verarbeitung und räumlichen Navigation.

Die Grundidee einer Anwendung in der Forschung zu Lesestörungen besteht darin, dass jede Auffälligkeit, die beim Lesen, jedoch nicht beim Landolt-Scanning auftritt, ihre Ursache in der Sprachverarbeitung haben muss. Umgekehrt sollte eine Störung mit nichtsprachlicher Ursachen sich sowohl im Blickverhalten bei Lesen und als auch beim Scanning in qualitativ ähnlicher Weise niederschlagen.⁴

Gegenwärtig wird die Landolt-Anforderung in einem von der DFG geförderten Projekt am Universitätsklinikum der RWTH Aachen sowie der Bergischen Universität Wuppertal eingesetzt. Dabei untersuchen wir zunächst, ob die Leistung in dieser Aufgabe neben anderen Prädiktoren in der Lage ist, zur Vorhersage von Erfolg oder Misserfolg beim Lesenlernen beizutragen. In einem weiteren Schwerpunkt des Projekts werden normal lesende mit legasthenischen Kindern verglichen. Falls Kinder mit einer Legasthenie in der Landolt-Anforderung auffällige Blickbewegungsmuster zeigen, wäre dies ein starker Beleg dafür, dass *leserelevante* visuomotorische (und/oder attentionale) Defizite vorliegen. Tatsächlich zeigen erste Ergebnisse, dass es in unserer Stichprobe von Kindern mit Legasthenie eine Reihe von Teilnehmern gibt, die nur in der Leseaufgabe Probleme haben, gegenüber solchen, die in beiden Aufgaben (Landolt und Satzlesen) erhebliche Schwierigkeiten zeigen (siehe Abbildung 5).

Einen Schritt weiter geht der Vergleich mit zwei weiteren Gruppen, Kindern mit Aufmerksamkeitsstörungen (ADHS) sowie solchen, die sowohl mit ADHS als auch Legasthenie diagnostiziert sind. Dieser Ansatz ist einerseits dadurch motiviert, dass zwischen beiden Störungen eine hohe Komorbidität besteht (Willcutt, Pennington, Olson & Hulslander, 2005). Andererseits haben Untersuchungen von Heim et al. (2008) an einer relativ großen Stichprobe von Schülern mit Lesestörungen gezeigt, dass es eine

4 Beispielsweise haben Kirkby, Blythe, Drieghe & Liversedge (2011) in einer aktuellen Untersuchung vorgeschlagen, dass bei Lesern mit Legasthenie eine Störung der binokularen Koordination auftritt, wenn diese Lesen, nicht aber einer (leseunähnlichen) visuellen Suchaufgabe. Dabei besteht eine starke Disparation der visuellen Achsen beider Augen, die dazu führt, dass oft unterschiedliche Wörter fixiert werden. Wir würden demgegenüber eher vermuten, dass ein solches Defizit *außerhalb* des Lesens verursacht wird (vgl. Jainta & Kapoula, 2011) und vorschlagen, diese Hypothese mit Hilfe der Landolt-Aufgabe zu prüfen.

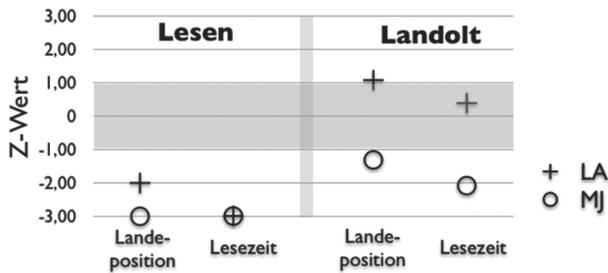


Abbildung 5. Individueller Vergleich zwischen Lesen und Landolt-Scanning anhand der Parameter initiale Landeposition und Lesezeit, dargestellt als z-Werte. Beide Kinder (LA & MJ) besuchen die vierte Klasse und sind in Bezug auf IQ und Geschlecht vergleichbar. Beide Kinder zeigen in der Lesebedingungen im Vergleich zu einer Normgruppe ($n=25$) deutlich auffällige Leistungen: die primäre Landeposition ist zu weit links (spricht für segmentierendes Lesen) und die Gesamtlesezeit ist zu hoch (jeweils $Z < -2$). LA zeigt in der Landoltbedingung durchschnittliche Leistungen, wohingegen MJ auch dort auffällig ist.

Gruppe gibt, die in Aufmerksamkeitstests auffällig sind, aber keine phonologischen Defizite aufweisen. Hierzu passen Resultate von Thaler et al. (2009), die berichten, dass Kinder mit kombinierter Legasthenie und Aufmerksamkeitsstörung neben einer hohen Zahl von Lesefehlern auch visuomotorische Auffälligkeiten zeigen.

Insgesamt sprechen die bisher vorliegenden Befunde für die Möglichkeit, dass innerhalb der Gesamtpopulation legasthenischer Kinder eine Untergruppe existiert, deren primäre Störung im Bereich der selektiven Aufmerksamkeit und/oder visuellen Informationsverarbeitung liegt. Nach unserer Auffassung eröffnet die sprachfreie Landolt-Anforderung die Möglichkeit, diese Frage eindeutig zu entscheiden und die betroffenen Teilprozesse der visuellen Informationsverarbeitung und/oder visuomotorischen Steuerung detailliert zu diagnostizieren.

Schlußbemerkung

Die Messung und Analyse von Blickbewegungen wird mehr und mehr zur Standardmethode für die Untersuchung des Lesens und der Leseentwicklung im Kindesalter. Dabei erlaubt der heutige Stand der Technik die Herstellung von Untersuchungssituationen, die sich vom natürlichen Umgang mit Computern in Schule und häuslicher Umge-

bung nur noch unwesentlich unterscheiden. In diesem Artikel haben wir auf den hohen Stand hingewiesen, die die experimentelle Leseforschung in den letzten Jahrzehnten erreicht hat. Vor diesem Hintergrund haben wir versucht, einige Anregungen für die angewandte Forschung zu spezifischen Aspekten von Lesestörungen im Umkreis der Legasthenie zu geben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass wir aus Platzgründen nicht auf Defizite im Leseverständnis eingehen konnten (siehe hierzu z. B. Wagner, Schatschneider & Phythian-Sence, 2009).

Gleichzeitig hat unsere Diskussion gezeigt, dass ein Schwerpunkt der weiteren Forschung in der Kennzeichnung individueller Entwicklungsverläufe innerhalb ausreichend großer Stichproben von Kindern liegen sollte. Nur auf dieser Grundlage können grundlegende Fortschritte im Verständnis von Lesestörungen auf der Ebene elementarer Prozesse der Informationsverarbeitung erwartet werden. Ein Beispiel für einen solchen Forschungsansatz ist eine Langzeitstudie unter Beteiligung des Erstautors dieses Artikels, in der gegenwärtig in den USA einige hundert Kinder im ersten bis fünften Schuljahr untersucht werden (<http://rfu.fcrr.org>). In Deutschland fördert die Max-Planck-Gesellschaft am MPI für Bildungsforschung seit 2012 eine Forschungsgruppe zu Schriftspracherwerb und Leseentwicklung. Für den Erfolg solcher Projekte ist nach unsere Meinung entscheidend, dass Daten aus der Messung von Blickbewegungen beim Lesen mit einer entsprechenden Batterie psychometrischer Testverfahren in einem Gesamtmodell kombiniert werden (vgl. Kuperman & Van Dyke, 2011) oder um ein wirklich umfassendes Bild der individuellen Entwicklung von Leseprozessen zu gewinnen.

Danksagung

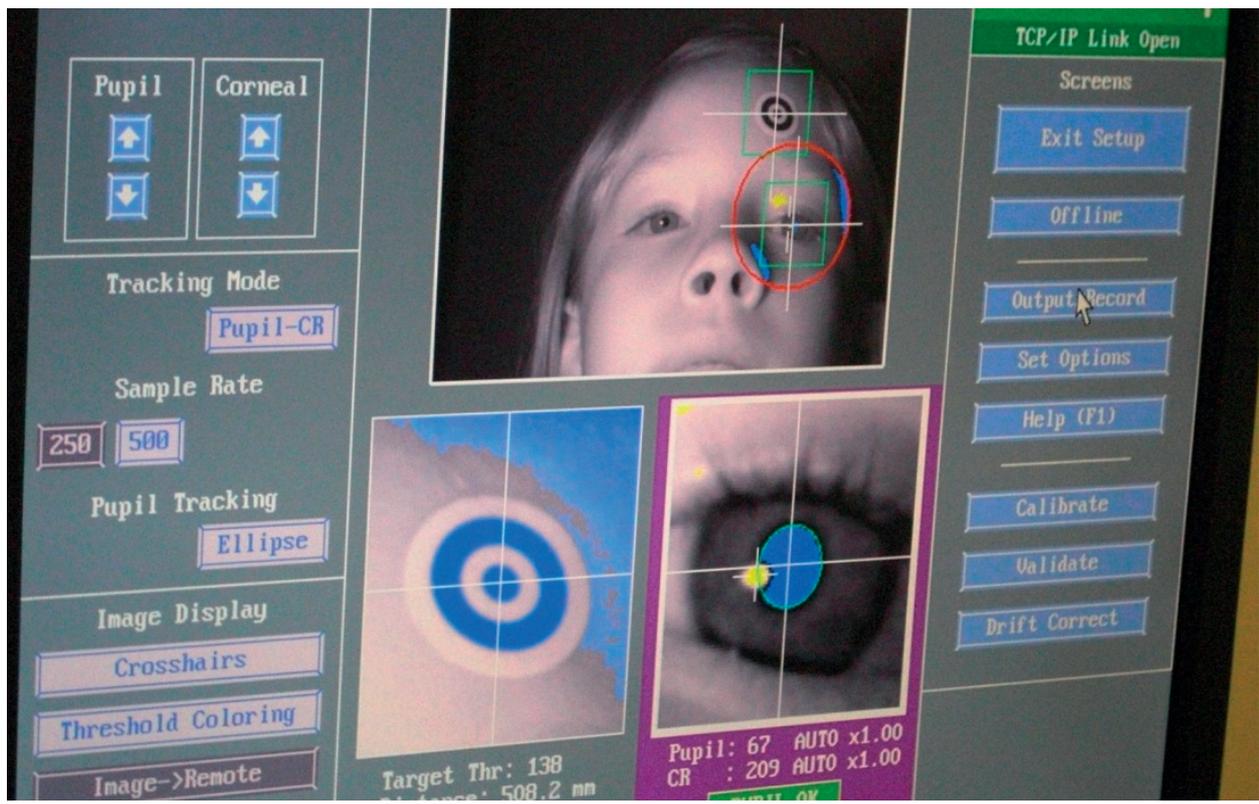
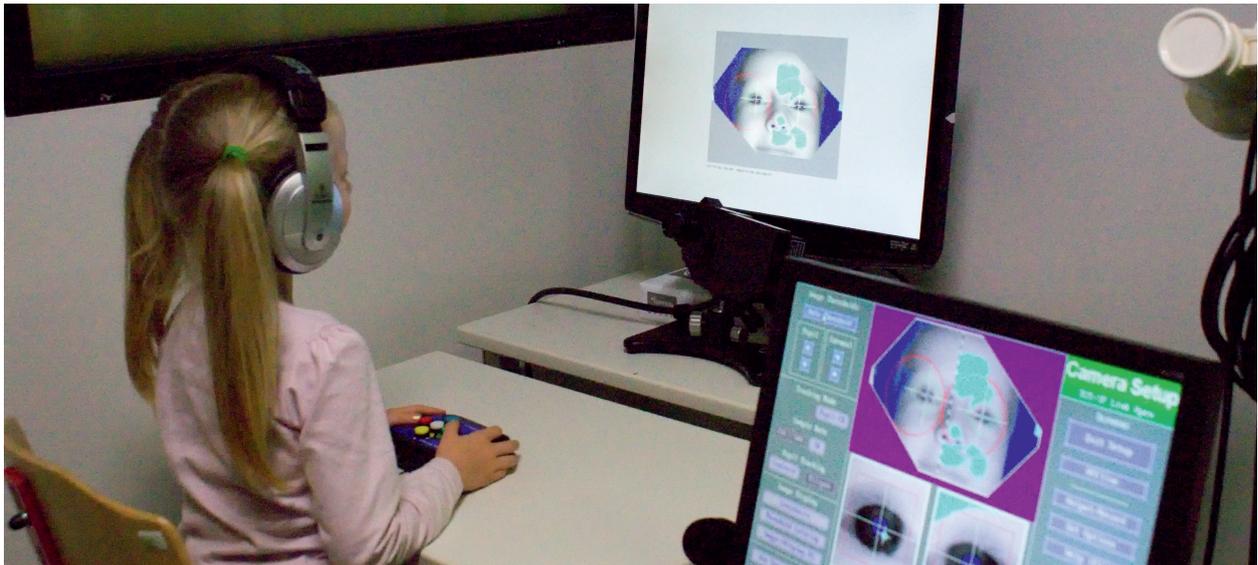
Die Vorbereitung dieses Artikels wurde von zwei laufenden Projekten unterstützt, dem DFG-Projekt «Lesen ohne Worte: ein Paradigma zur Untersuchung entwicklungspsychologischer Grundlagen von normalem und dyslektischem Lesen» (GZ: GU 1177/1-1) sowie von der durch das U.S. Department of Education geförderten Forschergruppe «Florida State University Research and Development Center for Pre-K to 5th Grade Student Comprehension: Examining Effective Intervention Targets, Longitudinal Intensity, and Scaling Factors» (R305F1000027). Wir danken Frau Rita Stieber und Herrn Thomas Lüttke für ihre Mitarbeit bei der Erstellung des Manuskripts.



Forschungsmethoden

Untersuchungssituation bei der Messung von Blickbewegungsmustern einer Schülerin. Oben: Typisches Setup mit Kamerasystem unterhalb des Bildschirms. Optional kann eine Kinnstütze verwendet werden, durch die der Sehabstand konstant gehalten, die Lesesituation aber unnatürlicher wird. Zusätzlich gehören zur Messanordnung zwei Rechner, von denen einer die Textdarbietung steuert,

während der andere die Messung realisiert und die Daten speichert. Unten: Die Messung beruht auf der Reflexion von infrarotem Licht von der Augenoberfläche, insbesondere der Pupille und des Cornealreflexes. Zusätzlich wird die Kopfposition mittels einer weiteren Kamera anhand des Aufklebers auf der Stirn ermittelt und mit den Koordinaten der Augen verrechnet. Die zeitliche Auflösung der Messung liegt bei 1000 Hz, die räumliche Genauigkeit liegt ideal in der Größenordnung eines Buchstabens (Inhoff & Radach, 1998).



Extended abstract

Eye Movement in Reading, Reading Development and Developmental Dyslexia

Background: Over the last few decades, the monitoring of eye movements has become a standard methodology in the scientific study of reading and reading development. There is now ample evidence demonstrating that the direction and sequence of eye movements during reading is co-determined by both basic visual and visuomotor constraints and cognitive processing demands. Most importantly, the duration and number of fixations is closely related to linguistic processing on the level of letters, words and sentences. Consequently, word viewing time measures present valid indicators of moment-to-moment processing during reading. This can serve as a solid base for research into reading development and reading problems such as developmental dyslexia.

Aims: This article has three related aims. First, we present a brief outline of basic trends in reading development from the perspective of eye movement research, based on data collected with elementary school level readers. Second, we discuss the use of eye movement methodology to study developmental dyslexia with respect to both eye movements in non-reading tasks and oculomotor analyses of reading itself. Finally, on the basis of the present state of the art in research on normal development, a number of suggestions are made on how to utilize eye tracking methodology to advance our understanding of developmental dyslexia.

Results: We present and discuss results from a number of studies demonstrating the utility of eye movements in examining developmental trajectories of both silent and oral reading. Major findings include a trend towards more and more automatic and less sequential word processing that is clearly reflected in word based fixation patterns. Particularly interesting is the fact that very young readers appear to spend a large amount of reading time with post-lexical, sentence level integration of meaning. On the other hand it appears that in most children the basic machinery of eye movement control is in place quite early. A comparison of silent and oral reading points to a very interesting difference between reading in transparent vs. intransparent orthographies. English readers not only need more time to read equivalent sentences, but the difference between reading aloud and silently is much more pronounced. Looking at new ways to examine eye movements in struggling readers we suggest a new methodology aimed at approximating the non-linguistic processing demands of continuous reading. Results from two validation studies indicate that important aspects of visual processing of eye movement control in this reading-like string scanning task are functionally equivalent to normal reading in both adults and children.

Discussion: We argue that despite major progress we are still lacking a comprehensive picture of the directions and determinants of development in normal reading. The best way of addressing these complex and challenging issues will be in terms of well controlled and comprehensive longitudinal research projects. In our view a key condition for success in this endeavor will be the combination of oculomotor reading measures with psychometric assessments of reading ability and cognitive component skills. Based on recent advances in eye tracking theory and methodology, we are considering a number of directions in future research on developmental dyslexia. These issues include the identification of visuomotor deficits, extrafoveal information acquisition within the perceptual span, the processing of phonological information as well as spatial navigation and memory. Central to this proposed research strategy is the use of our reading-like string scanning task. We expect this new research tool to help an-

swering the question whether deviations of eye movements in struggling readers reflect non-linguistic processing deficits that might play a role in the etiology of developmental dyslexia.

Keywords: reading, reading development, eye movements, perceptual span, attention, developmental dyslexia

Literatur

- Becker, W. & Jürgens, R. (1979). An analysis of the saccadic system by means of double step stimuli. *Vision Research*, 19, 967–984.
- Biscaldi, M., Fischer, B., Hartnegg, K. & Gutjahr, G. (2000). Voluntary saccade control in dyslexia. *Perception*, 29, 509–521.
- Bosse, M. L., Tainturier, M. J. & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104:2, 198–230.
- Buswell, G. T. (1922). *Fundamental reading habits, a study of their development*. Chicago: Chicago University Press.
- Crawford, T. J. & Higham, S. (2001). Dyslexia and the centre-of-gravity effect. *Experimental Brain Research*, 137:1, 122–126.
- Castles, A. & Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*, 47, 149–180.
- Ciuffreda, K. & Tannen, B. (1995). *Eye movement basics for the clinician*. Mosby: St. Louis.
- Denckla, M. B. & Rudel, R. (1974). Rapid “automatized” naming of pictured objects, colors, letters, and numbers by normal children. *Cortex*, 10 (2), 186–202.
- Deubel, H., O’Regan, K. & Radach, R. (2000). Attention, information processing and eye movement control. In Kennedy, A., Radach, R., Heller, D. & Pynte, J. (Eds). *Reading as a Perceptual Process*. Elsevier, Oxford.
- Dusek, W., Pierscionek, B. K. & McClelland J. F. (2010). A survey of visual function in an Austrian population of school-age children with reading and writing difficulties. *BMC Ophthalmology*, 10: 16.
- Dürrwächter, U., Sokolov, A. N., Reinhard, J., Klosinski, G. & Trauzettel-Klosinski, S. (2010). Word length and word frequency affect eye movements in dyslexic children reading in a regular (German) orthography. *Annals of Dyslexia*, 60, 86–101.
- Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005). SWIFT: a dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review*, 112, 777–813.
- Evans, B. J. W. (2001). *Dyslexia and Vision*, Whurr, London, 2001
- Facoetti A, Molteni M. (2000). The gradient of visual attention in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 39, 352–7.
- Findlay, J. M. & Walker, R. (1999). A model of saccade generation based on parallel processing and competitive inhibition. *Behavioral & Brain Sciences* 22, 661–721.
- Fischer, B. & Weber, H. (1990). Saccadic reaction times of dyslexic and age-matched normal subjects. *Perception*, 19, 805–818.
- Fischer, B. & Hartnegg, K. (2000). Effects of visual training on saccade control in dyslexia *Perception* 29, 531–542.
- Geiger, G. & Lettvin, J. Y. (1987). Peripheral vision in persons with dyslexia. *New England Journal of Medicine*. 316, 1238–1243.

- Grainger, J. (2008). Cracking the orthographic code: An introduction. *Language and Cognitive Processes*, 23 (1), 1–35.
- Häikiö, T., Bertram, R., Hyönä, J. & Niemi, P. (2009). Development of the letter identity span in reading: Evidence from the eye movement moving window paradigm. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102, 167–181.
- Hawelka, St. Gagl, B. & Wimmer, H. (2010). A dual-route perspective on eye movements of dyslexic readers. *Cognition*, 115, 367–379.
- Heller, D. & Radach, R. (1999). Eye movements in reading: Are two eyes better than one? In Becker, W., Deubel, H. & Mergner, T. (Eds.). *Current Oculomotor Research: Physiological and Psychological Aspects*. Plenum Publishers, New York.
- Heim, S., Tschierse, J., Amunts, K., Wilms, M., Vossel, S., Willmes, K. et al. (2008). Cognitive subtypes of dyslexia. *Acta Neurobiologiae Experimentals*, 68, 73–82.
- Hofmeister J., Heller, D. & Radach, R. (1999). The return sweep in reading. In Becker, W., Deubel, H. & Mergner, T. (Eds.). *Current Oculomotor Research: Physiological and Psychological Aspects*. New York, Plenum.
- Huestegge, L. (2010). Effects of vowel length on gaze durations in silent and oral reading. *Journal of Eye Movement Research*, 3, 1–18.
- Huestegge, L., Radach, R., Corbic, D. & Huestegge, S. M. (2009). Oculomotor and Linguistic Determinants of Reading Development: A Longitudinal Study. *Vision Research*, 49, 2948–2959.
- Hutzler F, Kronbichler M, Jacobs A. M., Wimmer H. (2006). Perhaps correlational but not causal: no effect of dyslexic readers' magnocellular system on their eye movements during reading. *Neuropsychologia*, 44, 637–48.
- Hutzler, F., & Wimmer, H. (2004). Eye movements of dyslexic children when reading in a regular orthography. *Brain and Language* 89 (1), 235–242.
- Hyönä, J. & Olson, R. K. (1995). Eye fixation patterns among dyslexic and normal readers: Effects of word length and word frequency. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 6, 1430–1440.
- Inhoff, A. W., Connine, C., Eiter, B., Radach, R., & Heller, D. (2004). Phonological representations of words in working memory during sentence reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11, 320–325.
- Inhoff, A. W., Connine, C. & Radach, R. (2002). A Contingent Speech Technique in Eye Movement Research on Reading. *Behavior Research Methods*. 34, 471–80.
- Inhoff, A. W., Solomon, M., Radach, R. & Seymour, B. (2011). Temporal dynamics of the eye voice span and eye movement control during oral reading. *Journal of Cognitive Psychology*, 23, 543–558.
- Inhoff, A. W. & Radach, R. (1998). Definition and Computation of Oculomotor Measures in the Study of Cognitive Processes. In Underwood, G. (Ed.). *Eye guidance in reading and scene perception*. Elsevier, Oxford.
- Inhoff, A. W. & Topolski, R. (1994). Use of phonological codes during eye fixations in reading and on-line delayed naming tasks. *Journal of Memory and Language*, 33, 689–713.
- Inhoff, A. W. & Weger, U. (2005). Memory for word location during reading: Eye movements to previously read words are spatially selective but not precise. *Memory & Cognition*, 33, 447-461.
- Inhoff, A. W., Weger, U. W., Radach, R. (2005). Sources of information for the programming of short- and long-range regressions during reading. In Underwood, G. (Ed.) *Cognitive Processes in Eye Guidance*. Oxford University Press.
- Jacobs, A. M., & Grainger, J. (1994). Models of visual word recognition: Sampling the state of the art. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1311–1334.
- Jacobs, A. M., Heller, D & Nazir, T. A. (1992). Möglichkeiten einer experimentellen Dyslexieforschung auf der Basis der aktuellen Lesepsychologie. *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie*, 51 (1), 26–42.
- Jainta S, Kapoula Z. (2011). Dyslexic children are confronted with unstable binocular fixation while reading. *PLoS One* 6, 6 (4): e18694.
- Kennedy, A., Brooks, R., Flynn, L.-A. Prophet, C. (2003). The reader's spatial code. In Hyönä, J., Radach, R. & Deubel, H. (Eds.). *The Mind's Eyes: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movements*. Elsevier Science, Oxford.
- Kirkby J. A., Blythe H. I., Drieghe D., Liversedge S. P. (2011). Reading text increases binocular disparity in dyslexic children. *PLoS One*. 6, Epub 2011 Nov 4.
- Klein, R., Berry, G., Briand, K., D'Entremont, B. & Farmer, M. (1990). Letter identification declines with increasing retinal eccentricity at the same rate for normal and dyslexic readers. *Perception and Psychophysics*, 47: 6, 601–606.
- Kliegl, R., Grabner, E., Rolfs, M., & Engbert, R. (2004). Length, frequency, and predictability effects of words on eye movements in reading. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 262–284.
- Kliegl, R., Olson, R. K. & Davidson, B. J. (1983). On problems of unconfounding perceptual and language processes. In K. Rayner (Ed.), *Eye Movements in Reading and Perceptual and Language Processes*. Academic Press, New York, 333–343.
- Kliegl, R., Nuthmann, A., & Engbert, R. (2006). Tracking the mind during reading: The influence of past, present, and future words on fixation durations. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135, 12–35.
- Krügel, A. & Engbert, R. (2010). On the launch-site effect for skipped words during reading. *Vision Research*, 50, 1532–1539
- Kuperman, V. & Van Dyke, J. A. (2011). Effects of individual differences in verbal skills on eye-movement patterns during sentence reading. *Journal of Memory & Language*, 65, 45–73.
- Lee Y., Binder K., Kim J., Pollatsek A. & Rayner K. (1999). Activation of phonological codes during eye fixations in reading. *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*, 25, 948–964.
- Lorusso, M. L., Facoetti, A., Pesenti, S., Cattaneo, C., Molteni, M. & Geiger, G. (2004). Wider recognition in peripheral vision common to different subtypes of dyslexia. *Vision Research*, 44:20, 2413–2424.
- McConkie, G. W., Zola, D., Grimes, J., Kerr, P. W., Bryant, N. R. & Wolff, P. M. (1991). Children's eye movements during reading. In J.F. Stein (Ed.), *Vision and visual dyslexia* (pp. 251–262). London: Macmillian Press.
- McConkie, G. W., Kerr, P. W., Reddix, M. D., Zola, D. & Jacobs, A. M. (1989). Eye movement control during reading: II. Frequency of refixating a word. *Perception & Psychophysics*, 46, 245–253.
- McConkie, G. W., Kerr, P. W., Reddix, M. D. & Zola, D. (1988). Eye movement control during reading: I. The location of initial eye fixations in words. *Vision research*, 28, 1107–1118.
- Moll, K., Wallner, R. & Landerl, K. (2012). Kognitive Korrelate der Lese-, Leserechtschreib und der Rechtschreibstörung. *Lernen und Lernstörungen*, 1, 7–20.

- Nuthmann, A., Engbert, R. (2009). Mindless reading revisited: an analysis based on the SWIFT model of eye-movement control. *Vision Research* 49, 322–36.
- Nuthmann A, Kliegl R. (2009). An examination of binocular reading fixations based on sentence corpus data. *Journal of Vision*, 29, 1–28.
- Olson, R. K., Connors, F. A. & Rack, J. P. (1991). Eye movements in dyslexic and normal readers. In J.F. Stein (Ed.), *Vision and visual dyslexia* (pp. 243–250). London: Macmillian Press.
- Olson, R. K., Kliegl, R. & Davidson, B. J. (1983). Dyslexic and normal readers' eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 816–825.
- O'Regan, J. K. (1992). Optimal viewing position in words and the strategy-tactics theory of eye movements in reading. In K. Rayner (Ed.), *Eye movements and visual cognition: Scene perception and reading* (pp. 333–354). New York: Springer.
- Pavlidis, G. T. (1981). Do eye movements hold the key to dyslexia? *Neuropsychologia*, 19, 57–64.
- Pollatsek, A., Lesch, M. Morris, R. K. & Rayner, K. (1992). Phonological codes are used in integrating information across saccades in word identification and reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 148–162.
- Prado, C., Dubois, M. & Valdois, S. (2007). The eye movements of dyslexic children during reading and visual search: impact of the visual attention span. *Vision Research*, 47, 2521–2530.
- Pirozolo, F. J. (1983). Eye movements and reading disability. In K. Rayner (Ed.), *Eye Movements in reading: Perceptual and language processes* (pp. 499–509). Academic Press, New York.
- Radach, R. (1994). Elementare Probleme der Informationsaufnahme beim Lesen. *Zeitschrift für Psychologie*, 202, 37–62.
- Radach, R. (1996). *Blickbewegungen beim Lesen*. Münster: Waxmann-Verlag.
- Radach R., & Heller D. (2000). Relations between Spatial and Temporal Aspects of Eye Movement Control. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller and J. Pynte (Eds.), *Reading as a Perceptual Process* (pp. 165–192) Elsevier, Oxford.
- Radach, R., Heller D. & Huestegge, L. (2002). Blickbewegungen beim Lesen: neueste Entwicklungen und Ansatzpunkte für die Legasthenieforschung. In *Legasthenie und Rechenstörung. Aktuelle Ergebnisse aus Praxis und Forschung*. Winkler-Verlag, Bochum, 2002.
- Radach, R., Huestegge, L. & Reilly, R. (2008). The role of top down factors in local eye movement control during reading. *Psychological Research*, 72, 675–688.
- Radach, R., Inhoff, A. W., & Heller, D. (2004). Orthographic regularity gradually modulates saccade amplitudes in reading. *Journal of Cognitive Psychology*, 16, 27–51.
- Radach, R. & McConkie, G. W. (1998). Determinants of fixation positions in words during reading. In Underwood, G. (Ed.). *Eye guidance in reading and scene perception*. Elsevier, Oxford.
- Radach, R., Reilly, R., & Inhoff, A. W. (2007). Models of oculomotor control in reading: Towards a theoretical foundation of current debates. In R. van Gompel, M. Fischer, W. Murray, & R. Hill: *Eye movements: A window on mind and brain*. Elsevier: Oxford, pp. 237–270.
- Radach, R., & Kennedy, A. (2004). Theoretical perspectives on eye movements in reading: Past controversies, current deficits and an agenda for future research. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 3–26.
- Radach, R., Schmitt, C., Glover, L., & Huestegge, L. (2009). How children read for comprehension: Eye movements in developing readers. In Wagner, R. K., Schatschneider, C., & Phythian-Sence, C. (Eds.) *Beyond Decoding: The Biological and Behavioral Foundations of Reading Comprehension*. Guilford Press. New York City.
- Radach, R., Wohlgenuth, Z., Vorstius, C. & Günther, T. (2009). Mindless reading? A new paradigm for visuomotor control and distributed processing during reading-like scanning. *15th European Conference on Eye Movements*. Southampton, England.
- Radach, R. & Vorstius, C. (2011). *Visual processing and spatial memory co-determine the accuracy of short and long range regressions in reading*. 16th European Conference on Eye Movements. Marseille, France.
- Ramus F., Rosen S., Dakin S.C., Day B.L., Castellote J.M., White S., Frith U. (2003). Theories of dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126, 841–65.
- Ram-Tsur, R., Faust, M., Caspi, A., Gordon, C.R., & Zivotofsky, A.Z. (2006). Evidence for ocular-motor deficits in developmental dyslexia: Application of the Double-Step Paradigm. *Investigative Ophthalmology Visual Science*, 47, 4401–4409.
- Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62:8, 1457–1506.
- Rayner, K. (1986). Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 41, 211–236.
- Rayner, K., & Fischer, M. H. (1996). Mindless reading revisited: eye movements during reading and scanning are different. *Perception & Psychophysics*, 58, 734–747.
- Rayner, K., Pollatsek, A., Ashby, J. & Clifton, C. (2011). *Psychology of reading*. Second Edition. Taylor & Francis, New York.
- Reichle, E. D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2003). The E-Z Reader model of eye movement control in reading: Comparisons to other models. *Behavioral and Brain Sciences*, 26, 445–476.
- Reilly, R., & Radach, R. (2006). Some empirical tests of an interactive activation model of eye movement control in reading. *Cognitive Systems Research*, 7, 34–55.
- Ruland, A., Willmes, K., & Günther, T. (2012). Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeitsdefiziten und Lese-Rechtsschreibschwäche. *Kindheit und Entwicklung*, 21 (1), 57–63.
- Schattka, K., Radach, R. & Huber, W. (2010). Eye movement correlates of acquired central dyslexia. *Neuropsychologia*, 48, 2959–2973.
- Schotter E. R., Angele B., Rayner K. (2012). Parafoveal processing in reading. *Attention, Perception and Psychophysics*, 74, 5–35.
- Sprenger-Charolles, L. (2011). Dyslexia subtypes in languages differing in orthographic transparency: English, French and Spanish. *Escritos de Psicología*, 4 (2), 5–16.
- Stein J. The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*. 2001, 7, 12–36.
- Stenneken P., Egetemeir, J. Schulte-Körne, G., Müller, H.-J. Werner X. Schneider, W. X. & Finke, K. (2011). Slow perceptual processing at the core of developmental dyslexia: A parameter-based assessment of visual attention. *Neuropsychologia* 49, 3454–3465.
- Tang S, Reilly RG, Vorstius C. (2011). EyeMap: a software system for visualizing and analyzing eye movement data in reading. *Behavioral Research Methods*, (epub ahead of print).
- Taylor, S. E., Frackenpohl, H., & Petee, J. L. (1960). Grade level norms for the components of the fundamental reading skill. E.D.L. *Research and Information Bulletin*, 3, Huntington, NY: Educational Developmental Labs, Inc.

- Thaler, V., Urton, K., Heine, Hawelka, S., Engl, V. & Jacobs, A. M. (2009). Different Behavioral and Eye Movement Patterns of Dyslexic Readers With and Without Attentional Deficits during Single Word Reading. *Neuropsychologia*, *47*, 2436–2445.
- Trauzettel-Klosinski, S., Koitzsch, A. M., Dürrwächter, U., Sokolov, A. N., Reinhard, J. & Klosinski, G. (2010). Eye movements in German-speaking children with and without dyslexia when reading aloud. *Acta Ophthalmologica*, *88*, 681–691.
- Underwood, N. R. & Zola, D. (1986). The span of letter recognition of good and poor readers. *Reading Research Quarterly*, *21*, 6–19.
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M. Snowling, M. J. & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry* *45*, 2–40.
- Vitu, F., O'Regan, J. K., Inhoff, A. W., & Topolski, R. (1995). Mindless reading: eye-movement characteristics are similar in scanning letter strings and reading texts. *Perception & Psychophysics*, *57*, 352–364.
- Wade, N. J., Tatler, B. W., & Heller, D. (2003). Dodge-ing the issue: Dodge, Javal, Hering, and the measurement of saccades in eye-movement research. *Perception*, *32* (7), 793–804.
- Wagner, R. K., Schatschneider, C., & Phythian-Sence, C. (Eds., 2009) *Beyond Decoding: The Biological and Behavioral Foundations of Reading Comprehension*. Guildford Press. New York City.
- Willcutt, E. G., Pennington, B., F., Olson, R. K., & Hulslander, J. (2005). Neuropsychological Analyses of Comorbidity Between Reading Disability and Attention Deficit Hyperactivity Disorder: In Search of the Common Deficit. *Developmental Neuropsychology*, *27*, 35–78.
- Wimmer, H. & Goswami, U. (1994). The influence of orthographic consistency on reading development: Word recognition in English and German children. *Cognition*, *51*, 91–103.
- Wimmer H., Schurz, M. (2010). Dyslexia in regular orthographies: manifestation and causation. *Dyslexia*, *16*, 283–99.
- Wolf, M. & Bowers, P. G. (1999). The double-deficit hypothesis for the developmental dyslexias. *Journal of Experimental Psychology*, *93*, 415–438.
- Wotschack C, Kliegl R. (2011). Reading strategy modulates parafoveal-on-foveal effects in sentence reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. [Sept. 20, Epub ahead of print]
- Ziegler, J. C., Pech-Georgel, C., Dufau, S. & Grainger, J. (2010). Rapid processing of letters, digits and symbols: what purely visual-attentional deficit in developmental dyslexia? *Developmental Sciences*, *13*: 4, F8–F14.
- Ziegler, J. C., Perry C., Ma-Wyatt A., Ladner D, Schulte-Körne G. (2003). Developmental dyslexia in different languages: Language-specific or universal? *Journal of Experimental Child Psychology*, *286*, 169–193.

Ralph Radach

Lehrstuhl für Allgemeine und Biologische Psychologie
 Bergische Universität Wuppertal
 Max-Horkheimer-Str. 20
 DE-42119 Wuppertal
 radach@uni-wuppertal.de