

Periphere und zentrale Entwicklung des Sehvermögens

Die Entwicklung einer funktionierenden visuellen Wahrnehmung hängt sowohl von der Entwicklung der Augen als peripherem Sinnesorgan als auch ganz wesentlich von der Entwicklung der zentral-visuellen Wahrnehmung (ZVW) ab. Beide Komponenten sind zum Zeitpunkt der Geburt unreif. Ihre Entwicklung ist genetisch gesteuert, wird aber wesentlich durch eine Reihe externer Faktoren, wie zum Beispiel die visuelle Stimulation, beeinflusst. Dies gilt vor allem für die zentrale Wahrnehmung.

Von Mark Brotzmann und Peter Weber

Sehen ist eine aktive kognitive Leistung.

Das Sehen gilt zusammen mit dem Hören als Fernsinn und gewinnt gegenüber den Nahsinnen Fühlen, Geschmack und Geruch in der frühen Entwicklung des Kindes zunehmend an Bedeutung. Sehen hat die Aufgabe, sich ständig ändernde äussere Reize zu selektieren, zu organisieren und zu verarbeiten. So ist die schrittweise selektive Reizverarbeitung als aktive kognitive Leistung zu verstehen, wobei nicht nur einzelne Wahrnehmungselemente zu einem ganzen Objekt integriert werden. Vielmehr dient sie auch der Assoziation des Gesehenen mit Erfahrungen und Gedächtnisinhalten der wahrnehmenden Person und der Nutzung der visuellen Objekterfassung zur Handlungsplanung und Verhaltensreaktion. Für die visuelle Entwicklung existieren spezifische sensible Phasen, die aber zum Teil relativ grosse, mehrere Jahre anhaltende Zeitfenster umfassen.

Kenntnisse über die Entwicklung der visuellen Wahrnehmung und die frühzeitige Diagnostik ihrer Störung sind zusammenfassend relevant auch im Hinblick auf die Bedeutung der visuellen Funktionen für die allgemeine kognitive und soziale Entwicklung.

Entwicklung des peripheren visuellen Systems

Die Entwicklung des Auges ist nach der Geburt vor allem durch ein starkes Längenwachstum charakterisiert. Dadurch wird die postpartal bestehende physiologische Hyperopie beim Neugeborenen ausgeglichen. Dieser als Emmetropisation bezeichnete Prozess ist bei etwa 80 Prozent der Kinder am Ende des ersten Lebensjahres abgeschlossen, wengleich das Wachstum der Bulbi mit langsamer Geschwindigkeit bis ins Adoleszentenalter fortschreitet.

Neben dem Bulbuswachstum umfasst die Entwicklung des peripheren visuellen Systems auch die Rei-

fung der Retina, insbesondere der Makula und Fovea. Während die periphere Retina zum regulären Geburtstermin weitgehend ausgereift ist, sind wesentliche Reifungsprozesse der Sehschärfe, der Farb- und Kontrastwahrnehmung und des stereoskopischen Sehens an die Ausreifung der zentralen Retina gebunden. So steigt die Dichte der Stäbchen, die für die Sehschärfe verantwortlich sind, bei einem reif geborenen Kind von 18 Zapfen/100 μm in der ersten Lebenswoche auf 42 Zapfen/100 μm beim Erwachsenen (1). Sowohl die geringere Stäbchendichte als auch die physiologische Hyperopie erklären die mangelnde Sehschärfe des Neugeborenen. Die Fovea centralis als schärfster Anteil der Retina ist erst im Alter von zirka 4 Jahren voll ausgereift ([2]; zusammenfassend siehe [3]).

Zentrale visuelle Wahrnehmung

Die zentrale visuelle Wahrnehmung kann in zwei Phasen eingeteilt werden (zusammenfassend siehe [4]):

1. Assoziative Phase: Reizweiterleitung von der Retina über den Sehnerv zum Nucleus geniculatum laterale im Thalamus und der Sehstrahlung zum primären visuell-sensorischen Areal im okzipitalen Kortex (V1)
2. Perzeptive Phase: Weiterleitung der Sinneswahrnehmung zu den assoziativen Zentren im Parietal- und Temporalappen und anschliessend in den Frontallappen.

Entwicklung der visuellen ZNS-Strukturen

Die Reifung der organischen Strukturen für die assoziative Phase ist in den ersten Lebensmonaten vor allem durch eine enorme Zunahme der Myelinisierung der Nervenfasern sowie der Synapsendichte und infolgedessen des Volumens dieser Hirnareale gekenn-

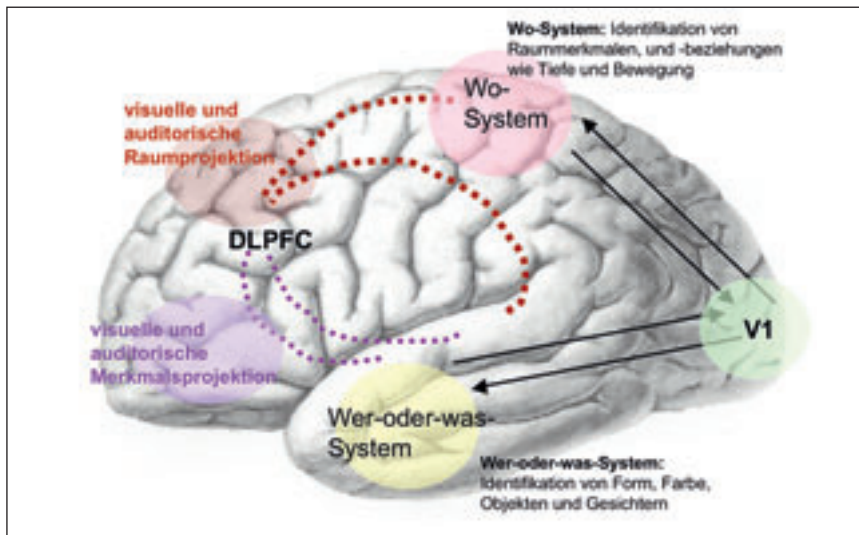


Abbildung: Darstellung der modularen und intermodalen Wahrnehmung der zentral-visuellen Perzeption (DLPFC: dorso-lateraler präfrontaler Kortex); vom parietalen Wo-System ebenso wie vom temporalen Wer-oder-was-System ziehen Projektionen zu Arealen des dorso-lateralen präfrontalen Kortex, die auf räumliche beziehungsweise objekt-spezifische Arbeitsgedächtnisleistungen spezialisiert sind. Hier werden die Informationen intermodal zusammengefügt mit Raum- und Objektinformationen aus dem auditiven und vermutlich auch taktil-haptischen Bereich.

zeichnet. Diese Reifung kann durch mangelnde visuelle Reize wesentlich beeinträchtigt werden. Man kann bei Kindern mit einer eingeschränkten Sehfähigkeit diese Reifungsprozesse durch eine kontrastreiche visuelle Stimulation unterstützen (siehe Interview zur visuellen Frühförderung in dieser Ausgabe: «Was bietet die Low-Vision-Förderung?»).

Die moderne Bildgebung, vor allem die funktionelle Kernspintomografie (fMRT), ermöglicht es, Reifungsvorgänge des zentralen Nervensystems in vivo zu untersuchen (5, 6). Vergleichende Untersuchungen an Säuglingen, Kindern und Erwachsenen konnten zeigen, dass während einer stroboskopischen Reizung mit Lichtblitzen unterschiedliche Areale der primären Sehrinde aktiviert werden. Im Gegensatz zu den Säuglingen und jungen Kindern kommt es bei Erwachsenen zur Aktivierung der gesamten kalkarinischen Fissur, bei Kindern bis etwas zum Alter von 2½ Jahren wird nur die anterolaterale Region der kalkarinischen Fissur aktiviert (7). Mit zunehmendem Alter der Kinder nimmt die aktivierte Region im okzipitalen Kortex linear zu (8, 9). Kinder mit funktionellen visuellen Defiziten oder einer funktionell verzögerten visuellen Reifung zeigen eine deutliche verzögerte Zunahme der aktivierten Kortexregion (8) als Hinweis auf eine externe Störbarkeit dieses Reifungsprozesses. Interessanterweise geht die Plastizität dieses Prozesses so weit, dass bei angeboren blinden Kindern der visuelle Kortex in die primäre auditive Reizverarbeitung involviert wird. Das Gehirn leistet es sich praktisch nicht, als primäre sensorische Zentren prädisponierte Kortexareale «ungenutzt» zu lassen.

Die fMRT zeigt nicht nur, dass sich die Lokalisation und Grösse des primär visuellen Kortex in den ersten Lebensjahren ändern, sondern sie dokumentiert über das zunehmende BOLD-Signal auch die zunehmend erhöhte Synapsendichte (8, 9); das mit dem BOLD-Signal assoziierte Aktivierungsmuster ist ein Hinweis auf eine zerebrale Luxusperfusion bei neuronaler Aktivierung (BOLD: blood oxygenation level dependent).

Die Myelinisierungsreife lässt sich mittels der Reifungsuntersuchung der visuell evozierten Potenziale belegen. Bei stroboskopischer Stimulation ebenso wie bei einer Stimulation mit umgekehrtem Schachbrettmuster kommt es bei Erwachsenen nach 100 ms zu einer typisch konfigurierten Potenzialschwankung, der P100. Vergleichbare Latenzen treten bei der Verwendung von Blitzlicht im Kindesalter frühestens ab einem Alter von 3 Monaten auf und sind mit 12 Lebensmonaten ausgereift nachweisbar. Bei komplexerer Musterstimulation, wie dem Schachbrettmustermuster, werden Erwachsenenwerte dagegen erst im jungen Schulalter erreicht (10), das heisst, schon die primäre Sinneswahrnehmung im primär visuellen Kortex unterliegt für unterschiedlich komplexe Stimuli unterschiedlichen zeitlichen Reifungsfenstern.

Wo- und Wer-oder-was-System

In der oben beschriebenen perceptiven Phase findet sich in den neuronalen Zellschichten inklusive V1 noch eine topografische Repräsentation des Gesichtsfeldes. Die weitere visuelle Reizverarbeitung in den sekundären Sehfeldern (V2–V5) erfolgt dagegen parallel und gesichtfeldübergreifend. Sie ist nicht mehr topografisch, sondern modular nach den Objekteigenschaften wie Form, Farbe, Tiefe, räumliche Beziehung und Bewegung organisiert.

Hierbei erfolgt die Analyse nach Form, Tiefe und Farbe funktionell im parvozellulären System (P-System), nach Bewegung und Raum im magnozellan System (M-System). Diese unterschiedlichen Systeme sind durch unterschiedliche zentrale Projektionsbahnen repräsentiert. Während das M-System zum parietalen Kortex projiziert, verbindet das P-System die Neuronen der V1-Region mit den neuronalen Netzwerken des Temporallappens. Das M-System wird auch als dorsales oder «Wo-System», das P-System als vorderes visuelles System beziehungsweise «Wer-oder-was-System» bezeichnet.

In der perceptiven Reizverarbeitung dient das Wo-System der Erkennung von Raum-Lage-Beziehungen und der Bewegungsdetektion. Aufgrund der parietalen Lokalisation ist eine räumliche Nähe zu den neuronalen Zentren der motorischen Planung und Steuerung vorhanden. Die Erkennung von Objektmerkmalen wie Form und Farbe im Wo-/Was-System zeigt eine räumliche Nähe zu den temporal lokalisierten neuronalen Zentren des Gedächtnisses und der (Wieder-)Erkennung.

Weitere zentrale Reizverarbeitungsrouten

Ergänzend zu diesen bekannten zentralen Verarbeitungsrouten der visuellen Wahrnehmung werden mehr als ein Dutzend weitere zentral-visuelle Reizverarbeitungswege diskutiert. Relevant sind in diesem Zusammenhang vor allem die extra-geniculo-striären Bahnen, die vor allem bei frühen Schädigungen der regulären Sehbahnen im Gegensatz zu der im Übrigen physiologischen Degeneration funktionell bestehen bleiben und kompensatorisch Sehfunktionen partiell unterstützen (zusammenfassend siehe [11]).

Weiter relevant für die Reifung der zentralen Seh-

Für die visuelle Entwicklung existieren spezifische heikle Phasen.

wahrnehmung ist die Entwicklung des frontalen Kortex. Vom parietalen Wo-System ebenso wie vom temporalen Wer-oder-was-System ziehen Projektionen zu Arealen des dorso-lateralen präfrontalen Kortex, die auf räumliche beziehungsweise objektspezifische Arbeitsgedächtnisleistungen spezialisiert sind. Hier werden die Informationen intermodal zusammengefügt mit Raum- und Objektinformationen aus dem auditiven und vermutlich auch taktil-haptischen Bereich (12, 13) (siehe *Abbildung*).

Entwicklung der Wahrnehmung für Farben, Objekte und Gesichter

Parallel zur Entwicklung und Ausreifung der zentralnervösen Strukturen entwickeln sich die Wahrnehmungsfunktionen.

In der Entwicklung der Farbwahrnehmung findet sich im ersten Lebensjahr eine Präferenz für Rot und Gelb, die etwa im dritten Lebensjahr auch die ersten benannten Farben sind. Die Differenzierung der Grundfarben ist spätestens im vierten Lebensjahr abgeschlossen.

Im Rahmen der Objektwahrnehmung weisen natürliche Objekte (living objects) in der Regel einen höheren Komplexitätsgrad auf als vom Menschen gemachte Dinge (nonliving objects). Die einfacheren «nonliving objects» sind in der Regel für jüngere Kinder einfacher zu kategorisieren und werden in der Folge in der visuellen Wahrnehmungsentwicklung präferiert.

Die Gesichterwahrnehmung impliziert initial im Alter von bis zu vier Wochen die Wahrnehmung einer einfachen rundlichen Figur. Zunehmend werden bis zum Alter von sechs Monaten die Gesichtselemente Augen, Nase und Mund in die differenzierte Wahrnehmung einbezogen. Dies erklärt, wieso beim Neugeborenen und jungen Säugling ein reflexives Lächeln und ein primitiver Imitationsreflex provozierbar ist, beim Kind ab sechs Monaten mit differenzierter ganzheitlicher Gesichterwahrnehmung aber eine Fremdelneigung beobachtbar ist, wenn die bekannten Bilder (z.B. Eltern) nicht mit dem aktuellen Wahrnehmungsbild im Wer-System kompatibel sind. Vor dem dritten Lebensmonat erfolgt die sukzessive Verarbeitung von Einzelteilen des Gesichts, zwischen dem dritten und sechsten Lebensmonat eine Parallelverarbeitung der Einzelelemente. Eine ganzheitliche Gesichterwahrnehmung ist erst ab dem sechsten bis siebten Lebensmonat möglich, eine Altersphase, in der das Fremdeln beginnt. Ebenso ist das Kind etwa ab diesem Alter in der Lage, sich kurz Erinnerungsbilder aufzubauen, womit als Zeichen erster visueller Gedächtnisbilder auch eine Objekt- (und Gesichter-)Permanenz entsteht (zusammenfassend siehe [11]).

Gesichterwahrnehmung und Emotion

Die Gesichterwahrnehmung erfolgt vor allem im Gyrus fusiformis, jene der Objektwahrnehmung betont im inferioren Gyrus temporalis. Die adäquate Ausreifung dieser Zuordnung scheint für die Entwicklung einer angemessenen sozialen Kompetenz relevant zu sein, da man zum Beispiel bei Autisten nachweisen

konnte, dass diese Zuordnung gestört ist und sie die oben genannten Areale aktivieren, unabhängig davon, ob sie Gesichter oder Objekte visuell wahrnehmen. In diesem Zusammenhang erscheint auch die Beobachtung relevant, dass die Kinder regulär eine Priorisierung der Wahrnehmung der Augen bei der Gesichterbetrachtung zeigen, währenddessen autistische Kinder zum Beispiel alle Gesichtererelemente gleich lang fixieren, falls sie überhaupt ein Gesicht anschauen (14–16).

Die Gesichterwahrnehmung ist regulär immer auch über neuronale Netzwerke mit Emotionen verbunden. Schon in der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahres können Säuglinge die unterschiedlichen emotionalen Gesichtsausdrücke wie Schmerz, Angst, Wut, Zorn oder Freude differenzieren und reagieren selbst mit Veränderungen ihrer emotionalen Gemütslage.

Zentral-visuelle Defizite nicht unterschätzen!

Die neuen Erkenntnisse zur zentral-visuellen Wahrnehmung (ZVW) implizieren ein verändertes Verständnis vom Begriff eines sehgeschwächten Kindes: Sehschwäche ist nicht mehr nur über die Bestimmung der Sehschärfe und/oder des Gesichtsfeldes definiert. Auch Defizite in der ZVW sind funktionell adaptiv der optischen Sehschwäche (Amblyopie) mindestens gleichzusetzen. Die Periode der zentralen visuellen Reifung ist sensibel und durch äussere Reize störanfällig. Eine normale Entwicklung der Verarbeitungswege der ZVW setzt voraus, dass das Gehirn optisch klare, scharfe und fokussierte Bilder von beiden Augen erhält. Daher ist es unerlässlich, optische Störeinflüsse wie zum Beispiel Refraktionsanomalien, Strabismus oder einen Katarakt rechtzeitig zu erkennen und, soweit möglich, zu therapieren.

Eine frühzeitige Identifikation durch den Pädiater ist im Rahmen der Vorsorgeuntersuchungen deshalb unerlässlich (17) (siehe auch Artikel «Ophthalmologische Vorsorgeuntersuchungen vom Säugling bis zum Adoleszenten» in dieser Ausgabe).

Verzögerte visuelle Reifung

Trotz adäquater visueller Reize weisen manche Kinder das Phänomen der verzögerten visuellen Reifung auf. Von einer verzögerten visuellen Reifung spricht man, wenn Kinder im frühen Säuglingsalter, ähnlich wie blinde Kinder, nicht fixieren oder visuell explorieren, um den sechsten Lebensmonat herum allerdings eine eindeutige Ausreifung ihres visuellen Verhaltens zeigen und im Alter von etwa zwölf Monaten eine weitgehend altersgerechte Sehschärfe besitzen (18, 19). Es werden nach Fielder und Mayer (20) 4 verschiedene Typen der verzögerten visuellen Reifung unterschieden:

- Typ 1a: anamnestisch keine Hinweise auf perinatale Risiken
- Typ 1b: gravierende perinatale Risiken, übriger neurologischer Status aber unauffällig
- Typ 2: Kinder, die neben der visuellen Reifungsverzögerung auch andere Zeichen der neurologischen Entwicklungsverzögerung aufweisen

Mangelnde visuelle Reize beeinträchtigen die Reifung.

Sehschwäche ist nicht nur über die Sehschärfe und/oder das Gesichtsfeld definiert.

- Typ 3: Kinder, bei denen die visuelle Reifungsverzögerung mit einem Nystagmus oder okulären Albinismus assoziiert ist
- Typ 4: Kinder, die neben der visuellen Reifungsverzögerung bilateral gravierende kongenitale oder okuläre Probleme aufweisen, wie retinale Dystrophie, Makulakolobome oder Hypoplasie des Sehnervs.

Entwicklung der Visuomotorik als intermodale Leistung

Im Rahmen der Entwicklung intermodaler Leistungen ist nicht nur die Entwicklung der oben bereits diskutierten Verknüpfung unterschiedlicher sensorischer Reize relevant, sondern auch die Verknüpfung sensorischer Reize zu motorischen Handlungen. Im Bereich des visuellen Systems findet hier vor allem die Entwicklung der Visuomotorik eine hohe Beachtung. Der am besten untersuchte Bereich der Visuomotorik ist die Entwicklung der Auge-Hand-Koordination, das heisst der Nutzung visueller Reize zur Verbesserung der Genauigkeit und Geschwindigkeit des Greifens. Bereits im Neugeborenenalter lassen sich spontane Bewegungen modifizieren, das heisst in diesem Fall vor allem Lateralisieren mit dem Angebot eines visuellen Reizes auf einer Seite (21). Dieses Phänomen verliert sich etwa in der vierten Lebenswoche und wird ab dem dritten bis vierten Lebensmonat von der Entwicklung eines gezielten Greifens abgelöst. Visuell präsentierte Objekte lösen ab diesem Alter den Versuch gezielter Bewegungen aus. Die visuelle Kontrolle dient in der Folge der Präzision des Greifens. Die Kinder nutzen zunehmend, zunächst parallel zur oralen und haptischen Exploration, im Verlauf exklusiv den Fernsinn zur Erkundung von Objekten. Die Anpassung des visuell gesteuerten Greifens an die Objektform und -grösse ist wesentlich an Reifungsprozesse im parietalen Kortex gebunden.

Ab dem zweiten Lebensjahr ist die Entwicklung der Visuomotorik zunehmend kognitiv gesteuert, das heisst sprachlich oder durch Modelllernen modifizierbar.

Bedeutung der visuellen Wahrnehmung im Rahmen kognitiver Entwicklungsdefizite

Die ZVW spielt offenbar für eine Reihe von Entwicklungs- und Lern- oder Leistungsstörungen eine zentrale Rolle und ist mit Störungen in anderen Entwicklungsbereichen assoziiert.

Die Bedeutung der ZVW im Kontext des Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätssyndroms oder die erhöhte Prävalenz von ZVW bei ehemaligen Frühgeborenen wurde bereits in früheren Übersichtsarbeiten diskutiert (4, 22). Interessant ist die Bedeutung der zentral-visuellen Wahrnehmungskompetenz auch bei einem Teil der Kinder mit Lern-/Leistungsstörungen. Man kann zwar davon ausgehen, dass bei der Mehrheit der Personen mit einer Dyslexie ein phonologisches Wahrnehmungsdefizit vorliegt (dysphonetische Subgruppe, ca. 75% der Dyslektiker), aber man findet bei etwa 10 bis 15 Prozent der Betroffenen vor allem perzeptive Defizite im Bereich der ZVW (dyseidetische

Subgruppe) (23) und bei einem kleinen Teil eine Kombination beider Wahrnehmungsstörungen (Dysphonetids).

Relevant scheinen zentral-visuelle Wahrnehmungsdefizite (v.a. visuo-räumliche Defizite) insbesondere auch mit der Dyskalkulie assoziiert zu sein (24). Interessant in diesem Zusammenhang ist vor allem die neuronale räumliche Lokalisation dieser beiden Fähigkeiten, die beide im Bereich des Sulcus interparietalis liegen. Dies könnte auch erklären, wieso nicht nur bei Kindern mit einer isolierten Dyskalkulie häufiger Schwächen im Bereich der visuo-räumlichen Wahrnehmung identifizierbar sind, sondern auch, zum Beispiel beim behavioralen Phänotyp des Williams-Beuren-Syndroms, sich neben einer relativen Sprachstärke Schwächen in der Entwicklung des Zahlenverständnisses und der visuo-räumlichen Wahrnehmung finden und durch die moderne Bildgebung volumetrische Reifungsabnormalitäten in der oben genannten Hirnregion dokumentiert werden konnten (25). Bezüglich der Diagnostik der peripheren Sehfähigkeit verweisen wir auf den oben genannten Artikel in dieser Ausgabe. Als Übersicht zu den diagnostischen Instrumentarien zur Erfassung der zentral-visuellen Wahrnehmung und allfälliger therapeutischer Massnahmen empfehlen wir die Arbeit von Karch et al. 2009 (11).

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. Peter Weber
Univ.-Kinderspital beider Basel
Spitalstr. 33, 4056 Basel
Tel. 061-704 19 06
E-Mail: Peter.Weber@ukbb.ch

Literatur:

1. Youdelis C, Hendrickson A: A qualitative and quantitative analysis of the human fovea during development. *Vision Research* 1986; 26: 847–855.
2. Boothe RG, Dobson V, Teller DY: Postnatal development of vision in human and nonhuman primates. *Annu Rev Neurosci* 1985; 8: 495.
3. Brémond-Gignac D, Copin H, Lapillonne A, Milazzo S, on behalf of the European Network of Study and Research in Eye Development (ENSRED). *Current Opinion in Ophthalmology* 2011; 22: S1–S8.
4. Weber P, Pache M, Kaiser HJ, Lütsch J: Entwicklung und Entwicklungsstörungen der zentral-visuellen Wahrnehmung 2002; 150: 62–69.
5. Goldberg G: *Neuropsychologie*. 2. Aufl., Fischer Verlag Stuttgart 1998.
6. Milner AD, Goodale MA: *The visual brain in action*. Oxford Psychology Series No 27, Oxford University Press, Oxford 1995.
7. Born P, Leth H, Miranda MJ, Rostrup E, Steensgaard A, Peitersen B, Larsson HBW, Lou HC: Visual activation in infants and young children studied by functional magnetic resonance imaging. *Pediatric Research* 1998; 44: 578–583.
8. Born P, Rostrup E, Leth H, Peitersen B, Lou HC: Change of visually induced cortical activation patterns during development. *Lancet* 1996; 347: 543.
9. Born P, Miranda MJ, Rostrup E, Toft PB, Peitersen B, Larsson HBW, Lou HC: Functional magnetic resonance imaging of the normal and abnormal visual system in early life. *Neuropediatrics* 2000; 31: 24–32.
10. Rothenberger A: *EEG und evozierte Potentiale im Kindes- und Jugendalter*. Springer, Berlin Heidelberg New York 1987.
11. Karch D, Kerckhoff D, Rosenkötter H, Trommer G, Weber P: *Visuelle Wahrnehmungsstörungen: Leitlinien der Gesellschaft Neuropädiatrie im Rahmen der AWMF 2009*; www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/022-020_S1_Visuelle_Wahrnehmungsstoerungen_06-2009_06-2014.pdf
12. Ungerleider LG, Mishkin M: Two cortical visual systems. In: Ingle DJ, Goodale MA, Mansfield RJW (ed): *Analysis of visual behavior*. MIT Press, Cambridge 1982, 549–586.
13. Romanski LM: Domain specificity in the primate prefrontal cortex. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience* 2004; 4: 421–429.
14. Klin A, Jones W, Schultz R, Volkmar F, Cohen D: Visual fixation patterns during vie-

Defizite in der zentral-visuellen Wahrnehmung sind der optischen Sehschwäche mindestens gleichzusetzen.

- wing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism. *Arch Gen Psychiatry* 2002; 59: 809–816.
15. Schultz RF: Developmental deficits in social perception in autism: the role of the amygdale and fusiform face area. *Int J Dev Neurosci* 2005; 23: 125–141.
16. Pierce K, Müller RA, Ambrose J, Allen G, Courchesne E: Face processing occurs outside the fusiform face area in autism: evidence from functional MRI *Brain* 2001; 124: 2059–2073.
17. American Academy of Pediatrics Committee on Practice and Ambulatory Medicine and Section on Ophthalmology, American Association of Certified Orthoptists, American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabism, American Academy of Ophthalmology: Policy Statement Organizational principles to guide and define the child healthcare system and/or improve the health of all children. Eye examination in infants, children, and young adults by pediatricians. *Pediatrics* 2003; 111: 902–907.
18. Jan JE, Freeman R: Who is a visual impaired child? *Dev Med Child Neurology* 1998; 40: 65–67.
19. Illingworth RS: Delayed visual maturation. *Archives Diseases Childhood* 1961; 36: 407–409.
20. Fielder AR, Mayer DL: Delayed visual maturation. *Semin Ophthalmol* 1991; 6: 182–193.
21. Von Hofsten C, Fazel-Sandy S: Development of visual guided hand orientation in reaching. *J Exp Child Psychol* 1984; 38: 208–219.
22. Ramenghi LA, Ricci D, Mercuri E, Groppo M, DeCarli A, Ometto A, Fumagalli M, Bassi L, Pisoni S, Cioni G, Mosca F: Visual performance and brain structures in the developing brain of pre-terms. *Early Hum Dev* 2010; 86: S73–S75.
23. Pache M, Weber P, Klump S, Gutzwiler P, Kaiser HJ: Visuelle Funktionen bei Legasthenie. *Ophthalmologie* 2004; 101: 907–913.
24. Shalev RS, Gross-Tsur V: Developmental dyscalculia. *Pediatr Neurol* 2001; 24: 337–342.
25. Meyer-Lindenberg A, Kohn P, Mervis CB, Kippenhan JS, Olson RK, Morris CA, Berman KF: Neural basis of genetically determined visuospatial construction deficit in Williams syndrome. *Neuron* 2004; 43: 623–631.