

# **Eye-Tracking: Anwendung in Grundlagenforschung und klinischer Praxis**

## **Eye Tracking in Basic Research and Clinical Practice**

K. D. Bartl-Pokorny<sup>1</sup>, F. Pokorny<sup>1</sup>, S. Bölte<sup>2</sup>, A. Langmann<sup>3</sup>, T. Falck-Ytter<sup>2,4</sup>, T. Wolin<sup>1</sup>, C. Einspieler<sup>1</sup>, J. Sigafos<sup>5</sup>, P. B. Marschik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Physiologie (IN:spired; Developmental Physiology & Developmental Neuroscience), Zentrum für Physiologische Medizin, Medizinische Universität Graz, Österreich

<sup>2</sup>Department of Women's and Children's Health, Karolinska Institutet Center of Neurodevelopmental Disorders (KIND), Karolinska Institutet Stockholm, Schweden

<sup>3</sup>Ambulanz für Schielen, Kinderophthalmologie & Rehabilitation Sehbehinderter, Augenklinik der Medizinischen Universität Graz, Österreich

<sup>4</sup>Department of Psychology, Uppsala University, Schweden

<sup>5</sup>School of Educational Psychology and Pedagogy, Victoria University of Wellington, Neuseeland

### **Korrespondenzadresse**

Ass.-Prof. Mag. DDr. Peter B. Marschik

Institut für Physiologie

Zentrum für Physiologische Medizin

Medizinische Universität Graz

Harrachgasse 21/5

8010 Graz, Österreich

Tel: +43-316-380-7629

E-Mail: peter.marschik@medunigraz.at

### **Schlüsselwörter**

Autismus, Autismus Spektrum Störungen, Dyslexie, Eye-Tracking, Legasthenie

### **Key words**

Autism, autism spectrum disorders, dyslexia, eye tracking

## **Zusammenfassung**

Eye-Tracking, eine nicht-invasive infrarotbasierte Videotechnik zur Aufzeichnung von Augenbewegungen, ermöglicht Einsichten in perzeptuelle Verarbeitungsprozesse und Rückschlüsse auf die Bewältigung kognitiver Aufgaben. Diese Methode findet breite Anwendung im medizinisch-wissenschaftlichen und klinischen Bereich, z.B. für ophthalmologische, neurologische, psychiatrische und neuropsychologische Fragestellungen. So zeigten z.B. Kinder, die später eine Autismus Spektrum Störung entwickelten frühe Auffälligkeiten im Blickverhalten in kommunikativen Settings während man bei Dyslektikern abweichende Augenbewegungsmuster beim Lesen beobachtete (längere Fixationen, kleinere Sakkaden). Die Verwendung von Eye-Tracking-Systemen in Kombination mit neurophysiologischen und bildgebenden Methoden lässt einen rasch zunehmenden Erkenntnisgewinn zum besseren Verständnis kognitiver und sprachlicher Prozesse sowie der sozio-kommunikativen Entwicklung und in weiterer Folge eine vermehrte klinische Anwendbarkeit dieser Methode erwarten.

## **Abstract**

Eye tracking is a noninvasive technique based on infrared video technology that is used to analyze eye movements. Such analyses might provide insights into perceptual and cognitive capacities. It is a method widely used in various disciplines, such as ophthalmology, neurology, psychiatry and neuropsychology for basic science, but also clinical practice. For example, recent studies on children who were later diagnosed with autism spectrum disorders revealed early abnormal eye movement patterns in socio-communicative settings; children with dyslexia appeared to also have peculiar eye movement patterns, expressed in longer fixation durations and smaller saccades while reading. Current research using eye tracking systems in combination with neurophysiological and brain imaging techniques will add to a better understanding of cognitive, linguistic and socio-communicative development and in the near future possibly also lead to a broader clinical application of this method.

## Hintergrund

Unter Eye-Tracking versteht man die computergestützte Aufzeichnung von Augenbewegungen, welche Einsichten in perzeptuelle Verarbeitungsprozesse (vor allem Aufmerksamkeitsprozesse) und Rückschlüsse auf die Bewältigung kognitiver Aufgaben ermöglicht. Ursprünglich war Eye-Tracking eine invasiv-mechanische Methode, zum Beispiel mittels auf die Augen aufgesetzter Kontaktlinsen mit hervorstehenden Aluminiumzeigern oder Spiegeln, während heutzutage die Messung von Augenbewegungen hauptsächlich mit nicht-invasiver infrarotbasierter Videotechnik durchgeführt wird [1, 2]. Unterschiedliche Eye-Tracking-Systeme, die eine Fixierung des Kopfes voraussetzen (tower-mounted), eine berührungslose Messung (remote) oder mobiles Eye-Tracking (head-mounted) erlauben, zeigen die vielfache Anwendbarkeit dieser Technologie. In den letzten Jahren haben sich die Anwendungsmöglichkeiten des Eye-Trackings stetig weiterentwickelt und erstrecken sich von marketingorientierten und sportwissenschaftlichen Erhebungen bis zu medizinischer Grundlagenforschung und klinischem Einsatz [3-10]. Diese Technologie erfährt derzeit im medizinisch-wissenschaftlichen und klinischen Bereich eine breite Anwendung von ophthalmologischen bis hin zu neurologischen, psychiatrischen und neuropsychologischen Fragestellungen: zum Beispiel zur Erforschung visueller Beeinträchtigungen bei Strabismus oder Grünem Star; für postoperative Untersuchungen nach Augenoperationen; Untersuchungen zu Besonderheiten der Augenbewegungen bei degenerativen neuronalen Erkrankungen wie zum Beispiel Morbus Parkinson, Chorea Huntington und multipler Sklerose. Darüber hinaus werden aktuell auch potentielle Anwendungen im Bereich der chirurgischen Ausbildung diskutiert [5, 7-9, 11, 12].

Neben Anwendungsgebieten des Eye-Trackings, die auf die Erfassung perzeptueller Prozesse bei Erwachsenen fokussieren, zeigt sich ein zunehmendes Interesse des Einsatzes dieser Methode im Bereich der Grundlagenforschung, aber auch an der Schnittstelle zur klinischen Anwendung bei Kindern und Jugendlichen. Nach einer einführenden Darstellung der Funktionsweise des Eye-Trackings möchten wir Einblicke geben in zwei Kernbereiche, für welche diese Methode einen essentiellen Beitrag zum Verständnis atypischer Entwicklung liefert: (1) Überlegungen zum physiologischen und pathophysiologischen Leseerwerb und (2) die Beschreibung perzeptueller Besonderheiten bei Kindern mit Autismus Spektrum Störungen (ASS) und ihr Beitrag zur potentiellen Früherkennung betroffener Kinder.

Wie bereits eingangs erwähnt werden in Abhängigkeit von der jeweiligen Forschungsrichtung und Fragestellung unterschiedliche Eye-Tracking-Systeme benötigt oder bevorzugt. Die Hauptunterschiede liegen dabei einerseits in der Bewegungsfreiheit der Versuchsperson während der Untersuchung (tower-mounted, remote oder head-mounted

Modelle; s.o.) und andererseits in der Abtastrate zur Detektion der Augenbewegungen [2]. Um engere Zeitfenster erfassen zu können, wird eine höhere zeitliche Auflösung benötigt, während für eine größere räumliche Genauigkeit (kleinflächige AOIs, areas of interest; z.B. Buchstaben oder einzelne Wörter) der Einsatz eines Systems, das eine Fixierung des Kopfes ermöglicht empfohlen ist. Bei Studien, in denen Daten mit geringerer räumlicher Genauigkeit erhoben werden (großflächige AOIs; z.B. ein größeres Objekt am Monitor) kann unter Umständen auf eine Fixierung des Kopfes verzichtet werden. Für Anwendungszwecke außerhalb des Labors, zum Beispiel für sportwissenschaftliche Studien zur Auge-Hand-Koordination oder Marketingstudien zur Erfassung von Blickpräferenzen bei Werbeinseraten, werden in der Regel mobile Eye-Tracking-Systeme wie Helme oder Brillen eingesetzt, die im Normalfall über geringere Abtastraten verfügen [6, 13].

### **Funktionsprinzip von *tower-mounted* Eye-Tracking-Systemen**

Der Einsatz eines Eye-Tracking-Systems mit Fixierung des Kopfes lässt sich bestmöglich anhand eines konkreten Szenarios, zum Beispiel der Erhebung der Augenbewegungen bei diversen Leseaufgaben, beschreiben. Für die Anwendung in longitudinalen Studien zum Sprach- und Schriftspracherwerb [z.B. 14-16] wird in unserem neurophysiologischen Labor (BRAINtegrity Lab am Institut für Physiologie der Medizinischen Universität Graz) ein *tower-mounted* Eye-Tracking-System mit 500Hz Abtastrate verwendet (iViewX HiSpeed; SensoMotoric Instruments; [www.smivision.com](http://www.smivision.com)). Dieses System erfüllt zwei für diese Untersuchungen wichtige Voraussetzungen: einerseits die Datenerhebung mit hoher Abtastrate (high-speed Systeme; ab 250Hz) und andererseits die Fixierung des Kopfes um Bewegungsartefakte weitgehend ausschließen zu können. Am Beginn der Untersuchung sind eine standardisierte Positionierung des Eye-Tracking-Systems (Abstand zum Stimulusmonitor) sowie eine an die Versuchsperson optimal angepasste Sitzposition inklusive Fixierung von Kinn und Stirn notwendig (Abb. 1a). Zur Erfassung der Augenbewegungen wird ein Infrarot-Lichtstrahl über einen Spiegel auf das Auge der Versuchsperson gerichtet (Abb. 1a), von der Pupille (i.e. dunkelster Bereich des Auges) größtenteils absorbiert und von den umliegenden Strukturen reflektiert. Daraus ergibt sich ein Infrarot-Bild des Auges, welches über den Spiegel mittels infrarotsensitiver Kamera erfasst wird. Dabei erscheint die Pupille – im scharfen Kontrast zum übrigen Bild – als dunkle Ellipse, während sich die Cornea-Reflexion (1. Purkinje-Reflexion; [1]) als eng umschriebener maximal reflektierter Bereich abbildet. Die Positionen des Spiegels und der Kamera sind individuell anzupassen (Abb. 1a) bis der Mittelpunkt der Pupille (Abb. 1b, weißes Kreuz) und die Cornea-Reflexion (Abb. 1b, schwarzes Kreuz) stabil detektiert werden [17]. Da sich bei Augenbewegungen der relative Abstand zwischen dem Mittelpunkt der

Pupille und der Cornea-Reflexion ändert (die Pupille bewegt sich schneller als die Cornea-Reflexion), kann die jeweilige Blickposition selbst bei minimalen Kopfbewegungen über den relativen Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Pupille und der Cornea-Reflexion ermittelt werden [z.B. 2, 18]. Hierfür ist der Leseaufgabe vorausgehend eine Kalibrierung erforderlich, um für eine definierbare Anzahl an vorgegebenen Punkten am Stimulusmonitor die dazugehörigen Relationen zwischen Mittelpunkt der Pupille und Cornea-Reflexion zu ermitteln [17]. Am Ende des Kalibrierungsvorgangs wird anhand von vier systemvorgegebenen Punkten die durchschnittliche Abweichung der Blickgenauigkeit in einem x- und y-Koordinatensystem überprüft (Abb. 1c). Bei zu großer Ungenauigkeit muss entweder eine Neukalibrierung oder sogar eine Veränderung der Basiseinstellungen durchgeführt werden. Bei einer ausreichenden Kalibrierungsgenauigkeit werden der Versuchsperson in einer anschließenden Leseuntersuchung zum Beispiel Wortlisten präsentiert, die leise zu lesen sind (Abb. 1d). Während die Versuchsperson liest, detektiert das Eye-Tracking-System in gewissen Intervallen, die von der Abtastrate des Systems abhängig sind, die Blickpositionen der Versuchsperson. In Abhängigkeit der Größe einer Veränderung der Blickposition definiert sich, ob die Augen über einen gewissen Zeitraum bewegt wurden (Sakkade) oder relativ unbewegt blieben (Fixation) [2]. Beim Lesen wird visuelle Information durchschnittlich 220 bis 250ms lang fixiert [19]. Die zwischen den Fixationen stattfindenden, bis zu 500°/s schnellen Sakkaden sorgen dafür, dass bei jeder neuen Fixation ein anderer als der zuvor fixierte Stimulus(bestandteil) in den Bereich des schärfsten Sehens (Fovea centralis) rückt [9, 20]. Neben den bereits erwähnten Fixationen und Sakkaden können je nach Anwendungszweck zusätzliche Augenbewegungen mit erhoben werden (z.B. Folgebewegungen oder smooth pursuit; Mikrosakkaden; Regressionen, die insbesondere bei Lesestudien von Bedeutung sind) [21]. Die mittels Auswertungssoftware (im konkreten Fall die systeminhärente Software BeGaze) ermittelten Werte beschreiben beispielsweise Größe und Geschwindigkeit von Sakkaden und Dauer und Position von Fixationen. Diese können für die weitere Bearbeitung in Standardprogrammen wie Microsoft Excel, MATLAB oder SPSS exportiert werden. Die Visualisierung der erhobenen Daten ist unter anderem in Form eines Scan Path möglich (Sakkaden werden als Linien dargestellt, Fixationen als Kreise; Abb. 1d), der als Bild oder Video exportiert werden kann.

Nun möchten wir einen kurzen Einblick in zwei Anwendungsgebiete des Eye-Trackings geben, die auch unterschiedliche Eye-Tracking-Systeme als Grundlage verwenden. Bevorzugt man für Studien zur Untersuchung des Leseerwerbs und seiner Störungen tower-mounted Modelle mit hoher Abtastrate, sind in der Untersuchung von Kindern mit einem Risiko für ASS vorwiegend remote Systeme mit vergleichsweise niedriger Abtastrate im Einsatz.

## **Eye-Tracking bei Kindern und Jugendlichen mit Dyslexie**

(Entwicklungs)Dyslexie, die nach ICD-10 [22] zu den umschriebenen Entwicklungsstörungen schulischer Fertigkeiten (F81.0 Lese-Rechtschreibstörung; F81.1 isolierte Rechtschreibstörung) zählt, liegt vor, wenn die Lese- und/oder Rechtschreibfähigkeiten zwei Standardabweichungen unter dem Durchschnitt liegen, das Intelligenzniveau hingegen zumindest durchschnittlich ist (Diskrepanzdefinition).

Dyslexie betrifft etwa 7% aller Kinder [23], wobei das Risiko dieser Entwicklungsstörung für Geschwister von Kindern mit Dyslexie 3,5-mal höher als für die Gesamtpopulation ist [24]. Neben sekundären Problemen wie Schwierigkeiten in der Schule, psychosozialen Problemen und Verhaltensauffälligkeiten [25] haben betroffene Kinder häufig komorbide Störungen wie Dyskalkulie und Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS), die eine adäquate Diagnose erschweren können [26, 27]. Wesentlich für eine potentielle zukünftige Früherkennung und gezielte Förderung von Kindern mit einem Risiko für Dyslexie ist die Beobachtung, dass viele Kinder mit niedrigerer Lesekompetenz bereits im Vorschul- und frühen Schulalter geringere sprachliche Fähigkeiten (z.B. phonologische Bewusstheit, Wortschatz, Grammatik) aufweisen als Kinder mit höherer Lesekompetenz [z.B. 16, 28].

Als ursächlich für das bei Kindern mit Dyslexie charakteristische langsame, häufig fehlerhafte Lesen, das auch mit Textverständnisproblemen einhergehen kann, werden insbesondere phonologische und auditive Schwierigkeiten, ein Defizit im Cerebellum, Probleme beim schnellen Benennen und visuelle Auffälligkeiten diskutiert [15]. Eine prominente Hypothese zu visuellen Verarbeitungsschwierigkeiten, die Magnozelluläre-Defizit-Hypothese, führt Leseschwierigkeiten auf eine Dysfunktion des magnozellulären Systems zurück, welches an der Verarbeitung schneller, bewegter, kontrastarmer Reize beteiligt ist und somit eine wichtige Rolle bei sakkadischen Augenbewegungen spielt [29].

Tatsächlich fanden Eye-Tracking-Studien Unterschiede in den Augenbewegungen zwischen Kindern mit und ohne Dyslexie. So wurde in Leseaufgaben vielfach gezeigt, dass Kinder mit Dyslexie mehr Sakkaden, kleinere Sakkaden, und mehr Regressionen (rückwärtsgerichtete Sakkaden) haben und Grapheme durchschnittlich länger fixieren als gleichaltrige Kinder ohne Dyslexie [15, 19, 30-34].

Pavlidis [35] fand auch bei Aufgaben, die keine sprachlichen Verarbeitungskapazitäten erforderten Unterschiede in den Augenbewegungen zwischen Kindern mit und ohne Dyslexie. Dieser Befund, der die Annahme eines visuellen

Verarbeitungsdefizits stützen könnte, wurde von Folgestudien allerdings nicht bestätigt [36, 37].

Für Leseaufgaben sind die Augenbewegungsmuster bei älteren Kindern und Jugendlichen mit Dyslexie interessanterweise ähnlich zu jenen, die bei sich typisch entwickelnden Lesern in frühen Leseerwerbsstadien zu finden sind [20]. Beim typischen Leseerwerb nehmen mit zunehmendem Alter und damit einhergehend zunehmender Leseerfahrung eines Kindes Fixationsdauer und Regressionen ab während Sakkaden an Größe zunehmen [19, 20, 38]. So konnten wir beispielsweise in einer Eye-Tracking-Fallstudie an zwei typisch entwickelten bilingualen Kindern zeigen, dass das jüngere für die gleiche Leseaufgabe mehr Sakkaden, längere Fixationen und einen größeren Anteil an Regressionen benötigte als das 20 Monate ältere Kind [39]. Diese Beobachtungen verdeutlichen die Notwendigkeit der Berücksichtigung von Alter und Lesekompetenz bei der Interpretation der Augenbewegungen beim Lesen.

Zahlreiche Studien führten zur Hypothese, dass die bei Leseaufgaben auffälligen Augenbewegungsmuster bei Dyslektikern perzeptuelle Verarbeitungsschwierigkeiten (zum Beispiel phonologische Defizite) widerspiegeln und dass die beobachteten Probleme beim Lesen nicht notwendigerweise Resultat fehlerhafter Augenbewegungen sind [32, 37].

### **Beitrag des Eye-Trackings zur potentiellen Früherkennung von Autismus Spektrum Störungen**

Autismus Spektrum Störungen (ASS), eine Reihe von verwandten tiefgreifenden Entwicklungsstörungen, werden nach DSM-IV-TR [40] und ICD-10 [22] durch Auffälligkeiten in folgenden drei Kernbereichen, auch als Trias bezeichnet, charakterisiert: (1) auffällige und verzögerte Sprach- und Kommunikationsentwicklung; (2) qualitative Beeinträchtigung der sozialen Interaktion und Reziprozität; sowie (3) stereotype Verhaltensmuster und eingeschränkte Interessen [41]. In den zukünftigen Klassifikationsschemata DSM-5 und ICD-11 wird eine Zusammenfassung der Kernbereiche (1) und (2) zur Domäne soziale Kommunikation erfolgen.

Im deutschsprachigen Raum werden ASS, die eine Prävalenz von etwa 1%, eine Erblichkeit bis zu 90% (Angaben zwischen etwa 30% und 90%) und ein Wiederholungsrisiko für Geschwister von etwa 18% aufweisen [42-47], oft noch spät, d.h. erst im Alter von 6 Jahren diagnostiziert [48]. Die späte Diagnose liegt unter anderem in der Heterogenität dieses Störungsbildes und seines Beginns begründet. Auffälligkeiten im Bereich der Kommunikations- und Sprachentwicklung (z.B. geringerer Blickkontakt; reduziertes Interesse

an Gesichtern; verspätetes und vermindertes Auftreten von Brabbeln oder anderen Vokalisationen; keine oder verzögerte Reaktion, wenn man das Kind beim Namen ruft) wurden bei vielen betroffenen Kindern bereits in den ersten beiden Lebensjahren beobachtet [vgl. u.a. 49-52], während bei anderen diese Entwicklungsphase scheinbar unauffällig verläuft und es später zu einem Verlust bereits erworbener Fähigkeiten kommt („regressive ASS“; [53]. Neben dieser Variabilität des Störungsbildes wird eine adäquate frühe Diagnose auch durch die erhebliche Bandbreite typischer Entwicklung und durch die Komorbidität mit unspezifischen Problemen bei Kindern mit ASS wie übermäßige Reizbarkeit, Hyperaktivität sowie Schlaf- und Fütterungsprobleme erschwert [Falck-Ytter T, Bölte S, Gredebäck G. Eye tracking in early autism research: a critical review. J Neurodev Disord; eingereicht]. Eine späte Diagnose von ASS mindert die Effizienz von Interventionen, da sensitive Phasen der kindlichen Entwicklung (insbesondere Sprach- und soziale Entwicklung) verpasst werden [54].

Dies unterstreicht den Wert der Früherkennung von ASS und resultiert in einer zunehmenden Anzahl an Studien zur frühen Entwicklung von betroffenen Kindern sowie von Kindern mit erhöhtem Risiko für ASS (high-risk Studien) mit unterschiedlichen methodischen Zugängen: retrospektive Videoanalysen, Einsatz von Fragebögen zur frühen Entwicklung, funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT), Elektroenzephalografie (EEG) und Eye-Tracking [z.B. 49, 55, Falck-Ytter T, Bölte S, Gredebäck G. Eye tracking in early autism research: a critical review. J Neurodev Disord; eingereicht]. Letzteres ermöglicht über die Erfassung des Blickverhaltens zum Beispiel neue Einsichten in und Rückschlüsse auf Schwierigkeiten, welche Kinder mit ASS in alltäglichen sozialen Interaktionen haben. Die Weiterentwicklung von Eye-Tracking-Systemen ohne Einschränkung von Kopfbewegungen vereinfachte die Anwendung dieser Methode bei jüngeren Kindern und ermöglichte somit eine exponentielle Zunahme an Studien, die Kinder mit ASS bzw. mit einem Risiko für ASS in den ersten drei Lebensjahren untersuchten [für einen Überblick siehe Falck-Ytter T, Bölte S, Gredebäck G. Eye tracking in early autism research: a critical review. J Neurodev Disord; eingereicht]. Von besonderem Interesse sind die Fixationsmuster betroffener Kinder beim Betrachten von kommunikativen Situationen oder Gesichtern bzw. deren Vergleich mit nicht-kommunikativen Settings. Chawarska et al. [56] beispielsweise präsentierten 13 bis 25 Monate alten Kindern ein Video in dem eine Person und mehrere Objekte (z.B. Spielzeug) gezeigt wurden. Gingen von der Person kommunikative Signale aus (z.B. kind-gerichtete Sprache, Augenkontakt), fixierten Kinder, die später mit ASS diagnostiziert wurden, das Gesicht der Person kürzer und Objekte in der Umgebung länger als Kinder ohne spätere ASS. In Sequenzen ohne kommunikativen Signalen (z.B. Person bereitet ein Sandwich zu ohne dabei in die Kamera zu schauen oder die Versuchsperson anzusprechen) unterschieden sich Kinder mit ASS hinsichtlich ihres Blickverhaltens nicht von jenen Kindern



ohne ASS [56]. Chawarska et al. [57] setzten dieselben Stimuli in einer unlängst publizierten prospektiven Studie an Kindern mit und ohne familiärem Risiko für ASS im Alter von 6 Monaten ein. Ebenso wie die etwas älteren Kinder mit ASS fixierten auch die 6 Monate alten Kinder, bei denen später ASS diagnostiziert wurde, die im Video präsentierte Person und deren Gesicht kürzer als Kinder, die sich normal entwickelten. Interessanterweise unterschieden sich die Gruppen in diesem Alter jedoch nicht hinsichtlich der Fixationszeit der Objekte in der Umgebung [57].

Weitere Unterschiede zeigten sich hinsichtlich der Fixationsdauer von verschiedenen Gesichtsregionen. Unterschiede fanden sich sowohl bei Kindern im zweiten und dritten Lebensjahr als auch bei Jugendlichen und Erwachsenen mit und ohne ASS [z.B. 56, 58-60]. Aus diesen Studien geht jedoch hervor, dass es kein einheitliches Bild des atypischen Blickverhaltens von Kindern mit ASS gibt. Die von Jones et al. [59] untersuchten 27 Monate alten Kinder mit ASS fixierten die Augenregion der in einem Video gezeigten Person kürzer und die Mundregion länger als die Kontrollgruppen mit normaler Entwicklung und Entwicklungsverzögerung. Chawarska et al. [56, 60] hingegen stellten bei Kindern mit und ohne ASS im zweiten und dritten Lebensjahr beim Betrachten von Bild- und Videostimuli keine Unterschiede hinsichtlich der Fixationsdauer der Augenregion fest, fanden jedoch bei Kindern mit ASS eine kürzere Fixationsdauer der Mundregion [56, 60]. Langzeitstudien an Kindern mit und ohne familiärem Risiko für ASS fanden im ersten Lebensjahr interessanterweise keinen Unterschied hinsichtlich der Fixationsdauer der verschiedenen Gesichtsregionen zwischen Kindern, die später eine ASS-Diagnose erhielten, und Kindern, die sich normal entwickelten [57, 61, 62].

Obwohl die oben genannten Befunde nicht homogen sind, kann man in allen Eye-Tracking-Studien zu ASS den generellen Trend erkennen, dass Kinder, die in weiterer Folge eine ASS-Diagnose erhalten, bereits in frühen Entwicklungsstadien Besonderheiten und Auffälligkeiten im Blickverhalten bei sozio-kommunikativen Settings haben.

## **Zusammenfassung und Ausblick**

Eye-Tracking-Untersuchungen leisten seit längerem einen unverzichtbaren Beitrag zum besseren Verständnis von kognitiven und sprachlichen Prozessen sowie sozio-kommunikativer Entwicklung von Kindern und Jugendlichen mit typischen und atypischen Entwicklungsverläufen. Die derzeit vielseitige Verwendung von Eye-Tracking-Systemen in der Grundlagenforschung lässt einen rasch zunehmenden Erkenntnisgewinn und in weiterer Folge eine vermehrte klinische Anwendbarkeit dieser Methode erwarten. Von besonderem Interesse sind künftig polymodale Erhebungen wie zum Beispiel die Verknüpfung von Eye-

Tracking-Technologie mit neurophysiologischen und bildgebenden Verfahren. Diese Methodenkombination wird in naher Zukunft entscheidend zum besseren Verständnis kognitiver und neurophysiologischer Besonderheiten beitragen.

## Danksagungen

Wir möchten uns sehr herzlich bei Ing. Gunter Vogrinec für technische Unterstützung und bei Martyna Galazka für methodische Diskussionen und Anregungen bedanken. SB, TFY, CE und PBM unterstützt von COST Action BM1004; gefördert von Land Steiermark, Stadt Graz, Franz Lanyar Stiftung (P337) und FWF (Fonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung P25241).

## Interessenkonflikt

Die Autoren und Autorinnen geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literaturangaben

- 1 *Duchowski AT*. Eye Tracking Methodology: Theory and Practice. New York: Springer; 2007
- 2 *Holmqvist K, Nyström M, Andersson R, Dewhurst R, Jarodzka H, Van de Weijer J*. Eye Tracking: A Comprehensive Guide to Methods and Measures. New York: Oxford University Press; 2011
- 3 *Rayner K, Rotello CM, Stewart A et al*. Integrating text and pictorial information: eye movements when looking at print advertisements. *J Exp Psychol Appl* 2001; 7: 219–226
- 4 *Rayner K, Miller B, Rotello CM*. Eye movements when looking at print advertisements: the goal of the viewer matters. *Appl Cogn Psychol* 2008; 22: 697–707
- 5 *Kanonidou E, Proudlock FA, Gottlob I*. Reading strategies in mild to moderate strabismic amblyopia: an eye movement investigation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010; 51: 3502–3508
- 6 *Heinen T*. Evidence for the spotting hypothesis in gymnasts. *Motor Control* 2011; 15: 267–284

- 7 *Uppal G, Feely MP, Crossland MD et al.* Assessment of reading behavior with an infrared eye tracker after 360° macular translocation for age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011; 52: 6486–6496
- 8 *Smith ND, Crabb DP, Glen FC et al.* Eye movements in patients with glaucoma when viewing images of everyday scenes. *Seeing Perceiving* 2012; 25: 471–492
- 9 *Anderson TJ, MacAskill MR.* Eye movements in patients with neurodegenerative disorders. *Nat Rev Neurol* 2013; doi: 10.1038/nrneurol.2012.273
- 10 *Antúnez L, Vidal L, Sapolinski A et al.* How do design features influence consumer attention when looking for nutritional information on food labels? Results from an eye-tracking study on pan bread labels. *Int J Food Sci Nutr* 2013; doi:10.3109/09637486.2012.759187
- 11 *Chen SI, Knox PC, Hiscott P et al.* Detection of the slipped extraocular muscle after strabismus surgery. *Ophthalmology* 2005; 112: 686–693
- 12 *Chetwood AS, Kwok KW, Sun LW et al.* Collaborative eye tracking: a potential training tool in laparoscopic surgery. *Surg Endosc* 2012; 26: 2003–2009
- 13 *Hurley RA, Galvarino J, Thackston E et al.* The effect of modifying structure to display product versus graphical representation on packaging. *Packag Technol Sci* 2012; doi: 10.1002/pts.1996
- 14 *Marschik PB, Einspieler C, Garzarolli B, Prechtel HFR.* Events at early development: are they associated with early word production and neurodevelopmental abilities at the preschool age? *Early Hum Dev* 2007; 83: 107–114
- 15 *Bartl-Pokorny KD, Landerl K, Einspieler C et al.* Dyslexie und ihre neuronale Signatur. *Klin Neurophysiol* 2011; 42: 166–171
- 16 *Bartl-Pokorny KD, Marschik PB, Sachse S et al.* Tracking development from early speech-language acquisition to reading skills at age 13. *Dev Neurorehabil* 2013; doi: 10.3109/17518423.2013.773101
- 17 *Nyström M, Andersson R, Holmqvist K, van de Weijer J.* The influence of calibration method and eye physiology on eyetracking data quality. *Behav Res* 2012; doi: 10.3758/s13428-012-0247-4
- 18 *Gredebäck G, Johnson S, von Hofsten C.* Eye tracking in infancy research. *Dev Neuropsychol* 2009; 35: 1–19

- 19 *Radach R, Günther T, Huestegge L.* Blickbewegungen beim Lesen, Leseentwicklung und Legasthenie. *Lern Lernstör* 2012; 1: 185–204
- 20 *Rayner K.* Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychol Bull* 1998; 124: 372–422
- 21 *Karatekin C.* Eye tracking studies of normative and atypical development. *Dev Rev* 2007; 27: 283–348
- 22 *World Health Organization.* The ICD-10 Classification of Mental and Behavioural Disorders: Clinical Description and Diagnostic Guidelines. Geneva: World Health Organization; 1992
- 23 *Peterson RL, Pennington BF.* Developmental dyslexia. *Lancet* 2012; 379: 1997–2007
- 24 *Ziegler A, König IR, Deimel W et al.* Developmental dyslexia – recurrence risk estimates from a German bi-center study using the single proband sib pair design. *Hum Hered* 2005; 59: 136–143
- 25 *Esser G, Wyschkon A, Schmidt MH.* Was wird aus Achtjährigen mit einer Lese- und Rechtschreibstörung – Ergebnisse im Alter von 25 Jahren. *Z Klin Psychol Psychiatr Psychother* 2002; 31: 235–242
- 26 *Willcutt EG, Pennington BF, Olson RK et al.* Understanding comorbidity: a twin study of reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Am J Med Genet B Neuropsychiatr Genet* 2007; 144: 709–714
- 27 *Landerl K, Moll K.* Comorbidity of learning disorders: prevalence and familial transmission. *J Child Psychol Psychiatry* 2010; 51: 287–294
- 28 *Scarborough HS.* Early identification of children at risk for reading disabilities: phonological awareness and some other promising predictors. In: Shapiro BK, Accardo PJ, Capute AJ, eds. *Specific Reading Disability – A View of the Spectrum*. Timonium: York; 1998: 75–119
- 29 *Stein J, Walsh V.* To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends Neurosci* 1997; 20: 147–152
- 30 *De Luca M, Borrelli M, Judica A et al.* Reading words and pseudowords: an eye movement study of developmental dyslexia. *Brain Lang* 2002; 80: 617–626
- 31 *Hutzler F, Wimmer H.* Eye movements of dyslexic children when reading a regular orthography. *Brain Lang* 2004; 89: 235–242

- 32 *Dürrwächter U, Sokolov AN, Reinhard J et al.* Word length and word frequency affect eye movements in dyslexic children reading in a regular (German) orthography. *Ann Dyslexia* 2010; 60: 86–101
- 33 *Trauzettel-Klosinski S, Koitzsch AM, Dürrwächter U et al.* Eye movements in German-speaking children with and without dyslexia when reading aloud. *Acta Ophthalmol* 2010; 88: 681–691
- 34 *Hatzidaki A, Gianneli M, Petrakis E et al.* Reading and visual processing in Greek dyslexic children: an eye movement study. *Dyslexia* 2011; 17: 85–104
- 35 *Pavlidis GT.* Do eye movements hold the key to dyslexia? *Neuropsychologia* 1981; 19: 57–64
- 36 *Wimmer H, Kronbichler M.* Legasthenie: neurokognitive Erklärungen auf dem Prüfstand. In: Schulte-Körne G, Hrsg. *Legasthenie: zum aktuellen Stand der Ursachenforschung, der diagnostischen Methoden und der Förderkonzepte.* Bochum: Winkler; 2002: 89–99
- 37 *Hutzler F, Kronbichler M, Jacobs AM et al.* Perhaps correlational but not causal: no effect of dyslexic readers' magnocellular system on their eye movements during reading. *Neuropsychologia* 2006; 44: 637–648
- 38 *Lefton LA, Nagle RJ, Johnson G et al.* Eye movement dynamics of good and poor readers: then and now. *J Read Behav* 1979; 11: 319–328
- 39 *Bartl-Pokorny KD, Theoharidou C, Dreu M et al.* Bilingualismus: eine Herausforderung für das sich entwickelnde Gehirn. *Klin Neurophysiol* 2012; 43: 196–202
- 40 *American Psychiatric Association.* *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (4 ed.). Washington: American Psychiatric Association; 2000
- 41 *Bölte S, Hrsg.* *Autismus: Spektrum, Ursachen, Diagnostik, Intervention, Perspektiven.* Bern: Huber; 2009
- 42 *Bailey A, Le Couteur A, Gottesman I et al.* Autism as a strongly genetic disorder: evidence from a British twin study. *Psychol Med* 1995; 25: 63–77
- 43 *Baird G, Simonoff E, Pickles A et al.* Prevalence of disorders of the autism spectrum in a population cohort of children in South Thames: the Special Needs and Autism Project (SNAP). *Lancet* 2006; 368: 210–215

- 44 *Bölte S, Hallmayer J*, eds. Autism spectrum conditions: FAQs on autism, Asperger syndrome and atypical autism answered by international experts. Cambridge: Hogrefe; 2011
- 45 *Hallmayer J, Cleveland S, Torres A et al*. Genetic heritability and shared environmental factors among twin pairs with autism. *Arch Gen Psychiatry* 2011; 68: 1095–1102
- 46 *Lichtenstein P, Carlström E, Råstam M et al*. The genetics of autism spectrum disorders and related neuropsychiatric disorders in childhood. *Am J Psychiatry* 2010; 167: 1357–1363
- 47 *Ozonoff S, Young GS, Carter A et al*. Recurrence risk for autism spectrum disorders: a Baby Siblings Research Consortium study. *Pediatrics* 2011; 128: e488–495
- 48 *Noterdaeme M, Hutzelmeyer-Nickels A*. Early symptoms and recognition of pervasive developmental disorders in Germany. *Autism* 2010; 14: 575–588
- 49 *Palomo R, Belinchon M, Ozonoff S*. Autism and family home movies: a comprehensive review. *J Dev Behav Pediatr* 2006; 27: S59–68
- 50 *Chawarska K, Paul R, Klin A et al*. Parental recognition of developmental problems in toddlers with autism spectrum disorders. *J Autism Dev Disord* 2007; 37: 62–72
- 51 *Landa RJ*. Early communication development and intervention for children with autism. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev* 2007; 13: 16–25
- 52 *Landa RJ*. Diagnosis of autism spectrum disorders in the first 3 years of life. *Nat Clin Pract Neurol* 2008; 4: 138–147
- 53 *Lord C, Shulman C, DiLavore P*. Regression and word loss in autistic spectrum disorders. *J Child Psychol Psychiatry* 2004; 45: 936–955
- 54 *Knudsen EI*. Sensitive periods in the development of the brain and behavior. *J Cogn Neurosci* 2004; 16: 1412–1425
- 55 *Bölte S, Marschik PB, Falck-Ytter T et al*. Infants at risk for autism: a European perspective on current status, challenges and opportunities. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 2012; doi: 10.1007/s00787-012-0368-4
- 56 *Chawarska K, Macari S, Shic F*. Context modulates attention to social scenes in toddlers with autism. *J Child Psychol Psychiatry* 2012; 53: 903–913

- 57 *Chawarska K, Macari S, Shic F.* Decreased spontaneous attention to social scenes in 6-month-old infants later diagnosed with autism spectrum disorders. *Biol Psychiatry* 2013; doi: 10.1016/j.biopsych.2012.11.022
- 58 *Klin A, Jones W, Schultz R et al.* Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism. *Arch Gen Psychiatry* 2002; 59: 809–816
- 59 *Jones W, Carr K, Klin A.* Absence of preferential looking to the eyes of approaching adults predicts level of social disability in 2-year-old toddlers with autism spectrum disorder. *Arch Gen Psychiatry* 2008; 65: 946–954
- 60 *Chawarska K, Shic F.* Looking but not seeing: atypical visual scanning and recognition of faces in 2 and 4-year-old children with autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord* 2009, 39: 1663–1672
- 61 *Elsabbagh M, Mercure E, Hudry K et al.* Infant neural sensitivity to dynamic eye gaze is associated with later emerging autism. *Curr Biol* 2012, 22: 338–342
- 62 *Young GS, Merin N, Rogers SJ et al.* Gaze behavior and affect at 6 months: predicting clinical outcomes and language development in typically developing infants and infants at risk for autism. *Dev Sci* 2009; 12: 798–814

## Abbildung

**Abb. 1** Funktionsprinzip eines tower-mounted Eye-Tracking-Systems (iViewX HiSpeed 500Hz; SensoMotoric Instruments; [www.smivision.com](http://www.smivision.com)): Vornehmen der Basiseinstellungen (**1a**); Überprüfung ob Pupillenmittelpunkt und Cornea-Reflexion im Infrarotbild stabil detektiert werden (**1b**); ist kein stabiles Bild detektierbar (rote Markierung), wird eine Neuüberprüfung des Infrarotbilds zum Beispiel nach Brillenwechsel oder Abschminken (**1bA**) respektive die Veränderung der Basiseinstellungen (**1bB**) notwendig; bei stabiler Detektion des Infrarotbilds (grüne Markierung) ist der folgende Schritt die Kalibrierung des Systems (**1c**); ist diese ungenau (rot), muss eine Neukalibrierung (**1cA**) bzw. sogar eine Veränderung der Basiseinstellungen (**1cB**) vorgenommen werden; nach erfolgreicher Kalibrierung (grün) kann mit der Durchführung der (Lese-)Untersuchung begonnen werden, gefolgt von Auswertung und Visualisierung der erhobenen Daten sowie Export für die weitere Bearbeitung (**1d**).



