

Finger, Raum, Zahl

Gehirn und Mathematik

M. Spitzer, Ulm

Wie bewerkstelligt unser Gehirn den Umgang mit Zahlen? Auf welche Art sind sie dort repräsentiert? Werden sie wie Wörter („drei“, „Trio“) verarbeitet, also sprachlich? Oder handelt es sich um eigenständige abstrakte Gegenstände (der Zahlbegriff „3“)? Oder sind sie in irgendeiner Form analog repräsentiert als Ort auf dem Zahlenstrahl oder visuell als „recht kleine Anzahl von Dingen“ (wie die römische Zahl „III“ oder die Augen auf einem Würfel)¹? Oder handelt es sich gar um körperliche analoge Repräsentationen (drei Finger)? – Seit Langem schon beschäftigt diese Frage Psychologen, Entwicklungspsychologen, Neurowissenschaftler und vor allem kognitive Neurowissenschaftler. Das ungefähre Einschätzen der Anzahl hat sich als recht basale Fähigkeit, das heißt, als eigenständige geistige Leistung, herauskristallisiert, die unabhängig von Sprachfähigkeit oder allgemeiner Intelligenz bestimmten Entwicklungsprozessen unterliegt (26). Diese Fähigkeit ist jedoch nicht nur auf eine einzige Weise im Gehirn verankert, sondern ergibt sich aus der Entwicklung und dem Zusammenspiel mehrerer Module bzw. mentaler Funktionen und (weil der Gebrauch die Neuronen ändert) Repräsentationen. Die Antwort auf die eingangs gestellten Fragen lautet also am ehesten: „Alles ist richtig“. Aber wie muss man sich das genauer vorstellen? Und vor allem: was folgt?

¹ Auf den Psychologen E. L. Kaufmann geht die Beobachtung zurück, dass wir kleine Anzahlen unmittelbar (lat. subito: plötzlich) und ohne zu zählen gleichsam auf einmal erfassen können. Diesen Prozess, der für Zahlen von eins bis vier gilt (bei höheren Zahlen wird zusätzlich gezählt) nennt man *Subitizing*.

Nervenheilkunde 2010; 29: 773–778

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Dr. Manfred Spitzer
Universitätsklinikum Ulm
Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie III
Leimgrubenweg 12, 89075 Ulm

Noch bevor Kinder über Zahlen nachdenken, verwenden sie ihren Körper zum Zählen. Das Zählen mit den Fingern war schon im alten Ägypten gebräuchlich, wie seine Erwähnung im ägyptischen Totenbuch vor etwa 3200 Jahren zeigt (25). In praktisch allen Kulturen lernen Kinder das Zählen mit den Fingern: Man hat sie schließlich immer dabei und kann somit die Anzahl der zu zählenden Sachen im Prozess des Zählens mit den Fingern in Verbindung bringen. Dieses analoge Zählen ist damit eine sensomotorische Tätigkeit, der man nachgeht, bevor das Zählen „im Kopf“ (und ohne Finger) zu einer rein geistigen Tätigkeit wird.

In praktisch allen Kulturen lernen Kinder das Zählen mit den Fingern: Man hat sie schließlich immer dabei.

Wer mit den Fingern in der gewohnten Weise zählt (►Abb. 1), der muss ab der Zahl 6 beide Hände verwenden. Zu deren Ansteuerung bedarf es beider Gehirnhälften, es muss also ein Transfer von Information zwischen ihnen stattfinden. Dieser Interhemisphärentransfer braucht Zeit. Und weil der Gebrauch das Gehirn verändert, kann man davon auszugehen, dass die Repräsentation der Zahlen 6 bis 10 in beiden Gehirnhälften angelegt ist, wohingegen für die Zahlen 1 bis 5 eine Gehirnhälfte genügt. Indizien für einen unterschiedlichen men-

talen Umgang mit den Zahlen 1 bis 5 im Vergleich zu 6 bis 10 liefern Befunde zu den Entwicklungsstadien der Zahlenrepräsentation bei Kindern sowie zu Fehlern beim Addieren und Subtrahieren. In diesen Studien zeigte sich, dass wir die 5 als eine Art „Unterbasis“ für das Zählen verwenden, also zusätzlich zur Basis 10, zumindest zeitweise während wir die Fähigkeit zu zählen entwickeln².

Die Finger eignen sich nicht zuletzt deswegen so gut zum Zählen, weil sie sehr „gelenkig“ sind: Im Gegensatz zu anderen Primaten, die auf den Händen (genauer: auf den Knöcheln; man spricht von „knuckle walk“;29) laufen oder mit ihnen klettern, wurden die Hände des Menschen durch den aufrechten Gang frei für eine neue Rolle als Feinwerkzeug. Dies wiederum setzt ein intensives Training der Feinmotorik voraus, welches in der Kindheit erfolgt. Daher sind Fingerspiele (►Abb. 2), bei denen eine kleine Handlung so vorgeführt wird, dass die Finger der Hand die Rolle von Personen, Tieren oder Dingen übernehmen, so wichtig. Durch sie werden nach Art des Theaters Bewegungen mit Handlungen verknüpft, mit Beschreibungen und Vorführungen. Zum leichteren Merken erfolgt die sprachliche Begleitung der Bewegun-

² Als Basis bezeichnet man eine Einheit (hier: Hand), die Untereinheiten (Finger) zusammenfasst. Wir zählen im Zehnersystem (Basis 10), wobei ein Zehner zehn Einer zusammenfasst bzw. repräsentiert.

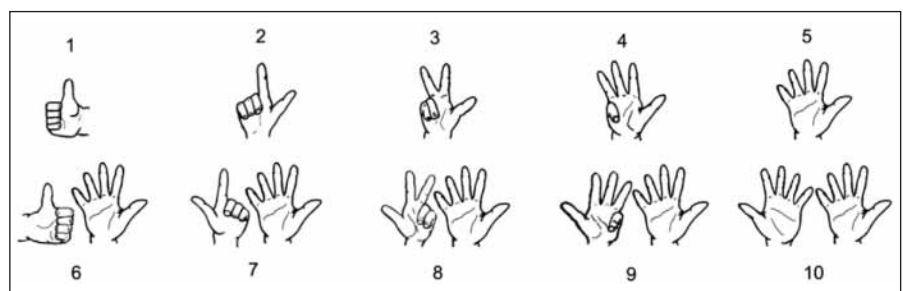


Abb. 1 Zählen mit den Fingern. Meist fangen wir mit der linken Hand an und nehmen dann die rechte ab der sechs hinzu.



Abb. 2
Fingerspiele füllen ganze Bücher und sind bei Kindern sehr beliebt.

hen auf diesen höheren Arealen durch Vorgänge der Neuroplastizität ebenfalls Gedächtnisspuren (Repräsentationen) und damit stabile Aktivierungsmuster, die nun den Input für die nächsthöhere Schicht darstellen. So werden im akustischen Bereich aus Aktivierungsmustern der Frequenzkarte auf dem niedrigsten, „primären“ akustischen Modul A1 in höheren Arealen Laute, daraus dann in wiederum höheren Arealen Silben, in wiederum höheren Arealen Wörter und aus Wörtern in nochmals höheren Arealen Sätze und ganze Sinnzusammenhänge.

Die Entwicklung des Gehirns selbst sorgt dafür, dass erst Einfaches und dann Komplexes gelernt wird.

Simulationen neuronaler Netzwerke konnten zeigen, dass auf diese Weise die Entwicklung des Gehirns sogar einen guten Lehrer ersetzt: Die Entwicklung des Gehirns selbst sorgt dafür, dass erst Einfaches und dann Komplexes gelernt wird. Auf diese Weise kommt überhaupt erst die Möglichkeit zum Erlernen der Komplexität, zu der wir Menschen fähig sind, zustande. Noch einmal anders ausgedrückt: Hätten Sie das Gehirn, über das Sie als Erwachsener verfügen, bereits bei Ihrer Geburt gehabt, hätten Sie wahrscheinlich nie sprechen gelernt und ebenso wenig denken. Aus dieser Sicht der Gehirnentwicklung ergibt sich unmittelbar, dass frühe einfache Lernprozesse eine hohe Relevanz für spätere höhere geistige Leistungen besitzen: Wer auf der unteren Ebene keine klaren, scharfen und deutlichen Muster angelegt hat, der

gen oft in Form von Kinderreimen oder Kinderliedern (► Tab. 1). Man beachte, dass der kleine Finger jeweils den Spannungsbogen auflöst (bekommt alles oder nichts) und dass im Sardischen der Mittelfinger („Stinkefinger“) für das Schwein steht. Weitergehende Schlüsse auf die jeweilige „Volksseele“ überlasse ich der Fantasie des Lesers.

Fingerspiele werden Kindern in aller Welt von Erwachsenen beigebracht. Ist das „altmodischer Kleinkram“ oder wichtiges Training der Vorläuferfähigkeiten höherer geistiger Leistungen bis hin zum mathematischen Denken? Aus der Entwicklungsneurobiologie ist bekannt, dass die Gehirnentwicklung auf ganz bestimmte Weise erfolgt: Bei der Geburt sind nur die einfachen sensorischen und motorischen Areale „online“, also mit myelinisierten und damit schnell leitenden Nervenfasern verbunden.

Im Laufe der Gehirnentwicklung nach der Geburt werden weitere Areale zugeschaltet (das heißt, die Verbindungsfasern werden myelinisiert und damit überhaupt erst in den Informationsverarbeitungsprozess einbezogen), die ihren Input von den zuvor bereits voll funktionstüchtigen Arealen erhalten. Auf diese Weise sorgt die Entwicklung des Gehirns dafür, dass zunächst einfache Muster im Wahrnehmungsinput gelernt werden (z. B. Frequenzmuster in der primären Hörrinde, Flecken, Ecken und Kanten in der primären Sehrinde, unterschiedliche Orte der Körperoberfläche in der primären Tastrinde). Die zu Repräsentationen verfestigten raumzeitlichen Aktivierungsmuster in diesen Arealen stellen dann den Input für die nächsthöheren Areale dar. Sind die Verbindungen herangereift und erfolgt damit das wechselseitige Zuspätspielen der Informationen rasch, entste-

Tab. 1 Unterschiedliche Varianten des hierzulande wahrscheinlich bekanntesten Fingerspiels (frei nach Wikipedia).

	Deutsch: „Pflaumen pflücken“	Französisch: „Hasen jagen“	Englisch: „Kuh stehlen“	Italienisch: „Ei kochen“	Sardisch: „Schwein schlachten“
Daumen	Das ist der Daumen,	Der geht auf die Jagd,	Der hat die Scheune aufgebrochen,	Der hat das Ei gelegt,	Das ist der Vater,
Zeigefinger	der schüttelt die Pflaumen,	der hat den Hasen getötet,	der hat die Kuh gestohlen,	der hat es ins Feuer gesetzt,	das ist der Sohn,
Mittelfinger	der hebt sie auf,	der hat ihn gekocht,	der passte auf,	der hat es gekocht,	das ist das Schwein,
Ringfinger	der trägt sie nach Haus,	der hat ihn aufgegessen,	der lief weg,	der hat es gegessen,	der hat es geschlachtet,
kleiner Finger	und der Kleinste isst sie alle auf.	und der Klitzekleine sagte: „Ich will etwas davon, ich will davon“.	und der arme Peeriwinkie musste für alles bezahlen.	und dieser arme Kleine hat es nicht mal angerührt.	und dem Kleinen haben sie nichts abgegeben.

kann auf höheren Ebenen nur schwer das Denken lernen, denn der Input der höheren Ebene kommt von den unteren Ebenen.

Das Ganze hört sich recht theoretisch an und es ist in der Tat nicht leicht zu zeigen, dass hier lernabhängige Unterschiede zwischen Menschen existieren, die im Kindesalter erworben wurden und sich bis ins Erwachsenenalter halten. Aber wir wissen längst, dass Phoneme, die im kindlichen Sprachinput nicht vorhanden waren, später im Erwachsenenalter gar nicht unterschieden werden können. Was auf den unteren Ebenen keine Spuren hinterlassen konnte, weil die entsprechenden Muster nicht verarbeitet wurden, wird auf höheren Ebenen gar nicht repräsentiert. Für das Sehen gilt Entsprechendes: Das „Training“ mit den Gesichtern aus unserer Umgebung führt dazu, dass irgendwann Gesichter von Menschen aus anderen Gegenden alle gleich aussehen. Für uns sehen alle Japaner gleich aus und für die Japaner sehen wir alle gleich aus. Lernprozesse haben dafür gesorgt, dass wir ein großes Spezialistentum für die Gesichter, die wir schon oft gesehen haben, entwickelt haben. „Ganz andere Gesichter“ speichern wir jedoch lediglich als „ganz anders“ ab und nicht in der Differenziertheit, die uns sonst für die Gesichter unserer Mitmenschen zur Verfügung steht.

Vor dem Hintergrund dieser ganz allgemeinen Überlegungen zur Entwicklungsneurobiologie sind neuere Studien zum *Embodiment*, also zur Verkörperung von Denkprozessen, von großer Bedeutung. Letztlich geht es darum, dass wir unseren Körper von Geburt an gleichsam mit uns herumtragen und von Geburt an uns mit ihm die Welt erobern. Entsprechend bedeutsam sind körperliche Erfahrungen wie beispielsweise warm oder kalt (was später auch auf unsere Emotionen übertragen wird), groß oder klein bzw. oben oder unten (was ebenfalls später auf ganz andere Bereiche übertragen wird) und vieles andere mehr. Im Hinblick auf die Verbindung zwischen Zahlen und Bewegung, haben wir an anderer Stelle (31) bereits den experimentellen Befund erwähnt, dass sich die Finger einer Hand weiter öffnen, wenn sie einen Klotz ergreifen, auf dem die Zahl 8 geschrieben ist, als einen gleichgroßen Klotz auf dem eine 2 geschrieben steht (1). Wir können eines nicht: Die Zahl auf dem

Klotz nicht wahrnehmen. Befindet sich die Zahl jedoch erst einmal in unserem System, so hat sie Auswirkungen auf die Motorik: Unsere Finger gehen weiter auseinander, wenn sie die „große 8“ ergreifen als die „kleine 2“.

Wie erwähnt, besteht ein ganz allgemeines Charakteristikum der Module unserer Gehirnrinde darin, dass sie *wechselseitig* verbunden sind. Erhält Areal A Input von Areal B, so schickt es seinerseits auch seinen Output zum Areal B zurück. Dieser Output landet zwar auch bei anderen Arealen, aber eben auch bei dem Areal, von dem der Input herkam. Dieses wechselseitige Zuspätspielen von Informationen zwischen Arealen, so nimmt man heute an, verkörpert gerade die besondere Art der Informationsverarbeitung in der Gehirnrinde. Es ist also nicht der Fall, dass einzelne Module „isoliert vor sich hinrechnen“ und nach Abschluss dieses Prozesses ihre Ergebnisse *dann* weiterleiten. Vielmehr *ist* das wechselseitige Zuspätspielen selber die Art und Weise wie unsere Gehirnrinde Information verarbeitet.

Wenn dem so ist, dann sollte es nicht nur Verbindungen von den Zahlen zur Motorik geben, sondern auch umgekehrt Verbindungen von der Motorik zu den Zahlen. Anders ausgedrückt: Wie gut wir mit unseren Fingern umgehen können und vor allem während unserer Kindheit Gelegenheit hatten umzugehen, ist bedeutsam für die Fähigkeit, mit Zahlen zu hantieren. So konnte Marie Pascal Noël (27) an 41 Kindern nachweisen, dass diejenigen, die ihre Finger besser handhaben können, später besser in Mathematik sind. Man bezeichnet diese Fähigkeit des Handhabens der eigenen Finger als *Finger-Gnosie* (griech. *gnosis*: Erkenntnis). Vor zwei Jahren wurde sogar eine Studie an 47 Erstklässlern publiziert, deren Ergebnisse Hinweise darauf lieferten, dass ein Training der Finger-Gnosie die mathematischen Fähigkeiten verbessert. Die Kinder wurde zunächst in drei Gruppen aufgeteilt, eine Gruppe mit gering ausgeprägter Finger-Gnosie, die trainiert wurde, eine zweite Gruppe mit ebenfalls gering ausgeprägter Finger-Gnosie, die das Verstehen von Geschichten trainierte (Kontrollgruppe) und eine dritte Gruppe von Kindern mit gut ausgeprägter Finger-Gnosie, die einfach nur ganz normal die Schule be-



Abb. 3 Der österreichische Neurologe Josef Gerstmann (geb. 1887 in Lemberg in der heutigen Ukraine; gestorben 1969 in New York) floh 1938 nach der Annexion Österreichs durch das Deutsche Reich vor den Nationalsozialisten nach Washington.

suchte, wie die Kinder der anderen beiden Gruppen auch. Nach der achtwöchigen Trainingsperiode mit wöchentlich zwei Sitzungen von einer halben Stunde Dauer zeigte sich, dass die Fähigkeit zur Finger-Gnosie in der entsprechenden Trainingsgruppe zugenommen hatte. Die Kinder konnten zudem Zahlen besser mit ihren Fingern repräsentieren und schnitten in Aufgaben zur Quantifizierung besser ab (15).

Das Gegenteil der Fähigkeit der Finger-Gnosie ist das aus der Neuropsychologie bekannte Defizit der *Finger-Agnosie*, die „Unkenntnis der Finger“ (bei erhaltener Sensibilität und Motorik und Sprachfähigkeit), das heißt, die Unfähigkeit zur Benennung einzelner Finger, zum Bewegen eines bestimmten genannten Fingers bzw. zum Bewegen eines vom Untersucher berührten Fingers (2, 18, 24). Dieses Symptom wurde erstmals von Josef Gerstmann (►Abb. 3) 1924 als „Störung der Orientierung am eigenen Körper“ (13) beschrieben und ist Teil des Gerstmann-Syndroms, das bei Ausfällen im Bereich des unteren Parietallhirns und der mittleren Occipitalwindung auftritt (14) und neben der Finger-Agnosie in Rechenschwierigkeiten (Akalkulie), Links-

Rechts-Verwechslung sowie in Schwierigkeiten beim Schreiben (Agraphie) besteht. Diese klinische Beobachtung, insbesondere die Verbindung der (neuronalen Repräsentation der) Finger mit der neuronalen Repräsentation des Rechnens und des Raums (links/rechts) muss man aus heutiger Sicht bewundern.

Dass Zahlen in unserem Gehirn keineswegs nur in Gestalt unserer Finger repräsentiert sind, zeigt ein ganz einfaches Experiment. Schließen Sie bitte die Augen und stellen Sie sich die Zahlen von 1 bis 9 auf einer Linie vor. Wie sieht Ihr Vorstellungsbild aus? – Die meisten Leute sagen, dass sie sich eine horizontale Linie vorstellen, mit der 1 links, gefolgt von der 2 usw., bis zur 9 auf der rechten Seite. Wir stellen uns also einen *Zahlenstrahl* im Raum vor. Da wir uns die kleineren Zahlen eher auf der linken Seite vorstellen, die größeren eher auf der rechten und da die rechte Gehirnhälfte für die linke Seite und die linke Gehirnhälfte für die rechte Seite zuständig ist, lassen sich Hinweise für einen solchen Zahlenstrahl in unserem Kopf durch entsprechende Experimente finden. In einer ganz einfachen Aufgabe sehen die Versuchspersonen zunächst eine Zahl (die Referenzzahl) und danach eine zweite Zahl, die entweder größer oder kleiner ist als die zuerst gesehene Referenzzahl. Sie sollen dann mit dem rechten oder linken Zeigefinger ihre Entscheidung anzeigen, ob die zweite Zahl größer oder kleiner ist als die erste. Es zeigt sich, dass Versuchspersonen im Durchschnitt mit der linken Hand rascher antworten, wenn die Zahl kleiner ist als die Referenzzahl, und mit der rechten Hand rascher antworten, wenn die Zahl größer ist als die Referenzzahl. Dabei ist das Ganze unabhängig von der jeweiligen konkreten Zahl: Es ist also nicht so, dass alle Zahlen kleiner als eine ganz bestimmte Zahl in der rechten Hemisphäre und alle größeren Zahlen in der linken Hemisphäre repräsentiert sind. Die gleiche Zahl kann vielmehr links oder rechts repräsentiert sein – es hängt davon ab, welche Referenzzahl zuerst gezeigt wird (also wo genau auf dem Zahlenstrahl wir uns mental gerade befinden).

Wir können uns im Kopf gleichsam am Zahlenstrahl entlang hangeln, sodass die Referenzzahl in der Mitte liegt und die größeren Zahlen auf der rechten Seite unseres



Abb. 4 Welche Zahl ist größer? Die Studienteilnehmer sollen die Taste auf der Seite der größeren Zahl drücken, die jeweils links oder rechts stehen kann. Es wurden nur Zahlenpaare mit einem Abstand von 2 verwendet, von „1/3“ bzw. „3/1“ bis „18/20“ bzw. „20/18“. Aus handwerklichen Gründen (z. B. Ausbalancieren der Seiten) brauchte es insgesamt 432 Durchgänge je Versuchsperson.

visuellen Feldes und damit eher in der linken Gehirnhälfte und die kleineren Zahlen auf der rechten Seite des Zahlenstrahls und damit eher in der rechten Gehirnhälfte zu liegen kommen (7). Der Effekt tritt selbst dann auf, wenn man die Zahlen nicht als Zahlen präsentiert, sondern als Zahlwörter. Er entsteht also nicht allein durch die Art wie wir Zahlen (bzw. Text) *lesen*. Man könnte nun meinen, dass es sich um ganz allgemeine Auswirkungen der Lateralisierung unseres Gehirns handelt. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie durch eine clevere Abwandlung des Experiments gezeigt werden konnte: Überkreuzt man die Hände vor dem Körper, drückt also die linke Taste mit der rechten Hand und die rechte Taste mit der linken Hand, so zeigt sich ebenfalls ein linksseitiger Verarbeitungsvorteil (schnellere Reaktionszeiten) für kleinere Zahlen, obgleich die Versuchsteilnehmer nun die Tasten mit ihrer rechten Hand (kontrolliert durch die linke Gehirnhälfte) drückten. Umgekehrt bestand ein Verarbeitungsvorteil für vergleichsweise größere Zahlen für die rechte Seite, obgleich die rechte Taste mit der linken Hand (rechte Gehirnhälfte) gedrückt wird. Weiterhin hat man gefunden, dass der Effekt auch bei der Reaktion mit nur einer Hand auftritt, dass also kleiner eher links und größer eher rechts verarbeitet wird (12, 22).

Der Zahlenstrahl hat damit eher etwas mit dem Raum um uns zu tun als mit unse-

ren Fingern. Er stellt eine andere, abstraktere innere Repräsentation von Zahl dar als die (zählenden) Finger. Und er entwickelt sich später, was zu der Erkenntnis der Entwicklungsneurologie passt, dass der Parietallappen (der Ort von Raumkognition und des Zahlenstrahls; 16, 17) sich deutlich später entwickelt als einfache sensomotorische Areale, die bei Fingerspielen und beim Fingerzählen involviert sind. Sollte es dennoch möglich sein, dass man die (Gedächtnis-)Spuren der Finger auch beim Erwachsenen, der über Zahlen nachdenkt, bemerkt?

Zum einen sprechen die erwähnten Ergebnisse zum Greifen von Klötzen, auf denen Zahlen stehen, für diese Hypothese (1, 31). Zum zweiten auch die ganz allgemeinen entwicklungspsychologischen Überlegungen, die kurz angeführt wurden: Höhere Verarbeitungsebenen „lernen“ von den einfacheren. Und die Spuren auf den einfachen Ebenen sind recht veränderungsresistent, wie Studien zur Reorganisation einfacher sensorischer kortikaler Areale gezeigt haben (5). Zum dritten gibt es eine Reihe von Studien, die mittels unterschiedlicher Methoden, einschließlich der funktionellen Bildgebung (23), den Zusammenhang von Fingern und Zahlen nachweisen konnten (6, 10, 26, 28, 30).

Hier reiht sich eine kürzlich erschienene Studie (11) an 24 deutschen und 27 chinesischen gesunden Versuchspersonen beiderlei Geschlechts im Alter von etwa Mitte 20 ein, die eine einfache Zahlenvergleichsaufgabe durchführen mussten (►Abb. 4). Man weiß schon lange, dass die Zahlenvergleichsaufgabe umso schwerer ist, je größer die Zahlen sind. Wir sind also bei „2/4“ schneller als bei „12/14“.

Die Chinesen wurden untersucht, weil man in diesem Kulturkreis anders mit den Händen zählt (►Abb. 5): Beim Zählen mit den Fingern verwenden die Chinesen bis einschließlich 10 nur eine Hand. Erst wenn die 11 ins Spiel kommt, braucht es also einen Transfer zwischen den Gehirnhälften und damit mehr Zeit für die Verarbeitung. Bei deutschen Versuchspersonen sollte das schon ab der 6 der Fall sein. Zudem kommt noch hinzu, dass die Aufgabe dann leicht ist (und die Reaktionszeiten kürzer), wenn auf der einen Seite des Vergleichs eine einstellige und auf der anderen Seite eine zweistel-

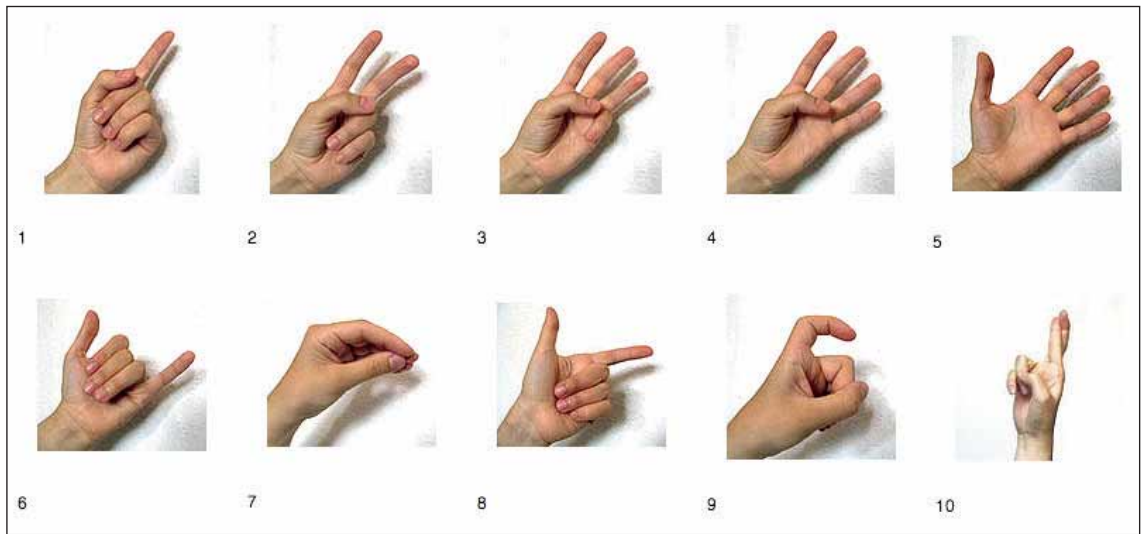


Abb. 5
Fingerzählen auf chinesisches.

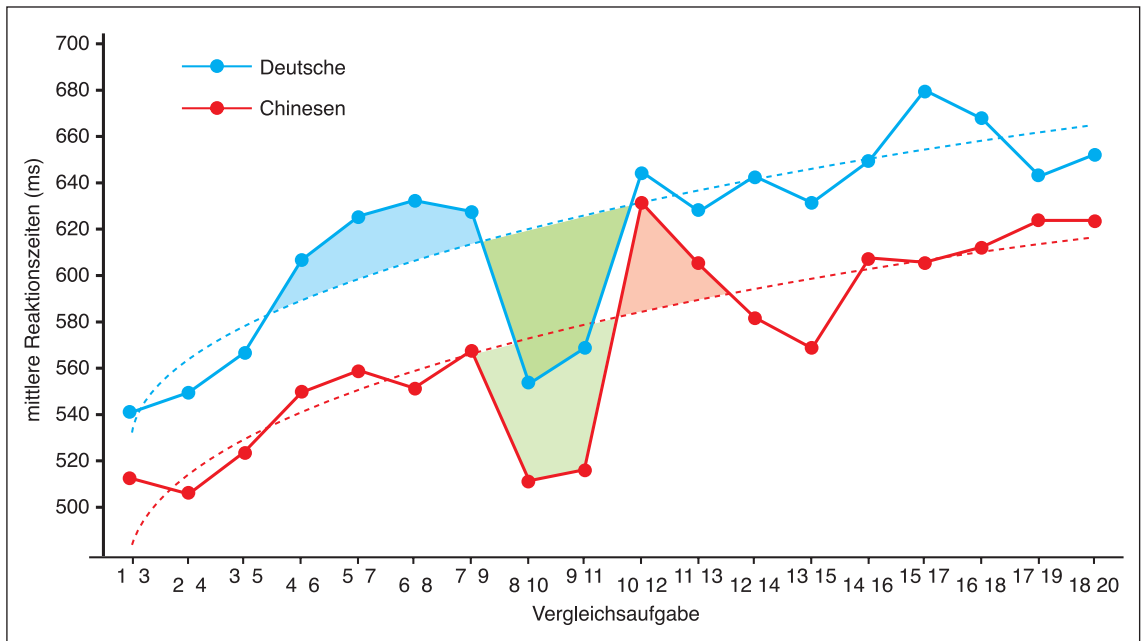


Abb. 6
Ergebnisse der Studie (11): Mittlere Reaktionszeiten auf die Zahlenvergleichsaufgaben bei deutschen und chinesischen Versuchspersonen sowie Anpassung einer einfachen Kurve zur Verdeutlichung des Größeneffekts (gestrichelte Kurven).

lige Zahl steht: „Was ist größer: X oder XX?“ kann man für alle $X > 0$ ohne zu zählen und ohne über die Zahl nachzudenken, das heißt, ohne sie zu erkennen und einzuordnen) entscheiden. Die in ►Abbildung 6 dargestellten Ergebnisse³ zeigen klar den Effekt der Zahlengröße (je größer desto langsamer die Reaktionszeiten) und den der Einfachheit des Vergleichs einstelliger versus zweistelliger Zahlen (auf „8/10“ und

„9/11“ wird schneller reagiert als auf „7/9“ und „10/12“).

Beide Gruppen der Versuchspersonen zeigen den Größeneffekt und den Effekt der Einfachheit des Vergleichs einer einstelligen mit einer zweistelligen Zahl (Abweichung der gemessenen Werte von der gestrichelten Kurve; grüne Flächen). Zusätzlich findet man jedoch auch einen differenziellen Effekt in Abhängigkeit von der Art des Fingerzählens: Deutsche Versuchspersonen werden beim Zahlenvergleich langsamer, sobald eine 6, also eine über 5 hinausgehende Zahl verarbeitet werden muss. (Man

kann vermuten, dass die zweite Gehirnhälfte beim Fingerzählen notwendig gebraucht wird und damit ein Teil der neuronalen Zahlenrepräsentation die Ansteuerung beider Gehirnhälften voraussetzt.) Chinesische Versuchspersonen zeigen eine entsprechende Verlangsamung dagegen erst bei der 11, weil man in diesem Kulturkreis mit *nur einer* Hand unter Verwendung der Finger bis 10 zählen kann.

Die Ergebnisse zeigen damit, dass es nicht nur einen Einfluss der Zahlen auf die Motorik der Finger bzw. Hand gibt, sondern auch einen Einfluss der Fingermotorik auf die

³ Ich danke den Autoren für die Überlassung der hier dargestellten, in der Arbeit nicht publizierten, untransformierten Reaktionszeiten.

Verarbeitung von Zahlen. Aus dieser Sicht sind Fingerspiele im Kindergarten kein netter Zeitvertreib, sondern Bestandteil des sinnvollen Trainings mathematischer Vorläuferfähigkeiten. „Das ist der Daumen ...“ – nehmen wir das bitte ernst!

Literatur

1. Andres M, Olivier E, Badets A. Actions, words, and numbers. A motor contribution to semantic processing? *Curr Dir Psychol Sci* 2008; 17: 313–317.
2. Benton AL, Sivan AB, Hamsher K, Varney NR, Spreen O. Contributions to neuropsychological assessment. Oxford: University Press 1994.
3. Brozzoli C, Ishihara M, Göbel SM, Salemme R, Rossetti Y, Farne A. Touch perception reveals the dominance of spatial over digital representation of numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 2008; 105: 5644–5648.
4. Butterworth B. What counts. How every brain is hardwired for math. New York: The Free Press 1999.
5. Chang EF, Merzenich MM. Environmental noise retards auditory cortical development. *Science* 2003; 300: 498–502.
6. Dehaene S. The number sense. New York: Oxford University Press 1997.
7. Dehaene S, Bossini S, Giraux P. The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General* 1993; 122: 371–396.
8. Dehaene S, Piazza M, Pinel P, Cohen L. Three parietal cifor number processing. *Cognitive Neuropsychology* 2003; 20: 487–506.
9. Dehaene S, Molko N, Cohen L, Wilson AJ. Arithmetic and the brain. *Current Opinion in Neurobiology* 2004; 14: 218–224.
10. Domahs F, Krinzinger H, Willmes K. Mind the gap between both hands: Evidence for internal finger-based number representations in children's mental calculation. *Cortex* 2008; 44: 359–367.
11. Domahs F, Moeller K, Huber S, Klaus Willmes K, Nuerk H-C. Embodied numerosity: Implicit hand-based representations influence symbolic number processing across cultures. *Cognition* 2010; doi:10.1016/j.cognition.2010.05.007.
12. Fias W, Fischer MH. Spatial Representation of numbers. In: Campbell JID (Hg.) *Handbook of Mathematical Cognition*. Hove: Psychology Press 2005.
13. Gerstmann J. Fingeragnosie: Eine umschriebene Störung der Orientierung am eigenen Körper. *Wiener klinische Wochenschrift* 1924; 37: 1010–1012.
14. Gerstmann J. Zur Symptomatologie der Hirnläsionen im Übergangsbereich der unteren Parietal- und mittleren Occipitalwindung. *Nervenarzt* 1930; 3: 691–695.
15. Gracia-Bafalluy M, Noël MP. Does anger training increase young children's numerical performance? *Cortex* 2008; 44: 368–375.
16. Göbel S, Walsh V, Rushworth MFS. The mental number line and the human angular gyrus. *Neuroimage* 2001; 14: 1278–1289.
17. Göbel SM, Johansen-Berg H, Behrens T, Rushworth MFS. Response-selection-related parietal activation during number comparison. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2004; 16: 1–17.
18. Hodges JR. *Cognitive assessment for clinicians*. Oxford: University Press 1994.
19. Ifrah G. The universal history of numbers. New Delhi: Penguin Books 2000.
20. Iversen W, Nuerk HC, Jager L, Willmes K. The influence of an external symbol system on number parity representation, or what's odd about? *Psychonomic Bulletin & Review* 2006; 13: 730–736.
21. Kadosh RC et al. Notation-dependent and -independent representations of numbers in the parietal lobes. *Neuron* 2007; 53: 307–314.
22. Kadosh RC. The laterality effect: Myth or truth? *Consciousness and Cognition* 2008; 17: 350–354.
23. Kaufmann L, Vogel SE, Wood G, Kremser C, Schocke M, Zimmerhakl L-B, Koten JW. A developmental fMRI study of nonsymbolic numerical and spatial processing. *Cortex* 2008; 44: 376–385.
24. Lezak MD. *Neuropsychological assessment*. Oxford: University Press 1995.
25. Neugebauer O. The exact sciences in antiquity, 2. Aufl. New York: Dover Publications 1969.
26. Nieder A. Counting on neurons: The neurobiology of numerical competence. *Nature Reviews Neuroscience* 2005; 6: 177–190.
27. Noël MP. Finger gnosis: A predictor on numerical abilities in children? *Child Neuropsychology* 2005; 11: 413–430.
28. Penner-Wilger M et al. The foundations of numeracy: Subitizing, finger gnosis, and fine motor ability. *Proceedings of the 29th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Mahwah, NJ: Erlbaum 2010.
29. Richmond BG, Begun DR, Strait DS. Origin of human bipedalism: The knuckle-walking hypothesis revisited. *Yearbook of Physical Anthropology* 2001; 44: 70–105.
30. Sato M, Cattaneo L, Rizzolatti G, Gallese V. Numbers within our hands: Modulation of corticospinal excitability of hand muscles during numerical judgment. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2007; 19: 684–693.
31. Spitzer M. Geist in Bewegung. *Nervenheilkunde* 2009; 28: 403–405.