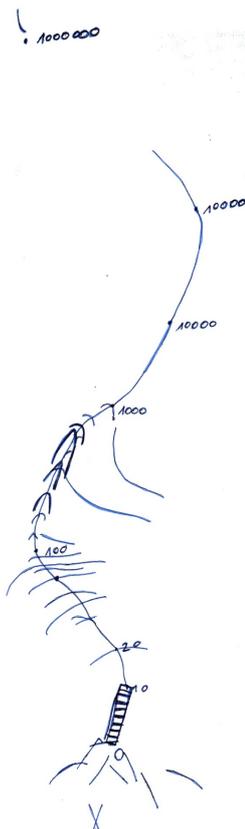


Silke M. GÖBEL, York, GB

Neuronale Korrelate kognitiver Zahlenrepräsentationen während Vergleichs- und einfacher Additionsaufgaben

Seit geraumer Zeit werden in der Kognitionpsychologie verschiedene Arten der Zahlenrepräsentation diskutiert. Es ist klar, daß viele Kinder und Erwachsene insbesondere bei der Lösung von Rechenoperationen wie z.B. der Multiplikation häufig sprachliche Repräsentationen benutzen. Daß es auch sprachunabhängige Zahlen- oder zumindest Mengenrepräsentationen geben muß, haben neuere Forschungen über das Mengenverständnis eines Naturvolks Brasiliens gezeigt, in dessen Sprache keine exakten Zahlenwörter für Mengen größer 5 existieren [1]. Verschiedene mögliche sprachunabhängige Repräsentationsarten werden zur Zeit diskutiert.

1. Mentaler Zahlenstrahl



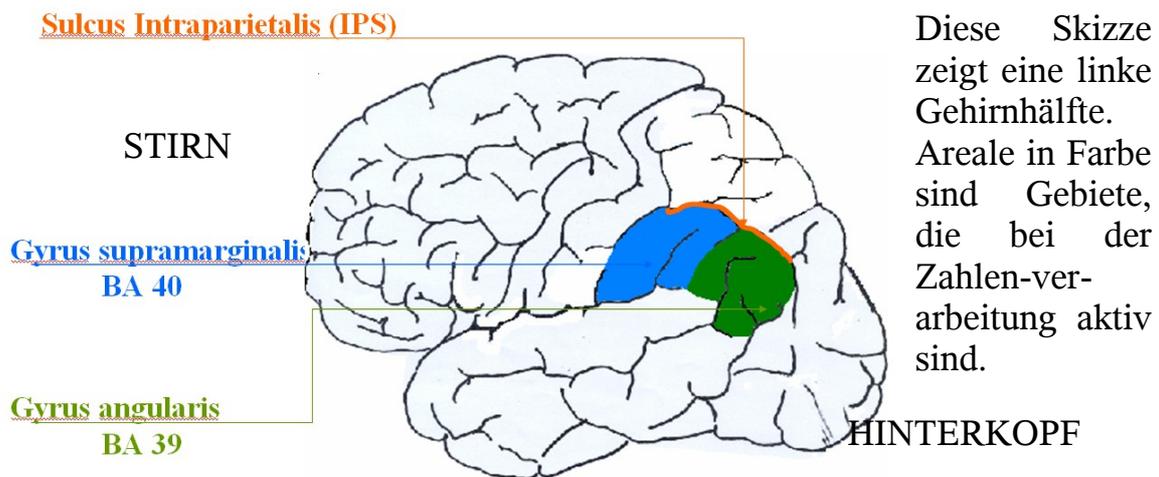
Galton hat schon 1880 von visuell-räumlichen Zahlenrepräsentationen berichtet [2]. Auf der linken Seite ist ein Beispiel einer solchen Zahlenrepräsentation eines jungen Mannes (25 Jahre alt) aufgezeichnet in 2000. Hier ist eine klare Repräsentation von Zahlen im Raum zu sehen. Eine erneute Befragung sechs Monate später zeigte eine fast identische Repräsentation. Häufig entwickeln sich diese individuellen Repräsentationen während der Grundschulzeit und sind anfangs dynamisch. Es ist zur Zeit unklar, ob es einen Zusammenhang zwischen der bevorzugten Art der Zahlenrepräsentation und der Mathematikleistung gibt. Aktuelle epidemiologische Studien fehlen, aber schätzungsweise höchstens 1 bis 2 in 10 erwachsenen Menschen haben solche zeitlich konstanten Zahlenrepräsentationen. Es gibt jedoch viele Hinweise, daß die meisten Menschen über automatische Verbindungen zwischen Repräsentationen von Zahlen und Raum verfügen.

So antworten Probanden signifikant schneller bei Zahlenvergleichs- und Paritätsaufgaben mit einem linken Knopfdruck, wenn die Zahl klein (relativ zum Range der benutzten Zahlen) und mit einem rechten Knopfdruck, wenn die Zahl groß ist (der sogenannte SNARC Effekt, [3]). Das wird als Hinweis auf eine räumliche Repräsentation von Zahlen gedeutet mit

kleinen Zahlen auf der linken und große Zahlen auf der rechten Seite eines mentalen Zahlenstrahls.

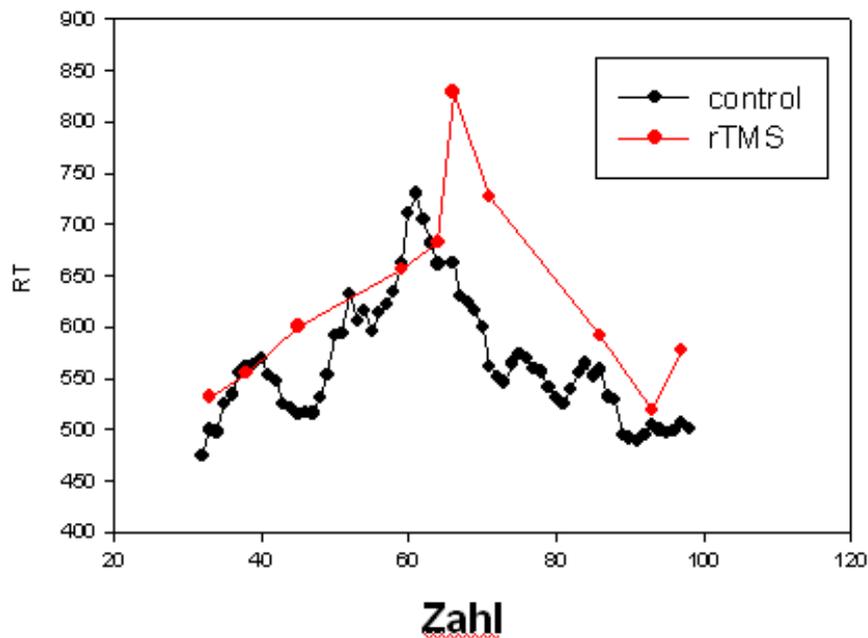
2. Wo im Gehirn?

Welche Gehirnareale bei der Zahlenrepräsentation mitwirken wurde im Laufe des letzten Jahrzehnts mit verschiedenen Methoden der Neurowissenschaften und der Neuropsychologie ausgiebig untersucht. Neben Arealen im Frontalhirn haben sich hauptsächlich Areale im Parietallappen als wichtig herausgestellt, die auch für visuell-räumliche Aufgaben aktiv sind.



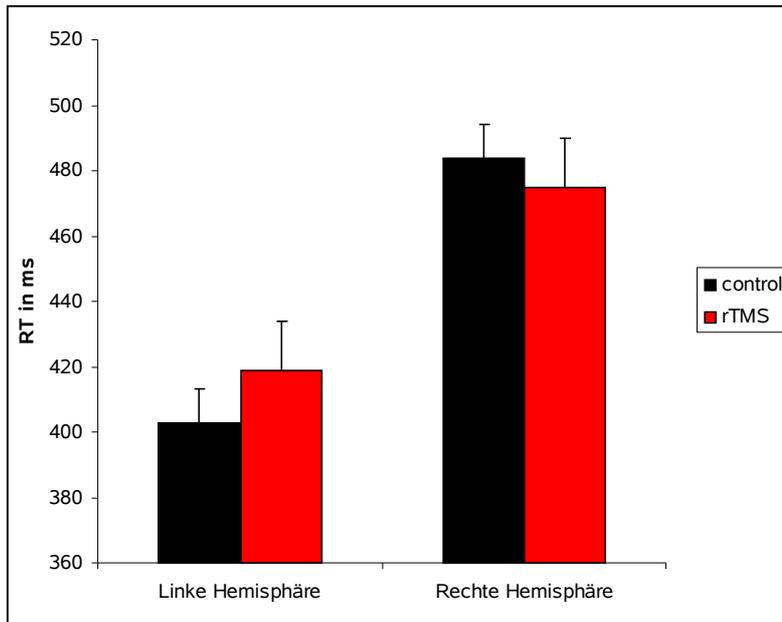
3. Zahlenvergleich

Reaktionszeiten und Fehleranzahl beim Vergleich zweier Zahlen sind umso größer je geringer die numerische Distanz zwischen den beiden zu vergleichenden Zahlen ist (der so genannte Numerische Distanzeffekt). In einer Studie [4] fragten wir Probanden, ob zweistellige Zahlen (31-99) größer oder kleiner als 65 seien. Wir maßen die Reaktionszeiten in Millisekunden (ms). Zunächst fand sich der klassische Distanzeffekt (schwarze Linie). Daß ein Areal in der linken Gehirnhälfte, der Gyrus angularis wichtig für die Bearbeitung dieser Aufgabe ist, zeigten wir mithilfe einer Neurointerferenzmethode (Transkraniale magnetische Stimulation, rTMS). Bei der Applikation von TMS über diesem Areal verlangsamte sich die Reaktionszeit signifikant (rote Linie). Interessanterweise ist dieser Effekt besonders deutlich für Zahlen größer 65. Das kann erneut als Hinweis auf eine visuell-räumliche Zahlenrepräsentation gedeutet werden, die hier gestört wurde. TMS über dem Gyrus angularis in der linken Gehirnhälfte hat den stärksten Effekt auf Zahlenrepräsentationen auf der rechten Seite des mentalen Zahlenstrahls.



4. Additionsaufgabe

Arithmetische Fähigkeiten sieben bis zehn Jahre alter Kinder lassen sich aufgrund ihrer Schnelligkeit beim Zahlenvergleich zumindest teilweise vorhersagen. Ob Gehirnareale, die bei Erwachsenen einen substantiellen Beitrag beim Lösen von Vergleichsaufgaben leisten, auch bei einfachen Additionsaufgaben mitwirken, untersuchten wir in einer weiteren TMS Studie [5]. Versuchspersonen sahen zunächst Additionsaufgaben mit jeweils zwei zweistelligen Operanden auf dem Computerbildschirm (von $21 + 22$ bis zu $47 + 49$). Dann wurde sie gebeten, so schnell wie möglich die richtige Antwort aus zwei möglichen Antworten auszusuchen. Die Aufgabe war z.B. $22 + 34$ mit den Antwortmöglichkeiten 56 und 57. Wir maßen die Reaktionszeiten in Millisekunden. Bei einer Gruppe von Probanden stimulierten wir über dem linken Parietallappen während der Ausführung der Aufgabe. Das führte zu einer signifikanten Verzögerung der Reaktionszeiten (roter Balken) im Vergleich zu Reaktionszeiten ohne TMS („control“, in schwarz). In einer anderen Gruppen wiederholten wir dieses Experiment, nun wurde TMS über dem rechten Parietallappen appliziert. Hier gab es keine signifikante Veränderung der Reaktionszeiten durch TMS.



5. Zusammenfassung/Ausblick

Erwachsene aktivieren während einfacher Zahlenvergleichsaufgaben ein parietales Netzwerk in beiden Gehirnhemisphären. Die neuronalen Repräsentationen von Zahlen und Raum sind höchstwahrscheinlich eng vernetzt. Zum Lösen von Additionsaufgaben sind Regionen im linken Parietallappen von großer Bedeutung. Neuere Forschungen haben ergeben, daß Kinder mit großen Rechenschwierigkeiten strukturelle Unterschiede in diesen Gebieten (Sulcus intraparietalis) aufweisen. Untersuchungen neuronaler Korrelaten kognitiver Zahlenrepräsentationen in Kindern sind dringend nötig, insbesondere im Hinblick auf das Potenzial für Veränderungen dieser Aktivierungsmuster durch Training und Unterricht.

Literatur

- [1] Pierre Pica, Cathy Lemer, Véronique Izard, Stanislas Dehaene: Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science* 306(5695), 499-503, 2004.
- [2] Francis Galton: Visualised numerals. *Nature* 11, 494-5, 1880.
- [3] Stanislas Dehaene, Serge Bossini, Pascal Giraux: The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General* 122(3), 371-96, 1993.
- [4] Silke M. Göbel, Matthew F.S. Rushworth, Vincent Walsh: Inferior parietal rTMS affects performance in an addition task. *Cortex* 42(5), 774-781, 2006.
- [5] Silke M. Göbel, Vincent Walsh, Matthew F.S. Rushworth: The mental number line and the human angular gyrus. *NeuroImage* 14(6), 1278-1289, 2001.

Kontakt: sg522@york.ac.uk