

M. von Aster<sup>2,3</sup>  
 K. Kucian<sup>1</sup>  
 E. Martin<sup>1</sup>

## Gehirnentwicklung und Dyskalkulie

### Brain Development and Dyscalculia

#### Zusammenfassung

Zahlenverarbeitung und Rechnen sind komplexe kognitive Leistungen, die durch ein Zusammenspiel von verschiedenen Hirnfunktionen erbracht werden. Die Entwicklung dieser Hirnfunktionen wird in einem Vier-Stufen-Modell beschrieben, das als Grundlage für die Erklärung von Rechenschwächen herangezogen wird. Nach aktuellem Forschungsstand kann davon ausgegangen werden, dass Menschen über gewisse angeborene numerische Kernkompetenzen verfügen, die es ihnen ermöglichen, Mengen nach ihrer Größe zu unterscheiden. Diese Kernkompetenz wird vermutlich in den Parietallappen des rechten und linken Gehirns gesteuert. In Abhängigkeit von kulturvermittelten Lernprozessen und der wachsenden Kapazität des Arbeitsgedächtnisses entwickeln sich die verschiedenen kognitiven Zahlenrepräsentationen im Verlauf der Kindheit und Jugend (Zahlworte, arabische Zahlen, ordinale Zahlenraumvorstellung). Diese Repräsentationen bilden sich als neuronale Netzwerke hauptsächlich in frontalen und parietalen Hirnregionen aus. Bei Kindern mit Rechenschwächen kommt es zu Störungen des Aufbaus und der Vernetzung dieser neuronalen Strukturen durch Einflüsse aus Anlage und Umwelt.

#### Schlüsselwörter

Dyskalkulie · Zahlenverarbeitung · Gehirn · Neuropsychologie · funktionelle Bildgebung · neuronale Netzwerke · Vier-Stufen-Entwicklungsmodell

#### Abstract

Number processing and calculation are complex cognitive skills, which are processed by an interaction of different brain functions. The Development of these brain functions is illustrated in a 4-step-model that serves to explain developmental dyscalculia. According to current research humans possess an innate competence for magnitude processing that is probably mediated by the parietal lobes. Different number representations (number word sequence, Arabic notation system, mental number line) develop during childhood depending on learning, environment and increasing capacity of working memory. In general, verbal and spatial number representations could be localized in frontal and parietal brain regions by functional brain imaging. Construction and connection of neuronal networks for number processing are expected to be disturbed in people with dyscalculia due to genetic or environmental influences.

#### Key words

Dyscalculia · number processing · brain · neuropsychology · brain imaging · neuronal networks · 4-step-model of development

#### Institutsangaben

<sup>1</sup> MR-Zentrum, Universitäts-Kinderkliniken Zürich (CH)

<sup>2</sup> Zentrum für Kinder- und Jugendpsychiatrie, Universität Zürich (CH)

<sup>3</sup> Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie, DRK-Kliniken Berlin/Westend (D)

#### Korrespondenzadresse

Dr. PD Michael von Aster · Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie · DRK Kliniken Berlin/Westend · Spandauer Damm 130 · 14050 Berlin · E-mail: vonaster@kipd.unizh.ch

#### Bibliografie

Sprache · Stimme · Gehör 2006; 30: 1–6 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

DOI ■

ISSN 0342-0477

**Lernziele**

Sie wissen, dass Rechnen eine hochkomplexe kognitive Leistung darstellt und auf verschiedenen Hirnfunktionen basiert. Zudem können Sie sich eine Vorstellung davon machen, wie sich mathematische Kompetenzen und die entsprechenden Hirnfunktionen entwickeln und in welchen Hirnregionen vermutlich Störungen dieser Reifungsprozesse zu erwarten sind, wenn Kinder eine spezifische Rechenschwäche zeigen.

**Ein Vier-Stufen-Entwicklungsmodell der Zahlenverarbeitung**

Wir werden nicht mit der Fähigkeit geboren, komplexe Berechnungen durchzuführen und Zahlen in unterschiedlichsten Lebenssituationen zu gebrauchen. Auch wenn es einen angeborenen Kern für diese Fähigkeiten gibt, so entwickeln sich diese Hirnfunktionen doch im Wesentlichen durch Lernen, teilweise durch implizites Lernen. Diese Lernprozesse finden zum grössten Teil in der Kindheit und Jugend statt, und die Schule hat hieran einen bedeutenden Anteil.

Geistigen Leistungen wie dem Rechnen liegen neuronale Strukturen und Prozesse zu Grunde, die sich heute mittels moderner bildgebender Verfahren messen, lokalisieren und sichtbar machen lassen. Dass diese neuronalen Strukturen erst durch Lernen entstehen und sich verändern, beruht auf dem Prinzip der erfahrungsabhängigen Neuroplastizität. Hinter diesem Begriff verbirgt sich die schlichte Erkenntnis, dass der Erwerb von Fähigkeiten und Wissen mit Veränderungen in der Struktur und in der Funktionsweise kortikaler Nervenzellen und ihrer Verbindungen einhergeht.

Bei einer so komplexen geistigen Tätigkeit wie dem Rechnen sind viele verschiedene Hirnfunktionen, die in unterschiedlichen Regionen des Gehirns lokalisiert sind, beteiligt. Wir benötigen Aufmerksamkeit, bildliche Vorstellungskraft, die Fähigkeit zu sprachlicher Begriffsbildung und auch sensorische Funktionen, um beispielsweise eine Anzahl von Gegenständen an realen Objekten, an den Fingern oder im Kopf abzuzählen.

Zu Beginn ist es nützlich, sich mit dem Entwicklungsziel zu befassen: Wie verarbeiten erwachsene Menschen Zahlen? Das von Dehaene [1] formulierte „Triple-Code-Model“ kann hierfür als zentraler Bezugspunkt gelten. Kurz zusammengefasst besagt es, dass Erwachsene über drei unterscheidbare, miteinander verbundene neuronale Netzwerke (sog. Module) verfügen, die entsprechend den verschiedenen repräsentationalen Eigenschaften und Funktionen von Zahlen (sprachlich-alphabetisches Zahlwort, visuell-arabische Notation, analoge mentale Zahlenraumvorstellung) in unterschiedlichen Regionen des Gehirns lokalisiert sind und bei umschriebenen Hirnschädigungen zu ganz unterschiedlichen Teilausfällen führen (siehe Abb. 1). Im Wesentlichen scheint die Verarbeitung von sprachlich gespeichertem Faktenwissen in einem links präfrontalen Netzwerk zu erfolgen, also in den sprachverarbeitenden Regionen. Schätzen und Zahlen nach ihrer Größe vergleichen benötigt dagegen eine Zahlenraumvorstellung, die in den beiden Scheitellappen lokalisiert zu sein scheint, also dort, wo visuell-räumliche Vorstellung verar-

beitet wird. Beim Umgang mit arabischen Zahlen werden schließlich zusätzlich okzipitale Regionen aktiviert [2].

Bei der Frage nach der Entwicklung dieses modularen Systems für Zahlen ist es unabdingbar, sich auf Ergebnisse der Entwicklungspsychologie und der Entwicklungs-Neuropsychologie zu beziehen. Dabei kommt es sowohl auf die Entwicklung grundlegender, domänen-übergreifender Funktionen wie Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis, als auch auf die Entwicklung der domänen-spezifischen numerischen Funktionen an (siehe Abb. 2).

Bereits Babys im Alter von wenigen Monaten können Mengen nach ihrer kardinalen Größe erfassen und unterscheiden. Dies wird allgemein als Beleg dafür angesehen, dass es eine angeborene numerische Grundkompetenz, sog. „core-systems“ [3] gibt, die eine Art Zahlen- oder Mengensinn darstellen [4] und in dem Vier-Stufen-Modell als erste Stufe erscheint. Dabei handelt es sich zum einen um die schon bei Säuglingen nachweisbare Fähigkeit, die Größe kleiner Mengen unmittelbar zu erfassen. Diese Fähigkeit wird im Englischen mit dem Begriff „subitizing“ bezeichnet.

Eine weitere Kernkompetenz liegt in der Fähigkeit zwischen größeren Mengen zu unterscheiden, sofern der Grössenunterschied (die Distanz) dieser Mengen groß genug ist. Subitizing und die Fähigkeit Mengen zu unterscheiden stellen keine erlernte Funktion dar, sondern ein von Beginn an vorhandenes Wissen, über das Erwachsene nicht besser oder schneller verfügen können als Kleinkinder. So können Kleinkinder zwischen 8 und 16 oder 16 und 32 Objekten sicher unterscheiden, jedoch nicht zwischen 8 und 12 oder 16 und 24. Diese vergleichende Beurteilung der Größe (Kardinalität) von Mengen fällt auch Erwachsenen umso leichter, je größer der Unterschied zwischen den zu beurteilenden Mengen ist. Je kleiner die numerische Distanz wird, desto schwieriger sind solche Entscheidungen zu treffen und desto mehr Zeit benötigen wir dazu (Distanzeffekt).

Die Entwicklung im Kleinkind- und Vorschulalter ist vor allem dadurch gekennzeichnet, dass Kinder mit Beginn der Sprachentwicklung die Zahlwortsequenz, Zählprinzipien (z.B. Eins-zu-Eins-Zuordnung, stabile Reihenfolge), das Zu- und Wegzählen zum Verändern von Mengen und Begriffe wie „mehr“ und „weniger“ gebrauchen lernen, sowie einfache arithmetische Operatio-

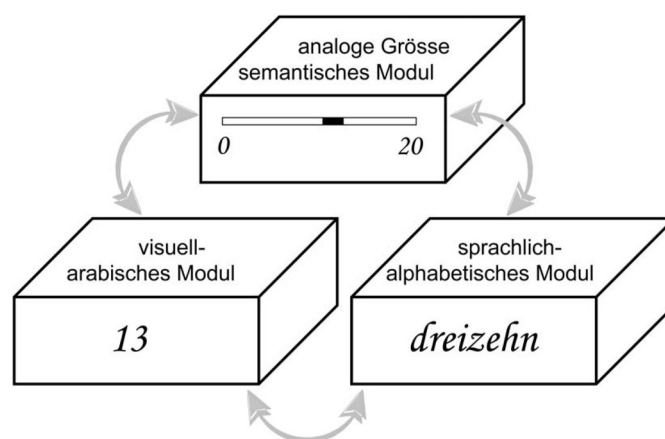


Abb. 1 Triple-Code-Modell nach Dehaene (1992)

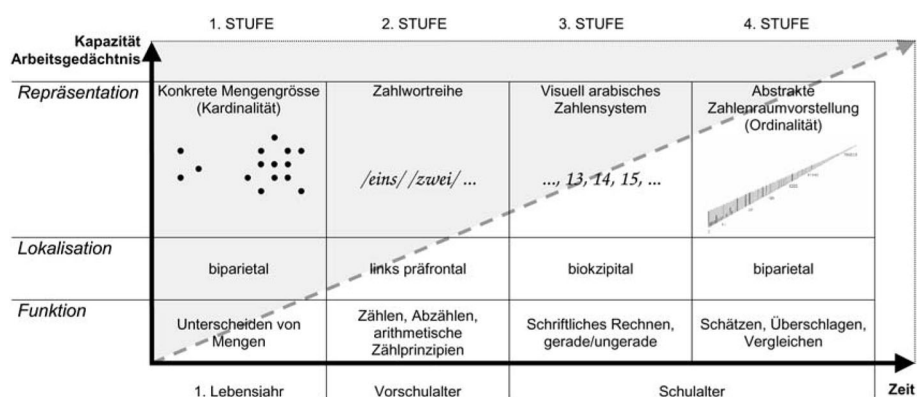


Abb. 2 Vier-Stufen-Modell der Entwicklung zahlenverarbeitender Hirnfunktionen (nach von Aster 2005).

nen (Additionen und Subtraktionen) durch Zählstrategien auszuführen beginnen. Diese Entwicklungsschritte erfolgen ohne systematischen Schulunterricht im Kontakt mit dem sozialen und familiären Umfeld und sind eng an den anschaulichen sensomotorischen Gebrauch der Finger gebunden (Stufe 2).

Schon im Vorschulalter, aber insbesondere mit dem einsetzenden Schulbesuch wird eine zweite, nicht-linguistische „Zahlsprache“, das arabische Notationssystem, erlernt (3. Stufe). Die arabischen Zahlen sind nur visuell repräsentiert und besitzen eine ganz eigene stellenwertbezogene Syntax, die sich mehr oder weniger stark von den verschiedenen linguistischen Zahlwort-Systemen unterscheidet. Die Kinder erlernen und automatisieren damit auch kulturspezifische Übersetzungsregeln für das Übertragen eines gesprochenen oder geschriebenen Zahlwortes in die entsprechende arabische Symbolik und umgekehrt. In der deutschen Zahlwortsequenz ergibt sich hier insbesondere die Schwierigkeit der Zehner-Einer-Inversion (einundzwanzig – 21).

Das arabische Notationssystem bildet nicht nur die Grundlage für den Umgang mit größeren Zahlen und den Erwerb von Grundrechenarten und komplexeren Rechenprozeduren, sondern – und dies findet im Schulunterricht weniger explizite Beachtung – auch für den Aufbau einer weiteren Zahlenrepräsentation, nämlich einer inneren Zahlenraum- oder Zahlenstrahl-Vorstellung (4. Stufe). Diese ausschließlich in der Vorstellung existierende mentale Repräsentation ordinaler Zahlen ermöglicht es, die Größe einer abstrakten Zahl im Vergleich zu einer anderen zu bestimmen, sich im Zahlenraum mental zu bewegen und arithmetisch zu manövrieren, Rechnungen zu schätzen und zu überschlagen. Untersuchungen an Erwachsenen [5] haben gezeigt, dass solche Zahlenraum- oder Zahlenstrahl-Vorstellungen zwar eine individuell sehr unterschiedliche visuell-räumliche Gestalt annehmen können, dass sie aber immer durch arabische Zahlensymbole (nicht etwa durch konkrete Mengen von Objekten) strukturell untergliedert sind und auch immer mit zunehmender Größe oder Entfernung eine räumliche Kompression erfahren, d.h. subjektiv erscheint der Abstand zwischen 5 und 9 größer als der zwischen 5765 und 5769 (Weber-Fechner-Gesetz, Größeneffekt).

Dass der mentale Zahlenstrahl erst während der ersten Grundschuljahre entsteht, findet einen experimentellen Beleg in der Tatsache, dass der sog. SNARC-Effekt (Spatial Numerical Associa-

tion of Response Codes) erst ab der 2. Klassenstufe nachweisbar ist. Er besagt, dass wir schneller mit der linken Hand auf kleinere Zahlen und schneller mit der rechten Hand auf größere Zahlen reagieren. Dieser Effekt beruht auf der Vorstellung, dass sich die linke Hand quasi virtuell näher an den kleinen Zahlen und die rechte Hand näher bei den großen Zahlen befindet. Eigenen Untersuchungen zufolge reagieren nur gut ein Drittel der Zweitklässler schneller mit der rechten Hand auf größere Zahlen und schneller mit der linken Hand auf kleinere Zahlen. Bei diesem Drittel existiert also schon eine räumliche, in Schreibrichtung ausgerichtete Vorstellung, die die größeren Zahlen näher an die rechte Hand und die kleineren Zahlen näher an die linke Hand projiziert. Dies ist bei zwei Dritteln der Zweitklässler noch nicht der Fall [6]. Ab der 3. Klasse zeigen Schulkinder dann mehrheitlich, wie Erwachsene, diesen SNARC-Effekt [8]. Vorher scheint eine solche abstrakte Zahlenraumvorstellung neuronal noch nicht repräsentiert und damit noch nicht automatisiert verfügbar zu sein.

Das in Abb. 2 dargestellte Modell stellt die verschiedenen Komponenten zahlenverarbeitender Hirnfunktionen in einen hierarchisch gegliederten Entwicklungszusammenhang [8,9]. Dieses Modell postuliert, dass die primären Fähigkeiten zur Unterscheidung konkreter (kardinaler) Mengen die bedeutungstragende Grundlage für den Prozess der Symbolisierung darstellen (Zahlworte und arabische Zahlen). Der Erwerb des Zahlwortsystems und des arabischen Notationssystems wiederum bildet die Voraussetzung für die Entwicklung der abstrakten, ordinalen Zahlenraumvorstellung.

Der Prozess der Entwicklung dieser verschiedenen Zahlenrepräsentationen und der an sie geknüpften Funktionen erfolgt einerseits in Abhängigkeit von der wachsenden Kapazität und Verfügbarkeit von domänen-übergreifenden Funktionen wie Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis, und er erfolgt andererseits erfahrungs-, d.h. umweltabhängig, stellt also einen Prozess dar, der sich in einem individuellen soziokulturellen Kontext ausprägt, in dem diese Funktionen benötigt werden.

### Was verändert sich im Gehirn?

Untersuchungen mit funktionell bildgebenden Verfahren (fMRI) scheinen wesentliche Aussagen des dargestellten Entwicklungsmodells zu bestätigen [10–13]. So hat sich gezeigt, dass die Ge-

hirnaktivität beim Lösen von Schätzaufgaben, die in arabischer Notation präsentiert wurden (z. B. 5 plus 3 ist eher 9 oder 4), bei Erwachsenen und Grundschulkindern unterschiedlich ist. Erwachsene aktivieren hauptsächlich ein neuronales Netzwerk im Scheitelhirn und zeigten dabei in unseren Untersuchungen ein Aktivitätsmaximum im intraparietalen Sulcus beider Hemisphären. Die Erwachsenen lösen diese Aufgaben sicher und schnell und gebrauchen hierfür offenbar ihre automatisierte innere Zahlenraumvorstellung. Die Kinder dagegen zeigten ihr Aktivitätsmaximum im anterioren Gyrus cinguli (im zentralen Stirnhirn). Sie benötigen mehr Zeit, müssen die Aufgaben denkend (z. B. mit Hilfe von Zählstrategien) lösen und gebrauchen hierfür offenbar intensiv die im Stirnhirn beheimateten Funktionen der Aufmerksamkeitssteuerung und des Arbeitsgedächtnisses. Eine automatisierte ordinale Zahlenraumvorstellung, die eine rasche Lösung ermöglichen würde, besitzen Grundschul Kinder noch nicht in dem Maße wie Erwachsene, was schon die Ergebnisse zum SNARC-Effekt gezeigt haben [6, 7]. Dies legt, wie im Modell dargestellt, nahe, dass sich mit wachsender Übung und Expertise das Zahlenstrahl-Netzwerk im Scheitelhirn ausbildet, und zwar erst während der Grundschulzeit.

#### Welche Unterschiede bestehen bei Kindern mit Rechenschwäche (Dyskalkulie), und wie lassen sie sich erklären?

Aus dem dargestellten Entwicklungsmodell lässt sich ableiten, dass die Entwicklung der verschiedenen Zahlenrepräsentationen und der dazugehörenden neuronalen Prozesse auf verschiedenen frühen und späteren Stufen beeinflusst und in seiner Entwicklung gestört werden kann:

Frühe Störungen können die genetische Anlage der numerischen „core-systems“ betreffen oder die Entwicklung grundlegender Voraussetzungen von Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis, z. B. infolge frühkindlicher stressbedingter Regulationsstörungen. Auch Störungen der Sprachentwicklung und der Entwicklung visuell-räumlicher Basisfunktionen können den Aufbau linguistischer bzw. visuell-räumlicher Zahlenrepräsentationen behindern. So hat sich beispielsweise gezeigt, dass Schulkinder mit Störungen der visuell-räumlichen Verarbeitung keinen SNARC-Effekt haben, während dies bei gleichaltrigen Kindern ohne Beeinträchtigungen der Fall war [14].

Aus der klinischen Forschung kennen wir zahlreiche Ergebnisse, die solche Verknüpfungen im Sinne von Komorbiditäten bestätigen [15]. Unter Kindern mit Rechenstörungen finden sich gehäuft solche, die gleichzeitig Defizite in den visuell-räumlichen Verarbeitungsleistungen und auch in den motorischen Funktionen zeigen. Diese Konstellation bildet den Kern verschiedener syndromatischer Konzepte, wie dem des „Nonverbal Learning Disability Syndrome“ (NLD) oder des „Developmental Gerstmann Syndrome“ (DGS) [16]. Eine andere häufige Komorbidität besteht mit Störungen des Sprach- und Schriftspracherwerbs. Bei diesen Kindern, die gemäß ICD-10 [17] an kombinierten schulischen Entwicklungsstörungen leiden, finden sich ausserdem besonders hohe Ausprägungen von Symptomen verminderter Aufmerksamkeit [18]. Eine detaillierte Diskussion von Befunden und theoretischen Annahmen zu derartigen Komorbiditäten präsentieren Fussenegger und Landerl in diesem Heft.

Natürlich gibt es darüber hinaus aber zahlreiche Kinder mit Rechenstörungen, bei denen keinerlei Defizite in anderen Funktionsbereichen bestehen, und bei denen andere Gründe für das Misslingen oder Ausbleiben spezifischer Lernprozesse in Frage kommen. Hier sind verschiedene Wirkfaktoren in den individuellen vorschulischen und schulischen Lernbiographien zu berücksichtigen, wie z. B. Probleme mit der Zahlenlinguistik bei mehrsprachig aufwachsenden Kindern oder Probleme, die sich aus den Erfahrungen von Misserfolg, Angst und Vermeidung ergeben und die klinisch als emotionale Störungen in Erscheinung treten können (vgl. Krinzinger & Kaufmann in diesem Heft).

Das Vier-Stufen-Modell sagt voraus, dass die verschiedenen möglichen Ursachenkonstellationen letztendlich alle in einer ausbleibenden oder verzögerten Entwicklung von Zahlenraumvorstellungen im Grundschulalter münden. Unterstützung findet diese Annahme in den Ergebnissen einer fMRI-Studie [19], in der die Hirnaktivität von rechenschwachen und normal entwickelten Grundschulkindern beim Lösen von einfachen arithmetischen Aufgaben verglichen wurde. In Abb. 3 lässt sich erkennen, dass die rechenschwachen Kinder dieselben parietalen und frontalen Regionen aktivierten wie die normal entwickelten Kinder. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen bestand darin, dass die rechenschwachen Kinder sowohl in den frontalen Abschnitten (anterioren Gyrus cinguli) als auch in den parietalen Regionen eine deutlich schwächere Aktivität zeigten als ihre nicht rechenschwachen Altersgenossen.

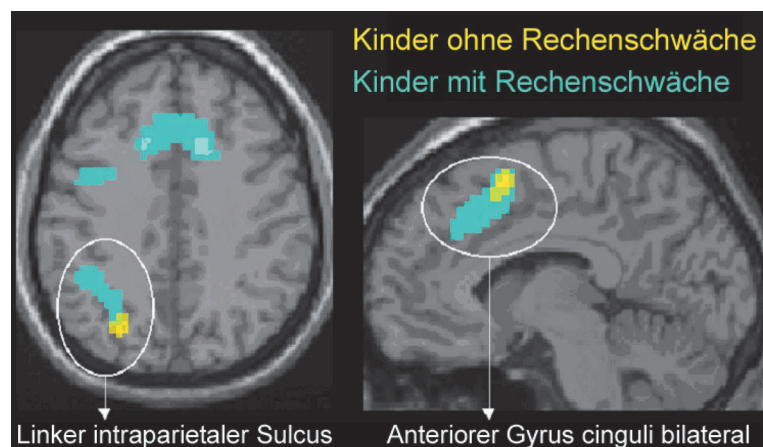


Abb. 3 Hirnaktivität (fMRI) beim Kopfrechnen bei Kindern mit und ohne Dyskalkulie (nach Kucian et al., submitted).

Dieses Ergebnis lässt sich in zweifacher Hinsicht interpretieren: Die schwächere frontale Aktivierung im Gyrus cinguli kann bedeuten, dass primär systemübergreifende Funktionen der Aufmerksamkeitssteuerung und des Arbeitsgedächtnisses bei den rechenschwachen Kindern (oder bei einem Teil dieser Kinder) gestört sind und deshalb nicht ausreichen, um das parietale Zahlenraum-Netzwerk in dem Maße auszubilden, wie das bei ihren Altersgenossen der Fall zu sein scheint. Zum anderen kann dieses Ergebnis bedeuten, dass bei den rechenschwachen Kindern (oder bei einem Teil dieser Kinder) eine primäre parietale Verarbeitungsschwäche besteht, was klinisch häufig mit generell verminderten visuell-räumlichen Syntheseleistungen einhergeht. Im ersten Fall hätten wir es eher mit Kindern zu tun, die zusätzlich zur Rechenstörung auch Probleme beim Schriftspracherwerb und Symptome einer Aufmerksamkeitsstörung zeigen, im zweiten Fall dagegen handelt es sich eher um Kinder vom NLD-Typ mit umschriebenen Rechenstörungen.

Therapeutisch lassen sich für diese beiden möglichen Gruppen verschiedene Akzentsetzungen ableiten, was das Training von domänen-übergreifenden Funktionen von Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis betrifft, und was das Training von domänenspezifischen Funktionen der Zahlenverarbeitung und des Rechnens betrifft.

### Schlussfolgerungen für Diagnostik und Therapie

Allgemein lässt sich sagen, dass die Diagnostik und Therapie zahlenverarbeitender Hirnfunktionen immer in differentieller Weise die verschiedenen möglichen Komponenten berücksichtigen muss, die in der Entwicklung betroffen sein können. Ein übergreifendes Ziel besteht in der Ausbildung geeigneter ordinaler Zahlenraumvorstellungen.

Die Diagnostik sollte zu einem Verständnis der individuellen, entwicklungsbezogenen Störung führen, damit aus ihr geeignete Förder- und Therapieschritte abgeleitet und dem Kind und den Bezugspersonen erklärt werden können. Wichtige Bestandteile der Diagnostik sind die Untersuchung neuropsychologischer Basisfunktionen (Sprachverarbeitung, visuell-räumliche Syntheseleistungen, Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis) sowie eine Überprüfung der Lese- und Rechtschreibkompetenz und des neuromotorischen Entwicklungsstandes. Ebenso wichtig erscheint es, sich ein Bild über das psychische Befinden des Kindes zu machen. Dies schließt schulbezogene Einstellungen, mögliche Ängste, Selbstwertprobleme und depressive Symptome ein, die allesamt die Funktionen von Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis beeinträchtigen können.

Die Untersuchung der spezifischen Funktionen der Zahlenverarbeitung und des Rechnens sollte alle relevanten Teilaspekte berücksichtigen. Die neuropsychologische Testbatterie für Zahlenverarbeitung und Rechnen bei Kindern (ZAREKI-R) [20] bietet hier im Rahmen von zwölf Subtests eine inhaltsbezogene Diagnosestellung, die gleichzeitig Hinweise auf die Art der spezifischen Schwierigkeiten und die daraus abzuleitenden Ziele für Förder- und Therapiemaßnahmen ermöglicht.

Begleitende psychotherapeutische, verhaltenstherapeutische und medikamentöse Behandlungsmaßnahmen sind dann zu erwägen, wenn der Schweregrad gleichzeitig bestehender Störungen im Bereich des emotionalen Erlebens, der Verhaltensregulation oder der Aufmerksamkeit dies nahe legen.

Um sekundären emotionalen Störungen und ungünstigen Lernentwicklungen bis hin zu schulvermeidendem Verhalten vorzubeugen, sollte eine Diagnosestellung so früh wie möglich erfolgen. Heute ist es bereits möglich, im Kindergartenalter Vorläuferfertigkeiten zu erfassen, die eine Risikobestimmung für eine spätere Dyskalkulie gestatten (ZAREKI-K), was eine Chance eröffnet für frühzeitige und präventiv wirksame Förderangebote.

### Multiple-Choice Fragen (mehrere Antwortmöglichkeiten)

#### 1) Zahlenverarbeitende Hirnfunktionen...

- sind angeboren.
- entwickeln sich erfahrungsabhängig.
- sind in einem kortikalen Rechenzentrum lokalisiert.
- reifen in verschiedenen Hirnregionen.

#### 2) Welche Aussage/n sind falsch?

- Rechenstörungen im Kindesalter sind selten und wachsen sich aus.
- Rechenstörungen sind ebenso häufig wie Lese-Rechtschreibstörungen.
- Rechenstörungen zeigen ein einheitliches Erscheinungsbild.
- Die Ursache einer Rechenstörung ist eine generell verminderte Kapazität von Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis.
- Aufgrund von Verhaltensstudien und bildgebenden Studien kann angenommen werden, dass Dyskalkuliker im speziellen mit der abstrakt-räumlichen Zahlenvorstellung Probleme haben.

### Lösungen:

- a, b, d
- a, c, d

### Literatur

- Dehaene S. Varieties of numerical abilities. *Cognition* 1992; 44: 1–42
- Dehaene S, Spelke E, Pinel P et al. Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence. *Science* 1999; 284 (5416): 970–974
- Feigenson L, Dehaene S, Spelke E. Core systems of number. *Core systems of number* 2004; 8 (7): 307–314
- Dehaene S. *The Number Sense: How the Mind Creates Mathematics*. Oxford: University Press, 1997
- Seron X, Pesenti M, Noel MP et al. Images of numbers, or „When 98 is upper left and 6 sky blue“. *Images of numbers, or „When 98 is upper left and 6 sky blue“* 1992; 44 (1–2): 159–196
- Schweiter M, Weinhold Zulauf M, von Aster MG. Die Entwicklung räumlicher Zahlenrepräsentationen und Rechenfertigkeiten bei Kindern. *Neuropsychologie* 2005; 16 (2): 105–113
- Berch DB, Foley EJ, Hill RJ et al. Extracting Parity and Magnitude from Arabic Numerals: Developmental Changes in Number Processing and Mental Representation. *J Exp Child Psychol* 1999; 74: 286–308
- von Aster MG. Umschriebene Entwicklungsstörungen des Rechnens. In: B Herpertz-Dahlmann, F Resch, M Schulte-Markwort & A Warnke. *Lehrbuch der Entwicklungspsychiatrie* Stuttgart: Schattauer, 2003

- <sup>9</sup> von Aster MG. Wie kommen Zahlen in den Kopf? Ein neurowissenschaftliches Modell der Entwicklung zahlenverarbeitender Hirnfunktionen. In: von Aster MG und Lorenz JH (Hrsg.). *Rechenstörungen bei Kindern*. Neurowissenschaft, Psychologie, Pädagogik Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 2005
- <sup>10</sup> Rivera SM, Reiss AL, Eckert MA, Menon V. Developmental Changes in Mental Arithmetic: Evidence for Increased Functional Specialization in the Left Inferior Parietal Cortex. *Cereb Cortex*, 2005
- <sup>11</sup> Kucian K, Loenneker T, Dietrich T et al. Development of Neural Networks for Number Processing: an fMRI Study in Children and Adults. *NeuroImage* 2005; 26 (S1): 46
- <sup>12</sup> Ansari D, Garcia N, Lucas E et al. Neural correlates of symbolic number processing in children and adults. *Neural correlates of symbolic number processing in children and adults* 2005; 16 (16): 1769 – 1773
- <sup>13</sup> Cantlon JF, Brannon EM, Carter EJ, Pelphrey KA. Functional Imaging of Numerical Processing in Adults and 4-y-Old Children. *PLoS Biol* 2006; 4 (5): e125
- <sup>14</sup> Bachot J, Gevers W, Fias W, Roeyers H. Number sense in children with visuospatial disabilities: orientation of the mental number line. *Psychology Science* 2005; 47: 172 – 184
- <sup>15</sup> Shalev RS. Developmental dyscalculia. *J Child Neurol* 2004; 19 (10): 765 – 771
- <sup>16</sup> von Aster MG. Developmental cognitive neuropsychology of number processing and calculation: varieties of developmental dyscalculia. *European Child and Adolescent Psychiatry* 2000; 9: 41 – 57
- <sup>17</sup> WH O. ICD-10. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision. ICD-10. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision 2005, Chapter V: Mental and behavioral disorders (F81.2)
- <sup>18</sup> Schweiter M, Weinhold Zulauf M, von Aster MG. *Rechenstörungen bei Kindern: Vorläufer, Prävalenz und psychische Symptome*. Entwicklungspsychologie und pädagogische Psychologie, 2006; eingereicht
- <sup>19</sup> Kucian K, Loenneker T, Dietrich T et al. Evidence for impaired neural networks for number processing in children with developmental dyscalculia. Behavioral and brain functions, submitted
- <sup>20</sup> von Aster MG, Weinhold Zulauf M, Horn R. *Neuropsychologische Testbatterie für Zahlenverarbeitung und Rechnen bei Kindern*, revidierte Version (ZAREKI-R). Frankfurt a.M: Harcourt Test Services, 2006