

Barbara Ripper, Hubert Dinse,
Rainer Rosenzweig

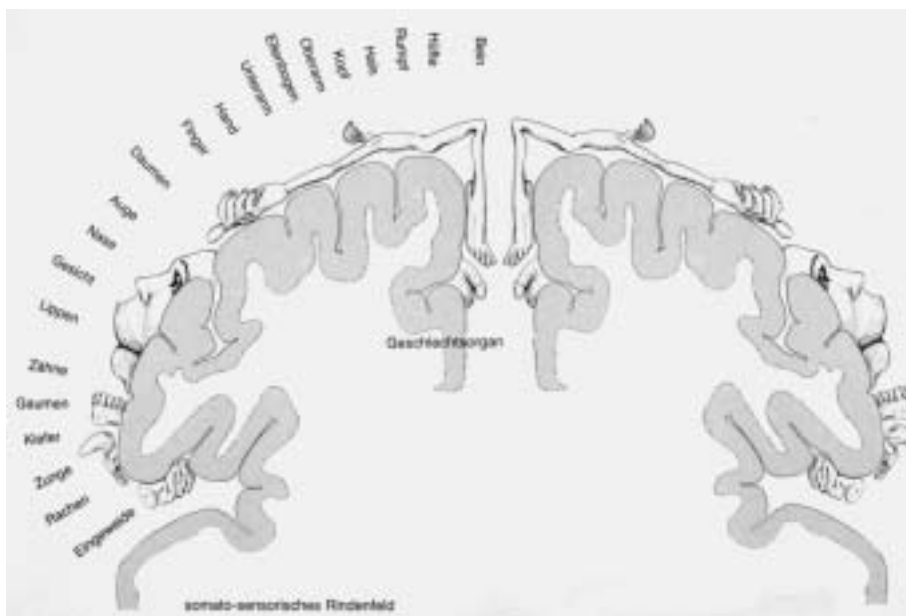
Gehirn? Bei der Arbeit!

Homunkulus – Der Körper im Gehirn

■ Die Entdeckung des Homunkulus geht zurück auf den amerikanischen Neurochirurgen Wilder Penfield (1891-1976). Er stimulierte bei Menschen, deren Gehirn zu Operationszwecken geöffnet war, bestimmte Hirnareale mit schwachen elektrischen Reizen und stellte fest, dass die Patienten von Berührungsempfindungen an verschiedenen Körperstellen berichteten. Die räumliche Verteilung dieser Reizpunkte im Gehirn ist dabei nicht zufällig, sondern wie in einer Karte angeordnet. Penfield nannte diese „Abbildung“ der Körperoberfläche im Gehirn „Homunkulus“ (lateinisch für „kleiner Mensch“). Die Hirnareale, in denen Berührungsreize der Körperoberfläche verarbeitet werden, befinden sich in einem etwa zwei Zentimeter breiten Gehirnbe- reich, der sich über den Scheitel von Ohr zu Ohr zieht und als „somatosensorische Hirnrinde“ oder „somatosensorischer Cortex“ bezeichnet wird. Dabei werden in der linken Hirnhälfte Berührungsreize aus der rechten Körperhälfte verarbeitet und umgekehrt.

In ganz ähnlicher Form existiert ein solcher Homunkulus auch in einem Gehirn- bereich, der für die Steuerung von Körper- bewegungen zuständig ist. Man spricht da- her von einem „sensorischen“ und einem „motorischen“ Homunkulus. In beiden Homunkuli werden benachbarte Punkte auf der Haut auch von benachbarten Area- len im Gehirn verarbeitet (in der Fachspra- che: „repräsentiert“). Beiden Homunkuli ist gemeinsam, dass sie die Körperoberfläche beziehungsweise Bewegungen nicht 1:1, sondern größenverzerrt abbilden. So sind etwa bei dem sensorischen Homunkulus das Gesicht, die Lippen und die Hände über- proportional groß repräsentiert, während Arme, Beine und der Rumpf stark unter- proportioniert sind. Das ist auf die Emp- findlichkeit der jeweiligen Körperregionen zurückzuführen: Der Rücken oder die Oberschenkel sind deutlich weniger sensibel

Im Hands-On-Museum turmdersinne, das der HVD in Nürnberg betreibt, lockt seit Februar ein neues Exponat die Besucher an: der sensorische Homunkulus, eine Skulptur mit verzerr- ten Proportionen, anhand derer gezeigt werden kann, wie unser Gehirn organisiert ist.



Das Bild zeigt die in Falten gelegte Hirnrinde (Kortex) eines quer (also von Ohr zu Ohr) aufgeschnittenen Gehirns. In diesem Bereich der Hirnoberfläche werden die Tastempfindungen aus unterschiedlichen Körperteilen verarbeitet.

als Lippe und Finger. Während man im Be- reich der Fingerkuppe in der Lage ist, zwei Punkte mit einem Abstand von 1 bis 2 mm als zwei getrennte Punkte wahrzunehmen, liegt das Unterscheidungsvermögen auf dem Rücken bei vielen Zentimetern. Über- prüfen Sie selbst: Bitten Sie jemanden, Sie mit einer beliebigen Anzahl von Fingern auf dem Rücken zu berühren und versuchen Sie zu spüren, wie viele es sind. In der Regel werden Sie nicht in der Lage sein, zwischen einem oder fünf Fingern zu unterscheiden. Dass unsere Fingerkuppen für die Fähigkeit des Tastens unentbehrlich sind, erklärt deren überproportionale Ausprägung im Ho- munkulus. Wie steht es aber mit Lippen und Zunge? Deren Größe im Homunkulus

lässt sich vermutlich auf deren entschei- dende Rolle beim Prüfen der Konsistenz von Lebensmitteln zurückführen, die ein wich- tiges Kriterium für die Entscheidung über „essbar“ oder „nicht essbar“ darstellt.

Kleiner Mann im Kopf

Obwohl der Homunkulus die gesamte Kör- peroberfläche abbildet, weist er einige Un- stimmigkeiten auf: So liegt beispielsweise die Repräsentation der Finger neben der der Lippen oder die der Geschlechtsorgane neben der der Füße. Der Grund dafür liegt zunächst einmal in dem Problem, einen dreidimensionalen Körper auf eine zweidi- mensionale Hirnoberfläche reduzieren zu müssen – etwa so wie wenn man einen Luft-



Beispiele für schematisierte Animunkuli

ballon flach ausbreiten will. Das geht nur, indem der Körper an einigen Stellen aufgeschnitten wird und es so zu Trennebenen im Gehirn kommt, die an der Körperoberfläche nicht unmittelbar zusammen liegen.

Möglicherweise haben einige der auf den ersten Blick ungewöhnlichen „Nachbarschaften“ etwas mit der Entwicklung des individuellen Homunkulus eines Menschen zu tun. Dieser entsteht schon im Mutterleib, wo der Fötus in seiner Embryonalhaltung die Finger nahe am Mund hält – und manchmal auch am Daumen nuckelt, der dann als nahe an den Lippen im Gehirn abgebildet wird.

Landkarte der Außenwelt

Inzwischen wurde das Prinzip, die „Außenwelt“ in Form einer Karte im Gehirn abzubilden, auch bei anderen Modalitäten nachgewiesen: So existieren im Gehirn auch „Karten“ des Gesichtsfeldes, des Sehbereiches, den die Augen erfassen, oder von wahrgenommenen Tonfrequenzen. Dabei nimmt der Bereich des schärfsten Sehens im Auge (die so genannte „Fovea“) und der Frequenzbereich der Sprache, für den das menschliche Gehör besonders empfindlich ist, den jeweils größten Raum im verarbeitenden Hirnbereich ein.

Während Penfield den Homunkulus entschlüsselte, indem er bestimmte Punkte im Gehirn reizte und die darauf reagierenden Regionen der Körperoberfläche identifizierte, geht man heute dank neuer, bildgebender Verfahren ohne operativen Eingriff umgekehrt vor. Während der Reizung bestimmter Körperstellen kann nun die Aktivierung während der Verarbeitung im Gehirn aufgezeichnet werden. Das bekannteste Verfahren ist wahrscheinlich die funktionelle Kernspintomographie (oder funktionelle Magnetresonanztomografie, fMRT). Dabei macht man sich die Tatsache zunutze, dass bei Aktivierung im Gehirn Energie verbraucht wird, was der Körper mit einem Anstieg an sauerstoffreichem

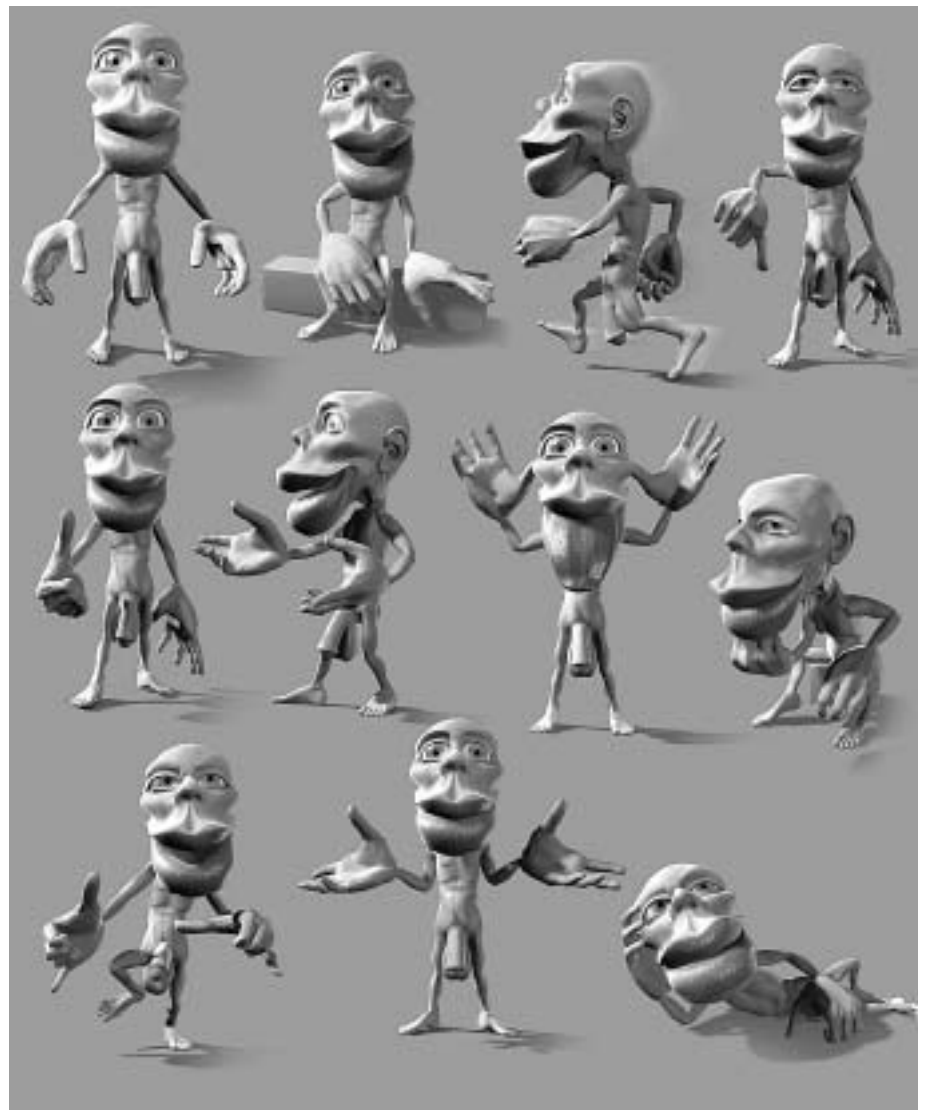
Blut in dieser Region ausgleicht. Da sauerstoffreiches Blut andere magnetische Eigenschaften hat als sauerstoffarmes Blut, kann man diese lokalen Blutflussänderungen sichtbar machen.

Der individuelle Homunkulus

Schon im Mutterleib entwickelt sich bei jeder Person eine ganz individuelle Version

des Homunkulus, die sich im Laufe eines Lebens auch kontinuierlich immer wieder neu an persönliche Erfahrungen, Vorlieben und erlernte Fertigkeiten seines „Trägers“ anpasst. So wurden etwa bei Blinden vergrößerte Repräsentationen des Lesefingers entdeckt und bei Musikern vergrößerte Repräsentationen der Spielfinger. Gewinnt ein Blinder jedoch nach einer Operation sein Augenlicht zurück oder hört ein Musiker zu spielen auf, passt sich das Gehirn an diese Veränderung an und reduziert die besondere Empfindlichkeit.

Auch Verletzungen führen zu Umstrukturierungen des Homunkulus. Dies gilt schon, wenn ein Gipsverband einen Körperteil für längere Zeit „unbenutzbar“ macht, besonders natürlich aber bei Amputationen, die zu massiven und bleibenden



Der virtuelle Homunkulus, konstruiert und animiert (siehe www.turmdersinne.de) von Daniel Holzwarth, Student der Ludwigsburger Filmakademie



Lebensgroße Homunkulusskulptur im turmdersinne, hergestellt von der Künstlerin Thea Müller aus Vorra

Veränderungen des Homunkulus führen. Dabei dehnen sich benachbarte Regionen in die unbenutzten Hirnareale des verlorenen Körperteils hinein aus, was zu Fehlwahrnehmungen und Phantomschmerzen führen kann – ein Körperteil schmerzt, obwohl er eigentlich gar nicht mehr existiert.

Wenn einer bestimmten Tätigkeit besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird, bewirkt auch dies eine vergrößerte Repräsentation der daran beteiligten Körperstellen im Gehirn, das so blitzschnell auf Anforderungen der Außenwelt reagieren kann. Gerade nicht benötigte Hirnbereiche treten zurück und erlauben so eine effiziente Nutzung der Gehirnkapazitäten. Ein Prinzip, das wohl jedem bekannt ist: Wenn Sie gerade sehr aufmerksam ein Buch lesen, kann es durchaus passieren, dass Sie das Klingeln des Telefons überhören.

Animunkuli

Das Prinzip des Homunkulus ist nicht auf den Menschen beschränkt. Die Verarbeitung von Berührungsreizen ist im Gehirn aller höheren Säugetiere ähnlich organisiert. Quer durchs Säugetierreich lässt sich beobachten, dass besonders empfindliche Körperteile entsprechend groß repräsentiert sind. Während das Wort „Homunkulus“ vom lateinischen Wort „homo“ (Mensch) abgeleitet ist, steht der „Animunkulus“ für „animal“ (lateinisch: Tier).

Der „Homunkulus“ von Affen ähnelt dem menschlichen noch am ehesten, dagegen verfügen Nagetiere zusätzlich über ein besonderes Sinnesorgan, die so genannten „Vibrissen“ oder Schnurrhaare. Diese sind

vor allem beim Hantieren mit Futter oder beim Tasten wichtig. Blinde Höhlenratten beispielsweise haben sich an das Leben im Dunkeln angepasst – ihr „Ratunkulus“ besitzt daher riesige Repräsentationen von Schnurrhaaren und Nagezähnen.

Der Homunkulus im turmdersinne

Der im **turmdersinne** dargestellte Homunkulus beruht auf einer umfangreichen Recherche der aktuellen Literatur zu Details des Homunkulus, die mittels moderner bildgebender Verfahren untersucht wurden – im Wesentlichen mittels der oben beschriebenen Methode der Kernspintomographie, aber auch mit „Elektroenzephalographie“ (EEG) oder „Magnetenzephalographie“ (MEG). Bei den beiden letztgenannten Verfahren werden durch die Kopfhaut mit Hilfe vieler Sensoren elektrische beziehungsweise magnetische Impulse von Nervenzellen erfasst, die durch Berührungsreize verursacht werden. Am besten untersucht sind Finger, Hände und das Gesicht.

Bei der Recherche wurde deutlich, dass in diesem Themenbereich noch immer vie-

le Fragen offen sind: wie etwa die Unterschiede zwischen dem weiblichen und männlichen Homunkulus, besonders die Repräsentation der weiblichen Geschlechtsorgane, Details der Repräsentation im Bereich des Gesichts und viele weitere Einzelfragen.

Für die Rekonstruktion des Homunkulus im **turmdersinne** wurde zunächst am PC aus den ermittelten Maßen ein virtuelles Modell erstellt. Dies diente als Grundlage für die dreidimensionale Skulptur des Homunkulus in Lebensgröße für eine männliche Person mittlerer Größe und mittleren Gewichts. Ganz zum Schluss bekam der Homunkulus noch einen Spitznamen: HEINER (Hirn-Erregungen des Idealierten Normalbürgers bei Empfindungs-Reizen) – nur freche Franken denken dabei an den „Hirn-Heiner“...

Dr. Barbara Ripper ist Referentin für Psychologie und Hirnforschung beim **turmdersinne**, Dr. Hubert Dinse ist Privatdozent beim Institut für Neuroinformation der Ruhruniversität Bochum, Dr. Rainer Rosenzweig ist Geschäftsführer beim **turmdersinne**. ●

Lernen, Selbstbestimmen, freier Wille

In den vergangenen 10 bis 15 Jahren ist die Erkenntnis über das menschliche Gehirn geradezu explosionsartig angewachsen und doch sind noch immer zahllose Fragen offen. Man ist noch weit davon entfernt, die Arbeitsweise des menschlichen Gehirns vollends zu verstehen.

Dennoch lässt sich bereits jetzt sagen, dass auch in der gesellschaftlichen Debatte um Werte und Normen die Bedeutung der Hirnforschung steigt, ja bald nicht mehr wegzudiskutieren sein wird. Natürlich kann man die Wertedebatte nicht auf Gehirnneuronen reduzieren. Aber so langsam setzt sich die Erkenntnis durch, dass zur Entscheidung von gewissen Fragen – etwa die der pädagogischen Maximen oder nach der Verantwortlichkeit für eigene willentliche Taten – die Kenntnis über die Arbeitsweise des Gehirns hilfreich sein kann.

Es gibt immer mehr Neurowissenschaftler, die öffentlich Stellung beziehen und ihre Disziplin auch bei politischen und gesellschaftlichen Fragestellungen ins Gespräch bringen. Einer, der sich dabei in

den letzten Monaten besonders hervorgetan hat, ist der Ulmer Psychiater und Neurowissenschaftler Manfred Spitzer. Sein Buch „Lernen – Gehirnforschung und die Schule des Lebens“ bildet die Grundlage für eine Einmischung der Neurowissenschaften in die Debatte um die pädagogische Misere in Deutschland. Ein Jahr später setzt Spitzer seine Überlegungen in dem Folgebuch „Selbstbestimmen – Gehirnforschung und die Frage: Was sollen wir tun?“ fort und stößt eine Tür zur aktuellen Debatte um die Frage nach dem freien Willen auf, die auf dem diesjährigen Symposium des **turmdersinne** ausführlich behandelt werden wird.

Termin: 1.-3. Oktober 2004, Titel: „Freier Wille – frommer Wunsch? Gehirn und Willensfreiheit“, aktuelle Programminformation und Anmeldung im Internet unter www.turmdersinne.de.

Zum Weiterlesen:
Spitzer, Manfred: Selbstbestimmen – Gehirnforschung und die Frage: Was sollen wir tun? – Heidelberg : Spektrum Akademischer Verlag, 2003. – 29,95 Euro