

Mentale Arithmetik

All science requires mathematics. The knowledge of mathematical things is almost innate in us.... This is the easiest of sciences, a fact which is obvious in that no one's brain rejects it; for laymen and people who are utterly illiterate know how to count and reckon.

Roger Bacon (1214–1294), English philosopher and scientist

- **Number Sense**

Dedicated brain circuits, inherited from our evolutionary history, are engaged in recognizing numerosity (the number of objects in a set), and provide us with a basic intuition that guides the acquisition of formal arithmetic (Dehaene, 2004)

Mentale Arithmetik

- Haben Tiere ein Konzept ‚Zahl‘?
- Lernexperiment mit Ratten:
 - Lernphase: unterscheide Tonsequenzen:
TT / TTTTTTTT
korrekter Tastendruck wird verstärkt
 - Testphase: gleichlange Sequenzen
T.....T / TTTTTTTT
keine differentielle Verstärkung
 - Generalisierung auf Teststimuli gelingt, Hinweis auf numerische Repräsentation

Mentale Arithmetik

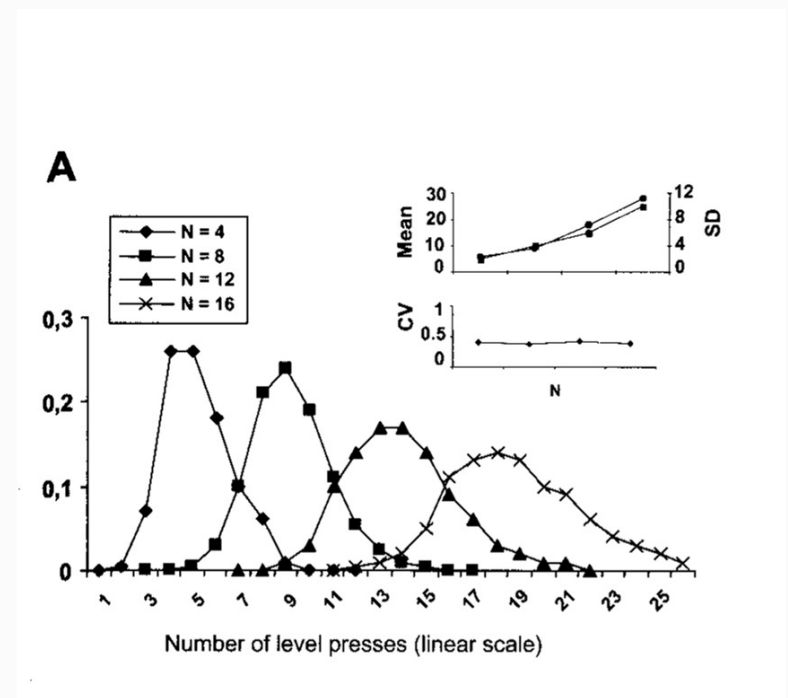
- Haben Tiere ein Konzept ‚Zahl‘?
 - in einer Modalität gelernte Numerositätsdiskrimination transferiert zu anderer Modalität
 - abstrakte Zahlenrepräsentation

Mentale Arithmetik

- Schätzung von Zahlen folgt bei Mensch und Tier der gleichen Metrik:

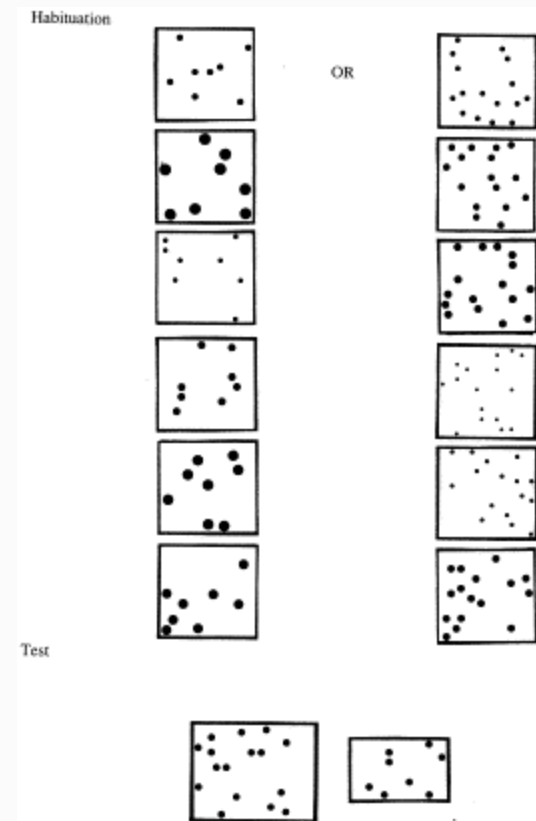
$$\Delta S/S=c \text{ (Weber-Bruch)}$$

- Weber-Bruch (c) hängt von neuronaler Dichte ab (Bryer et al., 2021)
- Rechts: Antwortverteilung bei Konditionierung auf bestimmte Anzahl von Tastendrücken (Ratten)
 $cv=m/sd$



Mentale Arithmetik

- Neugeborene und präverbale Kleinkinder unterscheiden Mengen anhand der Anzahl ihrer Elemente
 - transmodal
 - physikalische Merkmale kontrolliert



Mentale Arithmetik

- Experiment: Klopfen Sie so oft auf die Bank, wie die Zahl angibt

Murmeln sie ständig: Lokomotivführer
(Wort-Rehearsal, um Mitzählen zu verhindern)

Mentale Arithmetik

3

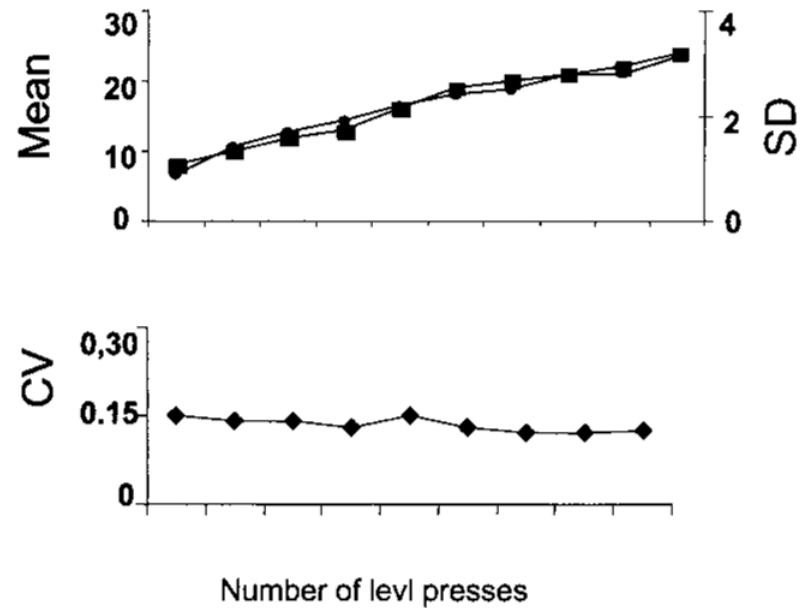
12

19

4

Mentale Arithmetik

- Vergleich von visuellen Mustern verschiedener Numerosität (Affe)



Mentale Arithmetik

- Numerischer Distanzeffekt
 - ist die Zahl größer/kleiner 5?
9
4
 - ist die Zahl größer/kleiner 375?
374
379
 - Verhältnis von Größe und Distanz ist entscheidend
 - interne Repräsentation: logarithmische Skala
 - numerischer Distanzeffekt auch bei Diskriminationsurteilen (gleich/verschieden)
 - automatische Distanzschätzung

Mentale Arithmetik

- analoge Repräsentation der Numerosität bildet Grundlage für das Verständnis numerischer Größe und der Nähe (Distanz) von Zahlen
 - Preisschätzung
 - Mengenschätzung
 - Approximation komplexer Rechenaufgaben

Mentale Arithmetik

moganorifaso

23 -7

Mentale Arithmetik

moganorifaso

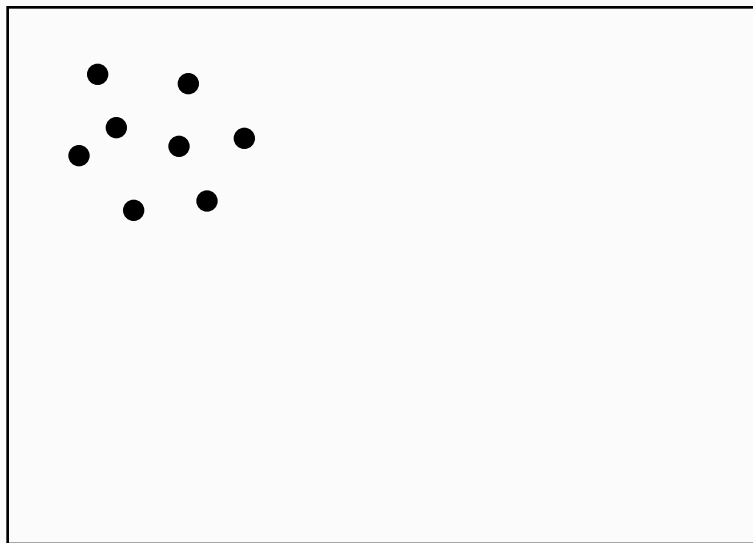
$$7 \times 9$$

Mentale Arithmetik

Was war schwieriger?

Mentale Arithmetik

bitte Muster und Ort merken:
(wird anschließend getestet)



Mentale Arithmetik

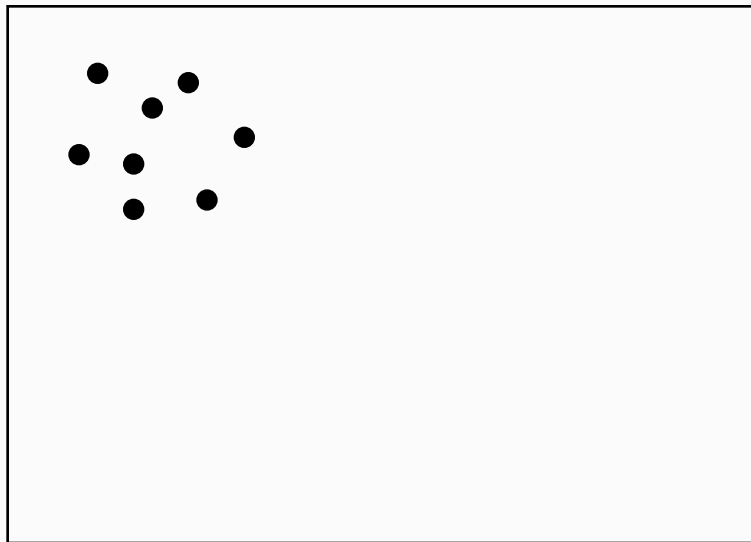
37 - 18

Mentale Arithmetik

$$8 \times 7$$

Mentale Arithmetik

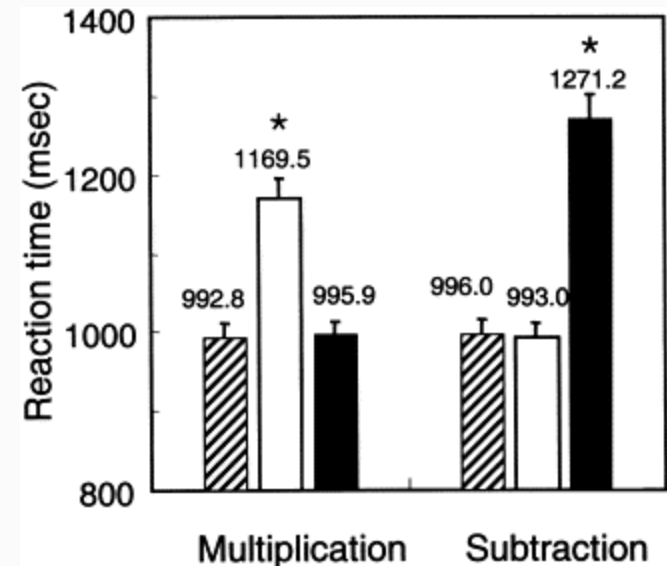
gleich oder verschieden?
(verschieden!)



Mentale Arithmetik

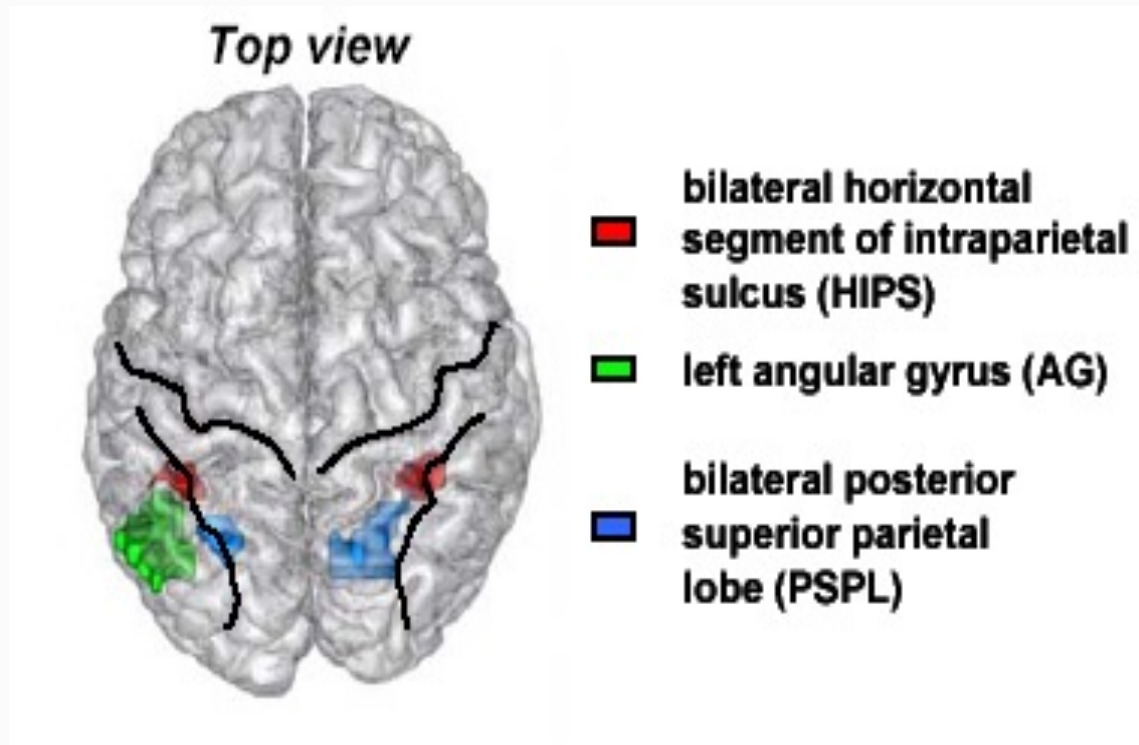
- Ergebnisse:

- keine Suppression (schraffiert)
 - phonol. Aufgabe (weiß)
 - visuell-räumliche Aufgabe (schwarz)
- Lee & Kang, Cognition 2002



- Multiplikation involviert verbales Gedächtnis
- Subtraktion involviert visuell-räumliche Prozesse

Metaanalyse von Imaging-Studien zur Kalkulation:



Numerische Quantität

Piazza & Dehaene, in: Gazzaniga (Ed.) The Cog. Neurosci, 3rd Ed.

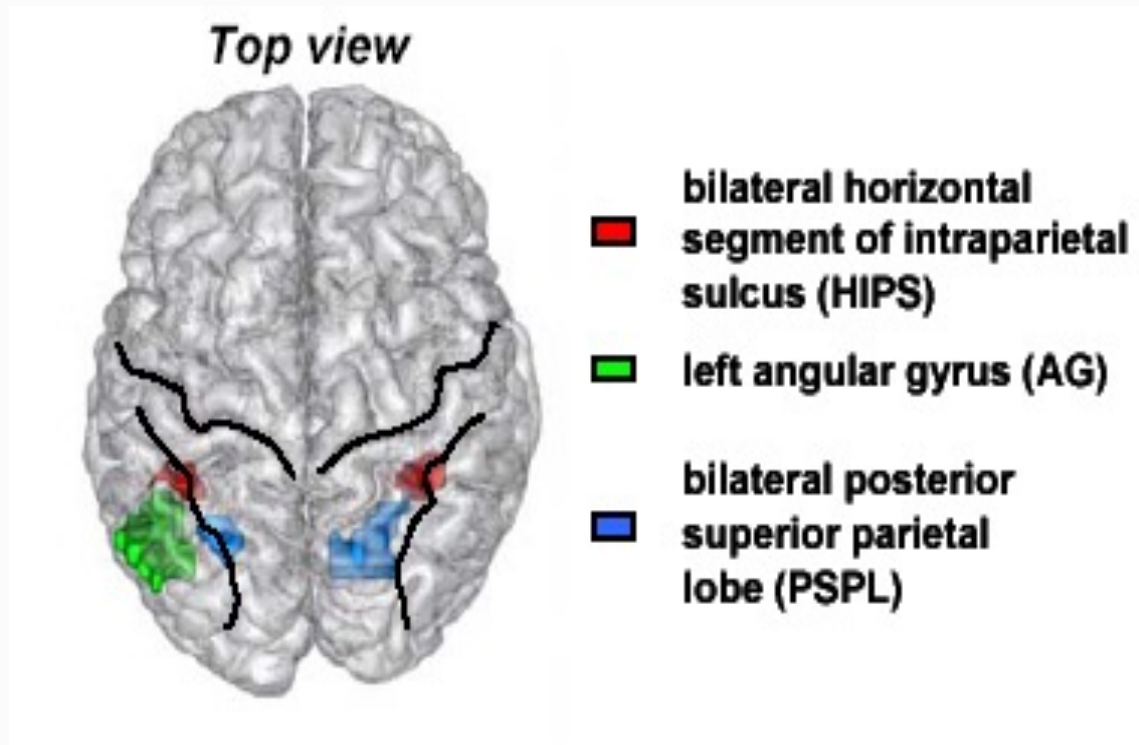
Mentale Arithmetik

- HIPS stärker aktiviert,
 - bei Ergebnisschätzung als bei exakter Lösung
 - bei Subtraktion als bei Multiplikation
 - M. beruht stärker auf verbalem Gedächtnis
 - bei Operationen mit großen als mit kleinen Zahlen
 - bei Operationen, die eine numerische Skala benötigen
 - numerische Größenschätzung
 - bei numerischen im Vergleich zu nicht-numerischen Vergleichen (Wildheit von Tieren, Raumbeziehungen von Körperteilen,...)

Mentale Arithmetik

- Neuropsychologie
 - Zahlenverständnis und einfaches Rechnen in Einzelfällen mit semantischer Demenz erhalten (temporo-frontale Läsionen, nicht parietal)
 - selektive arithmetische Defizite nach parietaler Läsion
 - selektive morphologische Störungen entlang des linken IPS bei Frühgeborenen mit (vs. ohne) Dyscalculie

Metaanalyse von Imaging-Studien zur Kalkulation:



Numerische Quantität

Verbale Zahlenverarbeitung

Visuell-räumliche Prozesse

Piazza & Dehaene, in: Gazzaniga (Ed.) The Cog. Neurosci, 3rd Ed.

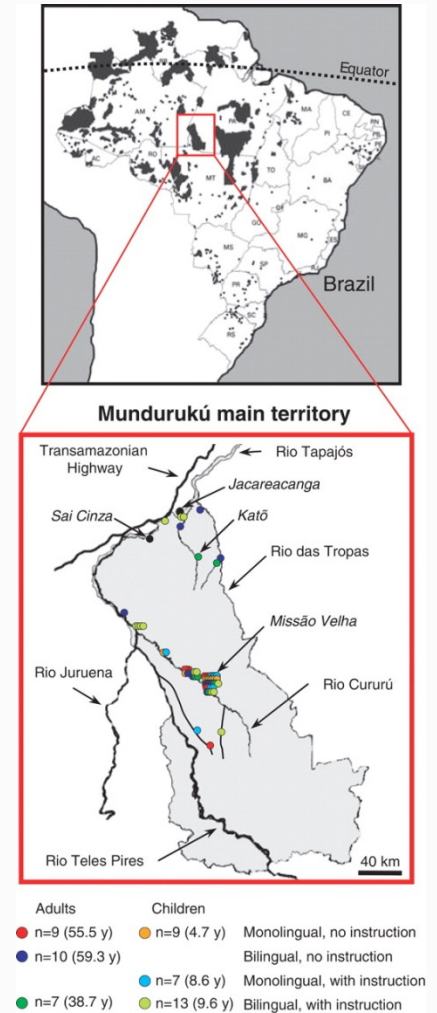
Mentale Arithmetik

- linker Gyrus angularis stärker aktiviert:
 - bei exakter Berechnung als bei Schätzung
 - bei Multiplikation als bei Subtraktion
 - Läsion des linken G. angularis führt zu Alexie mit Agraphie
- posteriorer Lobulus parietalis superior (PSPL)
 - aktiv bei Zahlenvergleich, Schätzung, Subtraktion
 - aktiv bei nicht-numerischen visuell-räumlichen Prozessen
 - > Zahlenstrahl (number line)

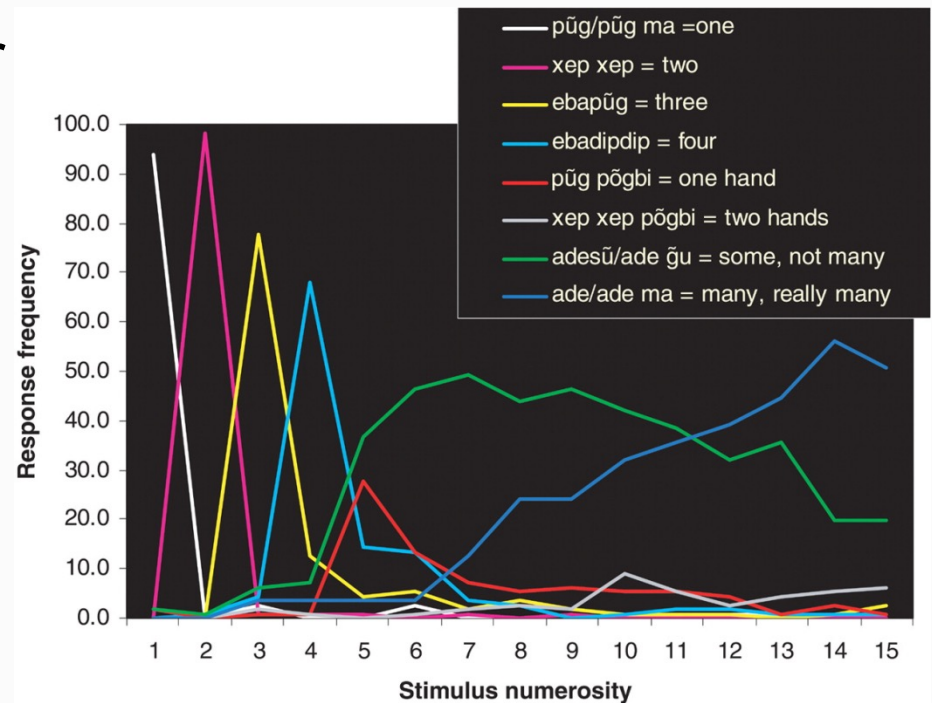
Mentale Arithmetik

- Arithmetik ohne Sprache?
 - Mundurucu, amazonische Sprache ohne Zahlwörter über fünf

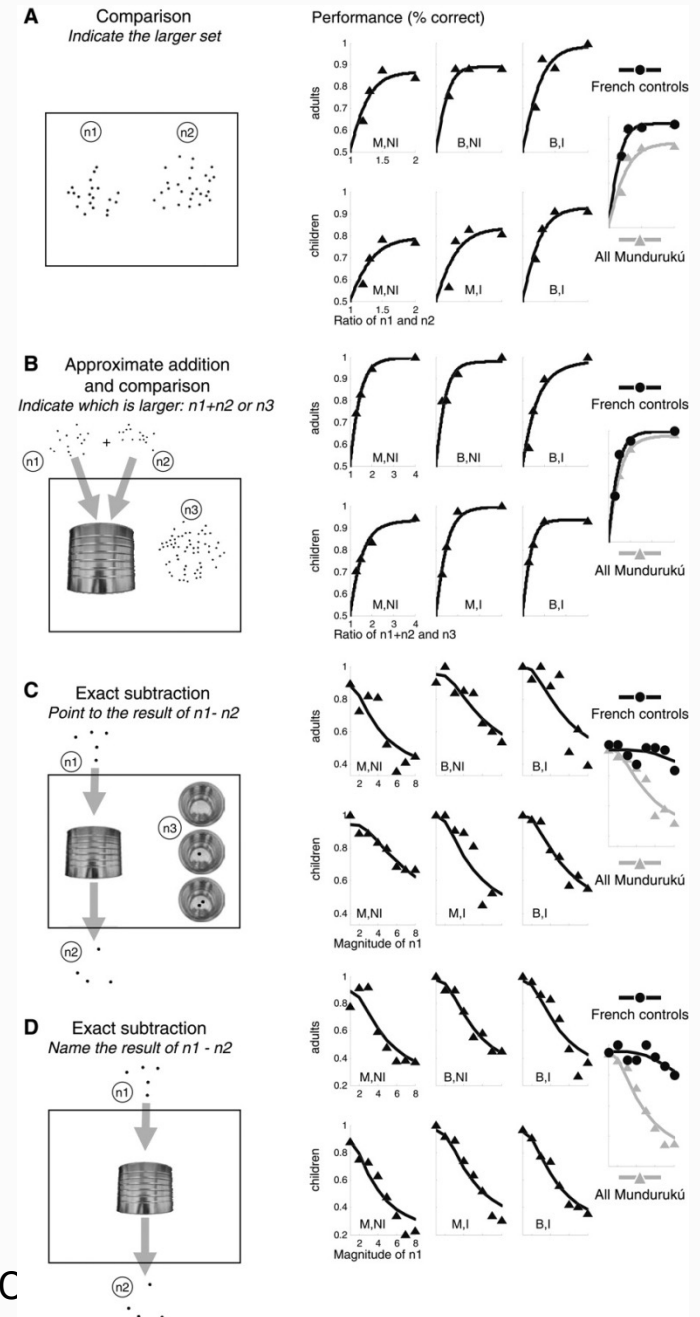
Pica et al., 2004



- Nutzungshäufigkeit der Mundurucu-Zahlwörter

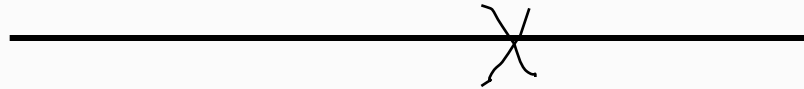


- ungefähre Vergleichs- und Schätzoperation mit Mengen größer 5 möglich
- exakte Arithmetik mit Zahlen > 5 nicht möglich



Mentale Arithmetik

- Mentaler Zahlenstrahl?
 - Linienhalbierung bei Neglect

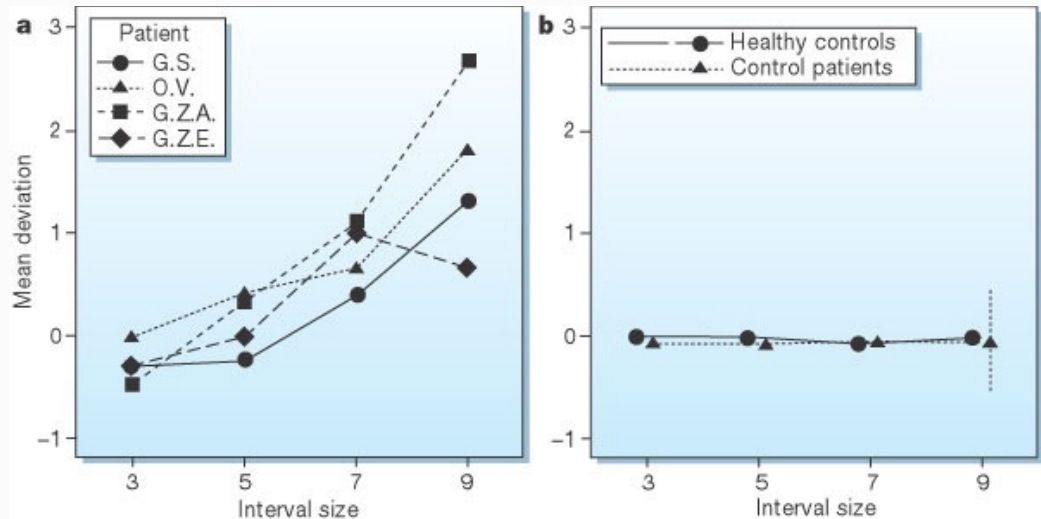


- keine Beeinträchtigung des Rechnens

Mentale Arithmetik

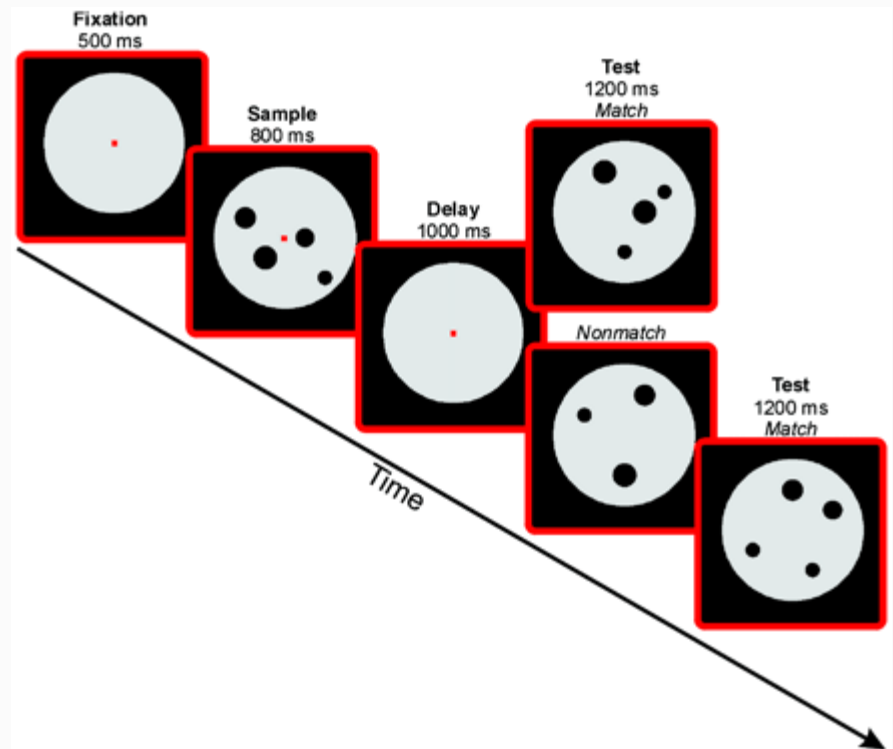
- Frage: Welche Zahl fällt in die Mitte zwischen 11 und 19 (ohne zu rechnen)?

- Abweichung von der Mitte in Abhängigkeit von der Intervallgröße (Zorzi et al., Nature 2002)



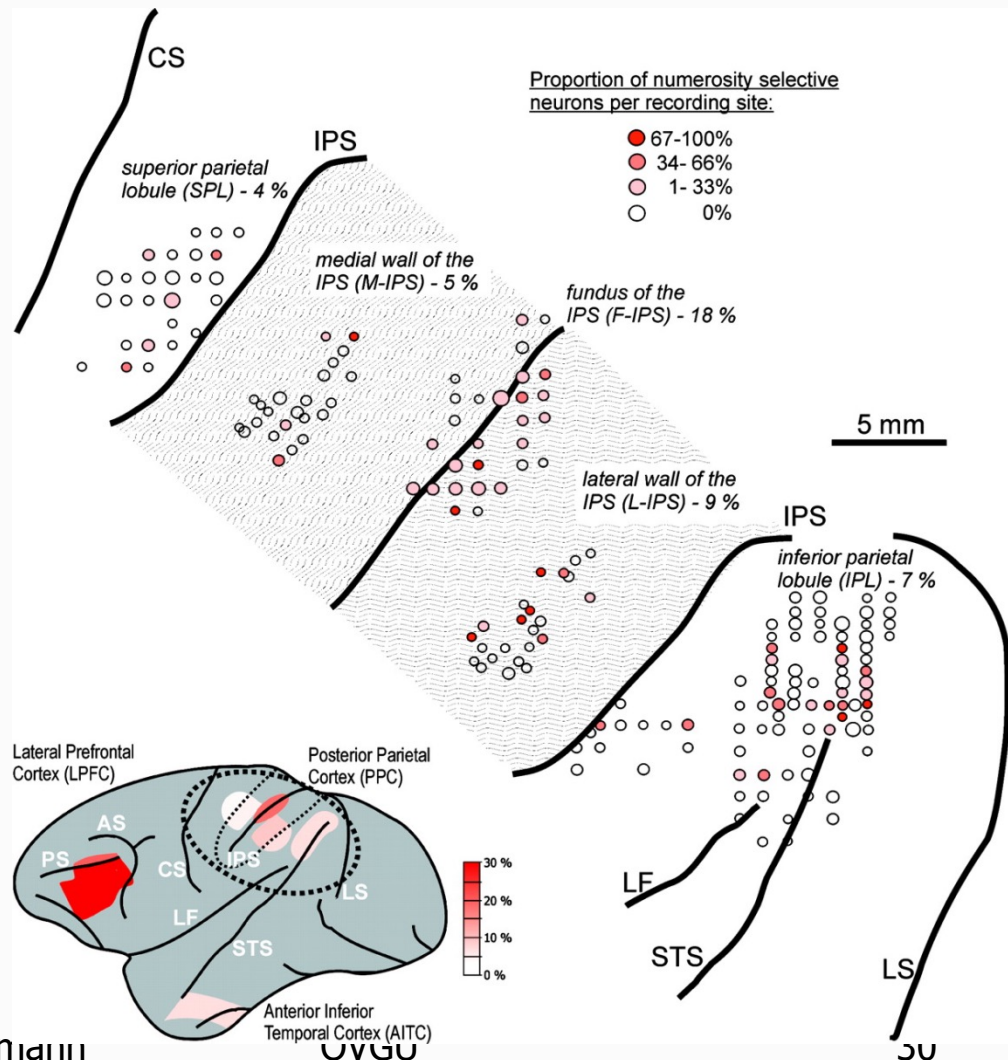
Neuronale Kodierung von Zahlen

- Delayed Matching to Numerosity
- Einzellableitung in Affen (Nieder & Miller, 2004)

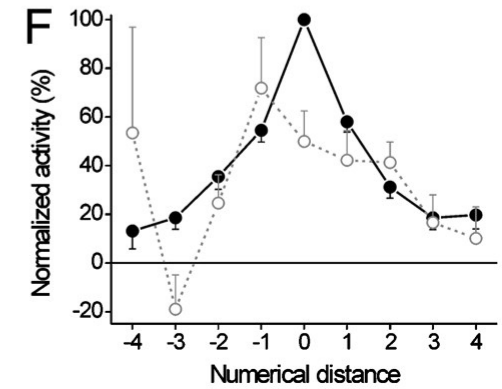
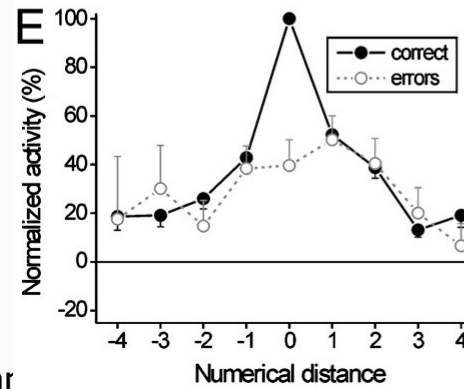
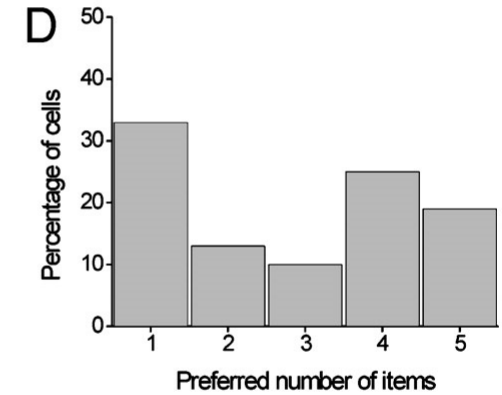
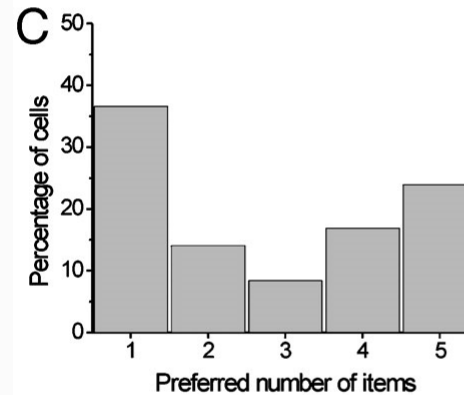
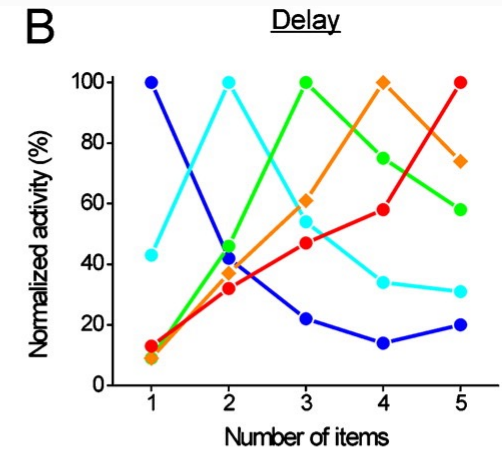
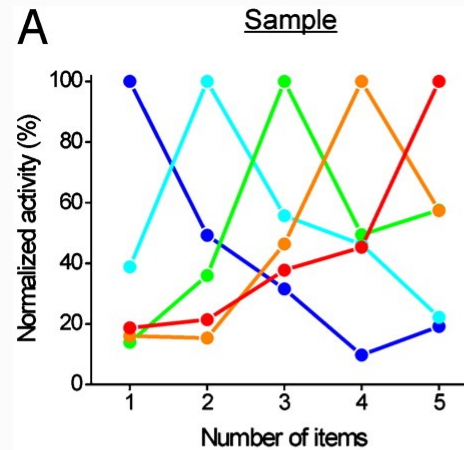


Neuronale Kodierung von Zahlen

- Ableitorte und Proportion zahlensensitiver Neurone



- Eigenschaften numerositäts-sensitiver Neurone im posterioren Parietalkortex



THE END