A close-up photograph of a young child's face, looking directly at the camera. The child's face is partially obscured by the horizontal rods of an abacus, which are filled with colorful beads in shades of yellow, red, green, and blue. The child has light-colored eyes and a neutral expression. The background is a plain, light color.

Michael von Aster / Jens Holger Lorenz (Hg.)

# Rechenstörungen bei Kindern

Neurowissenschaft, Psychologie,  
Pädagogik

Vandenhoeck & Ruprecht





Michael von Aster / Jens Holger Lorenz (Hg.)

# Rechenstörungen bei Kindern

Neurowissenschaft, Psychologie, Pädagogik

Mit 76 Abbildungen und 8 Tabellen

2., überarbeitete und erweiterte Auflage

Vandenhoeck & Ruprecht

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

ISBN 978-3-525-46258-4

ISBN 978-3-647-46258-5 (E-Book)

Umschlagabbildung: matka\_Wariatka/shutterstock.com

© 2013, 2005, Vandenhoeck & Ruprecht GmbH & Co. KG, Göttingen /  
Vandenhoeck & Ruprecht LLC, Bristol, CT, USA  
[www.v-r.de](http://www.v-r.de)

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.

Printed in Germany.

Satz: Satzspiegel, Nörten-Hardenberg

Druck und Bindung: ⊕ Hubert & Co., Göttingen

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier.

## Inhalt

Michael von Aster und Jens Holger Lorenz	
Einleitung . . . . .	7

### **Teil 1: Die kognitiv-neurowissenschaftliche und medizinische Perspektive**

Michael von Aster	
Wie kommen Zahlen in den Kopf und was kann sie daran hindern? Ein Modell der normalen und abweichenden Entwicklung zahlenverarbeitender Hirnfunktionen . . . . .	15
Ursina Grond, Martin Schweiter und Michael von Aster	
Neuropsychologie numerischer Repräsentationen . . . . .	39
Karin Kucian und Michael von Aster	
Dem Gehirn beim Rechnen zuschauen. Ergebnisse der zerebralen Bildgebung . . . . .	59
Michael W. Bzufka, Michael von Aster und Klaus-Jürgen Neumärker	
Diagnostik von Rechenstörungen . . . . .	79
Inge Schwank	
Die Schwierigkeiten des Dazu-Denkens . . . . .	93

### **Teil 2: Die psychologisch-pädagogische Perspektive**

Elsbeth Stern	
Kognitive Entwicklungspsychologie des mathematischen Denkens . . . .	141

Kristin Krajewski	
Wie bekommen die Zahlen einen Sinn: ein entwicklungspsychologisches Modell der zunehmenden Verknüpfung von Zahlen und Größen . . . . .	155
Jens Holger Lorenz	
Grundlagen der Förderung und Therapie. Wege und Irrwege . . . . .	181
Hans-Dietrich Gerster	
Anschaulich rechnen – im Kopf, halbschriftlich, schriftlich . . . . .	195
Liane Kaufman, Pia Handl, Margarete Delazer und Silvia Pixner	
Wie Kinder rechnen lernen und was ihnen dabei hilft. Eine kognitiv- neuropsychologische Perspektive . . . . .	231
Tanja Käser und Michael von Aster	
Computerbasierte Lernprogramme für Kinder mit Rechenschwäche . . .	259
Die Autorinnen und Autoren . . . . .	277
Personenregister . . . . .	279
Sachregister . . . . .	280

Michael von Aster und Jens Holger Lorenz

## Einleitung

Rechenstörungen bei Kindern sind für Eltern und Lehrer oft rätselhaft. Die Kinder können einfache arithmetische Begriffe nicht verstehen und ihre Unfähigkeit, einfache Aufgaben zu lösen, stehen oft in krassem Gegensatz zu einer ansonsten guten Auffassungsgabe und guten Leistungen in anderen Schulfächern. Es handelt sich, wie bei der Lese-Rechtschreib-Störung (LRS), um eine spezifische Lernschwierigkeit. Auch wenn Rechenstörungen und Lese-Rechtschreib-Störungen unterschiedliche kognitive Domänen betreffen und auch unterschiedliche Verursachungen und Erscheinungsbilder haben, so gibt es auch zahlreiche Überschneidungen und häufig auch ein gemeinsames Auftreten. Das Wissen über die spezifischen schulischen Lernbeeinträchtigungen hat sich in den letzten Jahren beträchtlich erweitert, und so werden auch für die anstehenden Revisionen der internationalen Klassifikationssysteme (ICD-10 und DSM-IV) tiefgreifende Veränderungen erwartet. Parallel dazu kann man in den verschiedenen Verordnungen der Bundesländer feststellen, dass etwa die Maßnahmen zur Förderung von Kindern mit spezifischen Lernbeeinträchtigungen (z. B. Möglichkeiten zum Nachteilsausgleich) für LRS und Rechenschwierigkeiten inzwischen gemeinsam behandelt werden. Vielerorts sind diese Regelungen aber noch unzureichend und gelegentlich auch kurios, zum Beispiel wenn Ansprüche auf Hilfen unabhängig vom Verlauf mit der Grundschulzeit enden. Hier besteht noch beträchtlicher bildungspolitischer Nachholbedarf.

Rechenstörungen stellen kein einheitliches Phänomen dar, sondern können sehr verschiedenartig in Erscheinung treten. Deshalb gibt es auch keine einfachen, immer zutreffenden Erklärungen und Konzepte. Rechnen stellt eine hochkomplexe geistige Tätigkeit dar, die aus zahlreichen Komponenten zusammengesetzt ist beziehungsweise zusammengesetzt wird. Rechenstörungen treten häufiger auf, als man lange gedacht hat, und zwar etwa ebenso häufig wie Lese-Rechtschreib-Störungen. Forschungsergebnisse zeigen, dass etwa 6 % der Grundschüler beim Rechenlernen Probleme zeigen, die eine solche Diagnose rechtfertigen (von Aster et al. 2007). Das bedeutet, dass statistisch gesehen in jeder Schulklasse mit mindestens einem solchen Kind zu rechnen ist und dass die Probleme, die sich daraus im Unterricht ergeben, zum Alltag eines jeden Lehrers gehören.

Das Grundanliegen dieses Buches ist ein interdisziplinäres. Es will auf der einen Seite Ergebnisse der neurowissenschaftlichen und medizinischen Grundlagenforschung darstellen und auf der anderen Seite Entwicklungen in den psychologischen, pädagogischen und therapeutischen Anwendungsfeldern skizzieren. Mit dieser zweiten Auflage wollen wir nun eine Aktualisierung bezüglich der wissenschaftlichen Entwicklung der letzten Jahre zum Thema Rechenstörungen bei Kindern vornehmen. Die enthaltenen Kapitel wurden größtenteils einer gründlichen Revision unterzogen, darüber hinaus wurde ein Kapitel über computergestützte Förderprogramme neu aufgenommen.

Die modernen Neurowissenschaften haben dazu beigetragen, dass zahlreiche Erkenntnisse und Theorien aus den psychologischen und pädagogischen Disziplinen bestätigt und weiterentwickelt werden konnten. Insbesondere durch die Methoden der funktionellen Bildgebung kann man heute buchstäblich sichtbar machen, wie Denken funktioniert, wie und wo Gedächtnisinhalte entstehen und welche Rolle den Gefühlen dabei zukommt. Hinter dem Begriff der »erfahrungsabhängigen Neuroplastizität« steht die Einsicht, dass sich jedes Gehirn, das heißt seine individuellen neuronalen Verschaltungen, aus den persönlichen biographischen Erfahrungen gewissermaßen selber erschafft. Das heißt, es organisiert sich in Anpassung an das, was für das Individuum bedeutsam und lebenswichtig ist. Die Reifung von Nervenzellen vollzieht sich dabei in den verschiedenen Regionen des Kortex zu unterschiedlichen Zeitpunkten und mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Daraus resultieren so genannte sensible Phasen mit erhöhter neuronaler Plastizität, in denen bestimmte Funktionen besonders leicht gelernt oder aber – bei ungünstigen Bedingungen – in ihrer Entfaltung behindert werden können. Erkenntnisse dieser Art erlauben Rückschlüsse darauf, welche Merkmale einer Lernumgebung fördernden oder aber behindernden Charakter für die Entwicklung bestimmter Fähigkeiten haben.

Die sorgfältige Untersuchung von Patienten mit umschriebenen Hirnschädigungen und Funktionsausfällen haben zu einem besseren Verständnis so komplexer geistiger Tätigkeiten wie dem Rechnen beigetragen. Früher nahm man an, dass der Umgang mit Zahlen eine einheitliche, in einem singulären Rechenzentrum vermittelte Fähigkeit sei. Heute erkennt man, dass die Fähigkeit, mit Zahlen umzugehen, aus vielen Komponenten besteht, die in verschiedenen Regionen des Gehirns koordiniert werden.

Das lebhafteste und wachsende Interesse, das die Ergebnisse der Hirnforschung bei Pädagogen und Therapeuten findet, ist nachvollziehbar, denn sie geben Anhaltspunkte für ein besseres Verständnis geistiger Verarbeitungs- und Organisationsmechanismen bei schulischen Lernaufgaben. Je besser dieses Verständnis ist, desto leichter dürfte es der Lehrkraft fallen, eine angemessene Vorstellung darüber zu entwickeln, was sich im Kopf ihres Schülers vollzieht, vollziehen sollte oder eben nicht vollziehen kann, und desto besser sind auch ihre Möglichkeiten, individuell adaptive Lernmittel und -hilfen zu kreieren und bereitzustellen.

Das Buch gliedert sich in zwei Teile, die eine neurowissenschaftlich-medizinische und eine psychologisch-pädagogische Perspektive einnehmen.

Im ersten Beitrag formuliert Michael von Aster auf der Grundlage von Ergebnissen aus verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen ein Modell der Entwicklung zahlenverarbeitender Hirnfunktionen, das hierarchisch gegliedert ist und spezifische Einflüsse aus Anlage und Umwelt integriert. Das Modell erlaubt gewisse Vorhersagen verschiedener Erscheinungsformen von Dyskalkulie und ermöglicht Annahmen zu frühen und späteren Zeitpunkten ihrer Verursachung.

Der Beitrag von Ursina Grond, Martin Schweiter und Michael von Aster gibt einen tieferen Einblick in die wundersamen Phänomene, die mit experimentalphysikalischen und neuropsychologischen Methoden über die geistigen Abbilder (Repräsentationen) von Zahlen in Erfahrung gebracht werden können, und über die Unterschiede, die diesbezüglich zwischen Menschen mit und ohne Dyskalkulie bestehen.

Mittels funktioneller Bildgebung ist es heute nicht nur möglich, geistige Prozesse sichtbar zu machen und konkreten Gehirnregionen zuzuordnen, sondern auch in ihrer Entwicklung und Veränderung optisch wahrnehmbar nachzuvollziehen. Nach einer kurzen Einführung über die Art und Weise, wie solche Bilder erzeugt werden und was die bunten Flecken im Gehirn in biologischer Hinsicht bedeuten, stellen Karin Kucian und Michael von Aster die Ergebnisse dieser Forschungsrichtung dar, die mit sehr unterschiedlichen Fragestellungen bei Erwachsenen und Kindern gewonnen wurden, und diskutieren sie.

Der Beitrag von Michael W. Bzufka, Michael von Aster und Klaus-Jürgen Neumärker beginnt mit einer kurzen medizingeschichtlichen Betrachtung der Dyskalkulieforschung des vergangenen Jahrhunderts und gibt anschließend eine Übersicht über die aktuellen Möglichkeiten und Notwendigkeiten in der klinischen und psychometrischen Diagnostik der Rechenstörungen.

Inge Schwanks bemerkenswerte Theorie über unterschiedliche (mathematische) Denkstile (funktional vs. prädikativ) hat durch EEG-Studien eine gewisse neurowissenschaftliche Validierung erfahren. Der funktionale Denkstil, der im übrigen bei Knaben häufiger beobachtet wird als bei Mädchen, eignet sich offenbar besser zum Verständnis gewisser mathematischer Sachverhalte. Dieser Beitrag schließt den ersten Teil des Buches ab und bildet mit seinen konkreten Schlussfolgerungen für den Mathematikunterricht die Überleitung zum 2. Teil des Buches.

Die schon von Geburt an vorhandenen Fähigkeiten der Säuglinge, Mengenrößen abzuschätzen, werden von Elisabeth Stern beleuchtet. Das Problem, das bereits in den Kapiteln zur Neuroplastizität angesprochen wurde, wird hier fortgesetzt unter der Perspektive, wie sich das mathematische Wissen, das bereits so früh vorhanden ist, in Austausch mit den kulturellen Gegebenheiten weiterentwickeln kann. Hierzu wird zum einen über Ergebnisse aus Langzeitstudien und zum anderen über Befunde aus interkulturellen Vergleichen be-

richtet, die einen Einblick in die Verschiedenartigkeit der Entwicklung des mathematischen Denkens in Abhängigkeit von soziokulturellen Einflüssen bieten.

Wenn nun solche Vorläuferfähigkeiten bei Kindern im Regelfall schon früh entwickelt sind, dann ist es auch möglich, das Fehlen dieser frühen Fähigkeiten beziehungsweise ihre verzögerte Entwicklung (im Vergleich zu den Alterskameraden) bereits vor Schuleintritt zu diagnostizieren. Hiermit befasst sich der Beitrag von Kristin Krajewski, der damit auch die Möglichkeit eröffnet, die für das schulische Lernen notwendigen Vorläuferfähigkeiten, welche die Grundschule als hinreichend entwickelt voraussetzt, kompensatorisch im Kindergartenalter zu fördern und somit einer negativen Schulbiographie vorzubeugen. Der Ansatz basiert auf einem umfassenden Modell der Zahl-Größen-Verknüpfung (ZGV-Entwicklungsmodell), das sowohl die neuen neuropsychologischen Befunde als auch die aktuellen entwicklungspsychologischen Erkenntnisse aufnimmt und zukünftige Forschungslinien beschreibt.

Bis heute gibt es noch keine systematische Erfassung von Risikomerkmalen im Vorschulalter und demzufolge auch kaum präventive Förderung. So bleibt meist die diagnostische und fördernde Aufgabe der Grundschule überlassen. Welche Möglichkeiten sich im Regelunterricht bieten, welche spezifischen Ursachen welche typischen Fehler beim Rechnen bewirken und wie ihnen begegnet werden kann, untersucht der Beitrag von Jens Holger Lorenz. Insbesondere die unterrichtsbegleitende Diagnostik wird hierbei betont.

Die verschiedenen Aspekte der Zahlen und Rechenoperationen und ihre flexible Handhabung werden von Hans-Dietrich Gerster behandelt. Er geht der Frage nach, welche Denkoperationen notwendig sind, um zu einem adäquaten Aufbau eines mentalen Zahlenraumes im Kopf des Kindes zu gelangen, und welche Veranschaulichungshilfen welche kraftvollen oder weniger günstigen mathematischen Vorstellungsbilder für arithmetische Operationen bewirken.

Der anschließende Beitrag von Liane Kaufmann, Pia Handl, Margarete Delazer und Silvia Pixner beschreibt ein Dyskalkulie-Interventionsprogramm, welches auf kognitiv-neuropsychologischen Grundlagen basiert. Es umfasst die Bearbeitung der wichtigsten Komponenten der Zahlenverarbeitung und Arithmetik, hebt die Notwendigkeit einer Integration und Differenzierung spezifischer Aspekte wie numerisches Basiswissen und konzeptuelles Verständnis hervor und plädiert für die Berücksichtigung von inter- und intraindividuellen Leistungsunterschieden. Exemplarisch wird die Wirksamkeit des Interventionsprogramms anhand einer Einzelfalldarstellung beschrieben.

Abschließend widmet sich der neue Beitrag von Tanja Käser und Michael von Aster dem in letzter Zeit zunehmend mehr Beachtung findenden Einsatz von computergestützten Förder- und Therapieprogrammen. Nach einer zusammenfassenden Übersicht wird die Entwicklung und Evaluation des Programms »Calcularis« eingehender dargestellt, das sich adaptiv auf die individuellen Probleme jedes Kindes einstellt und es auf diese Weise dort abzuholen versucht, wo es in seiner Lernentwicklung steht.

Die in diesem Buch beschriebenen unterschiedlichen Facetten des Phänomens Rechenschwäche sind sicherlich nicht erschöpfend, sie geben aber einen Einblick in den Stand der Forschungs- und der Entwicklungsarbeiten in den kognitiv-neurowissenschaftlichen und psychologisch-pädagogischen Bereichen, die in den letzten Jahren auf diesem Gebiet geleistet wurden. Das Buch möchte allen an der Behandlung der Dyskalkulie Beteiligten einen differenzierten Zugang zum Denken der Kinder und seiner Entwicklung öffnen. Es wird zwar nicht verhindern können, dass Schwierigkeiten beim Lernen von Zahlen und Rechenoperationen weiterhin auftreten werden, aber es kann helfen, Rechenschwäche als schulisches Problem mit seinen im individuellen Fall gravierenden negativen biographischen Auswirkungen zu mildern. Und damit wäre für das einzelne Kind viel gewonnen.

## Literatur

Aster, M. von; Schweiter, M.; Weinhold Zulauf, M. (2007): Rechenstörungen bei Kindern: Vorläufer, Prävalenz und psychische Symptome. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 39: 85–96.



# Teil 1: Die kognitiv-neurowissenschaftliche und medizinische Perspektive



Michael von Aster

## Wie kommen Zahlen in den Kopf?

Ein Modell der normalen und abweichenden Entwicklung zahlenverarbeitender Hirnfunktionen

### Rechnen und Intelligenz: Einige Vorbemerkungen

Die aktuell gültigen internationalen Klassifikationssysteme für psychische Störungen – ICD-10 und DSM-IV – definieren die Rechenstörung ebenso wie die Lese-Rechtschreib-Störung als voneinander unabhängige Klassen von umschriebenen Störungen der schulischen Fertigkeiten. Nach diesem Konzept der Teilleistungsstörung liegt eine gravierende Beeinträchtigung des Erlernens grundlegender rechnerischer Fertigkeiten bei ansonsten normaler Intelligenz und adäquater Beschulung vor, das heißt, die Teilfähigkeit ist signifikant schwächer als aufgrund der Intelligenz zu erwarten wäre. Diese Diskrepanz soll ihren Ausdruck in einer psychometrischen Messung mit standardisierten Testverfahren zur Rechenfähigkeit und zur Intelligenz finden.

Diese Konzeption geht davon aus, dass das Rechnen eine umschriebene, von anderen Funktionen unabhängige Hirnfunktion ist, deren Entwicklung von früh an aus vermutet genetischen Gründen ausbleibt oder gestört verläuft. Dieselbe implizierte Annahme gilt für das hier verwendete Konstrukt der Intelligenz. Die Intelligenz wird als genetisch determiniertes, entwicklungsstabiles Persönlichkeitsmerkmal aufgefasst, das unabhängig ist von der Teilleistung des Rechnens und deshalb zu ihr in Kontrast gebracht werden kann.

Vor dem Hintergrund der wissenschaftlichen Entwicklung in den letzten gut zwei Jahrzehnten sind diese Konzepte und die in ihnen enthaltenen implizierten Annahmen nicht mehr zeitgemäß. In den anstehenden Revisionen der genannten Klassifikationssysteme werden deshalb auch gravierende Änderungen erwartet. So werden in der DSM-V die spezifischen schulischen Entwicklungsstörungen voraussichtlich dimensional in einer Klasse zusammengeführt, mit variablen Ausprägungen in den verschiedenen schriftsprachlichen und mathematischen Fähigkeitsbereichen und unter Verzicht auf ein striktes psychometrisches Diskrepanzkriterium, was der vielschichtigen Komplexität dieser Störungen hinsichtlich der beteiligten kognitiven Komponenten und der Häufigkeit komorbider Symptome besser gerecht zu werden verspricht.

## Was ist Intelligenz?

Hier erfolgt keine wissenschaftlich detaillierte Abhandlung über den Stand der Intelligenzforschung, sondern lediglich ein kurzer Aufriss, der die durch Konstrukte der Intelligenz gesetzten Koordinaten besser verständlich machen soll.

»Intelligenz ist, was der Intelligenztest misst.« Dieser oft gehörte Ausspruch führt die Forderung, wonach ein Test valide eben das messen soll, was er vorgibt zu messen, ironisch ad absurdum. Darin drückt sich auch die seit vielen Forschergenerationen bestehende Schwierigkeit aus, den Begriff der Intelligenz klar und übereinstimmend zu definieren. Ganz allgemein könnte formuliert werden, dass unter Intelligenz diejenigen Denkfunktionen zu fassen sind, die zu einer erfolgreichen Lebensbewältigung befähigen. Und schon hier müsste man fragen, ob, zumindest in unserem Kulturkreis, die Fähigkeiten zu lesen, zu schreiben und zu rechnen nicht klar dazu gehörten. Konsens besteht darüber, dass Intelligenz die Fähigkeit umschreibt, sich in unvertrauten Situationen durch das denkende Erfassen von Bedeutungen und Zusammenhängen zurechtzufinden.

Der jahrzehntelangen Kontroverse zwischen den Vertretern der so genannten Generalfaktor-Intelligenz (*g*), die Intelligenz als einheitliches, genetisch determiniertes und stabiles Persönlichkeitsmerkmal auffassen (Spearman 1904), und den Verfechtern der multiplen Intelligenzen (z. B. Gardner, 2002), also voneinander unabhängigen, primär erworbenen Fähigkeiten, hat Mike Anderson (1992) mit seiner Entwicklungstheorie der »Minimalen kognitiven Architektur« einen neuen Aspekt hinzugefügt. Er beschreibt in seiner Theorie – durchaus mit Bezug zu Cattells Konzept der fluiden und kristallinen Intelligenz (Cattell 1987) – zwei Wege des Wissenserwerbs: Der erste Weg ist der des Denkens, für den Anderson einen basalen Verarbeitungsmechanismus sowie zwei spezifische Prozessoren postuliert für sprachliche und nonverbale Verarbeitung. Dieser Denkapparat ist seiner Theorie zufolge charakterisiert durch die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung und stellt, analog *g*, ein stabiles Persönlichkeitsmerkmal dar, in dem sich Menschen gleichen Alters unterscheiden. Je schneller und effektiver die Informationsverarbeitung, desto mehr Wissen wird pro Zeiteinheit erworben. Dieser erste Weg hat große Ähnlichkeit mit dem von Baddeley und Hitch (1974) formulierten Konzept des Arbeitsgedächtnisses. Für den zweiten Weg des Wissenserwerbs gebraucht Anderson das Konzept von modular organisierten Funktionen. Er unterscheidet hier zwischen solchen Modulen, die bereits angeboren verfügbar sind (z. B. Erkennen des dreidimensionalen Raumes), und anderen Modulen, die über die Lebensspanne durch Übung und Automatisierung erworben werden und kognitive Funktionen und spezifisches Wissen mit hoher Geschwindigkeit unmittelbar zur Verfügung stellen. Durch diesen Weg werden Menschen mit zunehmendem Alter intelligenter. Jedes neu entstehende Modul entlastet den ersten Weg des Wissenserwerbs und setzt Kapazität für neues, denkendes Lernen frei.

Anderson schlägt mit seiner Theorie gewissermaßen eine entwicklungsbezogene Brücke zwischen genetisch disponierter Generalfaktor-Intelligenz und erworbenen multiplen Intelligenzen, die weitgehend kompatibel ist mit modernen neurowissenschaftlich untermauerten Konzepten über die Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses, der Arbeitsgeschwindigkeit, der neuronalen Effektivität und der modularen Architektur neuronaler Netzwerke. Nach Andersons Theorie und mittlerweile zahlreichen Belegen über die enorme Bedeutung erfahrungsabhängiger Neuroplastizität scheint sich das Gehirn seine Werkzeuge im Lauf der Entwicklung weitgehend selbst und bedarfsgerecht zu erschaffen.

Nun stellt sich aber die Frage, ob der g-Anteil, also der Denkkapparat, mit dem diese Werkzeuge entworfen und gezimmert werden, von vornherein und in normalverteilter Ausprägung einfach da ist und bestimmt, wie gut oder weniger gut wir diese Werkzeuge entwickeln und mit ihnen unser Leben bewältigen werden. Ein spezifischer Genort für g ist trotz intensiven Bemühens noch nicht gefunden, und wie es scheint, ist allenfalls das Potenzial, die Möglichkeit, zu intelligentem Verhalten in unserem Genom angelegt. Ob und wie sich diese Möglichkeiten entfalten, und damit zu den Unterschieden zwischen den Menschen beitragen, hängt in viel stärkerem Maße als bislang vermutet von den Erfahrungen des Individuums in einer individuellen Umwelt ab.

So ist die alte Debatte über Anlage und Umwelt weiter kräftig in Bewegung: Zu dem früheren Entweder-oder und dem späteren Sowohl-als-auch gibt es nun zunehmend Erkenntnisse über Interaktionen zwischen Genen und Umwelt, also quasi über ein Mit- oder Gegeneinander. Hier sind so genannte epigenetische Faktoren gemeint, also die Tatsache, dass bestimmte genetische Programme und die von ihnen gesteuerten Funktionen zum passenden Zeitpunkt und bedarfsgerecht durch Methylierung gewissermaßen angeschaltet werden müssen oder aber abgeschaltet bleiben, wenn bestimmte Erfahrungen, die das Anschalten auslösen, nicht eintreten, oder Erfahrungen eintreten, die dieses Anschalten behindern. Im Tierversuch konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass solche Umwelt-Gen-Interaktionen (z. B. starke Stresserfahrungen) einen bedeutsamen Einfluss auf Prozesse der Genexpression haben. Sie können im weiteren Verlauf die Lernentwicklung behindern und zu psychopathologischen Entwicklungen führen, die wir im Spektrum von Diagnosen wie Depression und ADHS kennen.

## Gibt es einen Ort für Intelligenz im Gehirn?

Intelligenz ist nach neurowissenschaftlichen Ergebnissen aus jüngster Zeit offenbar weniger in einzelnen Nervenzellarealen als vielmehr in den Verbindungen zwischen ihnen zu finden. Dabei scheinen die fronto-parietalen Faserverbindungen eine besondere Rolle zu spielen. Gläscher und Mitarbeiter

(2010) fanden in einer bemerkenswerten Studie mit 241 Patienten, die an unterschiedlichen umschriebenen Hirnläsionen litten, dass die zuvor als g extrahierten kognitiven Leistungen (zu denen im Übrigen auch das rechnerische Denken gehörte) am stärksten mit einem Läsionsmuster korrelierten, das einen umschriebenen Bereich im Frontalhirn und einige parietale Hirnareale, hauptsächlich aber den Fasziculus arcuatus, also die fronto-parietale Verbindungsachse betraf. Dies hieße für Andersons Theorie, dass einer Verbindung zwischen dem ersten (denkenden) und dem zweiten (modularen) Weg des Wissenserwerbs die entscheidende Bedeutung zukäme. Auf die Verkabelung und das Zusammenspiel zwischen den sich im Frontalhirn entwickelnden exekutiven Funktionen (Arbeitsgedächtnis, Aufmerksamkeits- und Affektregulation) auf der einen Seite und den in den hinteren Hirnabschnitten (parieto-temporo-okzipital) wachsenden modularen Netzwerkstrukturen für verschiedene kulturelle Wissens- und Fähigkeitsbereiche auf der anderen Seite scheint es also anzukommen. Solche neurowissenschaftlichen Erkenntnisse bilden auch die Basis für die von Jung und Haier (2007) formulierte Theorie der Intelligenz, der »Parieto-Frontal Integration Theory« (P-FIT).

Kommen wir nun zurück zum Ausgangspunkt dieses kleinen Ausflugs in die Intelligenzforschung (den man mit Gewinn z. B. bei Deary, Penke u. Johnson, 2010, und bei Neubauer und Stern, 2007, vertiefen kann): Ist Intelligenz ein vom Rechnen unabhängiges und von früh an stabiles Merkmal?

Auch beim Rechnen heben Neurowissenschaftler stets die Bedeutung fronto-parietaler Netzwerke hervor. Wie nah und verflochten die Entwicklung von Intelligenz mit der Entwicklung so komplexer kognitiver Fähigkeiten wie Rechnen ist, zeigen erste Ergebnisse aus Studien, die die weiße Hirnsubstanz, also die Faserverbindungen (»Verkabelung«), mit einer speziellen Bildgebungstechnik (Diffusion Tensor Imaging, DTI) bei Kindern mit Rechenstörungen untersucht haben. Dabei hat sich gezeigt, dass auch hier, ähnlich wie in der oben berichteten Intelligenzstudie von Gläscher und Mitarbeitern (2010), Schwächen in bestimmten Abschnitten des fronto-parietalen Fasziculus arcuatus nachweisbar wurden (Rykhlevskaia, Uddin et al. 2009; Kucian et al. 2012). Intelligenz, so wie wir sie heute verstehen können, scheint weder intraindividuell noch interindividuell ein von Beginn an stabiles Merkmal zu sein, da es sich aus vielen erfahrungsabhängig reifenden Funktionen zusammensetzt.

Eine Studie von Ramsden und Mitarbeitern (2011) konnte eindrucksvoll zeigen, dass sich sowohl der verbale IQ als auch der nonverbale IQ bis ins späte Jugendalter verändert, also zunehmen oder auch abnehmen kann, und dass diese Veränderungen einhergehen mit Veränderungen in der strukturellen und funktionellen Organisation des Gehirns. Diese Veränderungen waren für den verbalen IQ mit den sprachverarbeitenden Hirnregionen assoziiert und für den nonverbalen IQ insbesondere mit Veränderungen in sensomotorischen Kortexarealen. Auch das auf dem Postulat der Unabhängigkeit basierende Diskrepanzkriterium stellt sich bei einem Blick ins Gehirn schlicht als irrelevant he-

raus. Tanaka und Mitarbeiter (2011) konnten an Kindern mit Dyslexie zeigen, dass sich Kinder mit und ohne Intelligenzdiskrepanz nicht unterscheiden hinsichtlich der verringerten Aktivierung in den parieto-okzipito-temporalen Hirnregionen. Beide Gruppen zeigten auch vergleichbare Schwächen in der phonologischen Verarbeitung verglichen mit normal lesenden Kindern. Für den mathematischen Bereich liegen ähnliche Befunde vor, die zeigen, dass sich Kinder mit Rechenstörungen in ihren spezifischen Leistungsprofilen nicht anhand des Merkmals einer vorhandenen oder nicht vorhandenen Intelligenzdiskrepanz voneinander unterscheiden lassen (Ehlert, Schroeders u. Fritz, im Druck).

Als Fazit lässt sich sagen, dass Intelligenz gewiss mehr ist als das Beherrschen geistiger Werkzeuge wie Rechnen, Lesen und Schreiben. Aber das, was wir als Intelligenz messen, ist weder entwicklungsstabil noch unabhängig von der Entwicklung dieser Kulturtechniken. Insofern ist gerade für die pädagogischen Wissenschaften Vorsicht geboten bezüglich zu starrer Intelligenzkonstrukte. Sie festigen rigide Begabungskonzepte und formen Zuschreibungen, die einem dynamischen Entwicklungsverständnis zuwiderlaufen und ihrerseits im Sinne einer erwartungsinduzierten self-fulfilling prophecy ein starres und auf Heredität basierendes Intelligenzkonstrukt zu bestätigen scheinen.

## Was ist Rechnen?

Wenn in den folgenden Abschnitten davon die Rede sein wird, wie sich die spezifischen geistigen Fähigkeiten, mit Zahlen umzugehen und zu rechnen, entwickeln und wie sich erklären lässt, dass sich diese Fähigkeiten bei manchen Kindern gar nicht oder nur schwach ausbilden, muss zunächst einmal klar werden, was das Ziel dieser Entwicklung eigentlich kennzeichnet. Bezüglich der individuellen inneren Ebene ist zu fragen, wie die geistigen Funktionen und ihre neuronalen Korrelate bei erwachsenen Menschen beschaffen sind. In der äußeren Welt lässt sich dieses Ziel der Entwicklung durch kulturelle Konventionen beschreiben, die ihren Ausdruck zum Beispiel in schulischen Curricula finden. Diese definieren, was ein Mensch nach Abschluss der Schule wissen und können sollte.

Hier beginnt es bereits kompliziert zu werden, denn ganz offensichtlich bestehen Unterschiede zwischen Menschen aus unterschiedlichen Kulturen. So gibt es einige Naturvölker, deren Sprache nur für die Zahlen eins bis fünf konkrete Bezeichnungen vorsieht. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf deren Fähigkeit, größere Mengen exakt zu bestimmen und arithmetische Operationen auszuführen. Das heißt, dass aufgrund dieser kulturellen Gegebenheit ganz bestimmte, uns vertraute geistige Operationen gar nicht ausgeführt werden können (Pica, Lemer, Izard u. Dehaene 2004). Aber auch in den westlichen, so genannten zivilisierten Kulturen gibt es erhebliche Unterschiede in der Art, wie Zahlen benannt

werden, und auch dies hat Auswirkungen auf die Art, wie wir lernen, mit Zahlen umzugehen und zu operieren, und wie sich in unseren Köpfen diese Fähigkeiten organisieren. In unserem eigenen Kulturkreis stellen Zahlwortsysteme in gesprochener und geschriebener Form sowie das arabische Notationssystem die gebräuchliche Grundlage für die Kommunikation numerischer Inhalte dar.

Das bereits 1992 von Dehaene formulierte »Triple-Code-Modell« kann als Bezugspunkt dienen, wenn beschrieben werden soll, wie die geistigen Funktionen der Zahlenverarbeitung und des Rechnens bei erwachsenen Menschen beschaffen sind. An dieser Stelle soll nicht detailliert auf die wissenschaftliche Grundlegung dieses Modells eingegangen werden. Kurz zusammengefasst besagt es, dass Erwachsene über drei unterscheidbare, miteinander verbundene neuronale Netzwerke (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). Dehaene bezeichnet das analoge Modul (den inneren Zahlenstrahl) als Ausdruck eines angeborenen Zahlensinns (Dehaene, Spelke, Pinel, Stanescu u. Tsivkin 1999).

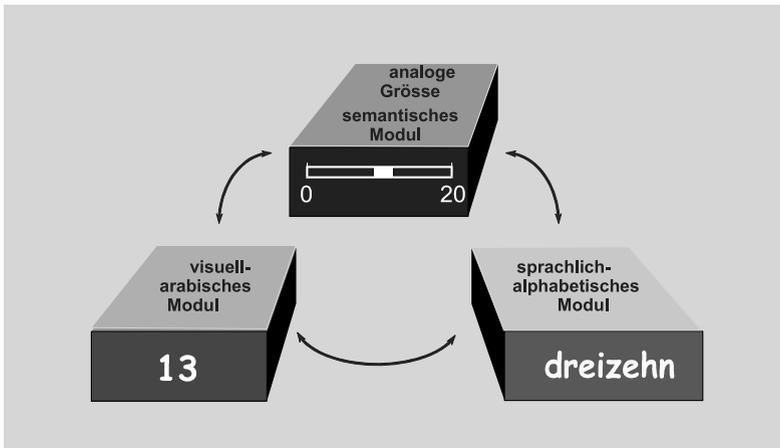


Abbildung 1: Triple-Code-Modell (Dehaene 1992)

Bei der Frage nach der Entwicklung dieser modularen Denkerzeuge ist es unabdingbar, sich auf Ergebnisse der Entwicklungs- und Neuropsychologie zu beziehen. Welches sind die ersten Zeichen für numerische Kompetenzen, welche Bedeutung haben sie für welche weiteren Entwicklungsschritte? Welche Bedeutung haben domänenübergreifende oder -unspezifische Funktionen für die Entwicklung domänenspezifischer Funktionen? Wie kommt es zu ge-

schlechtsspezifischen Unterschieden? Welche Formen von Entwicklungsstörungen lassen sich unterscheiden und auf welche Entwicklungsschritte und ursächliche Faktoren lassen sie sich beziehen? Im Ergebnis wird deutlich werden, dass für die Domäne der Zahlenverarbeitung und des Rechnens starre und eindimensionale Konstrukte ebenso wenig taugen wie für Intelligenz.

## Ein Vier-Stufen-Modell der Entwicklung zahlenverarbeitender Hirnfunktionen

In dem hier dargestellten und in Abbildung 2 veranschaulichten Modell wird die Entwicklung spezifisch zahlenverarbeitender Hirnfunktionen als ein stufenweiser neuroplastischer Prozess verstanden, der verbunden ist mit der komplementären Reifung domänenübergreifender Denkerwerkzeuge wie Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis, Sensomotorik, Sprache und räumliche Vorstellung (von Aster u. Shalev 2007; Kucian u. Kaufmann 2009; Kaufmann u. von Aster 2012). In diesem Modell bilden frühe Fähigkeiten der Mengenerfassung und der darauf folgende Erwerb der sprachlichen und arabischen Symbolisierungssysteme für Zahlen die Voraussetzung zur Bildung abstrakter zahlenräumlicher Vorstellungen im beginnenden Schulalter. Diese Entwicklung nimmt ihren Ausgang bei sehr einfachen, so genannten basisnumerischen Fähigkeiten, die es schon wenige Monate alten Babys ermöglicht, die Größe von Mengen zu erfassen und zu unterscheiden.

Mit Einsetzen der Sprachentwicklung wird dann die Fähigkeit zu sprachlicher Symbolisierung von Anzahligkeit durch Zahlworte erworben. Damit entfalten sich Zähl- und Abzählfertigkeiten und das arithmetische Manipulieren der Größe von Mengen. Eine zweite Form der Symbolisierung von Zahlen erfolgt später (im Vor- und Grundschulalter) mit dem Kennenlernen der arabi-

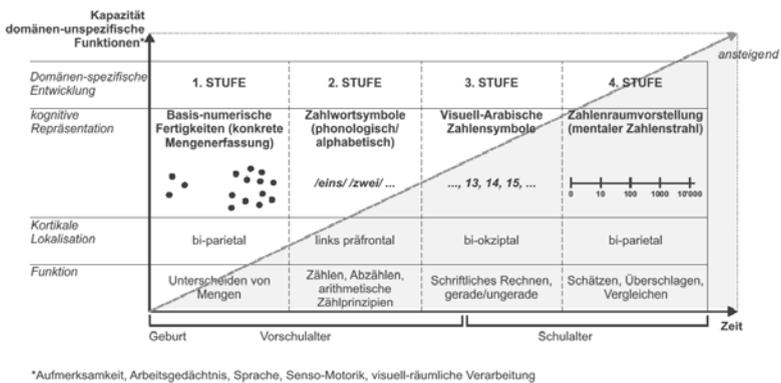


Abbildung 2: Vier-Stufen-Modell der Entwicklung zahlenverarbeitender Hirnfunktionen

schen Zahlenschreibweise, die eine ganz eigene und von der deutschen Zahlensprechweise verschiedene Grammatik hat. Das arabische Stellenwertsystem ermöglicht eine sehr ökonomische visuelle Symbolisierung auch sehr großer Zahlen sowie das rechnerische Operieren mit ihnen: Verschriftlicht hat die Zahl 1.768.329 in der arabischen Notation sieben Zeichen, in der alphabetischen Form bilden hierfür 63 Zeichen zehn zusammenhängende Zahlwortelemente.

Parallel zu den Prozessen der sprachlichen und arabischen Symbolisierung und den damit verbundenen operativen Möglichkeiten formt sich schließlich im Inneren eine zahlenräumliche Vorstellung (mentaler Zahlenstrahl), in welcher mit Zahlsymbolen operiert werden kann. Die Repräsentationen von konkreter Anzahligkeit (Mengengröße, Stufe 1), von sprachlicher (Stufe 2) und von arabischer Symbolisierung (Stufe 3) verschmelzen dann in einem Prozess zunehmenden Verstehens und Automatisierens zu diesem neuen kognitiven Werkzeug der abstrakten Zahlenraumvorstellung (Stufe 4). Dieser mentale Zahlenstrahl scheint grundlegend zu sein für das rechnerische Denken und das arithmetische Manipulieren (Kopfrechnen). Während die frühen basisnumerischen Fähigkeiten quasi sinnstiftend für die Prozesse der Symbolisierung (Zahlworte und arabische Zahlen) sind, stellt der mentale Zahlenstrahl gewissermaßen den semantischen Sinnbezug auf einem höheren abstrakten Niveau sicher. Karmiloff-Smith (1992) hat für diesen Umformungsprozess den Begriff der *representational re-description* geprägt. Stufe 1 stellt praktisch eine Frühform von Stufe 4 dar, Letztere geht also aus Ersterer hervor, und dies kann nur geschehen durch den kulturvermittelten Erwerb der sprachlichen und arabischen Zahlensymbolsysteme. Sie stellen sozusagen den Baustoff für diese Metamorphose dar.

Studien mit funktioneller Bildgebung zeigen, dass die genannten basisnumerischen, sprachlichen, arabischen und zahlräumlichen Repräsentationen ein mit wachsender Übung und Expertise gewissermaßen zusammenwachsendes neuronales Netzwerk in verschiedenen Hirnregionen bilden, die entsprechend den Erfordernissen gestellter Aufgaben aktiviert werden (Kucian u. Kaufmann 2009). Hier soll nicht im Einzelnen auf die zahlreichen Erkenntnisse aus der entwicklungspsychologischen und neurokognitiven Forschung eingegangen werden, die die Grundannahmen des Vier-Stufen-Entwicklungsmodells unterstützen.

Unsere eigenen Untersuchungen mit Methoden der funktionellen Bildgebung haben bei gesunden Probanden unterschiedlichen Alters im Wesentlichen eine fronto-parietale Aktivitätsverschiebung im Entwicklungsverlauf dargestellt (Kucian, Loenneker, Dosch, Dietrich u. von Aster 2005). Diesen Shift haben wir – vereinfacht ausgedrückt – mit der Entstehung und Automatisierung des mentalen Zahlenstrahls im Parietalhirn sowie mit der bei zunehmender Expertise abnehmenden Notwendigkeit zur Aktivierung von Aufmerksamkeits- und Arbeitsgedächtnisressourcen im Frontalhirn in Verbindung gebracht.

Bei rechenschwachen Kindern fanden sich im Vergleich zu Kontrollkindern signifikant schwächere Leistungen und Aktivierungen in den erwarteten parie-

talen Regionen beim Lösen von approximativen Rechenaufgaben, also bei jener Art von Aufgaben, bei denen Zahlenraumvorstellungen aktiviert werden. Gleichzeitig allerdings zeigten die rechenschwachen Kinder auch eine signifikant schwächere Aktivität in den frontalen Regionen für Aufmerksamkeits- und Arbeitsgedächtnisregulation (Kucian et al. 2006). Probleme der Zahlenraumentwicklung lassen sich hiernach also entweder auf Störungen parietaler räumlicher Syntheseleistungen, auf Defizite in den frontalen Aufmerksamkeits- und Arbeitsgedächtnisfunktionen oder auf die Verbindung und Interaktion zwischen beiden Funktionsarealen beziehen. Wir konnten im Übrigen zeigen, dass durch erfolgreiches spezifisches Training diese Defizite auch auf neuronale Ebene korrigierbar sind (Kucian et al. 2011).

Der Prozess der Entwicklung und Modularisierung erfolgt einerseits in Abhängigkeit von der zunehmenden Kapazität und Verfügbarkeit der domänenübergreifenden beziehungsweise -unspezifischen Fähigkeiten und er erfolgt andererseits erfahrungsabhängig, stellt also einen Prozess dar, der sich in einer individuellen soziokulturellen Lernumwelt ausprägt. Innere wie äußere Umstände können diesen Weg positiv und negativ beeinflussen. Mit dem Vier-Stufen-Modell lassen sich Vorhersagen über verschiedene Ursachen von Rechenstörungen machen, die domänenübergreifende und -spezifische Komponenten auf allen Stufen betreffen können und zu unterschiedlichen Erscheinungsformen und Komorbiditäten führen. Die klinische Diagnostik sollte daher immer neben den besonderen Aspekten der Zahlendomäne die Gesamtentwicklung des Kindes ins Blickfeld nehmen (von Aster, Kucian, Schweiter u. Martin 2005; von Aster, Weinhold Zulauf u. Horn 2006).

So vielfältig die Ursachen für Rechenstörungen sein können, so einheitlich bewirken sie nach den Vorhersagen dieses Modells eine Erschwerung der hierarchisch am Ende stehenden neuroplastischen Ausbildung von Zahlenraumvorstellungen und die mit ihr einhergehende Entwicklung arithmetischer Fähigkeiten. Das Vier-Stufen-Modell unterscheidet sich damit deutlich von der noch immer verbreiteten Annahme einer einheitlichen (genetischen), die frühen basisnumerischen Fähigkeiten betreffenden Ursache von Rechenstörungen (z. B. Butterworth, Varma u. Laurillard 2011).

In den folgenden Abschnitten soll nun auf der Basis des Vier-Stufen-Modells die Entwicklungsdynamik und die Ätiopathogenese von Rechenstörungen erläutert und mit kurzen Fallbeispielen veranschaulicht werden.

## Stufe 1: Die Repräsentation konkreter Mengengröße: Frühe basisnumerische Fähigkeiten

Feigenson, Deahaene und Spelke (2004) definierten für das, was in unserem Modell als basisnumerische Fertigkeiten bezeichnet ist, zwei *core-systems of*

*number*. Die hierunter gefassten Fähigkeiten sind nicht nur bei Menschen (Kindern und Erwachsenen), sondern auch bei verschiedenen Tierspezies vorhanden und ermöglichen ein Wissen über die elementare Mächtigkeit von Mengen, ihre numerische Größe. Zum einen ist hier die Fähigkeit gemeint, kleine Mengen von ein bis drei Objekten simultan und unmittelbar zu erfassen und voneinander zu unterscheiden (subitizing). Babys unter einem Jahr wählen die jeweils größere Menge (von z. B. essbaren Objekten), wenn die Alternativen eins versus zwei, zwei versus drei oder eins versus drei vorgegeben werden. Dagegen wählen sie zufällig, wenn eine der Alternativen mehr als drei Objekte enthält (Feigenson, Carey u. Spelke 2002).

Zum anderen scheint auch die Fähigkeit, größere Mengen voneinander unterscheiden zu können, schon sehr früh vorhanden zu sein. Hierbei geht es jedoch nur um eine ungefähre und ungenaue Unterscheidung, die nur dann gelingt, wenn der Unterschied zwischen diesen zu vergleichenden Mengen groß genug ist. Babys können zwei größere Mengen von Objekten dann voneinander unterscheiden, wenn die numerische Distanz zwischen ihnen eine kritische Größe übersteigt. Sie können zum Beispiel 8 von 16, aber nicht 8 von zwölf unterscheiden und sie können 16 von 32, aber nicht 16 von 24 unterscheiden (Xu u. Spelke 2000).

Hier liegen bereits Größen- und Distanzeffekte vor, die für eine kontinuierliche und zugleich logarithmisch konfigurierte Größenrepräsentation sprechen. Dieses approximative Core-System scheint bei Menschen wie bei Affen im horizontalen Segment des intraparietalen Sulcus (hIPS) beheimatet zu sein; für das Subitizing-System werden extrastriäre Gebiete vermutet (Sathian et al. 1999).

Der Umstand, dass diese Fähigkeiten schon bei Babys und im gewissen Umfang auch bei Tieren beobachtbar sind, hat sehr wesentlich zu der Annahme beigetragen, dass sie eine bereits im Genom verschlüsselte domänenspezifische Fähigkeit darstellen. Gallistel und Gelman (1992) haben für ein solches genetisch installiertes Modul eine Art Akkumulator vorgeschlagen, der gezählte Items als elektrische Impulse aufnimmt und dessen Ladung dann der kardinalen Größe der Menge entspricht. Mix und Sandhofer (2007) argumentieren dagegen durchaus überzeugend, dass diese frühen Fähigkeiten auch einen Extrakt früher, domänenübergreifender Lernprozesse der Mustererkennung und -unterscheidung sowie der Kategorienbildung darstellen können.

Wie dem auch sei, unser Modell sagt voraus, dass eine Schädigung dieser frühen Basissysteme oder Core-Systeme zur Folge hat, dass numerische Sinnbezüge für Zahlensymbole nicht ausreichend hergestellt werden können (*was* sollen Zahlworte und arabische Ziffern symbolisieren?). Damit stoßen auch das Erlernen und der Gebrauch von relationalen Begriffen wie »mehr« und »weniger« im Zusammenhang mit dem Erlernen der Zahlwörter auf Schwierigkeiten. Dies impliziert eine Störung für die gesamte weitere Entwicklung dieser kognitiven Domäne: für das Verständnis kardinaler Größe, für grundlegende

numerische Schemata von mehr und weniger oder Teil und Ganzes und in der Folge für arithmetische Prozeduren und Algorithmen.

Eine mögliche Ursache ist ein genetischer Defekt: Shalev und Mitarbeiter (1998) haben bei einem beträchtlichen Teil von Kindern mit persistierenden Rechenstörungen positive Familienanamnesen gefunden haben, das heißt es, fanden sich überzufällig häufig nahe Verwandte, die ebenfalls, wie auch im folgenden Fallbeispiel, massive Schwierigkeiten beim Erlernen des Rechnens hatten. Allerdings zeigen neuere Untersuchungen, dass die Leistungsvarianz im Rechnen durch dieselben Chromosomenabschnitte beeinflusst zu werden scheint, wie die Leistungsvarianz anderer kognitiver und schulischer Fähigkeiten (Kovas u. Plomin 2007). Eine andere mögliche Ursache kann in einer frühen Störung domänenübergreifender Entwicklungsprozesse sein, z. B. durch organische prä-, peri- oder postnatale Risiken, sehr niedriges Geburtsgewicht oder durch stressinduzierte epigenetische Fehlregulationen. In diesem Fall dürften auch Lerndefizite in anderen kognitiven Domänen und in verhaltensregulierenden Funktionen zu erwarten sein, was tatsächlich auch der Fall ist. Deutlich mehr als die Hälfte aller Betroffenen zeigen zusätzlich Symptome einer Legasthenie und einer Aufmerksamkeits-Defizit-Störung (ADS; von Aster 1996; von Aster, Schweiter, Weinhold Zulauf 2007).

Nicki, neun Jahre, 3. Klasse, zeigt durchschnittliche bis gute Schulleistungen in allen Fächern mit Ausnahme des Rechnens. Dort hat sie ein schweres Leistungsversagen und befindet sich auf dem Stand der 1. Klasse. Ihre Mutter hat viel Verständnis, sie hatte als Kind selber eine Mathematik-Leidensgeschichte.

Nicki in der Untersuchungssituation: Sie hat bereits einige Aufgaben gelöst und bekommt vom Untersucher nun die Aufgabe » $6 + 8 = ?$ « gestellt. Der Untersucher fordert sie auf, laut mitzuteilen, wie sie vorgeht. Nicki rechnet zunächst  $6 + 4 = 10$ . Dann  $8 + 2 = 10$ , dann  $8 + 4 = 12$  (diese Ergebnisse hatte sie zuvor schon berechnet). Nicki fährt fort und rechnet nun  $2 + ? = 6?$ . »Macht 4.« Jetzt fragt der Untersucher, was nun das Ergebnis sei. Nicki antwortet »vierzehn«. Der Untersucher bestätigt erstaunt, dass das Ergebnis genau stimme, dass er aber doch nicht verstanden habe, wie Nicki dies genau gerechnet habe. Er fordert sie auf, den Rechenweg nochmals zu wiederholen. Nicki tut dies exakt bis zu der Stelle, wo sie  $8 + 4 = 12$  rechnet. Dann, sagt sie, habe sie »noch 2 gerechnet« und sei auf 14 gekommen. Auf die Frage des Untersuchers nach dem Warum der Rechenschritte weist Nicki zunächst auf die zuvor gelösten Rechenaufgaben. Auf die Frage, warum sie dann am Schluss »noch 2 gerechnet« habe, antwortet Nicki schließlich »Hmm! Weil's 14 geben muss!«

Nicki kann richtig zählen und auch Ergebnisse früherer richtig gelöster Aufgaben im Kopf behalten. Das erste Ergebnis war per Zufall richtig. Bei der Wiederholung profitiert Nicki davon, dass der Untersucher das Ergebnis bereits als richtig bestätigt hat. Die entwaffnend korrekte Antwort am Schluss kann daher nicht darüber hinwegtäuschen, dass Nicki nicht recht zu wissen scheint, was sie warum tut. Ihr fehlen ein grundlegendes Zahlenverständnis und die Orientierung in einem inneren Zahlenraum. Sie versucht diese »Blindheit« zu kompensieren, indem sie sich richtige Zahlenfakten merkt.

Eine frühe Ursache kann auch für das so genannte »Nonverbal Learning Disability Syndrome« (NLD; Rourke 1989) und das »Developmental Gerstmann

Rechenstörungen bei Kindern sind für Eltern und Lehrer oft rätselhaft. Die Kinder können einfache arithmetische Konzepte nicht verstehen und ihre Unfähigkeit, leichte Aufgaben zu lösen, steht oft in krassem Gegensatz zu einer ansonsten guten Auffassungsgabe und positiven Leistungen in anderen Schulfächern. Rechenschwäche ist kein einheitliches Phänomen, sie tritt in vielfältigen Erscheinungsformen auf. Aber ihre Auswirkung ist immer, dass sie das zukünftige Leben der Kinder in vielen Bereichen beeinträchtigt – wenn nicht bereits im Grundschulalter eine Förderung stattfindet. Dieses Buch beleuchtet das Problem aus unterschiedlichen fachwissenschaftlichen Perspektiven und gibt Hinweise, wie das Problem der Rechenschwäche verstanden, frühzeitig diagnostiziert und behandelt werden kann. Ein großer Raum wird den Förderaspekten gewidmet, die auf die Behebung der lernhemmenden Ursachen abzielen.

## **Die Herausgeber**

Prof. Dr. med. Michael von Aster, Diplom-Pädagoge, ist Chefarzt der Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie, Psychotherapie und Psychosomatik am DRK Klinikum Westend in Berlin und leitet eine Forschungsgruppe am Zentrum für Neurowissenschaften der Universität und ETH Zürich sowie am Institut für Psychologie der Universität Potsdam.

Dr. Jens Holger Lorenz ist Professor für Mathematik und ihre Didaktik an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg.

ISBN 978-3-525-46258-4



[www.v-r.de](http://www.v-r.de)