

WDR

Fernsehen

Quarks & Co

Westdeutscher Rundfunk Köln
Appellhofplatz 1
50667 Köln

Tel.: 0221 220-3682
Fax: 0221 220-8676

E-Mail: quarks@wdr.de

www.quarks.de



Neues vom Gehirn – Wie wir lernen

Quarks & Co

Script zur WDR-Sendereihe *Quarks & Co*



Inhalt

Inhalt

Neues vom Gehirn –

Wie wir lernen

- 4 Steckbrief Gehirn – Das Netzwerk im Kopf

- 8 Der Lohn des Lernens

- 10 Computerspiele und das Gehirn

- 13 Lernen durch Beobachten

- 18 Das rechte Wort zur rechten Zeit

- 21 Hirnzellen werden nie arbeitslos

- 24 Lernen im Alter

- 27 Lesetipps

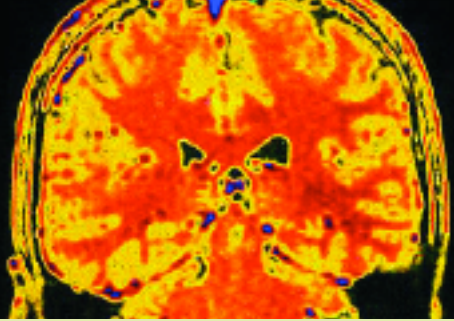
Unser Gehirn ist Weltmeister im Lernen: Es beginnt schon vor der Geburt, Verbindungen zwischen unzähligen Nervenzellen zu knüpfen – und ist von da an ständig im Umbau. Im Alter wird das Gehirn zwar langsamer, aber es lernt weiter, bis zum Tod. Doch was heißt eigentlich *lernen*? Was passiert dabei in unserem Kopf? Wie schnell passt sich das Gehirn neuen Aufgaben an? Wie können wir uns beim Lernen motivieren? Wann lernen wir was am besten? Und warum lernen wir manches einfacher, während uns anderes extrem schwer fällt? *Quarks & Co* zeigt, welche Lernmechanismen jeden Tag in unserem Kopf ablaufen.

Computerspiele, Fernsehen und Videos – wie beeinflussen sie Kinder und Jugendliche? Diese Frage bewegt nicht nur Eltern und Politiker, sondern auch Forscher – besonders, wenn das Spielen so genannter Ballerspiele am PC mit Amokläufen von Schülern in Verbindung gebracht wird. Doch wirkt sich der gesteigerte Medienkonsum auch auf das Lernen aus? *Quarks & Co* stellt neue Forschungs-Ergebnisse vor, die zeigen welchen Einfluss PC-Spiele auf das Lernen haben.

Herausgeber: Westdeutscher Rundfunk Köln; **verantwortlich:** Öffentlichkeitsarbeit;
Text: Johanna Bayer, Anna Planken, Jakob Kneser, Tilman Wolff; **Redaktion:**
Claudia Heiss; **Copyright:** wdr, Februar 2007; **Gestaltung:** Designbureau Kremer
& Mahler, Köln

Bildnachweis: alle Bilder Freeze wdr 2007 **außer:** Titel großes Bild – Klaus Wache;
Inhaltsverzeichnis u. S. 17 – Mauritius; S. 4 – Mauritius; S. 6 – dpa, S. 7 – Klaus
Wache; S. 13 – Mauritius; S. 25 links – Christian Gaser, Friedrich-Schiller-
Universität, Jena

■ Weitere Informationen, Lesetipps und interessante Links finden Sie auf unseren Internetseiten.
Klicken Sie uns an: www.quarks.de



Das Gehirn im Computer (Ausschnitt) –
Dahinter verbergen sich Milliarden von Nervenzellen



Mehr als 100 Milliarden Nervenzellen von Geburt an –
Das Gehirn muß nur noch reifen

Steckbrief Gehirn – Das Netzwerk im Kopf

Zahlen und Fakten

Das Gehirn ist ein Luxusorgan – es verbraucht beim Menschen 20 Prozent der Körperenergie, obwohl es im Schnitt nur etwa zwei Prozent der Körpermasse ausmacht. Dafür ist das menschliche Gehirn aber auch extrem leistungsfähig, ein Leben lang formbar und auf das Lernen geradezu programmiert. Die Grundlage dafür bildet das Netzwerk von Milliarden Nervenzellen im Kopf – wahrscheinlich, sagen Forscher, die komplexeste Struktur im Universum.

Netzwerk der besonderen Art

Im Gehirn sind von Geburt an mehrere 100 Milliarden, nach neueren Schätzungen vielleicht sogar 1000 Milliarden Nervenzellen – eine unvorstellbar hohe Zahl. Diese Neuronen bilden sich schon im Mutterleib und ihre Lebensdauer ist länger als die aller anderen Körperzellen – nämlich bis zu 80 Jahre. Kein anderer Zelltyp im Körper wird so alt. Die Nervenzellen, die schon im Embryo-Gehirn entstehen, teilen sich nur vor der Geburt in verschwenderischer Fülle. Wenn das Kind auf der

Welt ist, hören sie damit auf. Das Gehirn wächst nicht, wie andere Organe, dadurch, dass sich seine Zellen teilen. Es wächst, weil die Nervenzellen Verbindungsfasern ausbilden, die sich untereinander vernetzen und immer dicker werden. Deshalb sagen Hirnforscher auch nicht, dass das Gehirn wächst, sondern dass es reift. Zwar weiß man seit kurzem, dass es tatsächlich einige Hirnregionen gibt, in denen selbst beim Erwachsenen noch neue Nervenzellen entstehen können. Doch ihr Anteil ist gering im Vergleich zur Masse der Zellen, die sich nicht mehr teilen.

Die Masse macht's

Es gibt noch eine andere Art von Zellen im Kopf, die so genannten Gliazellen. Sie umgeben die Nervenfortsätze mit einer Schicht von Bindegewebe, etwa so, wie ein Kabel eine elektrische Leitung umhüllt. *Myelinschicht* nennen Hirnforscher diese schützende Hülle. Die Gliazellen, benannt nach dem griechischen Wort für Leim, sind noch zahlreicher als die eigentlichen Nervenzellen, es sind 100.000 Milliarden. Sie schützen nicht nur die Nervenfortsätze, sondern sorgen auch dafür, dass die

Steckbrief Gehirn

elektrischen Impulse, die die Nerven weitergeben, besonders schnell weitergeleitet werden. Eine Nervenzelle ohne Myelinschicht leitet einen Impuls in 10 Metern pro Sekunde – mit der glibberigen Substanz um die leitenden Fasern ist sie zehnmals so schnell, nämlich 100 Meter pro Sekunde. Daher sind die Gliazellen enorm wichtig im Gehirn, und sie bilden insgesamt 90 Prozent der Gehirnmasse. Je mehr Verknüpfungen – und je mehr Gliazellen – desto schneller die Weiterleitung der elektrischen Signale. Und desto schlauer der Mensch!

Gut verdrahtet

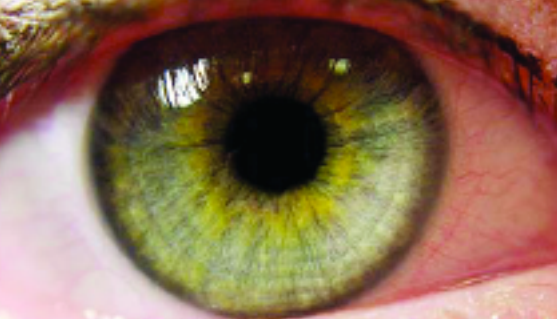
Auf die Gliazellen und die Vernetzungsfasern kommt es bei der Hirnentwicklung auch besonders an. Denn die Anzahl der Nervenzellen ist beim Baby und beim Erwachsenen etwa gleich hoch – aber die Verbindungen zwischen den Neuronen, vor allem die Dicke der Verbindungen und der Myelinschicht darum herum, machen die Leistung aus. Ein Erwachsener hat nur deshalb einen größeren Kopf als ein Baby, weil seine Nervenzellen vielfach verschaltet und die Verbindungen zwischen ihnen dick mit Myelin umhüllt sind.

Das wichtigste Jahr des Lebens

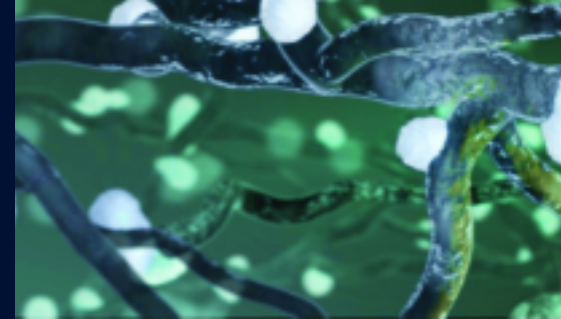
Im ersten Lebensjahr wächst das Gehirn am meisten, es macht einen Riesensprung: Der Säugling vergrößert seine Gehirnmasse auf das Dreifache, von 250 Gramm auf 750 Gramm. Und das nur dadurch, dass viel mehr Verbindungen zwischen den Neuronen entstehen. Voraussetzung dafür sind vielfältige Reize aus der Umwelt, besonders wichtig ist dabei die liebevolle Zuwendung der Eltern. Obwohl das Kind selbst recht passiv erscheint, arbeitet sein Gehirn auf Hochtouren, verarbeitet alles, was hereinkommt und bildet wesentliche Strukturen aus. Auch die Sprachverarbeitung beginnt schon, obwohl das Kind noch gar nicht sprechen kann: Das Gehirn beginnt mit seinem Lernprogramm, sobald das Kind auf der Welt ist – und wahrscheinlich sogar schon im Mutterleib.

Wachstum im Gehirn: Werden und Vergehen

Das Gehirn wächst im Lauf des Lebens in verschiedenen Phasen, die Teile des Gehirns reifen unterschiedlich schnell. Bei jedem Wachstumsschub bilden sich zuerst viele neue Verbindungen, die



Über das Auge dringen optische Informationen ins Gehirn – Nur ein kleiner Teil der Hirnzellen ist für die Sinne zuständig



Kugelförmige Synapsen sind die Schaltstellen zwischen den einzelnen Nervenzellen

Das Netzwerk im Kopf

anschließend wieder aussortiert werden, und zwar je nachdem, welche von ihnen öfter gebraucht werden. Nur diese werden dann noch mit einer neuen, dicken Myelinschicht umhüllt, so dass sie schnell und leistungsfähig werden. Das ist vor allem in den ersten Lebensjahren so, bis in der Pubertät auch die vordere Großhirnrinde heranreift: wieder werden viele neue Synapsen und Verbindungen gebildet und anschließend aussortiert: was unnötig ist, geht zu Grunde. Das Auslesen bestimmter Nervenverbindungen und das Intensivieren heißt unter Hirnforschern *pruning*, auf Deutsch *stutzen* – das Gehirn wird zurechtgestutzt im Hinblick auf die Verbindungen, die oft gebraucht und daher ausgebaut werden.

■ Zwei Hälften bilden das Ganze

Dabei ist das gesamte Gehirn in zwei Hälften geteilt, *hemisphärisch*, wie die Hirnforscher sagen. Je eine Hälfte steuert eine Körperseite, und alle Funktionseinheiten des Gehirns kommen zweimal vor, in jeder Hälfte einmal. Zwischen den beiden Hälften gibt es eine Brücke, das Corpus Callosum, die den Austausch von Informationen zwischen den beiden Hirnteilen regelt. Das ist auch nötig, denn kein Denkprozess wird nur in einer einzigen Hälfte oder Hirnregion organisiert. Die Vorstellung,

dass die linke und die rechte Hirnhälfte ganz unterschiedliche Aufgaben haben und sozusagen getrennt voneinander funktionieren, ist mittlerweile klar widerlegt und wissenschaftlich überholt.

■ Das egozentrische Organ

Von dem gigantischen Netzwerk zwischen den Milliarden von Nervenzellen ist nur der kleinste Teil dafür zuständig, das Gehirn mit der Außenwelt zu verbinden. Es sind etwa vier Millionen Fasern; also Leitungen, die für die Sinne zuständig sind – für Sehen, Hören, Fühlen, Riechen oder Schmecken. Die Zahl aller Verbindungen dagegen, die ausschließlich die Neuronen innerhalb des Gehirns miteinander verbinden, ist über zehn Millionen mal so groß wie die Zahl der Eingänge: Auf jede einzelne Faser, die in das Gehirn hinein – oder daraus herausgeht, kommen 10 Millionen Fasern, die das Netzwerk nur mit sich selbst verschalten.

■ Denken ist Strom und Chemie

Weitergeleitet werden die Informationen und Ergebnisse durch elektrische Impulse und durch chemische Signale quer durch das gigantische Netzwerk. Die elektrischen Impulse gehen von den

Nervenzellen aus und laufen durch lange Nervenfortsätze, so genannte Axone. Am Ende kommen sie an Übertragungsstellen an, den Synapsen. Dort reizt der elektrische Impuls kleine Behälter, die Botenstoffe enthalten. Diese Botenstoffe, auch Neurotransmitter genannt, übertragen jetzt den Reiz als kleine Chemiebomben an die gegenüberliegende Synapse. Dort führen die Neurotransmitter wieder zu einem elektrischen Impuls. An der Nervenzelle sitzen außer den Axonen, den großen Leitungsfasern, auch viele kleinere Fortsätze, die Dendriten mit ihren vielen Synapsen. Sie empfangen Signale von anderen Zellen, an ihnen docken zum Beispiel Axone anderer Nervenzellen an. Die Synapsen können unterschiedlich stark erregt werden, und je öfter an ihnen ein Signal ankommt, desto stärker ist ihre Reaktion.

■ Neuronen arbeiten nur im Team

Jeder Prozess im Gehirn wird von einer ganzen Gruppe von Nervenzellen durchgeführt – 100 bis 1.000 Neuronen sind beteiligt. Jede Nervenzelle ist mit bis zu 15.000 Synapsen mit anderen Nervenzellen verbunden und tauscht mit ihnen elektrische Impulse aus. Wenn das Gehirn arbeitet, sind weder einzelne Zellen noch einzelne, scharf abgegrenzte Regionen oder einzelne *Miniergehirne* aktiv. Statt-

dessen sind die Hirnprozesse in der Regel über verschiedene Regionen und beide Gehirnhälften verteilt. Beim Erwachsenen bombardieren die Sinne und die Reize von außen das Gehirn mit einer ungeheuren Menge von Informationen – aus allen Organen im Körper, aus allen Sinneswahrnehmungen und Aktivitäten fließt der Datenstrom ins Gehirn. Mit seinem Netzwerk muss es alle Reize verarbeiten. Dabei reduziert und filtert es die eingehenden Reize größtenteils und schützt sich so vor Überflutung.

Hirnforscher sagen daher scherzhaft, dass das Gehirn eigentlich nichts anderes ist als ein System zur Abwehr von Informationen.



Links:
Lernen setzt immer eine ganze Kaskade von Aktionen im Gehirn in Gang – ganz gleich ob es sich um das Lernen von Vokabeln, Autofahren oder Instrumenten handelt

Mitte:
An den sogenannten Synapsen, den Verbindungsstellen zwischen den Nervenzellen, werden Botenstoffe wie das Dopamin ausgeschüttet

Rechts:
Solche neutralen, unbekannt Bilder haben die Forscher in Magdeburg ihren Probanden gezeigt

Der Lohn des Lernens

Der Lohn des Lernens

Das Belohnungssystem des Gehirns

Beim Lernen belohnt sich das Gehirn für jeden Erfolg selbst – diesem Phänomen sind Forscher weltweit auf der Spur. Wenn eine bestimmte Region des Mittelhirns (der *nucleus accumbens*) besonders angesprochen wird, schütten die Nervenzellen dort den Botenstoff **Dopamin** aus. Dopamin vermittelt den Zellen ein Signal, das als ein positives Gefühl ankommt: die Freude über den Erfolg. Und weil Freude sich so gut anfühlt, verlangen die Hirnzellen immer wieder nach mehr: mehr Lernen, mehr Erfolg, mehr Dopamin!

► Dopamin

Der Botenstoff Dopamin wird im Gehirn in einem durch hohen Eisen und Melanin gehalt dunkel gefärbten Bereich des Mittelhirns (Substantia nigra – Schwarze Substanz) gebildet. Bisher konnten fünf verschiedene Arten von Dopamin-Rezeptoren identifiziert werden, die die Aufnahme des Botenstoffs ermöglichen (D1 – D5). Forscher vermuten aber, dass es noch weitere Andockstellen gibt. Die Nervenetze, deren Zellen das Dopamin ausschütten können, nennen Wissenschaftler dopaminerge Pfade. Dopamin hat auf diesen Pfaden – neben den Aufgaben beim Lernen – auch andere Funktionen: Mit seiner Hilfe steuert das Gehirn beispielsweise die Bewegung des Körpers. Bei Parkinson-Patienten, die unkontrolliert zittern, geht man derzeit davon aus, dass genau diese Steuerung versagt – weil Dopamin fehlt oder Dopaminrezeptoren lahmgelegt sind.

Der Lern-Verstärker

Doch noch andere Botenstoffe wirken, wenn die neuen Informationen von Nervenzelle zu Nervenzelle weitergegeben werden. Dazu gehören zum Beispiel Noradrenalin und Glutamat. Diese Botenstoffe werden von den Zellen ausgeschüttet und docken an Rezeptoren der nachfolgenden Zelle an. Je öfter das geschieht, desto schneller funktioniert die Übertragung zwischen den Zellen. Dopamin scheint nun die Zellen besonders sensibel zu machen für das Empfangen von neuen Informationen. Forscher nennen Dopamin deshalb auch einen *Modulator* für das Lernen, weil es wie eine Art Verstärker wirkt. Dopamin ist aber auch daran beteiligt, wenn neue Informationen im Langzeitgedächtnis gespeichert werden. Die Dopamin-Ausschüttung führt dann dazu, dass diese Informationen besonders fest im Gedächtnis verankert werden und besonders gut wieder abgerufen werden können.

Neues Lernen: Pause mit neutralen Bildern

Auf einen bisher unbekanntem Wirkungszusammenhang des Dopamins sind Forscher in Magdeburg und London gestoßen. Sie haben Probanden Bilder

von unbekanntem Städten, Plätzen und Landschaften gezeigt, gleichzeitig mussten sie Vokabeln lernen. Nachdem sie die Bilder angesehen hatten, waren die Probanden aufmerksamer und lernten besser. Die Erklärung der Forscher: In den neutralen Bildern sucht das Gehirn nach Belohnung und ist offener für Neues. Die neuen, unbekannt Bilder lassen das Belohnungssystem mit seinem Botenstoff, dem Dopamin, anspringen. Dieser Effekt lässt sich – davon sind die Forscher überzeugt – sogar für die Schule anwenden: Beim Vokabellernen empfehlen die Forscher kurze Pausen, die mit dem Anschauen vorher unbekannter Landschaftsbilder ausgefüllt werden sollten. Das Gehirn reagiert darauf, indem es Dopamin ausschüttet. Und das regt dazu an, nach der Pause auch die Vokabeln besser zu lernen. Eine halbe Stunde lang hält die Wirkung der neuen, unbekannt Bilder an. In dieser Zeit werden Vokabeln bevorzugt im Gedächtnis gespeichert, sagen die Forscher. Und können später besser abgerufen werden.

Dopamin und Sucht

Dopamin macht also nicht nur schlau, sondern auch glücklich. Und das Gehirn sucht nach dem Glücksgefühl – je mehr davon, desto besser. Diese

fatale Neigung ist bekannt: Hirnforscher sind inzwischen davon überzeugt, dass auch Suchterkrankungen und Drogenkonsum viel mit dem Lern-Botenstoff Dopamin zu tun haben. Sucht gilt heute als eine Fehlsteuerung im Belohnungs- und Verstärkungssystem des Gehirns – anatomisch geortet in einem kleinen Bereich des Mittelhirns. Suchtmittel wie Cannabis können selbst an die Dopaminrezeptoren andocken und das Glücksgefühl auslösen. Andere Drogen, etwa Kokain, verhindern den Abbau von natürlich ausgeschüttetem Dopamin und vermitteln so das Glücksgefühl. Oft sogar um ein Vielfaches mehr, als das die *normalen* Reize tun, etwa das Lernen.



Wie beeinflussen Computerspiele das Lernen? Das versuchen Wissenschaftler am Kriminologischen Forschungsinstitut Niedersachsen herauszufinden



Viertklässler haben oft Zugang zu Gewaltspielen, die erst ab 16 Jahren zugelassen sind

Computerspiele und das Gehirn

Computerspiele und das Gehirn

■ Hindern Ballerspiele am Lernen?

Sind Killerspiele am Computer schuld an Amokläufen wie im Herbst 2006 in Emsdetten? Welchen Einfluss haben Computerspiele und Medienutzung auf Kinder und Jugendliche? Diese Frage stellen sich Forscher immer wieder – und es scheint so, als ob die virtuelle Action tatsächlich das Lernvermögen beeinflusst.

■ Action im Kinderzimmer

Regelmäßig Fernsehen und Videos schauen, Spiele am Computer und an Spielkonsolen – nach Untersuchungen ist das schon für Grundschüler normal. Nach einer Studie des Kriminologischen Forschungsinstituts Niedersachsen in 10 Regionen Deutschlands stehen in den Kinderzimmern von 30 Prozent der Mädchen und über 40 Prozent der Jungen im Alter von 9 – 10 Jahren eigene Fernsehgeräte, Spielkonsolen finden sich bei 15 Prozent der Mädchen und 38 Prozent der Jungen. Nach der Erhebung vergnügen sich die Viertklässler auch mit einem Spiel, das erst ab 16 Jahren zugelassen ist, *Grand Thief Auto – San Andreas*. Es enthält heftige Gewaltdarstellungen und verlangt vom Spieler, sich möglichst brutal durchzusetzen.

■ Die wollen nur spielen...

Dass die Ballerei im Kinderzimmer mit schlechten Leistungen in der Schule und aggressivem Verhalten zusammenhängt, vermuten Politiker und Gesellschaft, aber auch Wissenschaftler immer wieder. Bisher gibt es dazu widersprüchliche Studien, vor allem aber noch viel zu wenige. Die Spiele- und Computerindustrie streitet die Zusammenhänge regelmäßig ab – kein Zufall, wenn man mit Konsolen-, Video- und Computerspielen jedes Jahr mehrstellige Zuwachsraten verzeichnet. Doch die Fakten, die Hirnforscher zusammentragen, weisen auf negative Effekte hin: Einige konkrete Auswirkungen des Spielens am Computer sind eindeutig belegt. So konnten Wissenschaftler eine erhöhte Aggressivität direkt nach dem Spielen zeigen. Auch der Stresspegel steigt. Sogar schon beim einfachen Videoschauen ist er höher als bei Prüfungen in der Schule. Erwiesen ist auch, dass die Ausschüttung des Botenstoffs Dopamin im Gehirn durch das Spielen von Computerspielen vermehrt ausgelöst wird. Dopamin ist aber der Botenstoff, der beim Lernen eine entscheidende Rolle spielt.

■ In der Pause ballern am PC

Der Zusammenhang von Lernen und neuen Medien interessiert Wissenschaftler des Kriminologischen Forschungsinstituts in Hannover besonders. Dort will man mehr über den konkreten Einfluss von Computerspielen und Videos auf die Lernleistung herausfinden. Eine der Fragen, die sich die Forscher stellen, lautet: Gibt es einen Zusammenhang zwischen schlechten Lernleistungen in der Schule, dem frühzeitigem Schulabbruch und dem Start einer kriminellen Karriere?

In einer Studie des Psychologen Florian Rehbein in Hannover wurden 360 Probanden einem Mix aus Lernen und Medienkonsum ausgesetzt. Alle mussten eine Kunstsprache lernen, die sich die Psychologen ausgedacht hatten, also Vokabeln pauken. Dazwischen gab es aber Pausen und die Teilnehmer wurden mit unterschiedlichen Medien konfrontiert: Eine Gruppe musste harte Computerspiele spielen, eine zweite harmlose, nicht gewalttätige Spiele; eine dritte wurde mit Liebesfilmen, eine vierte Gruppe mit Horrorstreifen traktiert. Die restlichen Teilnehmer bildeten die Kontrollgruppe ohne Medienkonsum – sie durften in

den Lernpausen Tischtennis spielen. Bei allen wurde im Anschluss daran gemessen, wie viele Vokabeln sie sich von der neuen Sprache gemerkt hatten.

■ Der Kick im Gehirn löscht den Lernstoff

Noch werden die Daten der Studie ausgewertet. Doch die Forscher glauben, mit ihrer Untersuchung die sogenannte Löschungshypothese bestätigen zu können. Nach dieser Hypothese wird gerade neu aufgenommenes Wissen von starken emotionalen Reizen, wie sie beispielsweise bei Computerspielen entstehen, überschrieben. Das Neue kann dann nicht in den richtigen Gedächtnisregionen abgespeichert werden. Eine zentrale Rolle in diesem Prozess nimmt eine Hirnregion ein, die Hippocampus genannt wird. In ihm werden Informationen kurzzeitig gespeichert, bevor sie ins Langzeitgedächtnis übertragen werden. Dieser Speichervorgang könnte durch die Computerspiele ernsthaft gestört werden, wenn der Kurzzeitspeicher mit neuen Informationen durch die rasanten Spiele so vollgestopft wird, dass er praktisch überläuft und nur noch Bruchstücke der Informationen ans Langzeitgedächtnis



360 Probanden haben die Forscher in Hannover vor Video- und Computerbildschirme gesetzt



Einige wenige Primatenarten, wie die Makaken, besitzen Spiegelneuronen. Der größte Nachäffer ist aber der Mensch, er hat die meisten Spiegelneuronen

Computerspiele...

weitergeben kann. Da der Hippocampus zu einem System im Gehirn gehört, in dem auch die Gefühle verarbeitet werden, nehmen die Forscher an, dass die starken emotionalen Reize, die Computerspiele ausüben, ein weiterer Grund dafür sein können, dass zwar das Computerspielen abgespeichert wird, aber eben sonst nichts mehr.

► Hippocampus

Der Hippocampus ist eine hufeisenförmige Struktur im Gehirn und gilt als eine Art Arbeitsspeicher des Gehirns. Der Hippocampus verarbeitet Informationen aus den verschiedenen sensorischen (Sinnes-)Systemen und schickt die aufbereiteten Informationen dann an die Hirnrinde, den sogenannten Kortex. Diesen Vorgang nennen die Hirnforscher Gedächtniskonsolidierung, das heißt: die Überführung von Gedächtnisinhalten aus dem Kurzzeit- in das Langzeitgedächtnis.

Allerdings wissen die Forscher in Hannover auch, dass es sehr stabile *Lernpersönlichkeiten* gibt, die trotz der rasanten Spiele gut lernen. Die Ergebnisse der Studie sollen 2007 vorgestellt werden.

Lernen durch Beobachten

Lernen durch...

■ Spiegelneuronen: Spuren von Handlungen im Gehirn

Eine der spektakulärsten Entdeckungen der neueren Hirnforschung sind die so genannten Spiegelneuronen – Hirnzellen mit Doppelfunktion: Sie sind aktiv, wenn man selbst etwas tut, geraten aber auch in Aktion, wenn man andere nur beobachtet. Mit ihrer Hilfe können Menschen blitzschnell Handlungen anderer erkennen und offensichtlich auch besonders gut neue Bewegungen lernen.

■ Plötzliches Knattern der Signale

Vittorio Gallese schleckte gerade an einem Eis, als er per Zufall eine der wichtigsten Entdeckungen machte, die der Hirnforschung seit 1990 gelang. So sagt es zumindest die Legende: In seinem Labor im italienischen Parma saß ein kleiner Affe, dessen Gehirn an bestimmten Stellen mit Elektroden versehen war. Die Hirnforscher um Giovanni Rizzolatti und Vittorio Gallese von der Universität Parma interessierten sich eigentlich für einen Bereich des Gehirns, der Bewegungen, speziell Handbewegungen, steuert. Man wollte die Aktivität einzelner Hirnzellen messen, wenn Primaten etwas mit der Hand tun – sich eine Nuss nehmen, zum Beispiel. Der Makake in Gallese

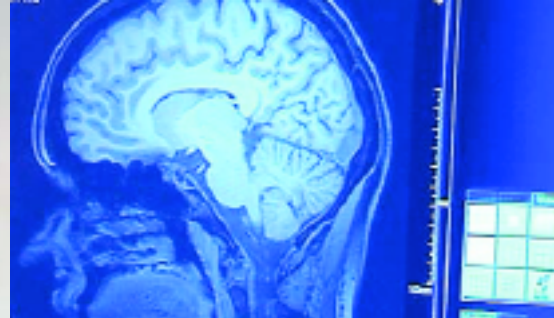
Versuch von 1992 tat brav das Verlangte: Er griff nach Nüssen und seine Hirnzellen gaben dabei elektrische Signale von sich, die aufgezeichnet wurden. Doch dann kam die kleine Pause, in der der Versuchsleiter sich ein Eis gönnte und der Affe noch verkabelt war. Da begann das Aufzeichnungsgerät wieder zu knattern, und zwar genau in dem Rhythmus, in dem Gallese sein Eis zum Mund führte: Der Forscher hatte im Gehirn des Affen zufällig einzelne Neuronen erwischt, die die Bewegungen anderer widerspiegeln konnten – die geheimnisvollen Hirnzellen bekamen den Namen *mirror neurons*, zu deutsch: Spiegelneuronen.

► sein Eis zum Mund führte

Diese Variante der Geschichte entstammt einer mündlichen Mitteilung von Dr. Stefan Vogt, Universität Lancaster, der in Parma gearbeitet hat. Andere Versionen besagen, dass Gallese Bonbons aß oder aus einer Kaffeetasse trank – auf jeden Fall nahm er etwas zu sich, was der Affe beobachtete.

■ „Zellen zum Gedankenlesen“

So kamen die Forscher aus Parma als erste auf jene spezialisierten Hirnzellen, die sowohl dann in Aktion sind, wenn Menschen selbst etwas tun, als auch, wenn sie andere nur beobachten. Denn dass



Links:
Die Spiegelneuronen reagieren besonders stark auf Hände, die nach etwas greifen...

Mitte:
... und auf menschliche Gesichter, aber insgesamt auf alle Bewegungen von Artgenossen

Rechts:
Nur ein kleiner Teil der Nervenzellen im Gehirn sind Spiegelzellen – sie haben eine wichtige Doppelfunktion

Lernen durch Beobachten

auch Menschen über Spiegelneuronen verfügen, steht inzwischen außer Zweifel. Seit ihrer Entdeckung 1992 wurden die Spiegelneuronen zunächst an Affen, dann aber auch an menschlichen Gehirnen intensiv erforscht. Und obwohl man noch längst nicht alles über ihre Funktion, ihre Verteilung im Gehirn und ihre Vernetzung mit anderen Hirnzellen weiß, ist sicher, dass sie beim Menschen eine ganz besondere Rolle spielen: Sie geraten in Schwingung, wenn man andere beobachtet, Gesichter sieht, Mimik und Gestik, und Emotionen wahrnimmt. Die Zellen zum Gedankenlesen wurden sie schon genannt, denn selbst wenn eine Handlung nur angedeutet wird, ergänzt das Gehirn sie dank seiner Spiegelneuronen zu vollständigen Aktionen. Ganz besonders dann, wenn ein Mensch etwas mit der Hand macht, etwa ein Werkzeug, ein Gerät oder Geschirr, ein Handy oder eine Fernbedienung ergreift und sich daran zu schaffen macht. Insgesamt machen es die Spiegelneuronen möglich, die Intentionen anderer zu verstehen, sie scheinen eine Rolle für die Entwicklung von Einfühlungsvermögen und für das Gesichtererkennen zu spielen, und sie sind wahrscheinlich der Grund dafür, warum Lachen und Gähnen so ansteckend sind. Besonders aktiv werden sie, wenn man Bewegungen lernen möchte.

► **Einfühlungsvermögen**

Einen Hinweis auf die große Bedeutung der Spiegelneuronen für die Fähigkeit, sich auf andere einzustimmen und ihre Gefühle und Handlungen zu verstehen, belegt eine Studie an Autisten: Die Hirnforscherin Mirella Dapretti von der University of California zeigte 2005, dass bei Autisten die Regionen, in denen Spiegelneuronen sitzen, dünner sind als andere Gehirnregionen. Ob eine Fehlfunktion des Spiegelneuronensystems dabei eher die Ursache oder eine Folge der autistischen Störung ist, weiß man noch nicht. Auffallend ist jedoch, dass es Autisten generell an Einfühlungsvermögen und Gespür für soziales Handeln mangelt, und dass schon autistische Kinder dadurch auffallen, dass sie beim Spielen nichts nachmachen.

■ **System der Resonanz im Gehirn**

Die Wunderzellen mit Doppelfunktion sitzen in mehreren Bereichen des Gehirns, zum Beispiel dort, wo Bewegungen gesteuert werden, speziell Handbewegungen. Aber sie sind auch im limbischen System und in der linken Hirnhälfte an der Stelle zu finden, wo das Sprachzentrum, das Broca-Areal, sitzt. Man geht von einem ganzen System von Spiegelneuronen aus. Absolut gesehen sind nur wenige Prozent der Milliarden

von Hirnzellen Spiegelneuronen, aber sie sind offensichtlich auf besondere Weise mit den Bereichen vernetzt, die für Sehen und Hören zuständig sind. Diese beliefern die Spiegelneuronen bevorzugt mit Wahrnehmungsdaten, wenn es um das Erkennen von Gesichtern oder Handlungen anderer Menschen geht. Gerade für das Erlernen von Bewegungen sind die Spiegelneuronen offensichtlich wichtig. Am Forschungszentrum Jülich haben Hirnforscher an einem interessanten Versuch gezeigt, wie und wann die Spiegelneuronen Resonanz geben: Probanden wurden gebeten, sich Bilder von einer Hand anzusehen, die an einem Gitarrenhals Akkorde greift. Dabei sollten sie sich in einem Durchgang gar nicht bewegen, in einem zweiten sollten sie die Griffe selbst mit den Fingern nachmachen.

► **limbisches System**

Das limbische System ist entwicklungsgeschichtlich eine sehr ursprüngliche Hirnregion und der Sitz der Gefühle. Es steuert in erster Linie primäre Bedürfnisse, die unmittelbar mit dem Überleben des Einzelnen zu tun haben, wie zum Beispiel Hunger, Durst, Gefahr und auch Angstreaktionen. Das limbische System sitzt an der Innenfläche der Großhirnhälften wie ein Saum (lat. limbus).

■ **Spiegelneuronen besonders beim Lernen aktiv**

Die Wissenschaftler haben dabei die Gehirnaktivität der Probanden in einem Kernspin-Gerät gemessen. Auf den Kernspin-Aufnahmen reagierten in beiden Fällen dieselben Hirnareale der Teilnehmer – es waren die für die Steuerung von Bewegung: Obwohl es Aufgabe dieser Areale ist, Bewegungen zu steuern, gerieten sie schon beim bloßen Ansehen der Fotos und Videos in Aktion. Das beweist, dass dort Spiegelneuronen arbeiten. In einem weiteren Durchgang veränderten die Forscher das Experiment: Die Teilnehmer bekamen die Anweisung, sich die Griffe des Musikers gut zu merken, denn sie sollten sie später nachmachen. Und diesmal waren die Spiegelneuronen im Bewegungszentrum des Gehirns noch viel stärker aktiv als vorher beim bloßen Beobachten. Stefan Vogt, Psychologe und Hirnforscher, sieht dies als Beweis dafür an, dass Spiegelneuronen beim Lernen durch Nachmachen direkt beteiligt sind.



Links:
Beim Nachmachen der Gitarrengriffe wird das Gehirn der Probandin alle zwei Minuten durchleuchtet

Mitte:
Der Psychologe und Hirnforscher Stefan Vogt von der Universität Lancaster arbeitet schon seit Jahren an der Erforschung der Spiegelneuronen

Rechts:
Kleine Kinder machen alles nach – ein menschengespezifisches Lernprogramm



Lernen durch Beobachten

► Kernspin – Magnetresonanztomografie (MRT)

Die Kernspin-Untersuchung ist ein modernes medizinisches Untersuchungsverfahren, bei dem der Patient in ein starkes, gleichmäßiges Magnetfeld gebracht wird – die berühmte Röhre, in die man geschoben wird. Der Fachbegriff für die umgangssprachliche Bezeichnung Kernspin lautet Magnetresonanztomografie (MRT), oft auch englisch MRI – Magnetic Resonance Imaging), das Gerät heißt Magnetresonanztomograf (ebenfalls abgekürzt MRT). Die Kernspin-Untersuchung nutzt den Wasserstoffgehalt im menschlichen Körper. Wasserstoff ist in vielen Verbindungen im Organismus gebunden: in Wasser, Fetten oder Eiweißen. Die Kerne der Wasserstoffatome werden im MRT von Radiowellen angeregt. So geraten sie in eine Art Taumelbewegung, die abklingt, sobald das Gerät abgeschaltet wird. Dabei verhalten sich die Wasserstoffatome aber unterschiedlich – je nachdem, in welcher Umgebung sie sich befinden. Aus dem unterschiedlichen Abklingverhalten lassen sich Querschnittsbilder des Körpers erzeugen, mit denen man im Gegensatz zu Röntgenaufnahmen vor allem Weichteile gut abbilden kann. Deshalb kommen MRTs vor allem in der Hirnforschung zum Einsatz. Ein weiterer großer Vorteil der MRT-Untersuchung ist es, dass sie den Patienten nicht durch Röntgenstrahlung belastet.

■ Sportler können auch mental trainieren

Vogt arbeitet in England und untersucht am MARIARC-Zentrum in Liverpool, welche Rolle die Spiegelneuronen beim Lernen von Bewegungen spielen. Dazu setzt er sein Gitarrenexperiment aus Jülich fort: Wieder lässt er Probanden Gitarrengriffe nachmachen, teils haben sie sie vorher geübt, teils haben sie sie nie zuvor gesehen. In einem Durchgang müssen die Teilnehmer die Akkorde nachmachen, in einem anderen stellen sie sich nur vor, dass sie ihre Finger bewegen und die Griffe selbst ausführen. Auch beim bloßen Vorstellen funken die Spiegelneuronen Signale. „Es könnte sogar sein“, so Stefan Vogt, „dass Menschen, die ihre Spiegelneuronen gut aktivieren können, auch besonders gut lernen.“ Das gilt für alle Arten von Bewegungen, vielleicht aber auch für mehr. Auf jeden Fall wissen vor allem Sportler, wie gut das mentale Training – das Sich-Vorstellen von Bewegungen oder Abläufen, aber auch das Beobachten von anderen Sportlern – auf ihre eigene Leistung wirkt. Wahrscheinlich geht auch das auf das Konto der Spiegelneuronen.

■ Die Hardware für das Menschsein

Das Lernen durch Nachmachen scheint eine wichtige Station des lebenslangen Lernens zu sein, gerade bei Babys und Kleinkindern ist das offenkundig: Sie ahmen nach, was sie sehen; wollen das tun, haben und anfassen, was andere tun, haben oder anfassen. In diesen Impulsen sind sie kaum zu bremsen – die Spiegelneuronen könnten die hirnpfysiologische Grundlage dafür darstellen. Durch sie scheint das menschliche Gehirn auf das Nachahmen geradezu spezialisiert zu sein, mehr als jedes andere Säugetiergehirn – außer den Menschen besitzen nur wenige Primatenarten Spiegelneurone.

Wegen ihrer sehr grundlegenden und weit gefächerten Funktionen für Bewegen, Lernen, Soziales und Emotionen betrachten viele Wissenschaftler die Spiegelneuronen geradezu als Hardware für das Menschsein. So äußerte sich zum Beispiel der amerikanische Hirnforscher Vilayanur S. Ramachandran, einer der weltweit bedeutendsten Wissenschaftler seiner

Disziplin: Er hält die Entdeckung der Spiegelneuronen für eine Wende in der Hirnforschung. Sie seien, sagt er, „für die Psychologie das, was die Entdeckung des Erbmoleküls DNA für die Biologie bedeutete.“

► Vilayanur S. Ramachandran

Der amerikanische Hirnforscher Vilayanur Ramachandran lehrt an der University of California in San Diego und wird hier zitiert nach dem Magazin DER SPIEGEL vom 6.3.2006, dem er ein längeres Interview über die Rolle der Spiegelneuronen gab.



Wenn man eine andere Sprache als die Muttersprache hört, muss das Gehirn mehr arbeiten



Wer eine Sprache erst als Jugendlicher oder Erwachsener lernt, muss sich besonders anstrengen

Das rechte Wort zur rechten Zeit

Das rechte Wort zur rechten Zeit

■ Aller Anfang ist leicht

Die eigene Muttersprache lernen alle Menschen nebenbei – und zwar spielend: Babys hören einfach ganz genau zu, schauen ganz genau hin und machen dann, angefangen bei den Lauten über die Wörter und die Grammatik bis zu ganzen Sätzen, alles genau nach. Beim Lernen der Muttersprache ist jeder Mensch perfekt. Manche Forscher gehen sogar davon aus, dass jedes gesunde Baby, unabhängig von Intelligenz und Umfeld, jede Sprache der Welt als Muttersprache lernen kann. Und viele Menschen wachsen sogar zweisprachig auf – sie lernen von Geburt an zwei Sprachen kennen, die sie später akzentfrei und fließend sprechen. Weniger entspannt und unkompliziert geht es im Gehirn bei neuen Sprachen zu: Sie zu lernen kostet viel Zeit und Mühe. Und das Ergebnis ist meistens wesentlich schlechter als bei der Muttersprache: Man spricht mit einem mehr oder weniger starken Akzent, sucht immer wieder stotternd nach dem treffenden Ausdruck, und die Grammatik der neuen Sprache lässt sehr zu wünschen übrig. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich in dem Zeitpunkt, also wann genau man die zwei-

te Sprache lernt: Ab einem bestimmten Alter speichert das Gehirn Sprachen, die zur Muttersprache dazu kommen, nur noch als Fremdsprachen ab.

► Muttersprache

Die Muttersprache ist die Sprache, die der Mensch in früher Kindheit in einem unbewussten Lernprozess lernt. Im Allgemeinen hat jeder Mensch nur eine Muttersprache. Alle weiteren Sprachen werden als Fremdsprachen gelernt. Menschen, die mit zwei oder mehr Sprachen aufgewachsen sind, beherrschen diese Sprachen oft unterschiedlich gut. Meist ist der Gebrauch der einzelnen Sprachen auf unterschiedliche Bereiche des Lebens beschränkt: So wird eine der Sprachen oft nur im öffentlichen Leben und bei der Arbeit, die andere dagegen nur zu Hause benutzt. Von der Intensität des Gebrauchs hängt die Qualität ab – in der Regel behält eine der Sprachen die Oberhand. Bisher sind sich Sprachwissenschaftler nicht einig, ob es überhaupt möglich ist, zwei oder mehr Sprachen genau gleich gut zu sprechen.

■ Das besondere Zeitfenster

Wie das passiert und worin der Unterschied genau besteht, ist noch nicht erforscht. Bisher weiß man nur, dass das Gehirn wesentlich mehr arbeiten

muss, wenn es mit einer Fremdsprache beschäftigt ist, als wenn es sich mit der Muttersprache auseinandersetzt. Und während die Wissenschaft früher davon ausging, dass Kinder bis zum Alter von zehn Jahren weitere Sprachen noch optimal lernen, zeigen neuere Studien, dass sich das Zeitfenster wahrscheinlich schon zwischen drei und fünf Jahren schließt. Bis zu welchem Alter Kinder mit wenig Mühe eine Sprache wirklich noch als zweite Muttersprache lernen können, und wann diese besondere Fähigkeit abnimmt, beschäftigt auch Sprachforscher in Hamburg. Dort beobachten Linguisten seit Sommer 2005 Kinder, die einen französischen Kindergarten besuchen. Die Kinder sprechen Deutsch als Muttersprache, doch im Alter von drei Jahren werden sie im Kindergarten zum ersten Mal mit Französisch konfrontiert. Die Forscher filmen die Kleinen bei ihren Versuchen, sich in der neuen Sprache zu verständigen und überprüfen ihre Grammatik auf Fehler. Dabei haben sie es auf ganz bestimmte Fehlertypen abgesehen – Patzer, die die Kinder in ihrer Muttersprache nicht machen würden.

■ Fehler machen wie die Großen

Denn Fehler macht jeder, der eine Sprache lernt – ganz egal, wie alt oder intelligent der Mensch ist, und ganz gleich, wie die zu lernende Sprache strukturiert ist. Trotzdem gibt es unterschiedliche Arten von Ausrutschern – zum Beispiel solche, die fast jedes Kind macht, wenn es seine Muttersprache lernt. Dazu gehören die so genannten Übergeneralisierungsfehler: Das Kind hat eine Regel erkannt, etwa, dass viele Verben wie das Verb *spielen* gebildet werden: *spielen, spielte, gespielt*. Diese Regel überträgt es jetzt auch auf andere Verben und erfindet Formen wie: *ich esste* statt *ich aß*, oder: *ich singte* statt: *ich sang*.

Dagegen gibt es Fehler, die Menschen nur in einer Fremdsprache machen. Ein typischer Fremdsprachenfehler ist zum Beispiel die fehlende Anpassung des Verbs: Fremdsprachler greifen oft einfach auf die Grundform des Wortes zurück und bilden etwa Sätze wie „Du gehen geradeaus“. Dieser Fehlertyp kommt bei Kleinkindern, die ihre Muttersprache lernen, fast nie vor. Doch genau solche Ausrutscher finden die Sprachwissen-



Französisch ist eine Wissenschaft für sich – doch Dreijährige versuchen sich unerschrocken in der fremden Sprache



Vorbereitungen zum Selbstversuch – Anna hält den Kopf hin

Das rechte Wort...

schaftler bei den Kindern im französischen Kindergarten. Statt der angepassten Verbform *je cherche*, deutsch *ich suche* benutzen einige Kinder häufig die Grundform *je chercher*, also *ich suchen*. Außerdem ist den Forscher aufgefallen, dass die Kinder häufiger als Muttersprachler falsche Artikel benutzen und Kombinationen wie *le maman – der Mama* oder *la papa – die Papa* verwenden. Die genauen Ergebnisse der Studie müssen allerdings noch ausgewertet werden.

die man vor diesem kritischen Zeitpunkt lernt und vor allem auch nutzt, hat gute Aussichten, die Qualität der Muttersprache zu erhalten. Doch jede Sprache, die später dazu kommt, kostet das Gehirn eine Extraportion Kraft.

■ Früh übt sich

Obwohl die Studie noch nicht beendet ist, gehen die Hamburger Wissenschaftler davon aus, dass sie auf die kritische Phase des Spracherwerbs gestoßen sind: Wahrscheinlich entscheidet sich schon zwischen dem dritten und fünften Lebensjahr, wie gut man eine Sprache später beherrscht und wie viel Kraft es das Gehirn kostet, sich mit ihr auseinanderzusetzen. Jede Sprache,



Hirnzellen werden nie arbeitslos

Hirnzellen...

■ Ein Selbstversuch: Das Quarks-Team an der Uni Jena

Früher gingen Hirnforscher davon aus, dass ein Gehirn mehrere Tage oder Wochen benötigt, um sich auf neue Situationen einzustellen.

Stimmt nicht, sagen Wissenschaftler aus Jena, es geht innerhalb von einer Stunde! Wie, das zeigt ein Selbstversuch. Die Zutaten: betäubte Finger, eine mutige Reporterin von *Quarks & Co* und der Blick ins Gehirn.

■ Unermülich und flexibel einsetzbar

Gehirnzellen wollen arbeiten – das ganze Hirn ist im Dauerbetrieb und jede Zelle hat eine Aufgabe: Organe müssen gesteuert, Körperteile bewegt, Wahrnehmungen verarbeitet werden. Dabei geht das Hirn durchaus ökonomisch vor, denn einzelne Regionen spezialisieren sich auf Hände, Beine, auf Mund, Gesicht oder andere Körperteile. Dass die Neuronen dabei höchst vielseitig sind und sich sofort neue Aufgaben suchen, wenn alte wegfallen, ist eine noch junge Erkenntnis der Hirnforscher. Wie schnell solche Umorientierungsprozesse vor sich gehen, ist noch weitgehend unbe-

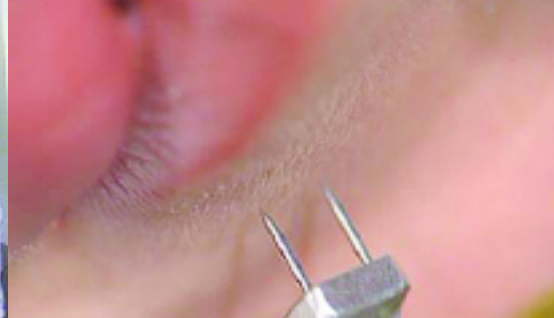
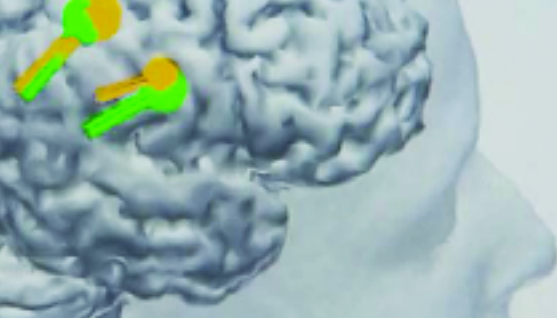
kannt. Wissenschaftler aus Jena haben 2005 herausgefunden, dass es wohl viel schneller gehen könnte als jemals gedacht: Schon nach 45 Minuten können Hirnzellen neue Aufgaben übernehmen!

■ Quarks-Reporterin als Versuchskaninchen

Ralph Huonker und Thomas Weiß haben das mit Experimenten in ihrer Studie gezeigt. Sie betäubten einzelne Finger von Versuchsteilnehmern und beobachteten, was im Gehirn passiert. Ergebnis: Weil wegen der Betäubung keine Signale von Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger ins Gehirn gelangten, suchten sich die zuständigen Hirnzellen sehr schnell ein neues Betätigungsfeld und orientierten sich um.

► Gefühl im Daumen

Das die Narkose nicht das ganze Gefühl aus dem Daumen genommen hat, zeigen nicht nur die späteren Messergebnisse am Computer, sondern auch die ersten Sensibilitätstests. Die Forscher streichen mit einzelnen Pinselfaaren in unterschiedlicher Dicke über Annas Finger und testen so, wie empfindlich die Finger noch sind. Obwohl der Daumen immer tauber wird, verliert er sein Gefühl nicht ganz. Das heißt, dass auch die zuständigen Hirnzellen nicht komplett arbeitslos geworden sind.



Links:
Nach 30 Minuten hat sich die Aktivität im Gehirn verändert. Die Areale für die Lippen und den kleinen Finger sind größer geworden und haben sich verschoben. Die beiden Symbole unten stehen für die Lippe – **gelb** vor der Betäubung und **grün** danach. Die Lippe ist größer, also empfindlicher geworden

Mitte:
Anna im Messraum: Drei Stunden lang dauern die Tests

Rechts:
Pleksende Nadeln an Annas Lippe. Sie muss erfahren, ob sie mit einer oder zwei Spitzen gestochen wird

Hirnzellen werden nie arbeitslos

Das wollten wir von *Quarks & Co* selbst erleben – und Quarks-Reporterin Anna hat sich in Jena als Versuchskaninchen zur Verfügung gestellt: Zunächst verkabelten die Jenaer Forscher Annas Kopf mit Magnetspulen für die **Magnetenzephalographie-Messung (MEG)**. Im Gegensatz zu einer sonst üblichen EEG-Messung kann die Aktivität des Gehirns so räumlich präziser gemessen werden.

Dann wurden ihre Finger mit Reizclips versehen, die in abwechselnder Reihenfolge auf die Finger drücken und so einen Reiz für das Gehirn auslösen sollten. Auch an Annas Mund brachten die Forscher eine solche Klammer an. Denn im Gehirn liegen die Bereiche, die Finger und Lippen steuern, unmittelbar nebeneinander, so dass möglicherweise auch an den Lippen Veränderungen eintreten könnten.

► MEG und EEG

Bei der MEG messen Magnetspulen die magnetischen Felder im Gehirn. Sie entstehen bei der Aktivität von Hirnzellen. Dagegen zeichnet das EEG (Elektroenzephalogramm) die elektrischen Potentiale auf.

■ Finger unter Narkose

Mit verkabeltem Kopf und Luftdruckclips an Daumen, kleinem Finger und Lippe wird Anna in eine Kammer mit dicken Eisentüren gebracht. In diesem extra abgeschirmten Raum können die Forscher die Magnetfelder in Annas Gehirn störungsfrei messen. Zuerst werden ihre Finger und ihre Unterlippe mit den Clips gereizt – die Klammern drücken zu, dabei gelangen Signale ins Gehirn. Diese können die Forscher messen und so errechnen, an welcher Stelle im Gehirn die zuständigen Nervenzellen für Daumen, kleinen Finger und Lippe genau liegen. Sie erstellen so eine Art Landkarte von Annas Gehirn, denn das ist bei jedem Menschen etwas anders. Dann kommt der Narkosearzt und setzt mit zwei Spritzen Annas Daumen, Zeige- und Mittelfinger außer Gefecht. Zuerst fühlen sich ihre Finger an, als wären sie eingeschlafen, dann lassen sie sich nicht mehr bewegen. Anna kann nicht mehr greifen, nach einer halben Stunde sind ihre Finger betäubt. Langsam lässt auch das Gefühl nach, nur am Daumen spürt Anna den Luftdruckclip noch ein wenig: Die Narkose war nicht stark genug, so dass bis zum Schluss noch etwas Gefühl im Daumen bleibt. Der klei-

ne Finger bleibt, wie geplant, voll funktionsfähig. Seine Signale kommen noch komplett im Gehirn an.

■ Nach 45 Minuten: Im Gehirn verschiebt sich was

Jetzt streichen die Forscher mit einzelnen Pinselhaaren in unterschiedlicher Dicke über Annas Finger. Und während die betäubten Finger weniger oder fast gar nichts mehr spüren, sind Lippe und kleiner Finger empfindlicher geworden. Anna kann jetzt feinste Unterschiede erfahren, die sie vorher überhaupt nicht wahrgenommen hat.

Es scheint, als würden die Hirnzellen, die nach der Betäubung von Daumen, Zeige- und Mittelfinger weniger Arbeit haben, einfach beim kleinen Finger und der Lippe mitarbeiten und so deren Empfindlichkeit erhöhen. Auch in der Magnetmessung zeigt sich, dass sich die zuständigen Bereiche im Gehirn schon nach 45 Minuten umorientieren: Die vorher ausgemessenen Areale haben sich verschoben und es sieht aus, als hätten die arbeitsarmen Bereiche ihre jetzt überflüssige Kapazität an die anderen, noch aktiven Bereiche übertragen.

■ Lippen werden empfindlicher

Bei anderen Probanden, die an der Studie der Uni Jena teilgenommen haben, hatte die Betäubung umfassender gewirkt. Hier konnten die Forscher sogar sehen, dass die aktiven Gehirnbereiche für den kleinen Finger und die Lippe deutlich sichtbar um etliche Millimeter zusammengedrückt waren.

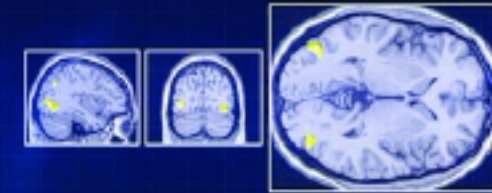
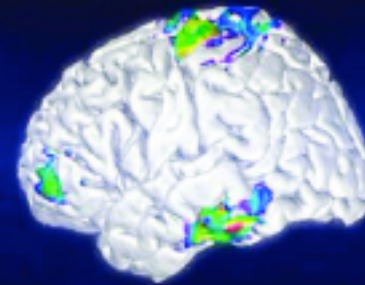
Doch so schnell sich die Gehirnzellen umorientiert haben, so schnell orientierten sie sich auch wieder zurück. Sobald die Betäubung nachlässt, kommen wieder Signale aus den Fingern im Gehirn an, so dass sich die spezialisierten Hirnzellen wieder ihrer ursprünglichen Aufgabe widmen. Anna konnte ihre Finger nach vier Stunden wieder bewegen, und ist sicher, dass ihre Gehirnzellen so zuverlässig und flexibel arbeiten wie zuvor.



Links:
Auch im Alter können im Gehirn noch neue graue Zellen wachsen – zum Beispiel durch Jonglieren

Mitte:
Musiker haben nicht nur ein besseres Gehör, sondern auch andere Hirnstrukturen als Normalsterbliche

Rechts:
Jonglieren trainiert das Gehirn – nach einer Übungspause schrumpfen die vergrößerten Areale wieder auf ihr altes Maß



Lernen im Alter: Alles ist möglich!

Lernen im Alter: Alles ist möglich!

■ Graue Zellen wachsen auch bei Senioren

Geht es im Alter wirklich immer bergab mit dem Gehirn? Bisher ging man davon aus. Doch der Neurologe Arne May hat zum ersten Mal nachgewiesen, dass auch die Gehirne von Erwachsenen noch wachsen können – bei entsprechendem Training.

■ Dogma der Hirnforschung wankt

Bis vor etwa zehn Jahren galt es in der Hirnforschung als unumstößliche Gewissheit, dass das Gehirn nach der Pubertät nur noch abbaut und nicht mehr wachsen kann. Was durch Alter oder Krankheit an grauer Hirnsubstanz verschwindet, ist unwiderruflich verloren, glaubte man. Doch seit Mitte der 1990er Jahre müssen Ärzte und Wissenschaftler umdenken – nicht zuletzt durch neue bildgebende Verfahren in den Neurowissenschaften. Berühmt geworden ist vor allem eine 1997 publizierte Studie an

Londoner Taxifahren. Sie belegte, dass bei ihnen der hintere Teil des Hippokampus stark vergrößert war – einer Hirnregion, die unter anderem für das räumliche Orientierungsvermögen zuständig ist. Auch bei anderen hochspezialisierten Berufsgruppen wie Musikern und Schachspielern zeigte sich, dass bei ihnen bestimmte Areale des Hirns deutlich vergrößert waren. Doch waren sie nun Taxifahrer, Schachspieler oder Musiker geworden, weil ihre Hirne anders sind als bei anderen? Oder hatten sich die graue Masse wegen ihrer Tätigkeit und der langjährigen Übung so entwickelt?

■ Jonglieren: Hochleistungssport für's Gehirn

Eine Studie der Universitäten in Regensburg und Jena unter der Leitung von Arne May sollte diese Frage endgültig klären. Drei Monate jonglierten junge Erwachsene (Durchschnittsalter 22 Jahre) täglich mit drei Bällen. Die Jonglier-Neulinge sollten die Bälle mindestens 60 Sekunden in der Luft halten – eine enorme Herausforderung für

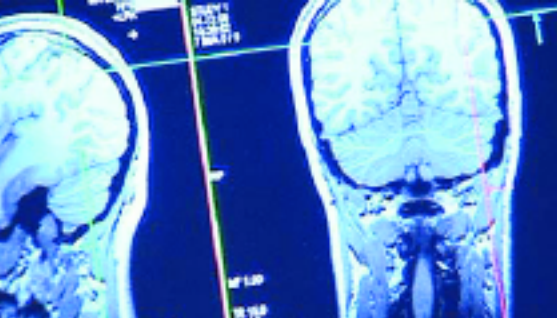
visuelle Wahrnehmung, räumliches Vorstellungsvermögen und Reaktions- und Koordinationsfähigkeit. Dreimal wurden die Hirne der Probanden im Kernspin-Tomografen untersucht: vor dem Training, nach dreimonatigem Üben, und dann wieder nach einer dreimonatigen Übungspause. Nach drei Monaten Training waren zwei Hirnareale der Amateur-Jongleure deutlich vergrößert – vor allem in solchen Bereichen, die für das visuelle Erfassen von Bewegungsabläufen zuständig sind. Dagegen waren diese Areale nach der Trainingspause wieder auf ihr altes Maß geschrumpft.

► visuelle Verarbeitung von Bewegungsabläufen

Beim Jonglieren muss man Hände und Bälle gut im Blick haben, um seine Bewegungen mit den fliegenden Bällen koordinieren. Zuständig für das Sehen von dreidimensionalen Objekten im Raum sind vor allem Hirnareale, die in der Sehrinde und in einer Furche des Scheitellappens (Lobus parietalis) sitzen, fachlich ausgedrückt: im mittleren Temporal-Areal (hMT/V5) und im intra-parietalen Sulcus. Vor allem in diesen hinteren Hirnarealen wuchsen bei den Probanden der Jonglier-Studie neue Zellen.

■ Neue Hirnzellen für ergraute Köpfe

Dass sich auch bei Erwachsenen das Hirn durch Lernen noch anatomisch verändern kann, war damit bewiesen – eine wissenschaftliche Sensation: Erstmals war das jahrzehntealte Dogma von der Unveränderlichkeit des erwachsenen Gehirns widerlegt. Nun wollten die Forscher wissen, ob die grauen Zellen in jedem Alter nachwachsen – macht es einen Unterschied, ob die Versuchspersonen 22 oder 62 Jahre alt sind? Eine Folgestudie am Institut für Systemische Neurowissenschaften am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf wiederholt das Experiment im Winter 2006 mit einer älteren Gruppe. 40 Probanden ab Mitte 50 unterziehen sich hier dem Jonglier-Training. Noch ist die Studie nicht abgeschlossen, aber erste Ergebnisse liegen vor – und sie sind spektakulär: Selbst 60jährige Jonglier-Novizen können die Kunst mit den drei Bällen in drei Monaten erlernen. Zwar deutlich langsamer und nicht ganz so gut wie die Zwanzigjährigen aus dem Regensburger Versuch. Die schafften es doppelt so



Auch im Alter scheint das Gehirn neue Zellen bilden zu können – darauf deuten die ersten Ergebnisse der Untersuchungen hin



Lernen im Alter

Lesetipps

häufig wie ihre älteren Kollegen, die Bälle eine Minute in der Luft zu halten. Dafür scheinen die ersten Analysen in Hamburg aber zu bestätigen, dass auch bei Älteren das Gehirn tatsächlich noch wächst! Mit anderen Worten: Auch bei ihnen vermehrt sich die graue Substanz. Beim körperlichen Training werden die Gehirne der Senioren in den entsprechenden Bereichen größer. Allerdings wissen die Forscher nicht, was da genau wächst – es könnte die Zahl der Hirnzellen selbst oder die Anzahl der Verbindungen zwischen den Zellen sein. Die derzeit gängigen Untersuchungsverfahren können das nicht unterscheiden.

► Hirnzellen – Zelltypen im Gehirn

Das menschliche Gehirn enthält mehrere 100 Milliarden, nach neueren Schätzungen bis zu 1.000 Milliarden Nervenzellen (Neuronen), die durch Axone (Neuriten) und Dendriten miteinander verbunden sind. Noch häufiger kommen Gliazellen (glia, gr.: Leim, Klebstoff) vor, etwa neunmal so oft. Sie umhüllen Teile der Nervenzellen von außen. Lange Zeit hat man ihre Bedeutung ausschließlich als Stütz- und Versorgungsstruktur des Gehirns gesehen, vermutlich beeinflussen sie aber die Signalübertragung an Synapsen.

■ Lernen: Bodybuilding fürs Gehirn

Eines zeigt die Jonglier-Studie schon jetzt: Auch das Gehirn eines Erwachsenen ist nicht ab irgendeinem Zeitpunkt unveränderlich, sondern formbar. Für die Forscher heißt das in letzter Konsequenz: Jeder ist für sein Hirn selbst verantwortlich – jeder ist, was er aus seinem Hirn macht. Dr. Arne May vergleicht denn auch das Gehirn mit einem Muskel, der trainiert werden muss, wenn er nicht verkümmern soll, und zwar bis ins hohe Alter: „Die Konsequenz unser Studien ist, dass wir eigentlich lebenslang lernen müssen. Wenn wir das nicht tun, wird das Gehirn abnehmen, und letztlich ist das nicht gesund für uns. Und ich bin fest davon überzeugt, dass das auch für den 60jährigen und für den 80jährigen gilt.“

Der Rahmen – Ein Blick des Gehirns auf unser Ich

Autor: Ernst Pöppel
Verlagsangaben: Hanser-Verlag, München 2006
Sonstiges: gebundene Ausgabe, erste Auflage

Ernst Pöppel gehört zusammen mit Wolf Singer, Gerhard Roth und Gerald Hüther zu den bekanntesten deutschen Hirnforschern, und er ist sicher einer der publikumswirksamsten Vertreter seiner Disziplin. Sein neues Buch ist daher auch für das breite Publikum geschrieben und soll einen Einblick in die Funktionsweisen des Gehirns geben.

Gekonnt denken – Geistig fit durch den Tag und die Nacht

Autor: Ernst Pöppel
Verlagsangaben: Belenus (Deutscher Sportverlag), Köln 2006

Ein kompakter, kleiner Ratgeber zu allem, was man über das Gehirn wissen sollte, und das mit einem leicht lesbaren und praktischen Zugang zu den Fakten. Dabei hebt der renommierte Hirnforscher Pöppel auch die Rolle von Ernährung, Schlaf und Bewegung für die geistige Leistungsfähigkeit hervor, und widmet ein Kapitel unterhaltensamen Trainingsaufgaben.

Wie wir lernen. Was die Hirnforschung darüber weiß

Autorinnen: Sarah-Jayne Blakemore, Uta Frith
Verlagsangaben: Deutsche Verlags-Anstalt, München 2006
Sonstiges: ISBN 978-3-421-05922-2

Leicht lesbar und ausdrücklich für ein breiteres Publikum geschrieben. Die Autorinnen fassen den aktuellen Stand der neurowissenschaftlichen Erforschung des Lernens zusammen und gehen dabei auch auf das Thema Plastizität des Gehirns ein.

Warum ich fühle, was Du fühlst – Intuitive Kommunikation und das Geheimnis der Spiegelneurone

Autor: Joachim Bauer
Verlagsangaben: Heyne-Verlag, München, 10. Auflage 2006
Sonstiges: Taschenbuch

Die gut verständliche Darstellung verbindet alle Erkenntnisse, die es derzeit über Spiegelneurone gibt. Nach Ansicht mancher Hirnforscher begibt sich Professor Joachim Bauer dabei gelegentlich auf das Feld des Spekulativen, was die Bedeutung der Spiegelneurone angeht. Doch selbst wenn es so wäre: Bauers Schlussfolgerungen sind faszinierend, weil sie psychologisches und psychotherapeutisches Wissen mit harten Fakten über die Arbeitsweise des Gehirns verbinden.