

Genetische Dispositionen bei Lernschwierigkeiten?

Für Schüler, Jugendliche und Erwachsene sowie für ihre Bezugspersonen stellt sich bei einer Legasthenie oder einer Dyskalkulie immer wieder die Frage, ob es eine genetische Disposition für diese Lernschwierigkeiten gibt. Die folgenden Beiträge mit unterschiedlichen Schwerpunkten geben einen Einblick in den

Stand der Forschung. Marianne Nolte geht Fragen zur Dyskalkulie nach, Gerheid Scheerer-Neumann beschreibt Studien zur Genetik bei einer Legasthenie und Gerd Schulte-Körne widmet sich molekulargenetischen Studien mit engem Bezug zur Legasthenie.

Marianne Nolte



Prof. Dr. Marianne Nolte, Jahrgang 1953, Mathematikdidaktikerin an der Universität Hamburg, Fakultät für Erziehungswissenschaft, Psychologie und Bewegungswissenschaft, vorher Lehrerin und Lerntherapeutin; langjährige Erfahrungen mit Kindern mit Rechenstörungen sowie mit besonders begabten Kindern; Forschungsschwerpunkte: Rechenstörungen und mathematische Hochbegabung; seit dem WS 2010/2011 Leitung des Masterstudiengangs "Integrative Lerntherapie (M.A.)", eine Kooperation zwischen der Universität Hamburg, der Universität Hannover und dem Fachverband für Integrative Lerntherapie (FiL)

Kann man Rechenschwäche erben?

„Mach' dir nichts draus, dass du nicht gut in Mathe bist, ich war es auch nicht. Das liegt bei uns in der Familie!“ Aussagen dieser Art sind immer wieder zu hören. Mathematik als Fach führt bei den meisten Menschen zu einer eindeutigen Stellungnahme: „In Mathe war ich immer gut!“ oder „Ich konnte Mathe nie!“. Personen, die sich in der Öffentlichkeit auf ihre Schwächen im Mathematikunterricht beziehen, meinen damit jedoch nicht die Kompetenzen, die sie brauchen, wenn sie ein unabhängiges und selbstbestimmtes Leben in unserer Gesellschaft führen wollen. Einkaufen gehen, Reisen planen, die Freizeitgestaltung usw. erfordern mathematische Kenntnisse, über die meist auch diejenigen verfügen, die sich als „immer schlecht in Mathe gewesen“ bezeichnen.

Personen mit Rechenstörungen, Rechenschwäche oder Dyskalkulie¹ zeichnen sich dadurch aus, dass sie gerade nicht über die einfachsten Anforderungen beim Rechnen verfügen. Es geht um grundlegende arithmetische

Inhalte, deren Verfügung sowohl die Selbständigkeit im Alltag als auch im Berufsleben massiv beeinträchtigen können (Nolte 2004). Die Schwächen beziehen sich auf Inhalte der Vor- und Grundschule und werden meist auch im Grundschulalter deutlich.

Sind Rechenstörungen vererbbar?

Liegt es wirklich in der Familie, wenn ein Kind nicht gut genug rechnen lernt? Dieser Frage soll in diesem Aufsatz nachgegangen werden. Nach einer kurzen Auseinandersetzung mit Fragen zur Definition werden verschiedene Ansätze vorgestellt, die sich mit der Vererbbarkeit von mathematischen Fähigkeiten und Störungen mathematischen Lernens befassen. Rechenschwächen beschreiben ein komplexes Gefüge von Störungen, dem sich die Forschung aus unterschiedlichsten Perspektiven nähert. Hier können nur wenige Schwerpunkte beleuchtet werden.

¹ Es wird in diesem Artikel nicht unterschieden zwischen Rechenschwäche, Rechenstörung und Dyskalkulie.

Was versteht man unter Rechenstörungen?

Rechenstörungen gehören laut ICD-10 zu den umschriebenen Störungen schulischer Fertigkeiten. Sie treten auf allen Intelligenzniveaus auf (Grissemann und Weber 1982). Für Fragen der Förderung wird jedoch häufig eine Eingrenzung auf Kinder vorgenommen, bei denen eine Lernbehinderung ausgeschlossen wird. Ein weiteres Kriterium ist eine normale Beschulung sowie der Ausschluss weiterer Störungen.² Die ICD10 (F81.2 Rechenstörung) betrachtet Rechenstörungen als isolierte Störungen, d. h. die Leistungen in den übrigen Schulfächern, z. B. im Schrift-Sprach-Bereich, sollen nicht von der Störung betroffen sein.

Kinder, bei denen Störungen sowohl im Schrift-Sprach-Bereich als auch in der Mathematik beobachtet werden, werden der Kategorie „Kombinierte Störungen schulischer Fertigkeiten“ (F 81.3, ICD-10) zugeordnet. Die Gruppe der Kinder, die sowohl von Rechenstörungen als auch von Lese-Rechtschreib-Störungen betroffen sind, ist allerdings keine zu vernachlässigende Restkategorie. Verschiedene Studien belegen, dass eine recht große Gruppe der rechen-schwachen Kinder gleichzeitig auch Schwierigkeiten im Lese-Rechtschreib-Bereich aufweisen (siehe z. B. Silver, Pennett et al. 1999; Schwenck und Schneider 2003; Schwenck und Schneider 2003; von Aster und Kucian 2005; Hasselhorn und Schuchardt 2006). Es ist nicht ganz einfach, die Anzahl betroffener Kinder festzustellen. In den verschiedenen Studien werden unterschiedliche Tests eingesetzt und dabei unterschiedliche Eingrenzungen vorgenommen, ab wann von einer Rechenstörung gesprochen wird. Die meisten Autoren gehen von einer Prävalenzrate zwischen drei und acht Prozent aus (a. a. O.).

Die Einschränkungen, die in der ICD-10 vorgenommen werden, lassen sich unter verschiedenen Gesichtspunkten hinterfragen (siehe z. B. Lorenz 1991; Lorenz 1991; Nolte 2004). So ist es kritisch zu sehen, einen hoch mit mathematischen Fähigkeiten korrelierenden Intelligenztest heranzuziehen, um eine Diskrepanz zwischen Intelligenz und mathematischen Fähigkeiten festzustellen. Insbesondere im Hinblick auf die Förderbedürftigkeit der Kinder ist es sinnvoll, keine Kinder auszugrenzen. Allerdings unterstützt die genaue Beschreibung einer Gruppe anhand verschiedener Kriterien die Abgrenzung von anderen Störungsbildern und kann unter Forschungsgesichtspunkten sinnvoll sein.

Das Vorliegen von Rechenstörungen bei gleichzeitigem Vorliegen von Störungen im Schriftsprachbereich weist darauf hin, dass es für eine Gruppe von Kindern gemeinsame Risikofaktoren gibt, die genetisch bedingt sein können.

² „Diese Störung besteht in einer umschriebenen Beeinträchtigung von Rechenfertigkeiten, die nicht allein durch eine allgemeine Intelligenzmindering oder eine unangemessene Beschulung erklärbar ist. Das Defizit betrifft vor allem die Beherrschung grundlegender Rechenfertigkeiten, wie Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division, weniger die höheren mathematischen Fertigkeiten, die für Algebra, Trigonometrie, Geometrie oder Differential- und Integralrechnung benötigt werden.“ (<http://www.icd-code.delicd/code/F81.1.html>, Abruf 1. 6. 2011).

Zur Vererbung mathematischer Kompetenzen

Zwillingsstudien

Dass es angeborene mathematische Fähigkeiten gibt, wird auch aus Zwillingsstudien geschlossen. Zwillingsstudien basieren auf einem Vergleich von eineiigen und zweieiigen Zwillingen. Da eineiige Zwillinge über die gleiche genetische Ausstattung verfügen, werden bei Fähigkeitsausprägungen, die genetisch basiert sind, größere Ähnlichkeiten zu verzeichnen sein, als bei zweieiigen Zwillingen. Zeigen sich solche gleichermaßen in beiden Gruppen, werden diese eher auf Umgebungsvariablen zurückgeführt, zeigen sie sich stärker bei eineiigen Zwillingen, werden eher genetische Faktoren angenommen. Am genauesten lassen sich Einflüsse von genetischen Komponenten und Umgebungsvariablen mit Adoptionsstudien verfolgen. Hier werden Auffälligkeiten in der Adoptivfamilie mit Auffälligkeiten bei den biologischen Eltern bzw. durchschnittlich zu erwartenden Auffälligkeiten in der Bevölkerung verglichen.

Gemeinsamkeiten können innerhalb einer Familie jedoch auch auf die Sozialisationsbedingungen zurückgeführt werden. Das gleiche Elternhaus vermittelt viele ähnliche Erfahrungen. Vergleichbare Angebote innerhalb des familiären und schulischen Umfelds könnten für Interessen und Fähigkeiten verursachend sein. Untersucht wird deshalb auch, wie weit Ähnlichkeiten und Unterschiede auf gemeinsam geteilte bzw. unterschiedliche Umgebungsvariablen zurückgeführt werden können. Neiderhiser (2001) geht davon aus, dass solche Unterschiede bei eineiigen Zwillingen, die in der gleichen Umgebung aufwachsen, auf Umgebungsvariablen zurückzuführen sind. „Any phenotypic dissimilarity in MZ twin pairs reared in the same home must be owing to non-shared environmental factors“ (Neiderhiser 2001, S. 12).

Die durchschnittliche Erbllichkeit liegt nach Kovas, Haworth et al. (2007) in verschiedenen Zwillingsstudien etwa bei 50 Prozent, der Einfluss gemeinsamer Umweltvariablen bei etwa 25 Prozent. Dies bezieht sich auch auf die Leistungen im Lesen, Schreiben und Rechnen. Wie hoch die Erbllichkeit der Fähigkeiten in diesen Bereichen ist, variiert in den verschiedenen Studien, aber gemeinsam ist die Beobachtung, dass der Einfluss von genetischen Faktoren deutlich über denen von gemeinsam geteilten Umwelteinflüssen liegt. Fragen zu dieser Relation beschreiben Kovas, Haworth u. a. (2007) mit dem Wortspiel „interplay of nature and nurture“ (S. 3).

Kovas, Haworth u. a. (2007) werteten Daten einer repräsentativen, umfangreichen Zwillingsstudie aus, die in England durchgeführt wurde (Twins' Early



Development Study (TEDS)). In dieser Studie wurden mehr als 15 000 Zwillingspaare zu verschiedenen Zeitpunkten ihrer Entwicklung (hier mit sieben, neun und zehn Jahren) getestet. Untersucht wurden Leistungen im Schriftspracherwerb, in den Naturwissenschaften und in der Mathematik, wobei sowohl Leistungsstärken, als auch Leistungsschwächen mit einbezogen wurden. Daten wie eine Übereinstimmung in mathematischen Leistungen von 70 Prozent für eineiige Zwillinge und 50 Prozent für zweieiige Zwillinge sprechen für einen hohen genetischen Anteil bei mathematischen Begabungen.

Sind Lernstörungen genetisch bedingt?

Gibt es identifizierbare Gene, die dafür sorgen, dass ein Kind eine Leistungsschwäche oder eine besondere Begabung in Mathematik entwickelt? Zur Diskussion dieser Frage betrachteten die Autoren die Zusammenhänge zwischen Leistungen im Schriftspracherwerb, in den Naturwissenschaften und mathematischen Fähigkeiten. Die Autoren stellten hier eine hohe Korrelation von .70 zwischen den Leistungen in den verschiedenen Fächern fest. Diese deuten sie dahingehend, dass es über die verschiedenen Fächer hinweg Gene geben muss, die allgemein für gute bzw. schwache Leistungen verantwortlich sind.³

Neben diesen „generalist genes“⁴ (Kovas, Claire M. A. Haworth et al. 2007; Kovas, Haworth et al. 2007, S. 98)

³ „The average genetic correlation is about .70, which can be interpreted to mean that when genes are found that are associated with one learning ability such as reading there is about a 70 % chance that the genes will also be associated with other learning abilities such as mathematics“ (Kovas, Haworth et al. 2007, S. 12)

⁴ Diese Bezeichnung geht auf Plomin 2005 zurück.

zeigten die Studien, dass es auch Gene geben muss, die unterschiedliche Leistungen in einzelnen Fächern beeinflussen. Obwohl die meisten Gene mit einer spezifischen Lernfähigkeit verbunden sind, sind es nicht alle.⁵ Bezogen auf Lernschwierigkeiten in Mathematik beziehen sich die Autoren auf eine Untersuchung von Oliver 2004, die von einer Übereinstimmung von 70 Prozent bei eineiigen Zwillingen und von 50 Prozent bei zweieiigen Zwillingen ausgeht. „For mathematics disability, the concordances are about 70 % for MZ twins and 50 % for DZ twins (Oliver, Harlaar et al. 2004)“ (Kovas, Haworth et al. 2007, S. 8). Eine Analyse von Extremgruppen, den 15 Prozent Leistungsschwächsten sowie der 15 Prozent Leistungsstärksten kommt zu ähnlichen Ergebnissen: „... and .61 and .63 for mathematics disabilities and abilities“ (Plomin und Kovas 2005).

Aus diesen Studien schließen die Autoren, dass Lernschwierigkeiten ebenso wie besondere Begabungen Ausprägungen eines Spektrums an Fähigkeiten sind. Sie gehen davon aus, dass der genetische Einfluss auf allgemeinen Störungen in komplexen Fähigkeiten von vielen verschiedenen Genen verursacht werden, die einen geringen Effekt haben. Dieser Ansatz wird von Plomin als „Quantitative Trait Locus (QTL) theory“ bezeichnet, „which posits that genetic influence on common disorders and complex traits is caused by many genes (loci) of small effect rather than by one gene or even by a few genes of large effect“ (Plomin, Owen et al. 1994, S. 60). Im Rahmen dieser Theorie

⁵ „Most (but not all) genes found to be associated with a particular learning ability or disability (such as reading) will also be associated with other learning abilities and disabilities (such as mathematics). In addition, most (but not all) of these generalist genes for learning abilities (such as reading and mathematics) will also be associated with other cognitive abilities (such as memory and spatial)“ (a. a. O. S. 112).

sind Lernstörungen nicht durch bestimmte Probleme verursacht, sondern einfach als Ausprägungen einer Verteilung zu betrachten, d. h. als Varianz innerhalb einer normalen Verteilung. „Stated more provocatively, there is no disability, just low ability. – The abnormal is normal“. (Plomin, Haworth et al. 2008, S. 1054).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Zwillingsstudien die genetische Komponente bei der Leistungsausprägung der mathematischen Begabung bestätigen. Allerdings passt die These, dass Leistungsschwächen bzw. -stärken nicht allein ein Fach wie Mathematik betreffen, sondern in mehreren Inhaltsbereichen zu beobachten sind, nicht zu der Vermutung, es gäbe genetische Variablen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit zu der Entwicklung von Rechenschwächen führen.

Rechenstörungen innerhalb von Familien

Untersuchungen, die sich direkt mit Rechenschwächen befassen, kommen zu einem anderen Ergebnis. Zur Frage der Vererbung von Rechenstörungen wurde untersucht, wie weit diese innerhalb von Familien gehäuft auftreten. Auch in diesem Zusammenhang wurden Zwillingsstudien durchgeführt. Alarcón, Defries et al. (1997) (in Rousselle und Noël 2007) identifizierten 58 Prozent von eineiigen Zwillingen und 39 Prozent von zweieiigen Zwillingen gleichermaßen als rechenschwach. In dieser Studie wurden Rechenstörungen dann angenommen, wenn die Teilnehmer in einem Test weniger als einen Prozentrang von 7 erreichten⁶. Diese Daten zeigen ein zehnfach höheres Auftreten als es allgemein in der Bevölkerung zu erwarten ist.⁷ Die Ergebnisse werden durch die Untersuchungen von Shalev, Manor et al. (2001) bestätigt. Die Autoren zeigten auf, dass etwa die Hälfte der Geschwister von Kindern mit Rechenstörungen ebenfalls solche Störungen aufweisen. Sie betrachteten die Schwächsten 25 Prozent und stellten fest, dass mehr als die Hälfte der Eltern und Geschwister eines Kindes mit Rechenstörungen ebenfalls Probleme beim Rechnen zeigten. Dieser Wert wird als fünf- bis zehnmals größer als in der Normalbevölkerung angegeben (a. a. O., S. 339).

Gehäuftes Auftreten von Rechenstörungen innerhalb einer Familie kann jedoch ebenfalls mit den Sozialisationsbedingungen zusammen hängen. Auch in diesen Fällen kann gefragt werden, ob ein rechenschwacher Elternteil Kinder so an mathematische Phänomene im

Alltag heranführen kann, wie es für deren Entwicklung förderlich wäre.

Die Befunde unterstützen die Theorie, dass Rechenstörungen vererbt werden können, lassen jedoch den Zusammenhang zwischen Sozialisations-effekten und Rechenstörungen offen.

Komorbidität

„Für das Vorhandensein von zwei verschiedenen, voneinander unabhängigen psychischen (oder auch körperlichen) Erkrankungen bei dem gleichen Menschen zum gleichen Zeitpunkt gibt es in der Medizin den Begriff der sog. „Komorbidität“ (Bachmann 2008 S. 20). Rechenstörungen treten in Zusammenhang mit verschiedenen angeborenen Erkrankungen auf. Shalev und Gross-Tsur (2001) verweisen darauf, dass Rechenstörungen zu den kognitiven Problemen gehören, die am häufigsten bei verschiedenen Erkrankungen zu beobachten sind. Sie wurden bei Kindern mit Epilepsie, beim Turnersyndrom und bei Frauen mit dem Fragilen X-Syndrom (FXS) beobachtet.⁸ Nach Seidenberg, Beck et al. (1986) zeigten Kinder mit Epilepsie geringere Leistungen insbesondere auch beim Rechnen, als es ihrer Ausbildung und ihrem IQ entspricht. Störungen im Umgang mit visuell-räumlichen Informationen in Verbindung mit schwachen Rechenleistungen werden auch beim Turnersyndrom beobachtet. Molko, Cachia et al. (2003, S. 847) heben dort Probleme bei der Subtraktion sowie beim Umgang mit großen Zahlen hervor. Die simultane Erfassbarkeit soll ebenso gestört sein wie die Fähigkeit zu schätzen. Diese Probleme führen die Autoren auf Schwächen in der visuell-räumlichen Orientierung zurück, der beim Erwerb mathematischer Inhalte eine große Bedeutung zukommt. In ihrer Studie konnten sie zeigen, dass bei einer Patientin mit Turnersyndrom Störungen im Bereich des Intraparietalen Sulcus vorlagen. Sie deuten solche Beobachtungen als Unterstützung der Hypothese, dass die Entwicklung dieser Region genetisch bedingt ist (a. a. O., S. 855).⁹

Jacobs und Petermann (2003) weisen auch auf einen Zusammenhang zwischen Phenylketonurie und Rechenstörungen hin. Diese angeborene Stoffwechselstörung kann ohne angemessene Maßnahmen allgemein zu Lernstörungen führen. Des Weiteren treten Rechenstörungen gemeinsam mit ADHS und Störungen im Schriftspracherwerb auf (Shalev, Gross-Tsur 2001).¹⁰ Unabhängig von ADHS wird die Bedeutung des Arbeits-

⁶ Ein Prozentrang von 7 bedeutet, dass die Person zu den 7 % schwächsten ihrer Altersgruppe gehört.

⁷ „A twin study using a more stringent MD classification criterion (<7th percentile on a standardized test) showed that 58 % of monozygotic and 39 % of dizygotic co-twins of an MD child were also classified as MD, that is, a prevalence about tenfold higher than that observed in the general population“ (Alarcón, Defries, Light, & Pennington, 1997 in Rousselle und Noël 2006, S. 362f).

⁸ „This frequency is the case for children with epilepsy [57], for children with genetic disorders of the X chromosome (i.e., Turner syndrome) [58], and for females with the fragile X syndrome [59]“ (Shalev, Gross-Tsur 2001, S. 341).

⁹ „In summary, the observation that X-linked developmental dyscalculia can alter the basic anatomical and functional organization of the intraparietal region strengthens the hypothesis that the development of this region is laid down under genetic control in the course of both phylogenetic evolution and child development (Dehaene et al., 1998; Simon et al., 2002). Its disruption in Turner syndrome may explain the visuo-spatial and arithmetic impairments that are commonly observed in this condition.“ (Molko, Cachia, et al. 2003, S. 855).

¹⁰ „In fact, 26 % of kindergarten children with developmental language disorders will manifest significantly impaired arithmetic skills [60], and over 20 % of males with ADHD have developmental dyscalculia [61]“ (Shalev, Gross-Tsur 2001, S. 341).

gedächtnisses für die Entwicklung mathematischen Denkens und einem Zusammenhang zu Rechenstörungen diskutiert (siehe dazu z. B. Geary 1993).

Komorbiditäten zeigen das gemeinsame Auftreten verschiedener Erkrankungen, sie geben jedoch noch keine genaue Auskunft über die Vererbung bei Rechenstörungen, die unabhängig davon auftreten.

Die Entwicklung von Rechenkompetenzen

Um der Frage danach, ob Rechenstörungen angeboren sind, nachzugehen, wurden ebenfalls Forschungen über die Entwicklung des Zahlensinns bei Säuglingen und Kleinkindern, sowie numerische Fähigkeiten von Tieren herangezogen. Die Ergebnisse werden als Beleg dafür angesehen, dass arithmetische Fähigkeiten angeboren sind (z. B. Shalev und Gross-Tsur 2001). Sie schließen aus diesen Studien, dass es für arithmetische Fähigkeiten spezialisierte kognitive Mechanismen gibt, was inzwischen durch neurowissenschaftliche Forschungen als belegt gilt (Dehaene 1992; Dehaene 1999). Shalev und Gross-Tsur (2001, S. 340) gehen davon aus, dass diese angeboren sind und im Unterschied zu den Aussagen von Plomin und Kovas (2005); Plomin, Haworth et al. (2008) nicht auf allgemeinen Fähigkeiten beruhen, sondern auf spezialisierten kognitiven Mechanismen basieren. Damit gehören die mathematischen Fähigkeiten zu den „privilegierten Wissensdomänen“ (Kunze und Gisbert 2007 S. 53) für die eine Prädisposition zum Lernen bestehe, ohne dass es besonderer Anstrengung oder gerichteter Unterweisung zum Erwerb des Wissens bedürfte (a. a. O.).

Die Untersuchungen an Babys (z. B. Wynn 1992; Wynn 1995; Berger, Tzur et al. 2006) zeigen, dass diese bereits in den ersten Lebensmonaten Fähigkeiten im Umgang mit Mengen aufweisen, Veränderungen im Zahlenraum bis vier identifizieren können, sogar größere Mengen vergleichen können, wenn die Anzahlen sich deutlich unterscheiden (Shalev Gross Tsur, 2001, S. 340). Die Versuche basieren darauf, dass die Säuglinge einem neuen Reiz mehr Aufmerksamkeit widmen. Ein gewohnter Reiz wird von einem neuen Reiz abgelöst (Habituationsparadigma). Wenn die Säuglinge den neuen Reiz aufmerksamer betrachten, wird dies als Hinweis dafür gedeutet, dass sie Unterschiede zu dem gewohnten Reiz erkannt haben.

Ein Beispiel für einen solchen Versuch basiert auf Untersuchungen von Wynn (1992; 1995). Auf einer Bühne werden Puppen gezeigt, diese werden hinter einem Vorhang verborgen. Für das Kind sichtbar wird hinter den Vorhang eine weitere dazugestellt oder es wird eine entfernt. Die Säuglinge reagierten dabei deutlich, wenn die Anzahl der Puppen nicht der beobachteten Aktion entsprach (Dehaene, 1992; Wynn, 1995). Dies kann als Vorläufer für Additionen und Subtraktionen gedeutet werden, wobei Wynn vermutet, dass die Kinder dabei noch nicht wirklich auf Zählprozesse zurückgreifen. Bei diesen Reizen kommt es anscheinend nicht auf die Modalität der Darbietung an. Die Ergebnisse waren die Gleichen bei Tönen und Objekten (Feigenson, Dehaene et al. 2004). Bereits wenige Tage alte Kinder können unterscheiden, visuell oder auditiv präsentiert, ob es sich um ein oder zwei Objekte sowie zwei oder drei Objekte handelt.

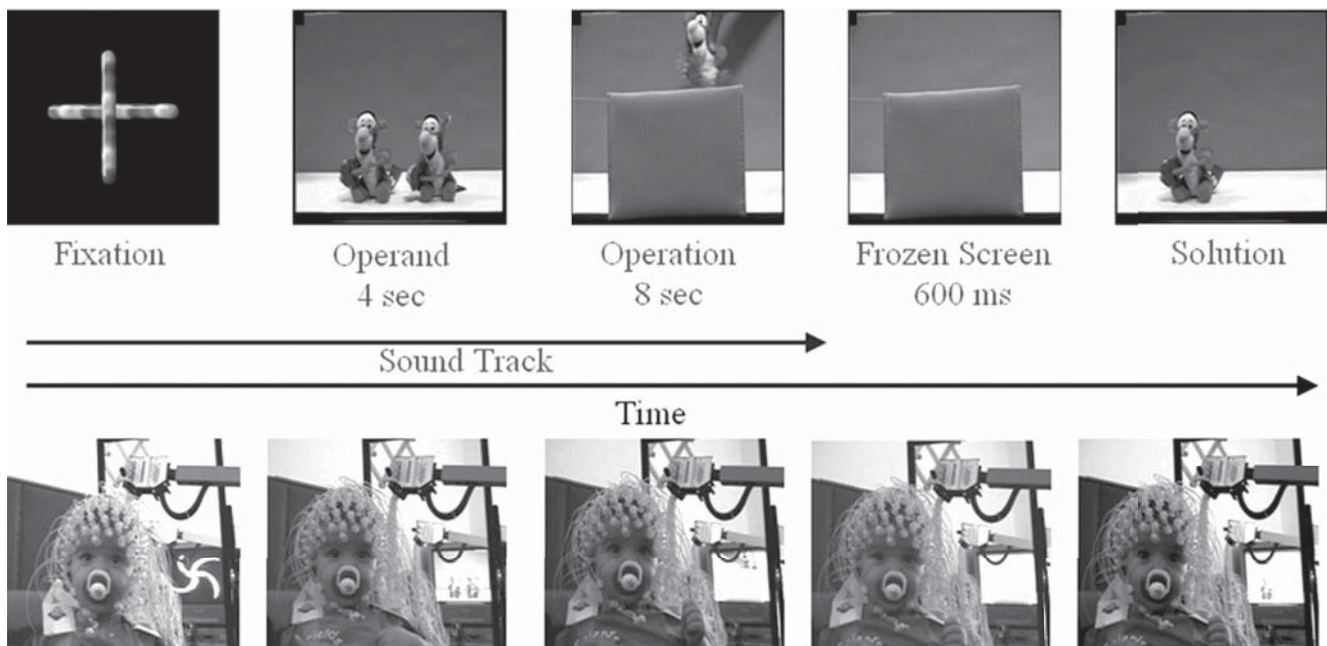


Fig. 1.: Stimuli were modeled after those used by Wynn (1). The puppet versions of the different mathematical equations ($1 + 1 ? 1$, $1 + 1 ? 2$, $2 - 1 ? 1$, and $2 - 1 ? 2$) were videotaped and displayed on a 21-inch flat-screen TV. (Upper) Stimulus phases from the infants' point of view. (Lower) Stimulus phases from the video-camera point of view, facing the infants' faces for looking-time calculations, with the mirror behind the child indicating the stimuli being displayed. (aus Berger, Tzur et al. 2006, S. 12650)

Unsicherheiten treten bei drei oder vier sowie vier oder fünf Objekten auf. Die Kinder versagen immer bei der Darbietung von vier oder sechs Objekten (Dehaene 1992; Dehaene 1999). Aus diesen Befunden wurde auf einen „angeborenen Zahlensinn“ (Dehaene 1992) geschlossen, der sich auf das genaue Erkennen von Anzahlen im Zahlenraum bis drei bezieht.

Es ist für die Frage, ob solche Fähigkeiten angeboren sind unerheblich, ob die getesteten Kinder wenige Tage, Wochen oder Monate alt sind. Mit weiteren Experimenten wurde jedoch gefragt, ob dabei wirklich die Anzahlerfassung festgestellt wurde. Können bereits Babys „rechnen“, d. h. Anzahlen unterscheiden? Genauso gut kann das Erkennen der Unterschiede darauf beruhen, dass die Kinder sich am Umfang und der Ausdehnung der Mengen orientieren (Krajewski, Nieding et al. 2008, S. 136). Aus der Analyse verschiedener sehr differenzierter Versuche schließt Dehaene (1999, S. 65ff), dass Säuglinge wirklich Anzahlen erfassen können.

Ob dies der Fall ist, wurde auch im Zusammenhang mit der Darbietung größerer Anzahlen überprüft. Hier wurde gefragt, wie weit bereits sehr kleine Kinder Mengen vergleichen können. Die Untersuchungen von Xu und Spelke (2000) sprechen dafür, dass dabei Schätzprozesse ablaufen und keine genauen Anzahlen erfasst werden. Sie gewöhnten sechs Monate alte Kinder an acht oder 16 Objekte und zeigten in ihren Experimenten, dass diese zwischen acht und 16, aber nicht zwischen acht und zwölf Objekten unterscheiden können (Xu und Spelke 2000; Zimbardo und Gerig 2004; Xu, Spelke et al. 2005).¹¹ Mit zunehmendem Alter werden die Fähigkeiten in der Unterscheidung von Mengen präziser (Lonnemann, Linkersdörfer et al. 2011, S. 13). Die Experimente zeigen, dass die Fähigkeit zur Unterscheidung von einer bestimmten Intensität der Unterschiede abhängig ist. Die Quantität von acht und sechzehn Objekten unterscheidet sich stärker als die zwischen acht und zwölf Objekten.

Wenige Monate alte Kinder scheinen ebenfalls zu erkennen, ob Operationen angemessen durchgeführt wurden. Werden fünf Objekte hinter einem Schirm versteckt und fünf dazu getan, zeigen sie sich sichtlich irritiert, wenn nach Wegnahme des Schirms nur fünf Objekte zu sehen sind (Wynn 1992; Wynn 1992; McCrirk und Wynn 2004 in Dehaene 2009).

Ein weiterer Aspekt bezieht sich auf Kenntnisse der Ordinalität. Brannon (2002) erforschte die Frage, ob

Kinder mit neun bzw. elf Monaten über die Kleiner- bzw. Größerrelation verfügen. Aus ihren Ergebnissen schließt sie, dass die Fähigkeit der elf Monate alten Kinder acht und 16 Objekte zu unterscheiden (siehe Untersuchungen von Xu und Spelke 2000), nicht allein darauf beruht, dass diese irgendwie verschieden sind, sondern dass 16 mehr als acht ist.

Die sehr frühen und teilweise vorsprachlichen Leistungen der Säuglinge können als Beleg für die Hypothese angesehen werden, dass es angeborene Fähigkeiten gibt, Mengen und Anzahlen zu erfassen.

Neurowissenschaftliche Zugänge

Mit Hilfe bildgebender neurowissenschaftlicher Verfahren lässt sich feststellen, welche Bereiche im Gehirn bei bestimmten Tätigkeiten aktiviert werden. Auf diese Weise kann ein weiterer Zugang zu der Frage gefunden werden, was denn genau abläuft, wenn Kinder in solchen Experimenten Unterschiede erfassen. Die Beobachtung, dass bei Kindern und Erwachsenen für vergleichbare Tätigkeiten dieselben neuronalen Aktivierungen zu beobachten sind, unterstützt ebenfalls die These einer genetischen Basis. Bereits drei Monate alten Säuglingen wurde immer wieder eine Anzahl von Objekten vorgelegt, bei denen sich meist die Anzahl nicht unterschied und auch nicht die Objekte (z. B. wurden wiederholt verschiedene Bilder von 3 Enten präsentiert (Dehaene 2009)).¹² Zwischen durch wurden die Anzahl der Objekte sowie die Objekte selbst geändert. In allen Fällen erkannten die Kinder die Veränderungen. Die neuronalen Aktivitätsmuster geben Hinweise auf zwei verschiedene kognitive Mechanismen. Bei der veränderten Anzahl wurden andere neuronale Aktivitäten gemessen als bei einer Veränderung der Objekte. Hier scheinen Bereiche der rechten Hemisphäre auf eine Veränderung der Anzahlen, der linken auf eine Veränderung der Objekte zu reagieren.¹³ Da vergleichbare Aktivierungen auch bei älteren Kindern und Erwachsenen gemessen wurden, sprechen die Ergebnisse dafür, dass die Säuglinge sowohl über die Fähigkeit verfügen Veränderungen in den Anzahlen als auch Veränderungen in der Ausdehnung von Objekten zu erkennen.¹⁴

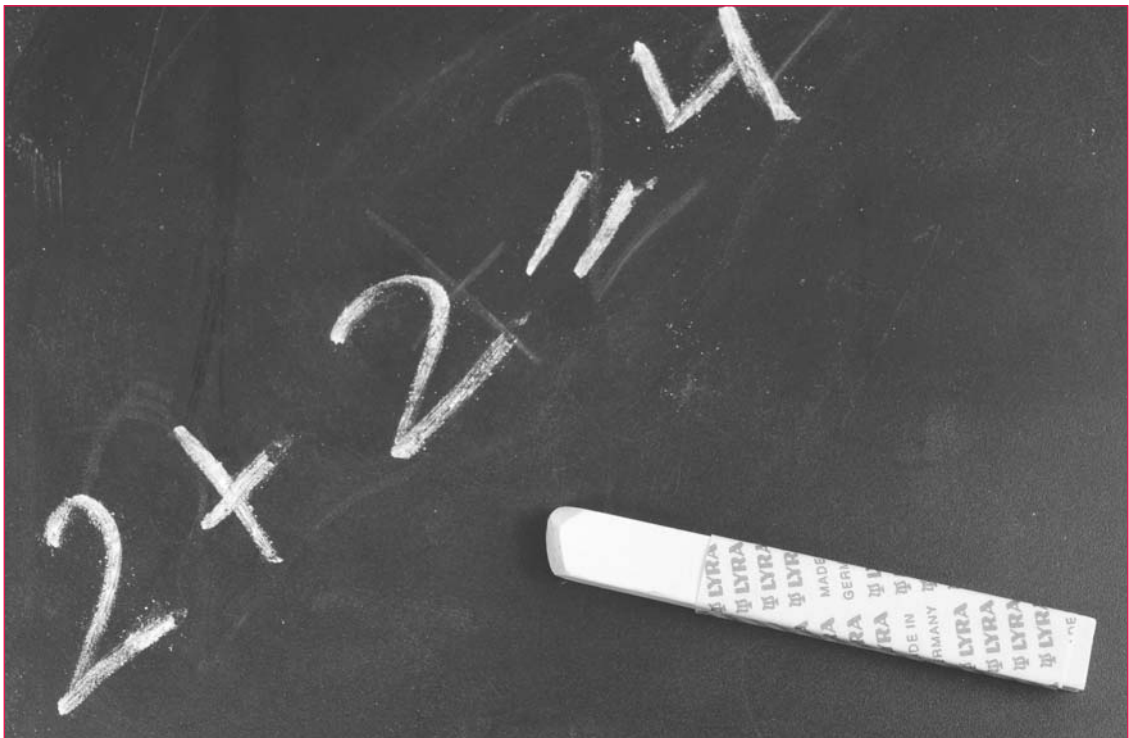
Die Beobachtung, dass bei Kindern und Erwachsenen für vergleichbare Tätigkeiten dieselben neuronalen Aktivierungen zu beobachten sind, unterstützt ebenfalls die These einer genetischen Basis.

¹¹ Solche Untersuchungen beziehen sich auf das Webersche Gesetz, das für die Fähigkeit zu unterscheiden Unterschiedsschwellen beschreibt (Zimbardo 2004, S. 117). Je jünger die Kinder sind, umso größer muss der Unterschied zwischen Mengen sein, damit er von den Kindern erkannt wird.

¹² „e.g., repeatedly presented various images of three ducks“ (Dehaene 2009, S. 239)

¹³ „Source reconstruction, using an accurate model of the infant's cortical folds, suggested that the right parietal cortex responded to numerical novelty, while the left occipitotemporal cortex responded to object novelty“ (Dehaene 2009, S. 239).

¹⁴ Auch die Beobachtungen an Tieren, die Tätigkeiten durchführen, aus denen man auf den Umgang mit Anzahlen schließen kann, sprechen für angeborene Fähigkeiten. „The existence of specialized neural networks for numerical processing is perhaps most clearly revealed in primate studies showing that number-related neural activity in monkeys carrying out numerical tasks occurs in brain networks homologous to those activated in humans carrying out similar tasks [26]“ (Butterworth 2010, S. 8).



Zum angeborenen Zahlensinn

Aus solchen Beobachtungen folgern viele Forscher, dass wir über eine genetische Ausstattung verfügen, mit der wir uns die zahlenmäßige Erfassung unserer Umwelt erschließen (z. B. Dehaene 1999; Brannon 2002; Butterworth 2010). Diese bezeichnet Dehaene als „angeborenen Zahlensinn“ (1992; 2009). Butterworth und Yeo (2004) nennen diesen den angeborenen „starter kit“, auf den die Entwicklung weiterer numerischer Kompetenzen aufbauen, oder das Kernsystem „core system“ (Butterworth 2010). „Das Kernsystem des Verständnisses für Numerositäten bildet gemäß dieser Sichtweise also die genetisch determinierte Grundlage für alle Leistungen im Bereich der Zahlenverarbeitung und Arithmetik, die sich im Lauf des Lebens entwickeln.“ (Landerl und Kaufmann 2008, S. 55)¹⁵.

Zu diesen angeborenen Fähigkeiten gehören nach Feigensohn u. a. (2004) zwei verschiedene Systeme, mit denen wir Mengen und Anzahlen erfassen und die bei Säuglingen, Kindern und Erwachsenen auf gemeinsamen Wurzeln basieren. Das erste Kernsystem bezieht sich auf die Fähigkeit zu quantifizieren und Anzahlen ungefähr zu erfassen. Diesem System werden im Laufe der Entwicklung Zahlsymbole zugeordnet. Das zweite Kernsystem bezieht sich auf das genaue Erfassen von Anzahlen oder Mengen. Auf welchem Mechanismus die rasche und genaue Erfassung von Anzahlen, die simultane Erfassbarkeit oder das subitizing, basiert, ob es sich um rasch ablaufende Zählprozesse oder die

unmittelbare Erfassung der Anzahl handelt, ist nicht geklärt (Gallistel und Gelman 1992; Wynn 1995). Auch auf neuronaler Ebene kann dieses Phänomen noch nicht genau erfasst werden.¹⁶

Dehaene (2009) ergänzt zu den Fähigkeiten zu quantifizieren, zu schätzen und simultan zu erfassen noch Aspekte, die Vorläufer für Additionen und Subtraktionen sein könnten. Er beschreibt als angeboren das rasche Erfassen wie viele Objekte zu sehen sind, ob diese Anzahl mehr oder weniger ist als eine andere und wie sich die Anzahl ändert, wenn etwas dazu kommt oder weggenommen wird: „The results indicate that a sense of number is part of Homo sapiens' core knowledge, present early on in infancy, and with a reproducible cerebral substrate. It permits a rapid evaluation of (1) approximately how many objects are present in a scene, (2) whether this number is more or less than another number, and (3) how this number is changed by simple operations of addition and subtraction“ (Dehaene 2009, S. 233).

Diese Untersuchungen verweisen nicht allein auf einen angeborenen Zahlensinn, sondern versuchen immer differenzierter zu erfassen, worauf dieser beruht und welche neuronalen Funktionen diesem zugrunde liegen.

Schlussfolgerungen aus den Befunden

Angeborene numerische Fähigkeiten werden in allen Studien als bestätigt angesehen.¹⁷ Es ist jedoch damit

¹⁵ Zu einer kurzen Diskussion siehe Landerl und Kaufmann (2008, S. 55-58).

¹⁶ „Although we currently have very little idea of how this system is organized at the neural level, it seems clear that a very quick and automatic grasp of the numerosities 1, 2, and 3 is part of the human intuition of numbers“ (Dehaene 2009, S. 244).

¹⁷ „The strongest claim is that ‘this nonverbal quantification system seems to constitute the phylogenetic and ontogenetic foundation of all further, more elaborate numerical skills’ ..., which presumably includes arithmetic“ (Butterworth 2010, S. 3).

noch nicht klar, ob aus diesen Ergebnissen gefolgert werden kann, dass aus Störungen in den angeborenen Kernsystemen zwangsläufig Störungen beim Erwerb des Rechnens resultieren. Diese Fragen sind in die Diskussion um die Unterscheidung zwischen Ursachen von Rechenstörungen und Risikofaktoren für deren Entwicklung einzubetten.

Wenn aus Störungen in den angeborenen Kernsystemen Rechenstörungen erwachsen, können diese eindeutig zu den Ursachen gezählt werden. Ob das wirklich der Fall ist, wird von Butterworth (2010) hinterfragt. Die angeborenen Fähigkeiten zu schätzen, ein System „the approximate number system (ANS)“ (a. a. O. S. 8), das mit der Unterscheidung von Mengen verbunden wird und die Fähigkeiten der Säuglinge mit Anzahlen bis zu drei Objekten genau umgehen zu können, müssten ebenfalls bei älteren rechenschwachen Kindern nachzuweisen sein. Wenn Rechenstörungen aus Störungen der angeborenen Fähigkeit zu schätzen resultieren, sollten dieser Hypothese entsprechend rechenschwache Kinder Schwierigkeiten beim Schätzen zeigen. Mit dieser Frage haben sich z. B. Gilmore, McCarthy et al. (2010) befasst und festgestellt, dass Kinder mit Rechenstörungen nicht zwangsläufig Schwächen im Bereich des Schätzens aufweisen (Butterworth 2010). Er hält es deshalb für ungeklärt, ob schwache Leistungen beim Schätzen als eine Ursache für Rechenstörungen bezeichnet werden können. Die Forschung zu dieser Frage ist jedoch widersprüchlich.

Piazza, Facoetti et al. (2010) befassten sich mit der Genauigkeit, mit der Kinder zwischen zwei Mengen unterscheiden können. Diese scheint bei rechenschwachen Kindern schwer beeinträchtigt.¹⁸ Damit kann ein Bezug zu diesem angeborenen System und der Entwicklung mathematischer Fähigkeiten hergestellt werden. Auch die Untersuchungen von Bonny (2010) weisen auf einen Zusammenhang zwischen Leistungen in Unterscheidungsaufgaben und mathematischen Fähigkeiten hin. Im Laufe der Entwicklung können Unterschiede zwischen Mengen immer präziser erfasst werden.¹⁹ Die Leistungen von 14-jährigen Kindern bei solchen Aufgaben korrelierten ebenfalls mit der mathematischen Leistung (Halberda, Mazocco et al. 2008) und unterstützt so die These, dass Schätzen grundlegend für die Entwicklung numerischer Fähigkeiten ist.²⁰

Auch die Fähigkeit, kleine Anzahlen genau zu erfassen, erscheint Butterworth (2010) nicht ausreichend um die Entwicklung von Rechenstörungen zu erklären. Der von ihm bevorzugte Ansatz geht davon aus, dass die Entwicklung arithmetischer Fähigkeiten auf

einer angeborenen Erfassung von Mengen und Operationen („ numerosity coding“ a. a. O., S. 1) damit basiert.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es angeborene Fähigkeiten im Umgang mit Mengen und Anzahlen gibt, die für die Entwicklung eines kardinalen Zahlaspekts grundlegend sind. Noch im ersten Lebensjahr erwerben die Kinder Fähigkeiten Reihenfolgen zu erkennen, die grundlegend für die Entwicklung des ordinalen Zahlaspekts sind. Es scheint wahrscheinlich, aber noch nicht endgültig geklärt, dass Störungen in den angeborenen Kernsystemen das Risiko für die Entwicklung von Rechenschwächen deutlich erhöhen.

Das Modell nach Michael von Aster

Entscheidend für die Entwicklung von Rechenstörungen ist, wie weit die Kinder abstrakte mathematische Begriffe bilden und damit umgehen können. Im Laufe ihrer Entwicklung lernen sie nicht nur mehr oder weniger zu unterscheiden, sondern Anzahlen zu ermitteln und diese zu vergleichen. Sie lernen mit den abstrakten Zahlsymbolen Operationen durchzuführen. Dieser Prozess ist in vielfältiger Weise stör anfällig. Die Forschungen zu genetischen Aspekten beleuchten bisher nur einen Teil der dabei einwirkenden Faktoren. Sie fokussieren zudem auch auf das Kind und vernachlässigen so zwangsläufig, dass sich Lernen in Wechselwirkung zwischen genetischen Anlagen, Anregungen aus der Umgebung und eigenen Aktivitäten vollzieht (Rotzer, Loenneker et al. 2009).²¹

So wurden in den bisherigen Darstellungen die Lernprozesse der Kinder als Wechselspiel zwischen angeborenen Faktoren und Interaktionen mit der Umgebung nur am Rande erwähnt, wenn z. B. in der Zwillingforschung auf den gegenseitigen Einfluss von „nature and nurture“ Kovas u. a. (2007, S. 3) eingegangen wird oder bei einer familiären Häufung von Rechenstörungen gefragt wird, wie sich mathematische Fähigkeiten von Kindern entwickeln können, wenn in der Familie deutlich weniger Hinweise auf mathematische Inhalte erfolgen. In dem folgenden Modell von Aster wird diesen Prozessen ein Platz eingeräumt.

Von Aster (2005) führt in seinem Vier-Stufen-Modell zur Entwicklung numerischer Kompetenzen Aspekte aus verschiedenen Forschungsdisziplinen zusammen. Sein Modell geht von angeborenen vorsprachlichen Kernkompetenzen aus, die als Grundlage für die Zuordnung von Zahlwörtern und Zahlsymbolen im

¹⁸ „Importantly, the present research shows that number acuity is severely impaired in dyscalculic children in comparison to their normally developing peers (matched for age and general intelligence)“ (Piazza 2010, S. 39)

¹⁹ Siehe Weber's Gesetz in Fußnote 9

²⁰ „the approximate number system is foundational of numeracy skills.“ (Piazza 2010, S. 34)

²¹ „One impediment to research on DD is the complexity of the numerical domain that includes verbal, visuo-spatial, memory, and executive functions (Ardila, Galeano, & Rosselli, 1998; Geary, Hamson, & Hoard, 2000; von Aster, 2000). This wide array of cognitive factors that could contribute to DD poses a special challenge to investigate this disorder“ (Rotzer, Loenneker, Kucian et al. 2009, S. 2860).

Vorschulalter dienen und sich auf die kardinalen Zahlenaspekte beziehen. Damit verbunden entwickelt sich die Zählfähigkeit, das Verfügen über die Zahlwörter und deren Reihenfolge, die als Grundlage für die Entwicklung einer abstrakten Zahlenrepräsentation, der Entwicklung eines internen Zahlenraums dienen. In diesen Prozess eingebunden sind die weitere Entwicklung von Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis sowie soziokulturelle Bedingungen, die die individuellen Aspekte einer Lernbiographie ausmachen. „Das Rechnen stellt eine hochkomplexe geistige Tätigkeit dar, an der zahlreiche Hirnfunktionen beteiligt sind. Diese Hirnfunktionen entwickeln sich auf der Grundlage einiger weniger angeborener Kernkompetenzen im Wesentlichen im Kontakt mit der Umwelt (erfahrungsabhängige Neuroplastizität). Die Schule hat hieran wesentlichen Anteil.“ (Aster, Schweiter et al. 2007, S. 85). Sh. Grafik unten.

Mit diesem Modell verbindet sich die Bedeutung genetischer Faktoren für schwache mathematische Leistungen mit der Bedeutung von Umgebungsvariablen. Es vereint ebenfalls Befunde über die Bedeutung des Gedächtnisses bei Rechenstörungen (siehe Geary 1993) sowie Fragen zur Aufmerksamkeitssteuerung (z. B. Gross-Tsur, Manor et al. 1996) und öffnet sich auf diese Weise den vielfältigen Befunden, die im Kontext Rechenstörungen erhoben wurden.

Einflussfaktorenmodelle

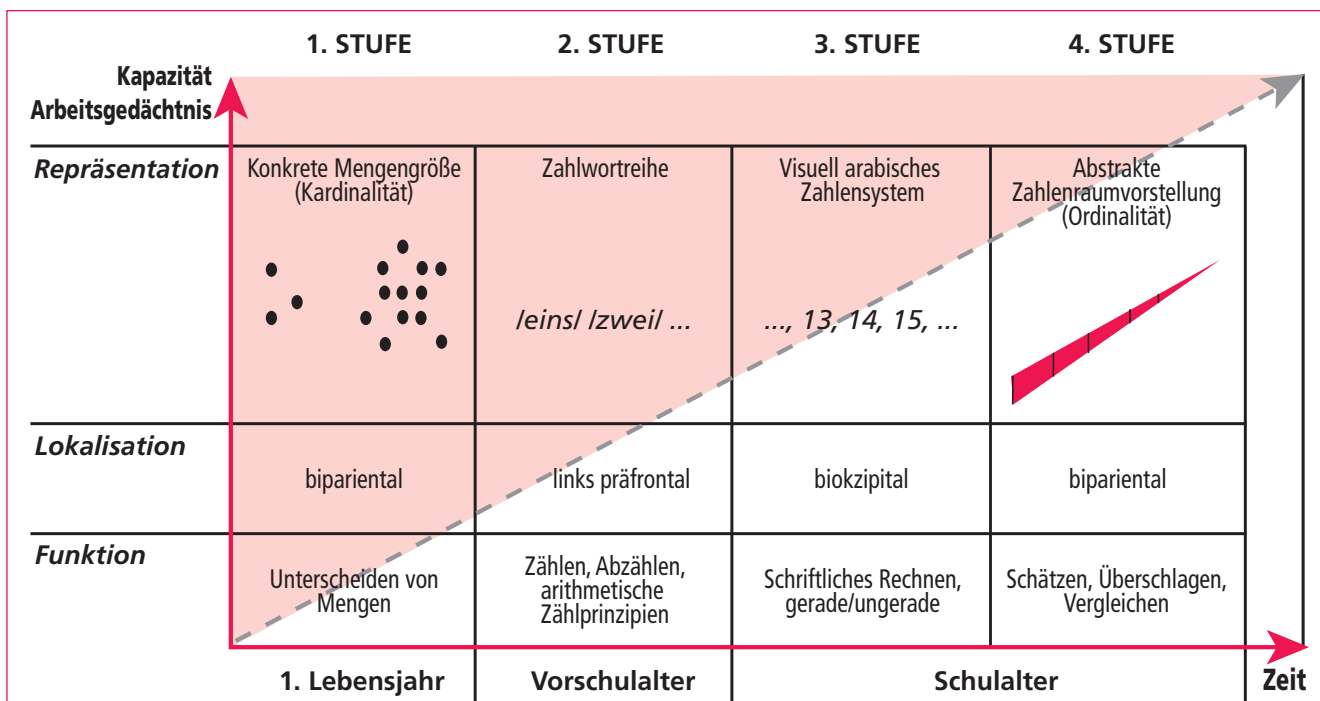
Wenn die Entwicklung mathematischen Lernens betrachtet wird, sind neben genetischen Faktoren auch die Tätigkeiten der Kinder und die Interaktion mit ihrer Umgebung von Bedeutung. Sie machen in Spielprozessen Erfahrungen, die wesentlich für die mathematische Begriffsbildung sind, wie den Ver-

gleich von mehr, weniger und gleich, sie lernen Eigenschaften von Objekten wie groß und klein kennen, sie erwerben die Zahlwortreihe. Gespräche mit Kindern unterstützen diesen Prozess wesentlich. Bei knapp vierjährigen Kindern bestätigen die Untersuchungen von Levine, Suriyakham et al. (2010), wie wichtig gemeinsame Aktivitäten wie das Betrachten von Bilderbüchern und das Verwenden von Zahlen im Alltag für die Zahlbegriffsbildung sind. Diese Aktivitäten führten zu einem signifikanten Anstieg der Zahl-Menge-Zuordnung in der untersuchten Gruppe.

Diese wenigen Beispiele verweisen auf die Bedeutung der gesamten Entwicklung und für sie förderlichen Faktoren für den Erwerb mathematischer Inhalte. In vielfältigen Beispielen lassen sich die Auswirkungen von Störungen in diesen Prozessen nachlesen (siehe z. B. Nolte 2008).

Mit Einflussfaktorenmodellen werden für die Kompetenzentwicklung insbesondere im Kontext besonderer Begabungen Faktoren beschrieben, die für die Entwicklung eines Talents wesentlich sind. Sie eignen sich allgemein für die Darstellung der Entwicklung von Kompetenzen. Ein bekanntes Modell ist das von Gagné (2005), der den Prozess der Entwicklung eines mathematischen Talents als Prozess begreift, der auf angeborenen Variablen basierend die Rolle der eigenen Aktivität des Kindes sowie die Einflüsse der Umgebung hervorhebt.

Diese Perspektiven eignen sich auch für die Entwicklung von Rechenstörungen. Im Unterschied zu bisher aufgezeigten Ansätzen wird hier auch die Bedeutung der eigenen Aktivitäten eines Kindes betont und damit eine Verbindung hergestellt zu dem Strukturmodell des Lernens von Betz und Breuninger (1982).



Vier-Stufen-Modell der Entwicklung zahlenverarbeitender Hirnfunktionen nach von Aster 2005 (Aster, Kucian et al. 2006, S. 2)

Was wissen Kinder wann?

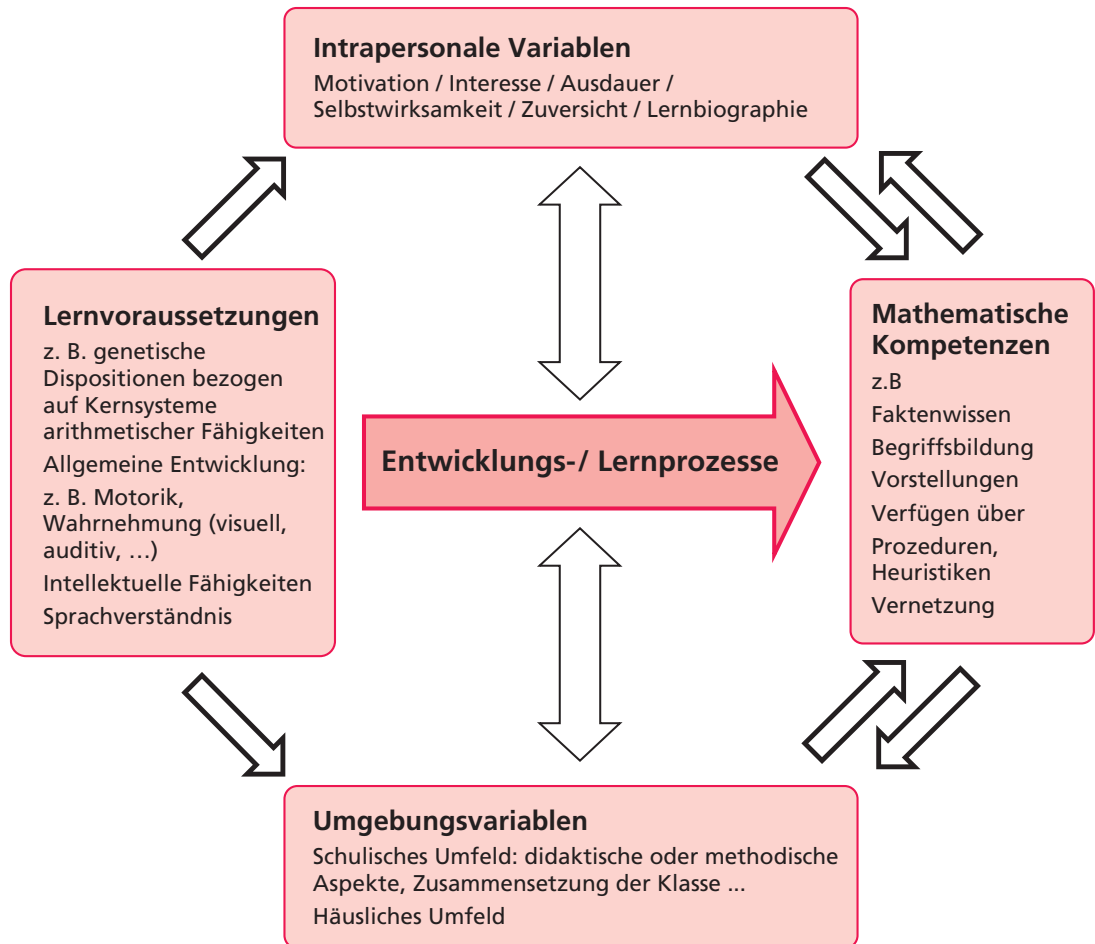


Abb. Einflussfaktorenmodell zur Entwicklung mathematischer Kompetenzen

Ausgehend von den individuellen Voraussetzungen eines Kindes, wozu die genetischen Faktoren bezogen auf die mathematischen Kernsysteme, Wahrnehmungsfunktionen, intellektuelle Fähigkeiten, das Sprachverständnis, aber auch Vorkenntnisse und allgemeiner Lernvoraussetzungen in einer bestimmten Situation gehören, finden Entwicklungs- bzw. Lernprozesse statt. Diese Lernprozesse spielen sich in einer bestimmten Umgebung ab. Diese nimmt darauf Einfluss, sowohl durch die materielle Umgebung als auch über die jeweiligen Personen. In dieser Umgebung agiert das Kind. Es ist aktiv oder es zieht sich zurück, es handelt entsprechend seiner Motivation und seinem Interesse. Es zeigt Ausdauer und stellt fest, dass seine Tätigkeiten etwas bewirken. Diese Faktoren beeinflussen sich gegenseitig. Ein Kind kann Anregungen einfordern, mit besonderen Leistungen darauf aufmerksam machen, dass es sich für etwas interessiert oder auch, dass es Unterstützung braucht. Situationsspezifisch und langfristig führen diese Prozesse zur Entwicklung von Kompetenzen, die auf sehr unterschiedlichem Niveau angesiedelt sein können.

„Nature and nurture“, was bewirkt mehr für die Entwicklung mathematischer Kompetenzen? Einflussfaktorenmodelle weisen auf die Wechselwirkung zwischen unzureichenden Lernvoraussetzungen, eigenen

Aktivitäten und Unterstützung (oder auch Behinderung) durch die Lernumgebung für die Entwicklung rechnerischer Kompetenzen hin. Sie zeigen auf, dass die Entwicklung immer in einem Prozess verläuft, der auf der Wechselwirkung von genetischen Dispositionen und Lernvoraussetzungen wie basalen Fähigkeiten beruht. Sie beziehen den bedeutenden Beitrag genetischer Faktoren für die mathematische Entwicklung mit ein, aber verweisen auch auf den Einfluss, den das lernende Kind sowie seine Umgebung haben. „... as heredity was shown to account only partially for the occurrence of MD“ (Rousselle und Noël 2007, S. 363).

Intrapersonale Variablen beschreiben mit diesem Modell den Einfluss des Kindes auf seine eigene Entwicklung. Umgebungsvariablen umfassen Aspekte wie eine angemessene Methodik, die zu den Möglichkeiten des Kindes passt, eine ruhige Lernumgebung außerhalb der Schule u. ä.

Das Interesse des Kindes, seine Tätigkeiten in verschiedenen Kontexten, seine Ausdauer sich mit einem Thema zu befassen wirken auf diesen Prozess ebenso mit ein wie die Umgebung, die sich förderlich oder hinderlich für ein Kind erweist. So gehören Störungen in der visuell-räumlichen Orientierung zu den Lernvor-

aussetzungen, die es einem Kind erschweren, sich im Zahlenraum der natürlichen Zahlen zu orientieren, weil es die Ziffern vertauscht und deshalb unzureichend in der Lage ist eine angemessene Größenvorstellung zu Zahlen zu entwickeln, Materialien sachgerecht anzuwenden und zu verstehen sowie Operationen durchzuführen.

Mit dem Wissen um diese Problematik kann eine Lehrerin dem Kind Kompensationsmechanismen anbieten, die es darin unterstützen, trotz der Problematik angemessene Vorstellungen zu einem mathematischen Inhalt zu entwickeln. Die Beobachtungen von Aster und Kucian (2005), „dass ...rechenschwache Kinder (eine, M. N.) **geringere Gehirnaktivität** (aufweisen, M. N.), wenn die Aufgabe eher auf einer **räumlichen Verarbeitung** von Zahlen basiert“ (a. a. O., S. 1), verweisen auf die neuronale Basis für das, was sich im Unterricht beobachten lässt.

Ausblick

Das Wissen darum, welcher Art die genetische Basis für die Entwicklung mathematischer Fähigkeiten ist, hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert. Die verschiedenen Forschungsperspektiven weisen auf einen genetischen Anteil bei der Entwicklung von Rechenstörungen hin. Dies ist zunächst eine individuumzentrierte Perspektive, die nicht dazu verleiten darf, eine „Ursache“ für gestörte Lernprozesse allein in dem Kind zu sehen. Bereits in den 1970er Jahren nahm Weinschenk an, dass die „kongenitale Dyskalkulie“ (nach Grissemann und Weber 1982, S. 22) eine angeborene Schwäche sei. Gegen den damit verbundenen Ansatz, eine Störung allein im Kind verursacht zu sehen, hat sich eine breite Diskussion von Forschern verschiedener Disziplinen gewandt, die für die Entstehung von Rechenschwächen Risikofaktoren benannt haben (siehe z. B. Lorenz und Radatz 1993; Aster 2000; Nolte 2000; Schipper 2001; Schipper 2005) und die

Wechselwirkung zwischen den Möglichkeiten des Kindes und den Angeboten der Umgebung als wesentliche Faktoren für die Qualität von Lernprozessen ansehen. Gegen eine defektorientierte Sichtweise wurden auch im Kontext allgemeiner Lernstörungen vielfältige Argumente gesammelt und diese Sicht zugunsten einer systemischen Betrachtungsweise zurückgedrängt (z. B. Grissemann 1992, 1995; Wember 1991; Schuck 1994/95). Auch die Zwillingsforschung betont den Einfluss von Umweltfaktoren.

Unabhängig davon, wie viele Fragen in diesem Zusammenhang noch nicht eindeutig geklärt werden konnten, verweist auch der Begriff der „erfahrungsabhängige(n, M. N.) Neuroplastizität“ (von Aster 2007, S. 85) darauf, dass die mathematische Entwicklung zwar auf genetischen Variablen aufbaut, aber entsprechende Angebote aus der Umgebung diesen Prozess wesentlich beeinflussen können. Aus der Forschung zur Plastizität des Gehirns (z. B. Kandel 1996) ist bekannt, dass Aktivierungen neuronaler Prozesse zu deren Verstärkung beitragen. Es gibt in diesem Zusammenhang grundsätzlich zwei Vorgehensweisen in der Förderung:

1. zu schwach ausgeprägte Fähigkeiten werden entwickelt.
2. Wenn eine Entwicklung nicht möglich ist, muss nach Möglichkeiten der Kompensation gesucht werden.

Mit dem Wissen, welche Fähigkeiten angeboren sind, sollte es zukünftig möglich sein, den Blick zu schärfen für die Kompetenzen über die ein Kind in einem bestimmten Alter verfügen soll. Damit kann mehr Sicherheit in der Frage erworben werden, ab wann fehlende Kompetenzen als Hinweise für notwendige Interventionen betrachtet werden sollen oder einem Kind einfach die ihm gemäße Zeit für die individuelle Entwicklung gegeben werden muss.

Literatur:

Alarcon, M., J. C. Defries, et al. (1997). "A twin study of mathematics disability." *Journal of Learning Disabilities* 30: 617-623.

Aster, M. G. v. (2000). "Developmental cognitive neuropsychology of number processing and calculation: varieties of developmental dyscalculia." *European Child & Adolescent Psychiatry* 9: II/41-II/57.

Aster, M. v. (2005). Wie kommen die Zahlen in den Kopf? Ein Modell der normalen und abweichenden Entwicklung zahlenverarbeitender Hirnfunktionen. *Rechenstörungen bei Kindern. Neurowissenschaft, Psychologie, Pädagogik* M. v. Aster und J. H. Lorenz. Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht: 13-33.

Aster, M. v. und K. Kucian (2005). Entwicklung und Ursachen von Rechenstörungen, neueste Forschungsergebnisse SAL-Tagung 2005, http://www.kispi.uzh.ch/af/Forschung/Lehre/zentrum/Unterlagen/Entwicklung_und_Ursachen_Rechenstoerungen.pdf.

Aster, M. v., K. Kucian, et al. (2006). "Gehirnentwicklung und Dyskalkulie." *Sprache, Stimme und Gehör* 30: 1-6.

Aster, M. v., M. Schweiter, et al. (2007). "Rechenstörungen bei Kindern. Vorläufer, Prävalenz und psychische Symptome." *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 39: 85-96.

Bachmann, M. (2008). *Psychisch auffällige Kinder mit Teilleistungsstörungen. Integrative Lerntherapie – Grundlagen und Praxis*. M. Nolte. Bad Heilbrunn, Klinkhardt: 19-24.

Berger, A., G. Tzur, et al. (2006). "Infant brains detect arithmetic errors" *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103(33).

Betz, D. und H. Breuning (1982). *Teufelskreis Lernstörungen. Analyse und Therapie einer schulischen Störung*. München.

- Bonny, J. (2010). The Relation between Number Acuity and Mathematical Ability in Young Children.
- Brannon, E. M. (2002). "The development of ordinal numerical knowledge in infancy" *Cognition* 83(3): 223-240.
- Butterworth, B. (2010). "Foundational numerical capacities and the origins of dyscalculia." *Trends in Cognitive Sciences* 14(12): 1-8.
- Butterworth, B. und D. Yeo (2004). *Dyscalculia Guidance: Helping Pupils with Specific Learning Difficulties in Maths* London, David Fulton.
- Dehaene, S. (1992). "Varieties of numerical abilities." *Cognition* 44: 1- 42.
- Dehaene, S. (1999). *Der Zahlensinn oder warum wir rechnen können*. Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser.
- Dehaene, S. (2009). *Origins of Mathematical Intuitions. The Case of Arithmetic. The Year in Cognitive Neuroscience. Annals of the New York Academy of Sciences*. M. B. Miller and A. Kingstone. New York 1224: 232-259.
- Feigenson, L., S. Dehaene, et al. (2004). "Core systems of number." *Trends in Cognitive Sciences* 8(7): 307-314.
- Gagné, F. (2005). "Building gifts into talents: Overview of the DMGT." <http://www.sfu.ca/~kanevsky/428/Gagne.pdf> (Abruf 20.5.2011).
- Gallistel, C. R. und R. Gelman (1992). "Preverbal and verbal counting and computation." *Cognition* 44.
- Geary, D. C. (1993). "Mathematical Disabilities: Cognitive, Neuropsychological, and Genetic Components." *Psychological Bulletin* 114: 345-362.
- Gilmore, C. K., S. E. McCarthy, et al. (2010). "Non-symbolic arithmetic abilities and mathematics achievement in the first year of formal schooling." *Cognition* 115: 395-406.
- Grissemann, H. und A. Weber (1982). *Spezielle Rechenstörungen, Ursachen und Therapie: psychologische und kinderpsychiatrische Grundlagen der pädagogisch-therapeutischen Interventionen bei Kindern mit Dyskalkulie*. Liebfeld/Bern, Hans Huber.
- Gross-Tsur, O. Manor, et al. (1996). "Developmental Dyscalculia: Prevalence and Demographic Features." *Developmental Medicine and Child Neurology* 38: 25-33.
- Halberda, J., M. M. M. Mazocco, et al. (2008). "Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement." *Nature* 455: Nature 455, 665-668 (452 October 2008) | doi:.
- Hasselhorn, M. und K. Schuchardt (2006). "Epidemiologie Lernstörungen. Eine kritische Skizze zur Epidemiologie." *Kindheit und Entwicklung* 15 (4): 208-215.
- Jacobs, C. und F. Petermann (2003). "Übersichten. Dyskalkulie - Forschungsstand und Perspektiven." *Kindheit und Entwicklung* 12 (4): 197-211.
- Kandel, E. (1996). *Gehirn. Neurowissenschaften: eine Einführung*. E. Kandel. Heidelberg, Spektrum.
- Kovas, Y., Claire M.A. Haworth, et al. (2007). *The Genetic and Environmental Origins of Learning Abilities and Disabilities in the Early School Years, Monographs of the Society for Research in Child Development*. Volume 72, Pages vii-160.
- Kovas, Y., C. M. A. Haworth, et al. (2007). *The Genetic and Environmental Origins of Learning Abilities and Disabilities in the Early School Years*. Boston, Massachusetts; Oxford, United Kingdom, Blackwell Publishing.
- Krajewski, K., G. Nieding, et al. (2008). "Kurz- und langfristige Effekte mathematischer Frühförderung im Kindergarten durch das Programm "Mengen, zählen, Zahlen". *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 40(3): 135-146.
- Kunze, H.-R. und K. Gisbert (2007). *Förderung lernmethodischer Kompetenzen in Kindertageseinrichtungen. Auf den Anfang kommt es an: Perspektiven für eine Neuorientierung frühkindlicher Bildung*. B. f. B. u. F. B. R. Öffentlichkeitsarbeit. Bonn Berlin: 15-118.
- Landerl, K. und L. Kaufmann (2008). *Dyskalkulie: Modelle, Diagnose, Therapie und Förderung*. München, Reinhardt UTB.
- Levine, S. C., L. W. Suriyakham, et al. (2010). "What Counts in the Development of Young Children's Number Knowledge?" *Developmental Psychology* 46(No. 5): 1309-1319.
- Lonnemann, J., J. Linkersdörfer, et al. (2011). "Neurokognitive Korrelate der Dyskalkulie." *Kindheit und Entwicklung* 20(1): 13-20.
- Lorenz, J. H. (1991). "Rechenschwache Schüler in der Grundschule – Erklärungsversuche und Förderstrategien - Teil I." *Journal für Mathematikdidaktik* 12: 3-34.
- Lorenz, J. H. (1991). "Rechenschwache Schüler in der Grundschule – Erklärungsversuche und Förderstrategien - Teil II." *Journal für Mathematikdidaktik* 91: 171-198.
- Lorenz, J. H. und H. Radatz (1993). *Handbuch des Förderns im Mathematikunterricht*. Hannover, Schroedel.
- McCrink, K. und K. Wynn (2004). "Large-Number Addition and Subtraction by 9-Month-Old Infants." *Psychological Science* 15: 776-781.
- Molko, N., A. Cachia, et al. (2003). "Functional and Structural Alterations of the Intraparietal Sulcus in a Developmental Dyscalculia of Genetic Origin." *Neuron* 40.
- Neiderhiser, J. (2001). "Understanding the role of genes and envirome: methods in genetic epidemiology." *British Journal of Psychiatry* 178 (suppl. 40): 12-17.
- Neiderhiser, J. M. (2001). "Understanding the roles of genome and envirome: methods in genetic epidemiology " *The British Journal of Psychiatry* 1 April: 12-17.
- Nolte, M. (2000). *Rechenschwächen und gestörte Sprachrezeption. Beeinträchtigte Lernprozesse im Mathematikunterricht und in der Einzelbeobachtung*. Bad Heilbrunn, Julius Klinkhardt.
- Nolte, M. (2004). *Dyskalkulie – Lernstörung im Mathematikunterricht. Aufmerksamkeitsdefizit, Hyperaktivität, Teilleistungsstörungen. Dokumentation der Ringvorlesung in Hamburg im Sommer 2002*. M. Schulte-Markworth, E. Reich-Schulze, M. Nolte et al. Hamburg, Feldhaus: 153-167.
- Nolte, M. (2004). *Rechenstörungen im Erwachsenenalter. Aufmerksamkeitsdefizit, Hyperaktivität, Teilleistungsstörungen. Dokumentation der Ringvorlesung in Hamburg im Sommer 2002*. M. Schulte-Markwort, E. Reich-Schulze, M. Nolte et al. Hamburg, Feldhaus.
- Nolte, M., Ed. (2008). *Integrative Lerntherapie – Grundlagen und Praxis*. Bad Heilbrunn, Julius Klinkhardt.
- Oliver, B., N. Harlaar, et al. (2004). "A twin study of teacher-reported mathematics performance and low performance in 7-year-olds." *Journal of Educational Psychology* 96: 504-517.
- Piazza, M., A. Facoetti, et al. (2010). "Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia." *Cognition* 116: 33-41.

- Plomin, R., C. M. A. Haworth, et al. (2008). "Genetics of Learning Abilities and Disabilities: Recent Developments from the UK and Possible Directions for Research in China." *Acta Psychologica Sinica* 40 10: 1051-1061.
- Plomin, R. und Y. Kovas (2005). "Generalist Genes and Learning Disabilities." *Psychological Bulletin* 131 (4): 592-617.
- Plomin, R., M. J. Owen, et al. (1994). "The Genetic Basis of Complex Human Behaviors." *Science* 264(5166): 1733-1739.
- Rotzer, S., T. Loenneker, et al. (2009). "Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia." *Neuropsychologia* 47: 2859-2865.
- Rousselle, L. und M.-P. Noël (2007). "Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing." *Cognition* 102(3): 361-395.
- Schipper, W. (2001). *Thesen und Empfehlungen zum schulischen und außerschulischen Umgang mit Rechenstörungen*. Bielefeld.
- Schipper, W. (2005). "Modul G4 Rechenstörungen als schulische Herausforderung. Lernschwierigkeiten erkennen – verständnisvolles Lernen fördern." <http://www.sinus-grundschule.de/>.
- Schuck, K. D. (1994/95). "Gibt es eine pädagogische Diagnostik von Teilleistungsstörungen? Ein Plädoyer für die Berücksichtigung der Perspektive des Subjekts im Prozeß von Diagnose und Förderung." *BZL*.
- Schwenck, C. und W. Schneider (2003). "Der Zusammenhang von Rechen- und Schriftsprachkompetenz im frühen Grundschulalter." *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 17 (3/4): 261-267.
- Schwenck, C. und W. Schneider (2003). "Einflussfaktoren für den Zusammenhang von Rechen- und Schriftsprachleistungen im frühen Grundschulalter." *Kindheit und Entwicklung* 12 (4): 212-221.
- Seidenberg, M., N. Beck, et al. (1986). "Academic Achievement of Children with Epilepsy." *Epilepsia* 27 (6): 753-759.
- Shalev, R. S. und V. Gross-Tsur (2001). "Developmental Dyscalculia." *Pediatric Neurology* 24 No. 5: 338-342.
- Shalev, R. S., O. Manor, et al. (2001). "Developmental dyscalculia is a familial learning disability." *Journal of Learning Disabilities* 34: 59-65.
- Silver, C. H., H. D.-L. Pennett, et al. (1999). "Stability of Arithmetic Disability Subtypes." *Journal of Learning Disabilities* 32: 108-119.
- Wember, F. B. (1991). *Frühdagnostik bei Rechenschwäche. Störungen beim Mathematiklernen*. J. H. Lorenz. Köln, Aulis.
- Wynn, K. (1992). "Addition and subtraction by human infants." *Nature* 358: 749-750.
- Wynn, K. (1992). "Children's acquisition of the number words and the counting system." *Cognitive Psychology* 24: 220-251.
- Wynn, K. (1995). "Origins of Numerical Numeracy." *Mathematical Cognition* 1.
- Xu, F. und E. S. Spelke (2000). "Large number discrimination in 6-month-old infants." *Cognition* 74(1): B1-B11.
- Xu, F., E. S. Spelke, et al. (2005). "Number sense in human infants." *Developmental Science* 8(1): 88-101.
- Zimbardo, P. G. und R. J. Gerrig (2004). *Psychologie*. München, Pearson Studium.

Kontakt:

Prof. Dr. Marianne Nolte

E-Mail: nolte.marianne@erzwiss.uni-hamburg.de