

# „Der kleine Unterschied“ im menschlichen Gehirn

O. Güntürkün  
M. Hausmann  
M. Tegenthoff

Einige kognitive Geschlechtsunterschiede sind wissenschaftlich belegt. Zum Beispiel sind Frauen bei verbalen Fähigkeiten überlegen, bei denen es auf das schnelle Nennen von Zielwörtern ankommt. Männern dagegen fallen manche Aufgaben leichter, die besonders das räumliche Vorstellungsvermögen fordern (Info, S. 7). Geschlechtsspezifische Unterschiede des Sprachvermögens und der visuellen Raumkognition sind also kein böses Vorurteil, sondern wissenschaftliche Tatsache. Sie könnten das Ergebnis unterschiedlicher Erziehungsstile und/oder biologischer Faktoren sein. Für Letzteres spricht, dass sich weibliche und männliche Gehirne in ungefähr einem Dutzend anatomischer Merkmale unterscheiden.

Auf biologische Faktoren deuten auch spezielle Testergebnisse hin, in denen Geschlechtsunterschiede nicht nur in verschiedenen Nationen, son-

**Können Männer wirklich nicht zuhören, und sind Frauen tatsächlich unfähig einzuparken? Vorurteile dieser Art sind weit verbreitet und in den meisten Fällen falsch. Doch manchmal findet sich ein wahrer Kern, den Forscher jetzt in funktionellen Unterschieden zwischen beiden Hirnhälften entdecken. Interessant ist, dass dieser „kleine Unterschied“ zumindest einmal pro Monat aufgehoben wird.**



Abb. 1

dern auch über die letzten 30 – 40 Jahre hinweg recht konstant nachgewiesen werden (s. Info), obwohl sich die Erziehungsstile in diesen Ländern und Zeitspannen extrem unterscheiden. Zudem erhöhen sich bei Männern, die nach einer Geschlechtsumwandlung zu Frauen werden, unter Einnahme weiblicher Sexualhormone die Sprachkompetenzen auf Kosten der Raumkognitionen. Genau die umgekehrte Entwicklung machen Frauen durch, die zu Männern werden.

Es spricht viel dafür, dass die ko-

gnitiven Unterschiede zwischen Männern und Frauen zumindest zum Teil durch unterschiedliche hormonelle Faktoren entstehen können, die dann wahrscheinlich geschlechtsspezifische Hirnmechanismen nach sich ziehen. Doch müssten dann nicht auch die hormonellen Schwankungen während des weiblichen Monatszyklus Veränderungen von kognitiven Leistungen erzeugen? Wir sind dieser Frage nachgegangen und haben weiblichen Testpersonen, die keine Hormonpräparate wie z.B. die Pille einnehmen, zweimal

Prof. Dr. Onur Güntürkün, Dr. Markus Hausmann, Biopsychologie, Institut für Kognitive Neurowissenschaft, Fakultät für Psychologie, PD Dr. Martin Tegenthoff, Klinikum der Ruhr-Universität Bochum, Neurologische Klinik, Berufsgenossenschaftliche Kliniken Bergmannsheil

während ihres Zyklus Aufgaben (z.B. Rotations-Test, Info 1) gestellt, bei denen Frauen meist schlechter abschneiden als Männer. Ein Testzeitpunkt lag während der Menstruation (2. Tag), wenn alle Sexualhormone auf dem Tiefpunkt sind. Die zweite Aufgabe stellten wir in der Lutealphase (22. Tag), in der der Hormonspiegel an Östradiol und Progesteron sehr hoch ist. Die Ergebnisse waren eindeutig (Abb. 2): Wenn die weiblichen Sexualhormone ihren Tiefpunkt erreichten (2. Tag), war die Leistung der Frauen beim mentalen Rotations-Test ähnlich gut wie die der Männer. Stiegen aber die Hormone zum 22. Tag an, dann sank die Leistung dramatisch ab. Die untersuchten Frauen waren demnach in ihrer visuell-räumlichen Fähigkeit nicht prinzipiell schlechter als die Männer – es kam nur drauf an, wann man sie testete!

**Auf den Zeitpunkt kommt es an!**

Da Sexualhormone vielfältige Einflüsse auf Hirnfunktionen haben, ist es nicht einfach, herauszufinden, welche dieser Funktionen bei unseren Versuchspersonen verändert wurden. Ein „aussichtsreicher Kandidat“ sind die sog. cerebralen Asymmetrien - die Funktionsunterschiede zwischen der linken und der rechten Hirnhälfte. Die linke Hirnseite zeigt bei Menschen eine Überlegenheit verbaler Fähigkeiten, während die rechte eine Dominanz für visuell-räumliche Funktionen besitzt. Diese funktionellen Links-Rechts-Unterschiede sind bei Männern ausgeprägter als bei Frauen. Könnte es sein, dass Frauen und Männer sich kognitiv unterscheiden, weil die Asymmetrien ihrer Gehirne unterschiedlich sind? Doch dann müssten sich mit der Kognition auch die Hirnasymmetrien während des Monatszyklus verändern.

Wir untersuchen die Asymmetrien beim Menschen mit einem speziellen Experiment („Visuelle Halbfeldtechnik“), das es ermöglicht, quasi nur

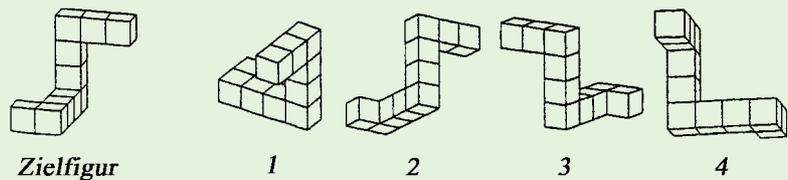
Die individuellen Leistungsunterschiede bei Männern und Frauen sind zwar größer als zwischen beiden Geschlechtern, trotzdem kommt es bei bestimmten Aufgaben zu recht konstanten Unterschieden zwischen Männern und Frauen. So fallen Frauen beim „Wortflüssigkeitstest“ in einer Minute mehr Wörter ein, die z.B. mit einem „A“ oder einem „M“ beginnen als Männern (s. Abb. rechts). Dagegen schneiden Männer im Durchschnitt im „Mentalen Rotations-Test“ besser ab, bei dem Vergleichsfiguren gefunden werden sollen, die mit der Zielfigur identisch sind.

(Abb. unten, Lösung: 1 und 3)

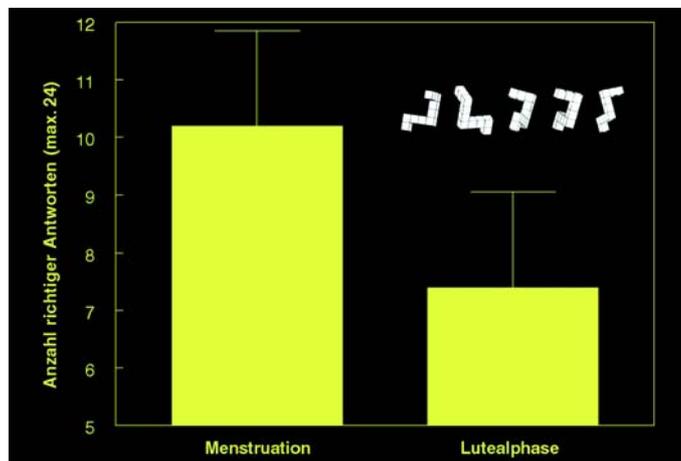
**Wortflüssigkeitstest**

A	M
Apfel	Mutter
Auto	Melone
Amme	Metz
Arm	Metall
Aufgabe	Mittag
Abitur	Minute
Australien	Maus

**Mentaler Rotationstest**



**INFO**



einer Hirnhälfte Bilder zu zeigen (Abb. 3a): Wenn eine Versuchsperson ein Kreuz in der Monitormitte betrachtet, wird die Figur links vom Fixationskreuz nur von ihrer rechten Hirnhälfte gesehen. Sobald die Versuchsperson nach links blickt und die Figur zentral ansieht, nehmen natürlich beide Hirnhälften diesen Stimulus wahr. Für eine solche Blickbewegung brauchen Menschen ca. 200 Millisekunden. Verschwindet die seitliche Figur aber nach

Abb. 2: Rotationstest: Unter vier seitlichen Vergleichsfiguren sind die herauszufinden, die zwar verdreht, aber sonst identisch mit der zentralen Form sind. Frauen, die während ihrer Menstruation (2. Tag) und in der Lutealphase (22. Tag) getestet werden, erreichten in der Lutealphase schlechtere Leistungen bei der mentalen Rotationsaufgabe.

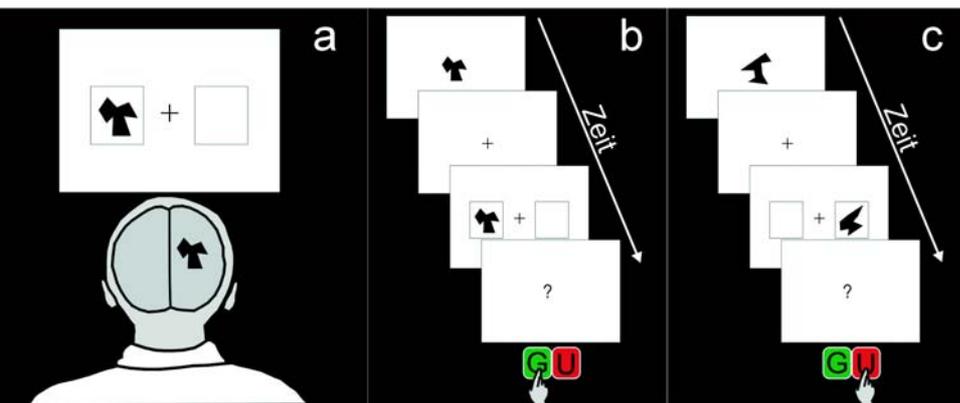


Abb. 3:

„Visuelles Halbfeldexperiment“: Zunächst prägt sich die Testperson ein Muster in der Monitormitte ein. Darauf folgt das Fixationskreuz und dann für 180 Millisekunden seitlich ein Vergleichsmuster (Bild b und c). Die Testperson entscheidet so schnell wie möglich per Tastendruck, ob es sich um das gleiche (G) oder um ein ungleiches (U) Muster handelt.

nur 180 Millisekunden vom Monitor, während die Versuchsperson noch auf das zentrale Fixationskreuz blickt, dann wird dieser lateralisierte Reiz nur von der rechten, d.h. contralateralen Hemisphäre wahrgenommen.

### Was von links kommt: schnell erkannt

Im nächsten Schritt vergleichen die Testpersonen verschiedene Figuren (s. Abb. 3 b u. c): Zunächst prägen sie sich eine zentral dargebotene abstrakte Figur einige Sekunden lang ein, sodass beide Hirnhälften diesen Reiz speichern. Dann erscheint anstelle der zentralen Figur kurz das Fixationskreuz. Anschließend wird seitlich links oder rechts für 180 Millisekunden die gleiche (Abb. 3b) oder eine andere Figur (Abb. 3c) eingeblendet, während der Blick auf das Kreuz gerichtet bleibt. Die Testperson entscheidet nun so schnell wie möglich per Tastendruck, ob es sich um die gleiche (G) oder eine ungleiche Figur (U) handelt.

In der Regel folgt die Antwort schneller und korrekter, wenn die zweite Figur auf dem Monitor links erscheint, da die rechte Hemisphäre bei visuell-räumlichen Aufgaben überlegen ist. Dieses Ergebnis bestätigten unsere männlichen Versuchspersonen sowie Frauen während der Menstruation (Abb. 4). Dagegen war bei den selben Frauen die Leistung ihrer

beiden Hirnhälften während der Lutealphase seitengleich. Die cerebralen Asymmetrien für visuell-räumliche Aufgaben hatten sich tatsächlich während des Menstruationszyklus radikal verändert! Eine Reduktion der weiblichen Sexualhormone führt also sowohl zu einer Leistungssteigerung bei der mentalen Rotation als auch zu einer asymmetrischen Hirnorganisation. Auch bei Frauen nach der Menopause fanden wir Links-Rechts-Unterschiede für visuell-räumliche Reize, die denen von Männern wie auch von Frauen während der Menstruation entsprachen.

Unsere Untersuchungen zeigen, dass sich die Asymmetrie vor allem mit der Fluktuation des Hormons Progesteron veränderte. Progesteron steigt zum 22. Tag des Monatszyklus an und fällt dann wieder ab. Im Gehirn erhöht Progesteron die Effektivität der Rezeptoren

für den hemmenden Botenstoff GABA und reduziert gleichzeitig die Aufnahme und Umsetzung des aktivierenden Botenstoffs Glutamat. Insgesamt sollte Progesteron somit auf viele Hirnprozesse dämpfend wirken. Dabei könnte Progesteron die cerebralen Asymmetrien vor allem durch die Modulation des Informationsaustausches zwischen den beiden Hirnhemisphären über die große Faserverbindung (Corpus callosum) verändern. Das Corpus callosum besteht aus über 200 Millionen Fasern und verbindet beide Hirnhälften miteinander. Die Nervenzellen, die das Corpus callosum bilden, verwenden fast ausschließlich Glutamat. Während der Lutealphase könnte das Progesteron somit die Effizienz dieser interhemisphärischen Verbindung und damit zugleich die cerebralen Asymmetrien verringern. Wenn diese Überlegungen stimmen, müsste während des

Abb. 4: Ergebnisse des „Visuellen Halbfeldexperimentes“: Die höchsten Trefferquoten erreichen Männer sowie Frauen während der Regel mit der rechten Gehirnhälfte. Bei Frauen in der Lutealphase ist die Leistung der beiden Hirnhälften identisch.

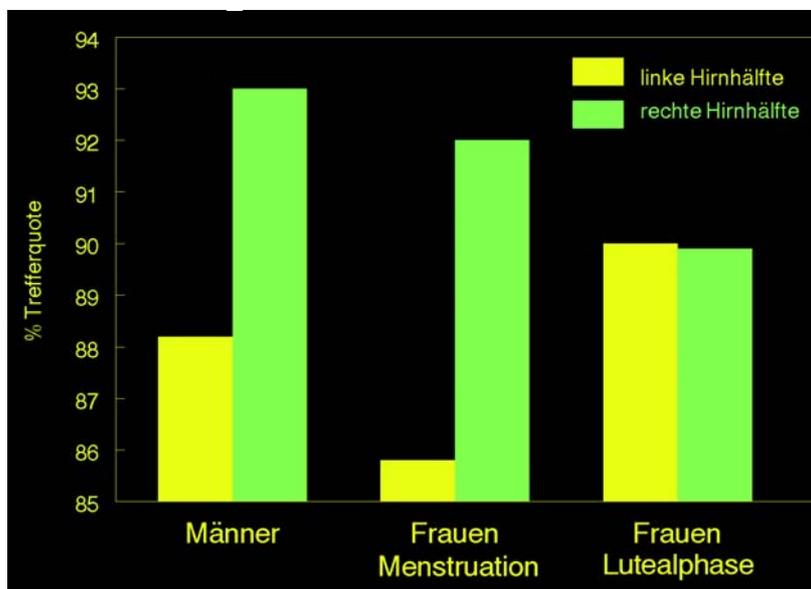




Abb. 5:  
*Transkranielle Magnetstimulation (TMS):  
 Der Versuchsleiter hält die TMS-Spule über die Ziel-  
 region der Hirnoberfläche die für einen kurzen  
 Augenblick elektrisch erregt werden soll.*

Menstruationszyklus die gesamte Erregbarkeit innerhalb der Hirnrinde schwanken. Doch wie kann man das nachweisen?

Mit Hilfe der transkraniellen Magnetstimulation (TMS) lässt sich die Erregbarkeit des menschlichen Gehirns schonend untersuchen. Diese neurophysiologische Methode wird seit mehr als zehn Jahren in der klinischen Neurologie als Diagnoseverfahren eingesetzt (Abb. 5). Das technische Grundprinzip besteht darin, dass sich durch einen starken Stromfluss innerhalb einer Rundspule ein Magnetfeld aufbaut, das ungehindert und schmerzfrei die Schädeldecke durchdringt und durch elektromagnetische Induktion innerhalb der Hirnsubstanz einen elektrischen Strom erzeugt und somit einzelne Gehirnzellen erregt.

Durch eine spezielle Reiztechnik,

bei der ein unterschwelliger TMS-Reiz wenige Millisekunden vor einem überschwelligen Testreiz gegeben wird, lässt sich die Erregbarkeit der Zielregionen im Gehirn untersuchen. Diese Methode stützt sich auf die Existenz von Zellverbänden innerhalb der Hirnrinde, die über ihre Synapsen einen hemmenden (inhibitorischen) Einfluss auf die nachgeschalteten Areale haben, während andere Neuronenverbände in der Nachbarschaft die nachgeschalteten Funktionsbereiche des Gehirns eher erregen (exzitieren). Beträgt der zeitliche Abstand zwischen dem ersten und dem zweiten Reiz nur 1 bis 4 Millisekunden, werden hauptsächlich die inhibitorischen GABA-Zellverbände aktiviert. Bei einem größeren zeitlichen Abstand von 8 bis 20 Millisekunden sind es dagegen die exzitatorischen Neu-

---

#### Sexualhormone dämpfen Aktivität von Nervenzellen

---

ronenverbände, die Glutamat als Botenstoff einsetzen. Die standardisierte zeitliche Abfolge einer solchen Doppelreizmethode erlaubt eine differenzierte Aussage bezüglich der aktuellen hemmenden und erregenden Zellaktivität in einer bestimmten Hirnregion. Mit einer vergleichbaren TMS-Technik untersuchen wir die Signalübertragung zwischen den beiden Hemisphären über das Corpus callosum.

Diese TMS-Doppelreiz-Methode wurde nun bei Frauen in unterschiedlichen Phasen des Menstruationszyklus eingesetzt. Die Aktivität der hemmenden und erregenden Neuronenverbände zeigte dabei in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Zyklusphasen deutliche Schwankungen. So verringerte sich die Aktivität der erregenden Zellverbände bei hoher Konzentration der Sexualhormone Östradiol und Progesteron in der Lutealphase deutlich, während die hemmenden Zellverbände gleichzeitig aktiviert wurden. Hieraus resultierte insgesamt eine verminderte Aktivierbarkeit bestimmter Hirnregionen. Dies ist genau der Effekt, den wir

für Progesteron durch die Reduktion der Glutamat- und die Erhöhung der GABA-Übertragungseffizienz erwartet hatten. Gleichzeitig war eine Veränderung des Informationsaustausches zwischen den beiden Hemisphären über das Corpus callosum nachweisbar: In der Lutealphase verringerte sich die Signalvermittlung, was den Test-Ergebnissen der Visuellen Halbfeldtechnik entspricht. Damit konnten wir unsere Hypothese einer im Verlauf des Menstruationszyklus wechselnden Erregbarkeit der Hirnrinde und einer Modulation der interhemisphärischen Interaktion bestätigen.

Die mit sehr unterschiedlichen Verfahren gewonnenen Untersuchungsergebnisse belegen eindrucksvoll eine im Verlauf des weiblichen Zyklus vorhandene hormonvermittelte wechselnde Asymmetrie der Hirnfunktion. Diese Schwankungen schlagen sich in tagtäglichen Funktionen nieder. Unsere Forschungsergebnisse zeigen nicht nur, dass sich „der kleine Unterschied“ im Gehirn des Menschen objektiv begründen lässt, sondern dass dieser Unterschied hormonabhängig schwankt.

#### „The little difference“

Men and women differ in some cognitive functions. Although these differences are small, they reliably demonstrate sex-dependent differences in the functional organisation of the brain. Hemispheric asymmetries are indeed differently organised with female subjects having less pronounced left-right differences. However, these reduced asymmetries in women are not stable over time, but differ between menstrual cycle phases due to hormone fluctuations. As also shown by Transcranial Magnetic Stimulation (TMS), especially progesterone seems to influence cortical excitability and interhemispheric crosstalk, thereby altering brain asymmetries.