

Oberseminar Neuro- und Verhaltensphysiologie

Lehrstuhl Neurobiologie Tierphysiologie, Prof. K. Vogt

23./24. Juli im Sommersemester 2004

Wahrnehmen und Handeln - Das kortikale Spiegelsystem

Reader

Organisation: M. Nawrot / nawrot@biologie.uni-freiburg.de

Programm

Freitag

11:20 **Exkurs: Wahrnehmen und Handeln: Zur Problematik der Begriffe (1)**
Evarist Demandt

12:00 **Die These vom Großmutterneuron: Single cells vs. neuronal assemblies (4)**
Nicola Barthelemy

12:40 *Mittagspause*

14:40 **Face cells: Face recognition in monkey and man (8)**
Michaela Fredrich

Movement Imitation

14:20 **Aspects of empathy (12)**
Miriam Zimmermann

15:00 *Kaffeepause*

15:30 **Pathology of imitation (16)**
Daniela Kugel

The Mirror Neuron System

16:10 **Mirror neurons in monkeys (20)**
Sabine Kaiser

16:50 *Kaffeepause*

17:20 **Action recognition or action understanding ? - I (24)**
Carine Ciceron

18:00 **Action recognition or action understanding? - II (27)**
Christian Guijarro

19:30 *Barbeque*

Samstag

The Mirror Neuron System and Language

9:00 **Somatotopic representation of action words in the human cortex (30)**
Nadine Hoffmann

9:40 **Theories linking language and the Mirror Neuron System (32)**
Joanna Miest

10:20 **Exkurs: Aktuelles Forschungsvorhaben an der Uniklinik Freiburg**
N.N.

Zur Problematik der Begriffe „Wahrnehmen“ und „Handeln“ (Evarist Demandt)

Sobald neuronale Aktivität von bewussten Prozessen begleitet wird, stellt sich das Leib-Seele – Problem, in der agnostischen Variante Gehirn-Geist – Problem genannt. Eine gute Übersicht über die aktuellen Positionen in dieser Debatte wird im ersten Teil des Buches von Michael Pauen, „Grundprobleme der Philosophie des Geistes. Eine Einführung“ (2001; Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt), gegeben. Ich beschränke mich hier auf zwei Gedankenexperimente aus dem zweiten Teil des Buches, die schlaglichtartig Kontroversen sichtbar machen sollen.

Bewusste Prozesse kann man durch die Eigenschaft charakterisieren, dass sie aus der Perspektive der ersten Person zugänglich sind. Im Folgenden werde ich synonymisch von subjektiven Ereignissen sprechen. Hier die beiden Gedankenexperimente:

1.) Nagel, 1974

Wie ist es eigentlich, eine Fledermaus zu sein ? Jeder von uns kann sich natürlich vorstellen, wie es für einen Menschen wäre, kurzsichtig zu sein, tags kopfüber an der Decke zu hängen, nachts während der Fortbewegung ständig Schreie auszustoßen, zu fliegen etc. . Aber wie ist es eigentlich für eine Fledermaus, Fledermaus zu sein ? Wäre das Studium des Nervensystems der Fledermaus für die Beantwortung dieser Frage nützlich ?

2.) Jackson, 1982

Gesetzt den Fall, eine Neurobiologin habe von Geburt an ihr Leben in einer schwarz-weiß eingerichteten, fensterlosen Wohnung verbracht und über einen schwarz-weißen Bildschirm eine vorzügliche Schulung bezüglich des visuellen Systems des Menschen erhalten: Sie wisse schlichtweg alles, was es über die Verarbeitung visueller Reize zu sagen gibt. Nach bestandener Diplomprüfung bei Herrn Prof. Vogt öffnet man ihr nun zum ersten Mal die Tür und sie sieht den grünen Schwarzwald. Hätte Herr Vogt ihr eine prüfungsrelevante Frage stellen können, die sie erst in diesem Moment beantworten könnte, jetzt, wo sie zum ersten Mal die Farbe Grün sieht ?

Ebenen des Wissens: Phänomenales Bewusstsein

Die beiden Gedankenexperimente schildern sogenannte Qualia (Singular: das Quale) - das sind subjektive Erfahrungen oder Ereignisse, die wir anderen zwar unterstellen, deren Qualität wir bei anderen jedoch nicht bestimmen können. Qualia haben von jeher eine Faszination auf den Menschen ausgeübt und sie spielen beispielsweise in der Diskussion um künstliche Intelligenz eine große Rolle: Würden wir einer Maschine Bewusstsein zuschreiben, wenn diese von subjektiven Erfahrungen berichtete? Es wird heutzutage häufig eine „Supervenienz“ der Qualia in Bezug auf die physikalischen Zustände im Organismus angenommen: Wenn sich zwei Organismen in ihren physikalischen Zuständen gleichen, dann gleichen sie sich demnach auch in ihren Qualia. Die Umkehrung wird dabei nicht behauptet: Veränderungen im Physischen, etwa Prozesse im Nervensystem, ohne Veränderung im Bereich subjektiver Ereignisse wären demnach möglich.

Qualia sind schwer in funktionale Rollen zu übersetzen. Was sollen zum Beispiel die funktionalen Implikationen einer Farbempfindung sein? Und wenn man solche feststellen könnte, könnte man dann die Qualität einer Farbempfindung erschöpfend über ihre funktionalen Implikationen beschreiben? Etwelche Philosophen sehen hier eine Lücke, die dazu führe, dass kausale Rollen neuronaler Zustände nicht mit kausalen Rollen subjektiver Ereignisse einhergingen.

Repräsentation: *Intentionales Bewusstsein*

Subjektive Ereignisse können als Repräsentationen aufgefasst werden. Wenn man sich bei Nagels Gedankenexperiment vorstellt, eine Fledermaus zu sein, repräsentiert man sich als Fledermaus. Wenn die Neurobiologin in Jacksons Gedankenexperiment die Tür öffnet, repräsentiert sie zum ersten Mal in ihrem Leben eine farbiges Reflexionsspektrum.

Einige Philosophen versuchen, die Beziehung zwischen subjektiven Ereignissen und dem jeweiligen Sachverhalt, auf den sie verweisen, zu formalisieren. Ein Unterschied in den beiden Gedankenexperimenten besteht beispielsweise darin, dass die Repräsentation bei Nagel propositional ausfällt. Propositionalität bedeutet: Man überlegt sich, wie es wäre, wenn ... geht davon aus, dass ... glaubt/fürchtet aber, dass Propositionale Repräsentationen bilden eine große Klasse subjektiver

Ereignisse, welche auch Intentionen einschließt. Intentionen darf man allerdings nicht mit intentionalem Bewusstsein verwechseln, denn unter „intentional“ wird lediglich eine Repräsentation verstanden.

Die Anstrengungen, die Repräsentationsfunktion subjektiver Ereignisse zu formalisieren, nehmen als Ausgangspunkt häufig Trugschlüsse vom Sein aufs Sollen (wenn man beispielsweise einen Hund für eine Katze hält). Eine radikale Forderung ist hier, dass man den repräsentationalen Charakter subjektiver Ereignisse als Illusion ansehen müsse, wenn es keinen Anhaltspunkt gebe, worauf denn ein subjektives Ereignis tatsächlich verweise.

Subjektivität: Selbstbewusstsein

Hume, 1793:

„Niemals treffe ich *mich* ohne eine Perzeption an und niemals kann ich etwas anderes beobachten als eine Perzeption.“

Das Selbst scheint im Prinzip nichts anderes als ein subjektives Ereignis zu sein, das man sowohl als phänomenal als auch als intentional im oben dargelegten Sinne beschreiben kann. Die Perzeption eines Selbst ist jedoch an charakteristische Entwicklungsschritte während des Heranwachsens gebunden. So „verstecken“ sich Kinder manchmal, indem sie sich die Augen zuhalten. Das zeigt einerseits, dass sie bereits einen Bezug zu ihren Mitmenschen besitzen, andererseits aber ihre Wahrnehmung perspektivisch noch nicht als eigene Wahrnehmung verstehen. Daraus ergeben sich zunächst zwei Voraussetzungen für die Perzeption des Selbst:

- 1.) die eigenen Zustände von fremden Zuständen zu unterscheiden („die anderen wollen etwas von mir und ich verstecke mich besser“).
- 2.) die eigenen Wahrnehmung perspektivisch zu verstehen („wenn ich mir die Augen zuhalte, sehen mich die anderen dennoch“)

Selbstbewusstsein setzt schließlich die Existenz eines längerfristig stabilen Perzepts voraus, das als Bezugspunkt für Zuschreibungen dienen kann, wie etwa zum Beispiel: „Heute war ich ausnahmsweise ungeduldig“. Einige Philosophen sprechen hier vom Selbstkonzept oder Selbstmodell.

Single units versus cell assemblies

Die Wahrnehmungsforschung ist ein sehr komplexes Gebiet, sie ist interdisziplinär. Die Reize, die ein Organismus empfängt sind physikalischer Natur: Lichtquanten, Schallwellen, Temperaturschwankungen oder Berührungen...

Betrachtet man die Reizweiterleitung von den Rezeptoren der Sinnesorgane über die Nervenbahnen zum Gehirn, das dann die Befehle zum Handeln und Verhalten gibt, setzt das anatomische und physiologische Kenntnisse voraus.

Bewußte und unbewußte Wahrnehmung ist individuell verschieden und sehr subjektiv, sie ist wissenschaftlich nicht meßbar, so bewegt man sich hier im Bereich der Psychologie und Philosophie.

Jede dieser Disziplinen hat ihre eigenen Theorien und Erwartungen an dieses Forschungsgebiet:

Die *philosophische Wahrnehmungstheorie* beschäftigt sich mit der Frage, wie sich die individuelle Wahrnehmung zur Wirklichkeit verhält. Ist, die ja doch subjektive Wahrnehmung eines Menschen, tatsächlich identisch mit der realen Außenwelt oder durch eigene Erfahrung und Erwartung verzerrt oder gar verfälscht ?

Dem schließt sich das *psychophysische* oder *Leib-Seele-Problem* an. Man kann sich dem Phänomen der Wahrnehmung nähern, indem man Nerven- und Gehirnaktivität mißt, aber seelische Empfindungen werden mit wissenschaftlichen Meßmethoden niemals eindeutig nachgewiesen oder reproduziert werden können.

Die *theoretischen Konzepte der Neurobiologie* könnten zumindest die Mechanismen klären, die zu Wahrnehmungen führen und zu einem großen Teil auch psychologische Fragen beantworten.

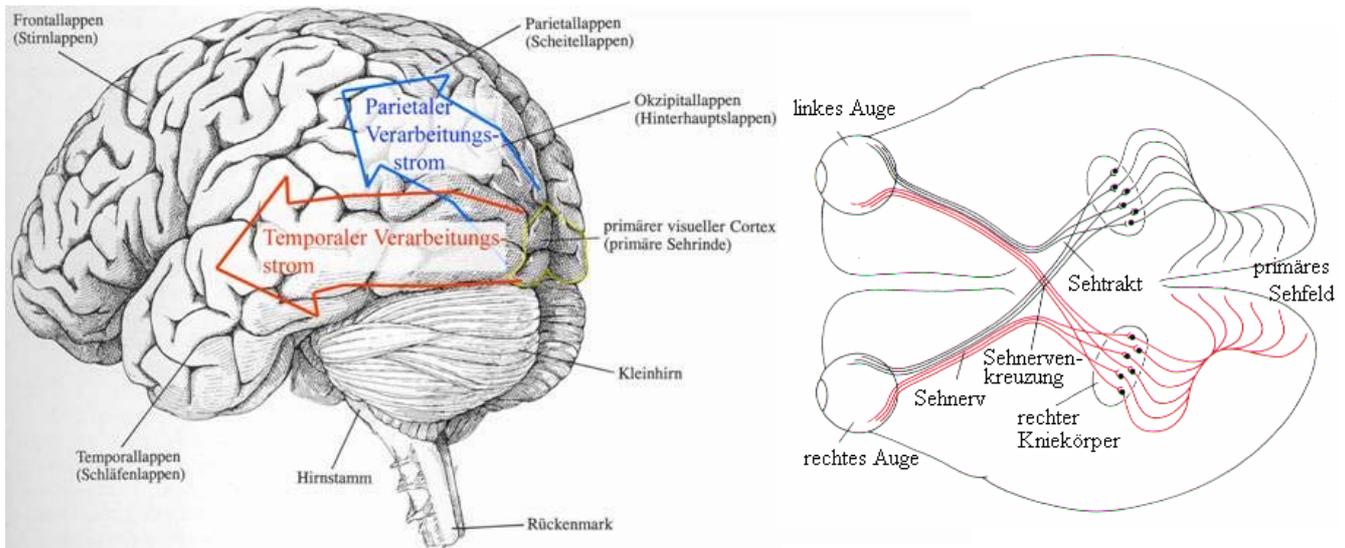
Unserer Wahrnehmung liegt ein Erregungszustand des Zentralnervensystems zugrunde. Sinnes- und Nervenzellen reagieren individuell selektiv auf ganz bestimmte Signalmuster. Wir nehmen aber die Beiträge der einzelnen Zellen nicht getrennt, quasi als Mosaik wahr, sondern als ein Verarbeitungsprodukt zu einem einheitlichen Bild.

Es gibt zwei Konzepte zur neuronalen Grundlage unsere Wahrnehmung. Zum einen die *Einzelzell-Theorie*, wonach ein einzelnes Neuron eine Person oder ein Objekt als ganzes erkennt und signalisiert. Man spricht auch von „Großmutter- oder Kardinalszellen“ und seit neuerem vom „sparse coding“.

Die zweite Theorie geht von Zellensembles oder Zellnetzwerken (cell assemblies oder synfire groups) aus, bestehend aus mehreren Einzelzellen, die z.T. weit auseinander liegen aber in Verbindung stehen. Jede Zelle kodiert auch hier ein bestimmtes Element der Wahrnehmung, das dann mit denen der anderen zu einem Gesamtbild zusammengefügt wird.

Diesen Theorien ähnlich, spricht man noch vom Anatomistischen und vom Gestaltpsychologischen Wahrnehmungskonzept. Die Anatomisten sagen, daß unsere Wahrnehmung aus einzelnen Bausteinen zusammensetzt ist. Ein Gesicht beispielsweise wird erkannt, weil wir seine einzelnen Elemente erkennen, wenn diese Bausteine in unserem Nervensystem existieren sind sie für uns zumindest nicht zugänglich. Die Gestaltpsychologen widersprechen dem weil sie sagen, daß durch das Zusammenfügen einzelner Teile etwas entsteht, daß mehr oder auch andere Eigenschaften besitzt als die Summe seiner Einzelteile.

Mechanismen der Reizweiterleitung am Beispiel des visuellen Systems



Physikalische Reize in Form von Lichtquanten treffen auf die Rezeptoren der Netzhaut. In den Stäbchen (Lichtrezeptor) und den Zapfen (Farbrezeptor) ist ein Farbstoff eingelagert, dieser zerfällt und ändert so das Membranpotential der Zelle. Es kommt zur Erregung der retinalen Ganglienzellen, deren Axone den Sehnerv bilden. Die optische Information wird durch ein kodiertes Impulsmuster weitergegeben. Die Sehnerven kreuzen sich im Chiasma opticum und die Informationen aus dem linken Gesichtsfeld beider Augen werden in die rechte Hemisphäre des Gehirns geleitet, die des rechten in die linke. 90% der retinalen Ganglienzellen projizieren zu den Kniehöckern (corpus geniculatum) und von dort in den primären visuellen Kortex (V1). Die Enkodierung der ankommenden Impulse findet in abgestuften Prozessen in unterschiedlichen Hirnarealen statt. Im V1 findet erstmals eine binokulare Fusion statt. Über zwei Hauptpfade, dem dorsal parietalen Pfad zum Parietalkortex und dem ventral temporalen Pfad zum Temporalkortex wird die Information weitergeleitet. Im Parietalkortex wird die Bewegungs- und Positionswahrnehmung verarbeitet und die Bewegung gesteuert, im Temporalkortex erfolgt die Objekterkennung und die Verarbeitung von Farb-, Muster- und Formwahrnehmung. In den Arealen V2, V3 und V4 des Okzipitallappens erfolgt eine Enkodierung nach funktionalen Aspekten: V2 verarbeitet Gestaltmuster und Scheinkonturen, V3 analysiert bewegte Gestalten und V4 erfolgt eine Identifizierung über Oberflächenstruktur und Farbkontraste. Insgesamt sind über 30 Areale an der Verarbeitung von visuellen Reizen beteiligt. Der visuelle Kortex macht 15% des gesamten Kortex aus.

Wie oben schon erwähnt existieren in der Neurophysiologie unterschiedliche Ansätze diese komplexen Mechanismen zu erforschen und zu erklären, zum einen über Einzelzelleitungen und zum anderen die Erforschung von Zellnetzwerken. Beide Methoden haben schon wichtige Teilerkenntnisse geliefert, aber eine eindeutige und umfassende Erklärung ist noch nicht gefunden. In den 1920er und 30er Jahren wurden Methoden entwickelt mit denen man die relativ schwachen elektrischen Potentiale die bei der Aktivität von Nervenfasern entstehen messen und aufzeichnen kann. Man fand so heraus, daß die Rezeptorzellen aller Sinnessysteme jeweils auf einen ganz bestimmten Stimulustyp ansprechen. Jede dieser Zellen besitzt ein sogenanntes *rezeptives Feld*. Die rezeptiven Felder

benachbarter Neuronen überlappen einander. Erscheint nun der spezifische Stimulus in diesem Feld beginnt die Zelle zu feuern, die Impulsfrequenz ist abhängig von der Intensität des dargebotenen Stimulus. In der Froschretina beispielsweise fand man sogenannte Käferdetektoren, bietet man den entsprechenden Zellen einen gegen den Hintergrund dunklen Punkt der sich der Retina nähert und sich entfernt, feuern die Zellen maximal und lösen im intakten Tier Beutefang- und Fressverhalten aus. Ist der Punkt hell oder bewegt sich in eine andere Richtung unterbleibt eine Antwort der Zelle. Diese selektiven Rezeptoren üben also eine Filterfunktion aus, die relativ primitiv aber überlebenswichtig sein kann. Man fand beim Frosch fünf verschiedene Klassen von Ganglienzellen: die Käferdetektoren; Ereignisdetektoren, die auf das An- und Abschalten des Lichtes und auf bestimmte Kontraste reagieren; Randdetektoren, die für Umrisse bewegter Gegenstände sensibel sind und solche, die Lichtabfall oder -intensität messen. In der Retina von Kaninchen gibt es eine noch größere Anzahl Detektorkategorien.

Mit Hilfe von Einzelzelleableitungen kann man die Datenverarbeitung über die retinalen Zellen hinaus verfolgen. Im Gehirn von Katzen maß man die Aktivität einzelner Neuronen in den Corpa geniculata und im Cortex striatum (optisches Zentrum im Katzenhirn) im Zusammenhang mit visuellen Ereignissen. Die Hirnrindenzellen sind über bestimmte Ganglienzellen mit den retinalen Rezeptorfeldern verschaltet, eine Kortexzelle ist einem bestimmten retinalen Reizfeld zugeordnet. In der Retina beginnt eine stufenweise integrierende Datenverarbeitung, die bis in auf die Ebene des Kortex verfolgt werden kann. Desweiteren ergab diese Untersuchung, daß einige Elemente der Reizverarbeitung bereits in neugeborenen Katzen angelegt sind. Einige neurale Verbindungen liegen also bei der Geburt bereits vor, um sie jedoch nutzbar zu machen müssen visuelle Erfahrungen gesammelt werden.

Entzieht man ihnen die normalen Erfahrungen, und läßt sie in einer ausschließlich längsgestreiften Umgebung aufwachsen, erfahren die visuellen Neuronen eine Modifikation, sie sprechen nur noch auf Längsstreifen an, deren Orientierung nur wenige Grad von der gewohnten Streifenlage abweichen dürfen.

Die spezifische Orientierung der rezeptiven Felder ist wohl angeboren, mangelnde Seherfahrung verzögert deren Reifung verhindert sie aber nicht vollständig.

Es ist fraglich, ob es soetwas wie Großmutterzellen gibt, aber Einzelzellen liefern verlässliche Ergebnisse und sind in der Lage wichtige und komplexe Aufgaben auszuführen.

Der Nachteil der Einzelzellmethode ist, daß selektive Zellen mit einem spezifischen Antworteigenschaften in der Masse schwer zu lokalisieren sind. Die Reizmuster, die man ihnen darbietet müssen in Größe, Dauer und Beschaffenheit exakt an das rezeptive Feld angepaßt sein, um verlässliche Antwortaktivität zu provozieren.

Einzelneuronen können keine gleichförmigen Signale von langer Dauer signalisieren, sie adaptieren.

Die Verarbeitung von höheren kognitiven Leistungen wird dem Kortex zugeordnet. Die Informationsverarbeitung im Kortex wird nicht von einzelnen Neuronen getragen sondern ist auf fein aufeinander abgestimmte Aktivität in Neuronennetzwerken zurückzuführen. Wahrscheinlich haben die Neuronen dieser Verbände keine fixierte Signifikanz für bestimmte Reizmuster, sondern sind konkurrierend aktiv mit wechselnder Signifikanz. Mit einer Zeitskalenmessung kann man zeitlich aufeinander abgestimmte Spikeaktivität mehrerer z.T. weitauseinanderliegender Neuronen nachweisen, dies ist eine relevante Variable in der kortikalen Informationsverarbeitung. Die Neuronennetzwerke gelten als zuverlässiger und weniger fehleranfällig als Einzelneuronen. Ob das stimmt, ist davon abhängig, ob für das Funktionieren des Netzwerkes jede einzelne Zelle fehlerfrei arbeiten muß, oder ob die anderen Neuronen fehlerhaft Aktivität einzelner ausgleichen können.

Bindungen in Neuronennetzwerken werden dadurch erreicht, daß mehrere Zellen wiederholt gleichzeitig aktiv sind und ihre Erregungsmuster synchron ablaufen.

Werden regelmäßig bestimmte Zellen zeitgleich erregt kommt es zwischen ihnen zu einer Bahnung, einer quasi dauerhaften Bindung. Betrachtet man ein Objekt werden für jedes Merkmal wie Farbe, Form, Nutzen usw. jeweils bestimmte Zellgruppen inerviert. Auch der Vorgang des Lernens wird durch die aktivierungsbedingten Verknüpfungen von Nervenzellen erklärt. Häufige Benutzung eines solchen Pfades verstärkt diese Verbindungen.

Es wird vermutet, daß jedes Neuron in verschiedenen Verbänden aktiv sein kann. Dadurch ergeben sich natürlich mehr Möglichkeiten für eine komplexe Repräsentation der Umwelt als es bei objektbezogenen Einzelneuronen (Großmutterneuron) der Fall wäre.

Die Existenz von Großmutterneuronen ist unwahrscheinlich, obwohl bei Tieren Zellen nachgewiesen wurden, die nur auf arteigene Laute oder bestimmte Früchte ansprechen.

Einzelzellen sind aber nachgewiesenermaßen zuverlässig und in der Lage vollständige Informationen zu vermitteln, beispielsweise können Lichtreize in dem vollen Umfang signalisiert werden, in dem sie vom Organismus wahrgenommen werden.

Die Vorstellung von neuronalem Zusammenwirken in Zellnetzwerke ist plausibel und einleuchtend und es gibt physiologische und anatomische Hinweise, das sie auf der Ebene des Kortex wichtig sind. Sie könnten als vermittelnde Ebene zwischen einzelnen Neuronen und den Verarbeitungsprozessen im Gehirn fungieren.

- Literatur:** Horace B. Barlow : *Single units and sensation: a neuronal doctrine for perceptual psychology?* Perception 1, p.371-394 (1972)
Horace B. Barlow : *Single cells versus neuronal assemblies: Information processing in the cortex: Experiments and theory*, p.169-173 (1987)
Horace B. Barlow : *Cell assemblies versus single cells: Brain theory: biological bias and computational principals*, p.261-267 (1996)
Herder-Lexikon der Biologie, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford (1994)
Irenäus Eibl-Eibesfeldt : *Grundriß der vergleichenden Verhaltensforschung*, Piper, München, Zürich, Kap.5 (1999)

internet: <http://www.arbeitsblaetter.stangel-taller.at/>
<http://www.Brainworks.uni-freiburg.de/teaching/SS04/mirrorSystem/>
http://www.design-usability.de/wahrnehmung_visuelles_system.html
http://www.mpg.de/bilderBerichteDokumente/dokumentation/jahrbuch/2003/biologische_kybernetik/forschungsSchwerpunkt/
<http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/aka.htm>
<http://www.uni-oldenburg.de/sport/bww2/Lehre/Sinne/sinne.html#Anchor-Sensorische-3809>

Face Cells and Face Recognition

Zusammenfassung

Der primäre visuelle Kortex des Hinterhauptslappens erhält Signale von den Augen und leitet diese zu den visuellen Arealen des Schläfenlappens weiter, also zu TE und STS. Diese wiederum projizieren zum limbischen System und anhängenden Arealen wie Amygdala und Hippocampus. Krankheiten wie Prosopagnosia und das Kluver-Bucy-Syndrom haben das Interesse der Forschung an den Vorgängen und Gehirnstrukturen, die für die Gesichtswahrnehmung zuständig sind geweckt.

Gesichtsselektive Neurone im STS und der Amygdala sprechen 2-20 mal stärker auf Gesichter an als auf andere visuelle Stimuli. E.T. Rolls hat außerdem herausgefunden, dass diese Neurone bevorzugt auf bestimmte Gesichter ansprechen und dass sie auf jedes Gesicht unterschiedlich stark ansprechen. Neurone dienen somit als Filter, deren Output dazu verwendet wird ein Individuum zu erkennen und eine angemessene emotionale Reaktion zu generieren.

Es gibt verschiedene Parameter, die die Reaktion gesichtsselektiver Neurone beeinflussen. Sie sind z.B. an unterschiedliche räumliche Frequenzen angepasst und besitzen hier eine gewisse Bandbreite, die sich aus der low-pass und der high-pass Cutoff-Frequenz errechnen lässt. Auch die Inversion eines Gesichtes hat eine Auswirkung auf die Gesichtspertzeption, genauso wie Bildkontrast und Farbe.

In Bezug auf die neuronale Kodierung von Gesichtsstimuli gibt es 2 wichtige Streitpunkte. Zum einen die Frage, ob die Information mittels Großmutterneuronen oder Zellensembles (Zellpopulationen) kodiert wird und als zweites, ob die Information in der Feuerrate oder im zeitlichen Auftreten der APs kodiert ist.

Anatomie

Vorgänge im Gehirn, die kognitive Fähigkeiten betreffen, laufen hauptsächlich in der Großhirnrinde ab. Diese besteht aus einer rechten und einer linken Hemisphäre, welche jeweils in 4 sogenannte Lappen unterteilt ist: Frontallappen, Scheitellappen, Schläfen- oder Temporal-Lappen und Hinterhauptslappen. Der Temporallappen spielt bei Hörvermögen und visueller Wahrnehmung eine Rolle und steht mit Hippocampus und Amygdala in Verbindung. Der Hinterhauptslappen spielt eine entscheidende Rolle in bezug auf die visuelle Wahrnehmung. Ein Teil des Hinterhauptslappens, der primäre visuelle Kortex, erhält Signale von den Augen und leitet diese weiter zu den visuellen Arealen des Schläfen- oder Temporallappens: Dem untergeordneten temporalen visuellen Kortex (TE) und dem übergeordneten temporalen Sulkus (STS) mit den jeweiligen Arealen. (Sulkus bezeichnet eine Rille oder Furche)

Während TE und die dazugehörigen Areale primär unimodale visuelle Areale darstellen, sind die Areale des untergeordneten temporalen Sulkus multimodal; sie reagieren auf visuelle, auditorische und somatosensorische Inputs.

TE und STS leiten ihren Output zum limbischen System und verbundenen Arealen wie der Amygdala und zum Hippocampus. Auch in der Amygdala liegen selektiv auf Gesichter ansprechende Neurone.

Neurone, die bestimmte Informationsdimensionen kodieren, wie z.B. die Ausrichtung des Gesichtes im Raum, sind anatomisch in sogenannten Columns (engl.: Säule) zusammengeschlossen, die wiederum aus zahlreichen Minicolumns bestehen. Das sind Zellaneinanderreichungen, die einen Durchmesser von einer Zelle besitzen und senkrecht zur Kortexoberfläche verlaufen.

Beeinträchtigung der Gesichtspertzeption

Verletzungen in spezifischen Gehirnarealen im STS, die auf die Informationsverarbeitung bei der Wahrnehmung von Gesichtern spezialisiert sind, führt zu der Krankheit **Prosopagnosia**. Die Patienten sind zwar in der Lage Gesichter als solche zu erkennen, können diese jedoch nicht mit einer bekannten Person verbinden, sind also nicht in der Lage die Identität einer Person zu erkennen und auch die Wahrnehmung des Gesichtsausdruckes ist gestört.

Bilaterale Beschädigung des Schläfenlappens bei Primaten verursacht das sogenannte **Klüver-Bucy-Syndrom**. Von der Beschädigung ist vor allem die Amygdala betroffen, was, neben anderen Symptomen, zur Folge hat, dass die betroffenen Affen keine normalen sozialen Interaktionen mit Artgenossen zeigen. Eine Beschädigung der Amygdala führt also zu einer Veränderung der emotionalen und sozialen Reaktionen auf Gesichter. (Auch die Amygdala enthält gesichtsselektive Neurone).

Beide Krankheiten haben Anlass zur Erforschung der genannten Gehirnbereiche gegeben und die Forschung bezieht Patienten in die Arbeit mit ein.

Gesichtspertzeption

Neurone im **STS**, die selektiv auf Gesichter ansprechen, tun dies, indem sie 2-20 mal stärker ansprechen, als auf andere visuelle Reize, wie z.B. Gitter, einfache geometrische Reize oder komplizierte 3-dimensionale Objekte. Diese Zellen reagieren nicht auf andere Modalitäten. Ihre Feuerraten können bis zu 100 Spikes (APs) pro Sekunde erreichen. In der **Amygdala** verhält es sich genauso. Die gesichtsselektiven Neurone sprechen auf jegliche Art dargebotener Gesichter (Affen- und Menschengesichter, 2- und 3- dimensionale Gesichter, ihr eigenes Spiegelbild) mindestens 2 mal so stark an als auf oben genannte Objektstimuli. Die gesichtsselektiven Neurone der Amygdala können jedoch durch Inputs anderer Modalitäten aktiviert werden, wie z.B. durch Geräusche oder Berührung.

Rolls (1984) hat gefunden, dass gesichtsselektive Neurone im STS auf ein oder mehrere Gesichter mindestens 2 mal so stark ansprechen als auf jeden anderen getesteten Stimulus. Dabei spricht jedes Neuron auf jedes Gesicht in unterschiedlichem Ausmaß an. Außerdem fand Rolls heraus, dass einige dieser Neurone primär auf ein bestimmtes Gesicht ansprechen, einige sprachen auf viele Gesichter an und einige auf eine Teilmenge der präsentierten Gesichter. So können Informationen bereitgestellt werden, die unterschiedliche Verhaltensreaktionen auf unterschiedliche Gesichter auslösen. Neurone dienen somit als Filter, deren Output der Erkennung unterschiedlicher Individuen und der angemessenen emotionalen Reaktion auf selbige dient. Die Neurone, die bevorzugt auf ein oder wenige Gesichter ansprechen, tun dies, auch wenn verschiedene Ansichten (horizontal, invertiert, weiter entfernt usw.) des Gesichts präsentiert werden. Das Ausmaß in dem ein Neuron unterschiedlich auf verschiedene Gesichter anspricht nennt man Detectability oder Discrimination (d').

In der **Amygdala** wurden ebenfalls gesichtsselektive Neurone gefunden. Einige unter ihnen reagieren vorwiegend auf ein bestimmtes Gesicht, einige reagieren auf viele Gesichter und einige auf eine Teilgruppe der dargebotenen Gesichtsstimuli. Die Neurone reagierten unterschiedlich stark auf unterschiedliche Gesichter. Die gesichtsselektiven Neurone der Amygdala steigern ihre Feuerrate bei effektiven Stimuli und senken sie bei uneffektiven Stimuli. Eine kleine Anzahl gesichtsselektiver Neurone in der Amygdala spricht unterschiedlich auf bedrohliche Gesichter und nicht bedrohliche Gesichter an. Zusammen mit der Tatsache, dass die anderen gesichtsselektiven Neurone der Amygdala auf unterschiedliche Gesichter ansprechen, und diese Gesichter oft von Affen unterschiedlichen Alters oder mit unterschiedlichem Gesichtsausdruck stammen, kann daraus gefolgert werden, dass die amygdaloiden gesichtsselektiven Neurone Informationen übermitteln, die unterschiedliche emotionale Reaktionen auslösen.

Dass einige Neurone auf ein oder wenige Gesichter sehr stark ansprechen liegt an der Tatsache, dass jedes Gesicht bestimmte charakteristische Eigenschaften besitzt, worauf einige Neurone ansprechen. Es gibt aber auch solche, die auf die Kombination verschiedener Gesichtsmkmale ansprechen.

Effekte

Räumliche Frequenz:

Hier wird zwischen "high-pass gefiltert" und "low-pass gefiltert" unterschieden. "**high-pass gefiltert**" bedeutet, dass in einem Bild/Gesicht nur noch die hohen Frequenzen vorhanden sind, also nur scharfe Kanten wahrgenommen werden können, wohingegen "**low-pass gefiltert**" bedeutet, dass nur noch niedere Frequenzen vorhanden sind, ein Bild bzw. Gesicht also verschwommen wahrgenommen wird und keine Feindetails mehr enthält.

Eine **Cutoff - Frequenz** ist bei E.T. Rolls definiert als die Frequenz, bei der die Reaktion eines Neurons auf die Hälfte des Wertes des ungefilterten Stimulus abgefallen ist, und unterhalb der ein Gesicht nicht mehr als solches wahrgenommen wird. Betrachtet man ein einzelnes gesichtsselektives Neuron, so lässt sich dessen Bandbreite in bezug auf die Wahrnehmung von Gesichtern mit unterschiedlichen räumlichen Frequenzen durch die Differenz zwischen high-pass- und low-pass-cutoff- Frequenz errechnen. Man hat herausgefunden, dass verschiedene gesichtsselektive Neurone im STS auf verschwommene (low-pass) Gesichter und solche die nur Linien und Kanten (high-pass) beinhalten selbst dann noch ansprechen, wenn diese so unterschiedlich sind, dass ihre nächsten gemeinsamen räumlichen Frequenzen 24 Hz weit auseinander liegen. Cutoff-Frequenzen und Reaktionen auf räumlich gefilterte Gesichter unterscheiden sich bei unterschiedlichen Neuronen. Die Anpassung (Tuning) verschiedener Neurone an verschiedene low-pass und high-pass gefilterte Gesichter ist unterschiedlich, was einen weiteren Beweis dafür liefert, dass diese Neurone als Filter dienen, und somit Informationen übermitteln, die es ermöglichen zwischen verschiedenen Gesichtern zu unterscheiden. Herausgefunden wurde außerdem, dass bestimmte räumliche Frequenzen, und hier vor allem die hohen, diese Neurone inhibieren können. Die Selektivität dieser Neurone in bezug auf unterschiedliche räumlich gefilterte Gesichter entsteht also durch Kombination der Erregung, verursacht durch bestimmte Frequenzbänder, und der Inhibition, verursacht durch bestimmte hohe räumliche Frequenzen.

Inversion:

Die Reaktionszeit steigt mit zunehmender Rotation eines aufrechten Gesichtes in die umgekehrte Lage linear an. Die Reaktionszeit spiegelt demnach Wahrnehmungs- und kognitive Prozesse des Gehirns wieder.

Bildkontrast und Farbe:

Für gesichtsselektive Gesichter, die mit Fotos getestet wurden, ist die Farbe nicht ausschlaggebend. Die Mehrheit dieser Zellen ist jedoch sensibel für Unterschiede im Bildkontrast und spricht auf Positive stärker an als auf Negative.

Einbettung in Thematik: Neuronale Kodierung

Gegenüberstellung: Informationskodierung mittels Großmutterneuronen und Zellensembles

Es gibt 2 Hypothesen darüber, wie Informationen über Gesichter im Gehirn von Primaten (und Menschen) kodiert werden. Zum einen gibt es die Hypothese über die Großmutterneurone. Sie behauptet, dass jedes Neuron nur auf ein bestimmtes Objekt/Individuum anspricht. Das heißt, dass ein bestimmtes Objekt oder Gesicht im Gehirn durch das Feuern einer oder weniger Großmutterneurone abgebildet wird. Somit wäre eine sehr große Anzahl an Neuronen von Nöten. Alle Information, die ein bestimmtes Objekt/Individuum innehat, müsste je auf ein Neuron übertragen werden. Das würde bedeuten, dass die Zahl der kodierbaren Stimuli lediglich linear ansteigt mit zunehmender Zahl an Neuronen.

Die 2. Hypothese besagt, dass die Information eines bestimmten Reizes (Gesichtes) über eine Population von Neuronen, ein Zellensemble, verteilt wird, d.h. jedes Neuron erledigt sozusagen seinen Teil, wobei jedes Neuron eine etwas andere Empfindlichkeit besitzt. Auf diese Weise können bei gleicher Anzahl von Neuronen viel mehr Reize repräsentiert werden, da jedes Objekt, durch die Kombination unterschiedlicher Neurone (d.h. Gesichtsmerkmale) dargestellt werden kann.

Neurone im STS sprechen selektiv auf verschiedene Gesichter an. Dabei zeigt jedes Neuron eine andere relative Reaktion auf jedes Gesicht. Das heißt, jedes Neuron spricht auf eine gewisse Anzahl von Gesichtern an, allerdings in unterschiedlichem Ausmaß. Jedes Neuron feuert dabei auf einem bestimmten Level. Bestätigt wird hier also die Hypothese, dass Informationen über Zellensembles und nicht über Großmutterneurone kodiert werden.

Gegenüberstellung: Die Informationskodierung mittels Rate Coding und Temporal Coding

Eine weitere Streitfrage ist, ob die Informationen über einen Stimulus mittels der Feuerrate (Ap/s, Rate Coding) oder zeitlich (Temporal Coding) kodiert sind.

Der **Temporal Code** kann am besten anhand der Gleichzeitigkeit erklärt werden. Mindestens 2 oder mehr Neurone erzeugen gleichzeitig ein AP mit einer Präzision von ca.1-5 ms und kodieren so einen Stimulus. Ein Beispiel. Wenn nun alle Neurone einer Gruppe A gleichzeitig feuern handelt es sich z.B. um einen Tiger, feuern alle Neurone einer Gruppe B handelt es sich um einen Hund. Diese Gruppen können überlappen und so Untergruppen bilden, die immer dann feuern wenn es sich um ein vierbeiniges Objekt mit Fell handelt. (Katze, Reh, usw.) So können Kombinationen entstehen. Diese Art der Kodierung ist sehr schnell, weil ein Neuron das einen Input von allen Neuronen z.B. der Gruppe A bekommt, sehr viele synaptische Inputs in sehr kurzer Zeit erhält. Beim **Rate Code** geht man davon aus, dass Informationen auf der Basis neuronaler Feuerraten (AP/s) kodiert werden. Die Feuerrate eines Neurons ändert sich mit der Zeit, z.B. im Zusammenhang mit der Ausführung eines Verhaltens. Diese Änderung ist unterschiedlich bei unterschiedlichen Stimuli. Das heißt ein Neuron kann unterschiedliche Antworten geben und somit ist ein Stimulus in der Höhe der Feuerrate kodiert. Die Änderung der Feuerrate kann zwischen 50-100ms dauern, was viel zu lange ist, um wirklich effektiv zu sein. Gelöst werden kann dieses Problem aber durch Zellensembles. Das heißt, dass eine ganze Gruppe, ein Ensemble, von Zellen ihre Feuerrate in der gleichen Weise ändert. Somit etabliert sich hier ein Population Rate Code. Ergebnisse bei E.T. Rolls weisen darauf hin, dass letzterer in den gesichtsslektiven Zellen im STS Anwendung findet.

Literatur:

Perrett et al. (1984) Neurones responsive to faces in the temporal cortex: studies of functional organization, sensitivity to identity and relation to perception. *Human Neurobiology* 3(4): 197-209

Rolls (1984) Neurons in the cortex of the temporal lobe and in the amygdala of the monkey with responses selective for faces. *Human Neurobiology* 3(4): 209-22

Rolls (1992) Neurophysiological mechanisms underlying face processing within and beyond the temporal cortical visual areas. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London Series B – Biological Sciences* 335(1273): 11-21

Gross (1992) Face Recognition. *Current Opinion in Neurobiology* 2(2): 156-61

Farah et al. (1998) What is "special" about face perception? *Psychological Review* 105(3): 482-98

Pascalis (2002) Is face processing species-specific during the first year of life? *Science* 296: 1321-3

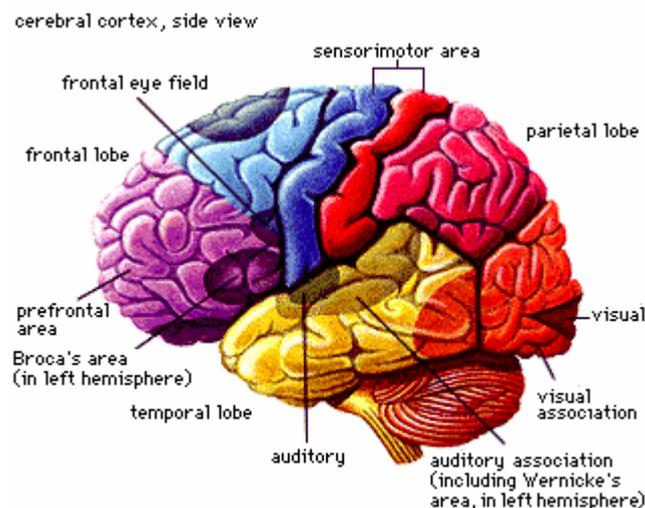
Nachahmung und die neuronalen Grundlagen

Frühere Theorien vermuteten, dass Wahrnehmungs- und Bewegungs-Systeme bei menschlichen Neugeborenen zunächst unabhängig und unkoordiniert sind. Um die Gesichts-Nachahmung zu erforschen, wurden Neugeborene in Kliniken untersucht (um assoziative Lern-Erfahrungen auszuschließen), die zwischen 42 Minuten und 72 Stunden alt waren. Alle zeigten erfolgreiche Nachahmungen der Gesichtsausdrücke.



Die Kinder haben weder Handlungen (Lippen schürzen, Mund öffnen, Zunge herausstrecken, Finger-Bewegungen) noch Körperteile durcheinander gebracht oder verwechselt. Der jeweilige Körperteil konnte eindeutig identifiziert werden, selbst bei Kombinationen verschiedener ähnlicher Bewegungen. Die Nachahmung menschlicher Neugeborener zeigt somit eine angeborene Verbindung zwischen der Beobachtung und Ausführung von Bewegungen.

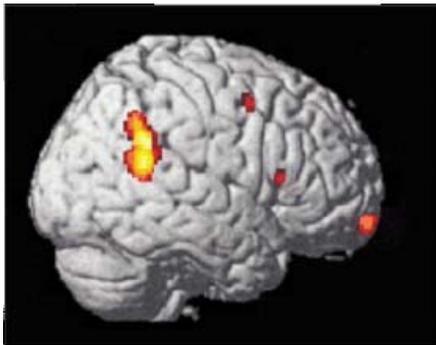
Spiegel Neurone in Affen feuern während der Ausführung zielgerichteter Hand Bewegungen und ebenso wenn der Affe ähnliche Hand-Bewegungen beobachtet. Bei Erwachsenen wurden Studien zur Beobachtung von Bewegungen und deren neuronale Abbildungen im Gehirn durchgeführt, wobei eine Aktivierung des Motor Kortex während der Beobachtung der Bewegungen gefunden wurde. Bei Menschen gibt es eine Art direkte Resonanz zwischen Beobachtung und der Ausführung von Bewegungen, was eventuell auf eine mögliche Verbindung zu den Spiegel Neuronen der Affen schließen lässt.



Die Vorstellung der eigenen Bewegung ist mit einer erhöhten Aktivität mit dem linken unteren parietalen Lappen und im linken somatosensorischen Kortex assoziiert, während die Vorstellung der Bewegung einer anderen Person den rechten unteren parietalen Lappen und den frontopolaren Kortex betrifft. Diese Ergebnisse zeigen eine entscheidende Rolle des unteren parietalen Kortex bei der Unterscheidung der Perspektive von selbst und anders.

Menschen wissen auch, wenn sie von anderen nachgeahmt werden. Solch wechselseitige Imitation ist ein wichtiger Teil der Kommunikation. In einem Experiment mit 14 Monate alten Kindern und 2 Erwachsenen (jeder Erwachsene kopierte ein Kind), konnte gezeigt werden, dass Kinder feststellen können, wer sie nachahmt. Sie sahen denjenigen länger an und testeten gezielt sein Verhalten, indem sie plötzliche und unerwartete Bewegungen machten, und überprüften, ob ihnen die Person folgte. Zwischen älteren und jüngeren Kindern gibt es jedoch einen Unterschied: die Jüngeren wiederholen die Geste, die imitiert wird, öfter, gehen aber nicht dazu über, andere Gesten zu testen, ob diese auch nachgeahmt werden, wie die älteren Kinder.

In einer weiteren Studie imitierten die erwachsenen Testpersonen entweder die Bewegungen des Experimentators oder wurden selbst imitiert, dabei gab drei Kontroll-Zustände: Bewegungs-Erzeugungs-Kontrolle, bei der die Testpersonen die Objekte nach freiem Willen verändern konnten; Beobachtung der Bewegung-Kontrolle, bei der sie nur die Bewegungen des Experimentators beobachteten; „dem-visuellem-Motor-entgegengesetzt“ Kontrolle, bei der die Testpersonen Bewegungen vollzogen, während sie die andere Person beobachteten, die gleichzeitig entgegengesetzte Bewegungen machte. Der linke parietale Lappen wurde aktiviert, wenn die Testpersonen jemanden imitierten, während die rechte homologe Region einbezogen war, wenn sie selbst imitiert wurden. Im Vergleich der Imitations- und Kontroll-Zustände zeigte sich, dass es auch Aktivierungen im posterioren Teil des oberen temporalen Gyrus (in beiden Hemisphären) gab, von dem man weiß, dass er in die visuelle Wahrnehmung von sozial bedeutsamen Hand-Gesten einbezogen ist. Diese Anhäufung war jedoch nur in der linken Hemisphäre vorhanden, wenn der Zustand des Imitiert Werdens und der Zustand des Imitierens von anderen Personen getrennt war.



Aktivierung des rechten unteren parietalen Lappens

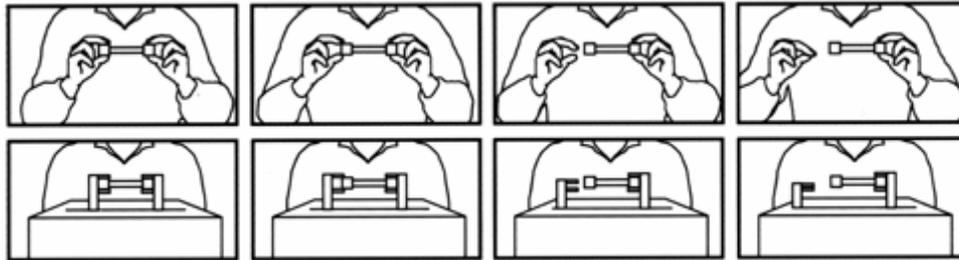
Können Kinder die Pläne und Absichten anderer Personen verstehen?

Es wurde die Leistungsfähigkeit von Kindern getestet, ob sie hinter einer oberflächlich erfolglosen Handlung ein Ziel erkennen können. Dazu wurden 18 Monate alten Kindern erfolglose Handlungen gezeigt, bei denen der Erwachsene das eigentliche Ziel versehentlich nicht erreichte. Die Studie verglich dabei die Tendenzen der Kinder, eine Ziel-Handlung in unterschiedlichen Situationen durchzuführen: nachdem sie die volle Ziel-Handlung gesehen hatten; nachdem sie den erfolglosen Versuch der Handlung gesehen hatten; und nachdem weder etwas gezeigt noch versucht wurde. Die Kinder konnten die dahinter stehenden Ziele, die in den erfolglosen Versuchen enthalten waren, ableiten. Auch ganz junge Kleinkinder können die Ziele verstehen, sogar wenn sie nicht erfüllt werden. Sie imitieren das, was die Person versucht hatte zu tun, nicht das was sie versehentlich tat.

In einem weiteren Experiment sahen die 18 Monate alten Kinder einen Erwachsenen, der versuchte, ein hantelähnliches Objekt wegzuziehen und es nicht schaffte. Ihnen selbst wurde ein manipuliertes Trick-Spielzeug gegeben, das zuvor heimlich mit Kleber präpariert worden war. Als die Kinder versuchten es wegzuziehen, rutschten ihre Hände von den Enden ab, was so aussah wie das oberflächliche Verhalten des Erwachsenen. Sie wollten jedoch die eigentliche Absicht des Erwachsenen erfüllen und griffen mehrmals nach dem Spielzeug, versuchten in verschiedenen Richtungen daran zu ziehen, und appellierten durch Blicke an ihre Mütter und die Erwachsenen.

Kinder sind auch in der Lage, Handlungen auf unterschiedlichen Wegen zu erreichen, was durch ein riesiges hantelähnliches Objekt getestet wurde, das zu groß für die Hände der Kinder war, so dass sie es nicht wegschieben konnten. Die Kinder versuchten gar nicht das Verhalten des Erwachsenen nachzuahmen, sondern benutzten neue Wege, um das riesige Spielzeug zu bewegen. Dies stimmt mit der Hypothese überein, dass Kinder die Ziele von Handlungen schlussfolgern und von oberflächlichem Verhalten unterscheiden können.

Kinder können auch erkennen, dass leblose Dinge keine Absichten haben, sondern dass das eine Eigenart der Menschen und Tiere ist. Sie ordnen den erfolglosen Bewegungen eines künstlich hergestellten, arm- und handähnlichem, Objekts keinerlei Absicht zu. War die Handlung jedoch erfolgreich, machten sie die Bewegung nach, was nahe legt, dass sie offenbar Erfolg verstehen, aber nicht die Fehler (macht Sinn, da Erfolg das Objekt verändert, Erfolglosigkeit dagegen nicht).



Es wurde ein Experiment durchgeführt, um die neuronalen Entsprechungen der zwei Schlüsselkomponenten menschlichen Handelns, das Ziel (Endzustand der Objekt-Veränderung) und die Bedeutung (Programm um das Ziel zu erreichen) zu untersuchen. Die Handlung bestand daraus, Lego-Blöcke von einer Start-Position an eine bestimmte Position einer Lego-Konstruktion zu bewegen. Die Testpersonen sollten einen Menschen nachahmen, der entweder nur das Ziel, nur die Bedeutung oder die ganze Handlung zeigte. Die Ergebnisse zeigten eine teilweise Überlappung von erhöhtem regionalem cerebralen Blutfluss in der rechten dorso-lateralen präfrontalen Region und im Kleinhirn, wenn die Testpersonen das Ziel oder die Bedeutung imitierten. Des Weiteren gab es eine spezielle Aktivität im medialen präfrontalen Kortex während der Imitation der Bedeutung, während Ziel-Nachahmung eine erhöhte Aktivität im linken prämotorischen Kortex zeigt.

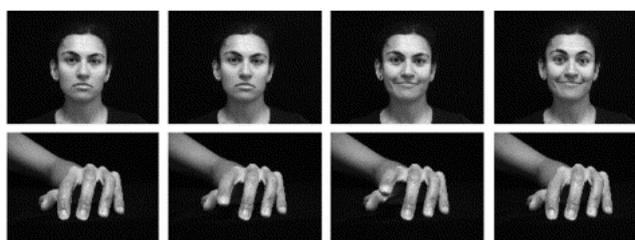
Die Hypothesen, wie nachahmender Verstand und das Gehirn bei der Entwicklung der Psyche mitwirken, wurden bestätigt:

1. Angeborene Anlagen: Neugeborene können die Gleichwertigkeit von wahrgenommener und ausgeführter Handlung erkennen.
2. Erstellen einer „Erste-Person“ Erfahrung: bei jedem Erlebnis bilden Kinder die Beziehungen zwischen ihren eigenen körperlichen Handlungen und ihren geistigen Erfahrungen ab. Die Kinder erleben ihre eigenen inneren Gefühle und äußeren Gesichts-Ausdrücke und erstellen daraus eine detaillierte bidirektionale Karte, die geistige Erfahrungen und Verhalten verbindet.
3. Folgerungen über die Erlebnisse anderer: wenn Kinder jemand anderen sehen, der „wie sie selbst“ handelt, errechnen sie daraus, dass andere die gleichen geistigen Erfahrungen haben, die in solchen eigenen Verhaltenszuständen abgebildet sind.

Ist der angeborene Zustand (1.) und das Wissen, dass ein Verhalten X auf dem geistigen Zustand X' in der eigenen Erfahrung (2.) abgebildet wird, haben die Kinder wichtige Daten, um Folgerungen über Beziehungen zwischen dem sichtbaren Verhalten von anderen und dem zugrunde liegenden geistigen Zustand zu machen (3.).

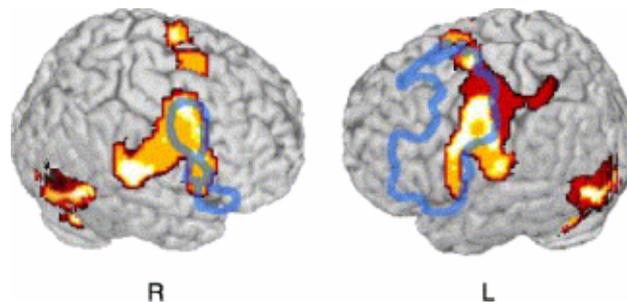
Unser Einfühlungsvermögen benötigt die Fähigkeit, die Gefühle anderer in unserem eigenen Nervensystem abzubilden. Die Entdeckung der Spiegel-Neurone (in der F5c-Gegend im Gehirn von Affen, feuern während einer Handlungs-Durchführung und auch bei der Beobachtung einer Handlung) zeigt, dass das Nerven-System fähig ist, die bei anderen Personen beobachteten Handlungen im eigenen prämotorischen Kortex abzubilden, zumindest für Greif-Bewegungen.

Die Testpersonen sahen kurze Filmsequenzen mit Gesichtsausdrücken (Lächeln oder Grimmig) und Handbewegungen (Bewegungen von Zeige- oder Mittelfinger).



Währenddessen wurde die Gehirnaktivität durch funktionelle Magnet-Resonanz-Darstellungen (fMRI) [Kernspintomografie] sichtbar gemacht. Die Personen sahen die Filme unter unterschiedlichen Bedingungen: passives anschauen, aktives Nachahmen, und aktive Bewegungskontrolle. Sie mussten ebenfalls eine Verb- Bildungs- Aufgabe durchführen, damit die Sprach- verarbeitenden Bereiche des Gehirns identifiziert werden konnten.

Die Ergebnisse zeigen, dass der prämotorische Kortex der rechten Hemisphäre eine große Rolle bei der Bildung und Wahrnehmung von emotionalen Gesichts-Ausdrücken spielt. Es wurden Hinweise für einen gemeinsamen kortikalen Imitations-Bereich für Gesichts- und Hand-Imitation gefunden, der sich aus der Broca's Gegend (von ihr wird angenommen, dass sie die menschliche Homologie zur F5-Gegend in Affen enthält), bilateralen dorsalen und ventralen prämotorischen Gegenden, rechtem darüber liegendem temporalen Gyrus und zusätzlich dem Bewegungs-Gebiet, dem posterioren temporo-occipitalen Kortex und Kleinhirn-Gebieten zusammensetzt.



Weiß: Der überlappende Bereich von Gesichts- und Hand-Nachahmung, Rot: Aktivierte Bereiche während der Hand-Imitation, Orange: Aktivierung während der Gesichts-Imitation, Blaue Linien: Gebiete der frontalen Aktivierung während der Verb-Bildung. Sie werden auch beim Sprachgebrauch mit einbezogen.

Passive Betrachtung von Gesichtern führt hauptsächlich zu Aktivierungen in ventralen prämotorischen Bereichen (aktiviert den fusiformen Gyrus) der rechten Hemisphäre, während aktive Nachahmung zu bilateraler Aktivierung (aktiviert den oberen temporalen Sulcus, der sich dorsal in den oberen temporalen Gyrus erstreckt; auch spielt der Pars opercularis eine wichtige Rolle) führt. Dieses Ergebnis stimmt mit Hinweisen, dass es eine Dominanz der rechten Hemisphäre bei emotionalen Verarbeitungen gibt, überein und deutet an, dass es ein Spiegel-System in der rechten Gehirnhälfte geben könnte, welches einen neuronalen Nährboden für Empathie liefern kann. Die Hypothese, dass ein Gesichts-Spiegelndes System während Gesichts-Imitation maximal aktiv sein sollte und weniger aktiv während passiver Gesichts-Beobachtung, wurde somit bestätigt.

Eine Interpretation der Ergebnisse ist auch, dass der Pars opercularis der linken Hemisphäre bei bewussten zielgerichteten Bewegungen einbezogen ist. Das Einfühlungsvermögen (Empathie) wird durch den ventralen prämotorischen Kortex der rechten Hemisphäre vermittelt.

Literatur:

- Meltzoff, A. & Decety, J.: What imitation tells us about social cognition: a rapprochement between developmental psychology and cognitive neuroscience; The Royal Society (2003) 358, 491-500
- Leslie et al: Functional imaging of face and hand imitation: towards a motor theory of empathy; NeuroImage 21 (2004) 601-607
- Verschiedene Internetseiten zum Thema
- www.google.de



-pathology of imitation- disorders of the mirror system

Imitationsverhalten ist für die Intelligenzentwicklung und für das Erlernen der zwischenmenschlichen Verhaltensformen und in der Kommunikation eine essentielle Verhaltensform. Fehlerhaftes Imitationsverhalten lässt sich generell auf Funktionsstörungen des mirror system zurückführen und zieht dementsprechende Fehlentwicklung auf anderen Bereichen nach sich, wobei an ausgewählten Beispielen (imitation behavior, ultitzation behavior, Autismus) deren Ursachen und Erscheinungsformen im folgenden genauer besprochen werden.

I. imitation behavior (IB) + utilization behavior (UB)

IB +UB tritt v. a. bei (unilateralen) Läsionen / Fehlfunktionen des Frontallappens im inferioren + medialen Bereich (Tumore, Schlaganfall, Ischämie, neurodegenerative Erkrankungen wie Alzheimer, Parkinson, PSP progressive supranuclear palsy, allgemeine vasculäre Erkrankungen, Unfälle...) auf.

Imitation Behavior bezeichnet die Tendenz die sowohl sinnvollen als auch sinnlosen Gesten / Bewegungen einer anderen Person zu imitieren, auch nach Aufforderung dieses zu unterlassen. IB ist dabei ein willentlicher Akt der Betroffenen und keine automatische und reflexartige Antwort, wie es bei Echopraxia bzw. Echolalia dagegen der Fall ist. Die Imitationshandlung kann als integraler Teil des bewussten Bewusstseins der Person angesehen werden und zeichnet sich durch einen Verlust der inhibitorischen Kontrolle über "primitiven Reflex" aus. IB wird als „first stage“ der UB angesehen, da in Studien UB nie ohne IB auftrat oder nur IB allein.

Bei *Utilization behavior* spricht man von einer „automatischen Auslösung von instrumentell korrekten, stark übertriebenen und/ oder unangemessenen motorischen Reaktionen auf Objekte / Umweltreize“ *LH*. Die betreffenden Personen zeigen objektangemessene Verhaltensweisen, die unangemessen/unerwartet in Bezug auf Kontext sind.

Bsp. Patient beginnt mit Zähneputzen, nachdem Patienten Zahnbürste + Becher gegenüber gestellt wurde, trotz Anwesenheit bzw. Termin mit Doktor.

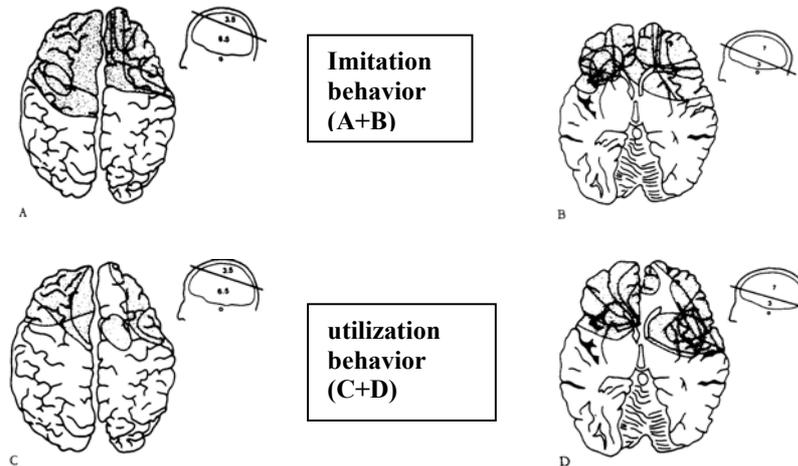
Oder: Der Patient nimmt automatisch Stift und Papier, die auf Tisch gegenüber von ihm liegen und beginnt etwas zu malen /schreiben, obwohl er dazu nicht aufgefordert worden ist.

➔ Methoden zur Erforschung IB +UB:

- a) *Beobachtung / Studien zu Verhaltensreaktionen* bei IB (Patienten werden dabei verschiedene Gesten vorgeführt unter verschiedenen Aufgabenstellungen und die Reaktionen beobachtet.)
- b) *Neuropsychologische Studien* anhand diverser Tests („Sprachflüssigkeitstests“, Wechsler's memory test u. a. Intelligenztests, Tests zu Verhaltensmustern, *Wisconsin card sorting test*
➔ Es ist ein klassischer neuropsychologischer Test für die Funktion des Prefrontallappens auf die Fähigkeit zur Planung und Kategorisierung.
Ablauf: Vier Karten werden Patienten vorgelegt, eine Fünfte Karte soll dann der Proband eine der anderen vier Karten nach eigenem Kriterium zuordnen (Farbe, Form, Zahl). Das Kriterium, welches sich der Forscher ausgesucht hat wird dabei nicht mitgeteilt.
Findet der Proband das richtige Kriterium, so wird es ihm mitgeteilt. Das Kriterium bleibt

dann für weitere ca. 10 Durchgänge gleich, bis es sich beim z.B. 11 Mal spontan ändert und der Proband sein zuvor erworbenes Konzept ändern muss. Personen mit IB / UB haben damit große Schwierigkeiten.

c) *anatomische Studien* der Läsionen der Frontallappen (CT-Scans)

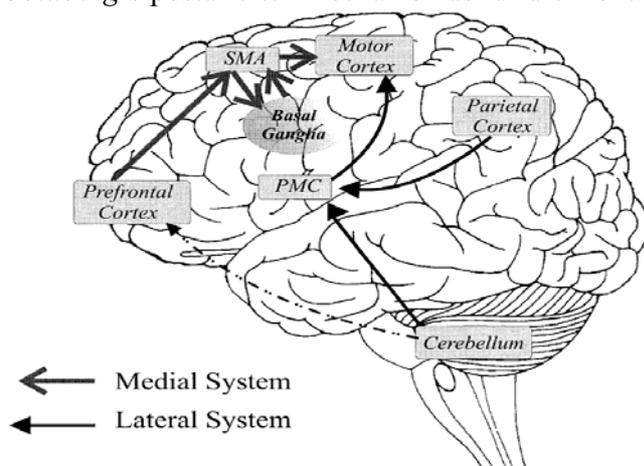


Ct-Scans zeigen Läsionen im inferioren oder anterioren Teil von einem oder beiden Frontallappen bei UB oder IB – Erkrankten.

➔ Ursachen für UB +IB

Es wird angenommen, dass beide Krankheiten ihre Ursachen im Verlust der inhibitorischen Aktivität des Frontallappens auf den posterioren Temporal- und Parietallappen haben, so dass eine Frontallappen-Zerstörung zu einer ungehemmten Aktivität des Parietallappens führt und die Person auf alle externen Stimuli reagiert.

Goldberg's postulierter Mechanismus für die Kontrolle von Bewegung:



Goldberg postuliert, dass die Kontrolle von Bewegungen variiert in Bezug darauf, ob eine Aktion intern oder extern geführt wird. Es handelt sich dabei um ein sehr detailliertes Modell, wobei hier nur die Grundzüge dargestellt sind.

Das Laterale (externe) System erhält Inputs vom Cerebellum und parietalen Cortex zum PMC (premotorischen Cortex), welches dann den motorischen Cortex beeinflusst. Dieses System dominiert, laut Goldberg vermutlich, bei visuell geführten Bewegungen.

Das Mediale (interne) System umfasst Inputs zum SMA (supplementary motor cortex) von den Basalganglien, den anterioren und medialen Nuclei des Thalamus und dem anterioren Cingulate kommend mit reziproken Verbindungen zum SMA. Vom SMA gehen dann Inputs zum motorischen Cortex.

Dieses System dominiert, so wird angenommen, bei „self-guided“ Bewegungen und Lern-Bewegungen.

↳ *Das mediale System hat vermutlich inhibitorische Kontrollfunktion auf das laterale System. Bei Störungen oder Zerstörung des medialen Systems kann es zu abnormalen motorischen Aktivitäten, wie IB + UB kommen.*

II. Autismus

Autismus zeichnet sich durch eine starke Selbstbezogenheit, Störungen im zwischenmenschlichen Verhalten und in der Kommunikation (Echolalia+ Echopraxia) aus. Zudem zeigen sie eine begrenzte Bandbreite von Aktivitäten und Interessen bzw. Phantasie. Die Störung tritt bei 2-4 von 10.000 Kindern auf, wobei Jungen drei- bis viermal häufiger betroffen sind; z.B. Asperger-Syndrom ausschließlich bei Männern vorkommend. Die Symptome entwickeln sich meist vor dem 3. Lebensjahr.

Man unterscheidet 4 Unterformen des Autismus:

psychogener, somatogener Autismus, Asperger-Syndrom und Kanner-Syndrom



Autisten sind sich meist der Existenz oder Gefühle anderer Menschen nicht bewusst. Beispielsweise merken Autisten den Kummer von der Mutter oder anderen Bezugspersonen durch Beobachten der Gesten und Verhaltensweise nicht und können sich selbst nicht nach außen sichtbar /bemerktbar machen, wenn sie traurig sind. Weiterhin reagieren sie auf Veränderungen der alltäglichen Umgebung (Umstellen der Möbelstücke z.B.) mit großem Unbehagen. So sollte man beim Einkaufen gehen, möglichst immer denselben Weg gehen.

➔ Ursachen für Autismus

- ♦ Genetische Faktoren
- ♦ Biochemische Befunde: Auffälligkeiten bei Transmitterstoffen (Serotonin, Dopamin...)
- ♦ Neurologische Faktoren:
 - a) gestörte Hirnwellenmuster, verminderte Hirndurchblutung, Erkrankungen, Hirn- und Hirnhautentzündungen (z.B. Röteln während Schwangerschaft führt zu Schädigungen des ZNS)
 - b) Autisten zeigen kaum bzw. ein gestörtes Imitationsverhalten, was darauf schließen lässt, dass sie die Fähigkeit die Aktionen andere Personen zu „kartieren“ und einen internen Plan auszuarbeiten und die Aktionen dann zu kopieren, nicht besitzen bzw. nur schwach oder

teilweise ausgeprägt ist. Dieses ist jedoch die Aufgabe der mirror neurons! So dass eine Fehl- oder Unterentwicklung des mirror neuron system anzunehmen ist. Auch Probleme bei visuellen Verarbeitung und Problemlösung lassen sich damit erklären.

Zudem können sie sich nicht in die Situationen/Zustand anderen Personen bzw. Situationen allgemein hineinversetzen. Sie haben ein fehlendes Einfühlungsvermögen und zeigen kein Verständnis für andere Menschen. Aus diesem Grunde ging man einige Zeit davon aus, dass die Wurzeln des Autismus in einer Fehlfunktion des *theory of mind* System liegt.

ToM entwickelt sich voll bis zum 6 Lebensjahr und ermöglicht das „Gedankenlesen“ von anderen / fremden Personen. Zuvor wird das „Selbstverständnis/ Bewusstsein“ bis zum 3-4 Lebensjahr gelernt.

Da die Autismusreaktionen und fehlenden Imitationen früher als ToM auftreten, spricht als eigentliche Ursache eine ➔ **Fehl- oder Unterentwicklung des mirror system** .

III. Schlaganfallpatienten

Schlaganfallpatienten mit Lähmungen an den Extremitäten können offensichtlich durch Beobachten von Arm- oder Beinbewegungen das Wiedererlernen von verlorenen Fertigkeiten beschleunigen. Untersuchungen zufolge gelang es den Betroffenen während der Rehabilitation deutlich schneller, verlorengegangene Bewegungsmuster erneut zu erlernen, wenn sie diese bei anderen Personen beobachteten, als wenn sie sie ausschließlich trainierten. Das haben Forschungen mit funktionellen bildgebenden Verfahren (fMRT) ergeben. An diesem Phänomen sind mirror neurons beteiligt.

Dr. Ferdinand Binkofski, Neurologe an der Universität Lübeck führt derzeit zusammen mit Dr. Giovanni Buccino aus Parma in Italien bei zunächst 50 Schlaganfallpatienten eine videogestützte Methode durch. Den Patienten werden verschiedene Bewegungsabläufe wie "Arm heben" oder "Bein strecken" regelmäßig vorgeführt. Für Patienten mit stark geschädigten Nervenbahnen ist die Methode jedoch nicht geeignet, um frühere Bewegungsmuster wieder zu erlernen.

Quellenverzeichnis:

- ▶ Williams et al. (2001) Imitation, mirror neurons and autism. *Neuroscience and Biobehavioural Reviews* (2001) 25: 287-295 (Review)
- ▶ Archibald et al. (2001) Utilization behavior: clinical manifestations and neurological mechanisms. *Neuropsychology Review* 11(3): 117-30 (Review)
- ▶ Lhermitte et al. (1986) Human autonomy and the frontal lobes. Part I: Imitation and utilization behavior: a neuropsychological study of 75 patients. *Annals Neurology* 19(4): 326-34
- ▶ „Neuropathologie“, J. Peiffer, J.M. Schröder und W. Paulus (Hrsg.), 3. Auflage, 2002 Springer Verlag Berlin
- ▶ www.medicine-worldwide.de/krankheiten/psychische_krankheiten/autismus.html
- ▶ www.aonline.dhf.de/bb/p063.htm
- ▶ www.aerztezeitung.de/docs/2003/05/14/089a1601.asp?cat=/medizin/herzkreislauf/schlaganfall
- ▶ www.vf.bio.uu.nl/LAB/NE/scripties/mirror_neurons.pdf
- ▶ www.psych.uic.edu/education/courses/brain/garviria.pdf
- ▶ <http://www.kup.at/perl/abbildungen.pl?ca=1&ct=1&cs=1&ck=1&b=a&q=Wisconsin%2Dcard%2DSorting%2DTest>
- ▶ www.sbg.ac.at/psy/people/perner/lv/docs/kloo.ppt

Oberseminar: Wahrnehmen und Handeln- Das corticale Spiegelbild

Thema: Das Spiegelneuronsystem bei Affen
Sabine Kaiser

Zusammenfassung:

Im ventralen prämotorischen Cortex, der Area F5, von Affen (*Macaca nemestrina*) sind Neuronen lokalisiert, die durch Ausübung von bestimmten objektbezogenen Hand- und Mundbewegungen aktiviert werden. Ebenfalls werden diese Neurone durch die Beobachtung dieser Bewegungen, die ein anderes Individuum ausführt, aktiviert. Deshalb werden diese Neurone Spiegelneurone genannt.

Zu den meist repräsentierten Bewegungen gehören das Greifen, Platzieren und Manipulieren von Gegenständen.

Für die meisten Spiegelneurone ließ sich eine klare Verbindung zwischen der beobachteten und effektiv ausgeübten Handlung nachweisen. Ein Drittel der Spiegelneurone reagieren dabei auf ganz bestimmte beobachtete Handlungen und codieren für die genau gleiche motorische Handlung, sie weisen demnach eine strikte Übereinstimmung bezüglich der beobachteten und effektiv ausgeführten Handlung auf. Für nahezu zwei Drittel dieser Neurone gilt eine gelockerte, d.h. eine weitgehende Übereinstimmung.

Neueste Studien zeigen, dass bei Experimenten, bei denen das Objekt (nach Präsentation einer vollständig für den Affen sichtbaren Handlung) durch einen Schirm verdeckt wurde, ein Großteil der Spiegelneurone nahezu unverändert reagierten. Der fehlende visuelle Reiz für die Aktivierung der Spiegelneurone kommt vermutlich in diesem Fall aus der Vorstellung des Affen heraus, dass ein Objekt ergriffen wird. Der Affe kann also auch das „verstehen“, was er nicht sieht, wenn es eine für ihn logische Folge ist.

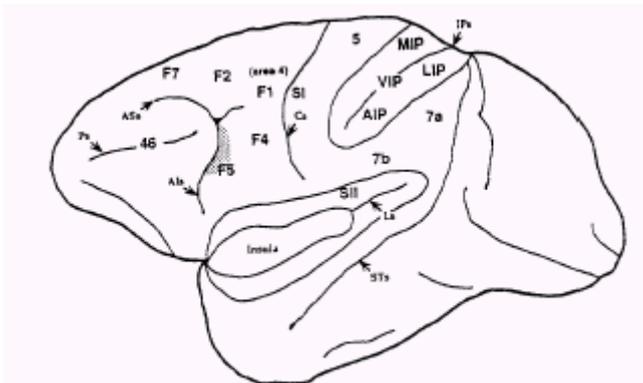
Überraschendes zeigte sich auch bei der Untersuchung der Spiegelneurone, die auf ingestive (Kauen oder Saugen) und kommunikative (Lippen schmolten oder Schmatzen) Mundbewegungen reagieren.

Im Unterschied zu allen anderen bisher untersuchten Spiegelneuronen, reagierten kommunikative Mund- Spiegelneurone ohne Bezug auf ein Objekt.

Momentan gibt es zwei Haupthypothesen, die sich vermutlich überschneiden oder ergänzen, wozu Spiegelneurone dienen.

Erstens sollen sie zur Imitation anregen und stellen somit einen Lerneffekt dar.

Zweitens können Spiegelneurone das Verständnis für Handlungen anderer fördern.



Area F5 bei Makaken (Seitenansicht der linken Großhirnhemisphäre)

Unterteilung der visuo-motorischen Neurone in F5:

Kanonische Neurone

Kanonische Neurone werden aktiv beim Anblick von dreidimensionalen (greifbaren) Gegenständen. Und zwar werden die Neuronen stimuliert, die in Größe und Form zu den Handbewegungen passen, die von diesen Neuronen gesteuert werden. Ebenfalls aktiv beim Ausführen von Handlungen.

Spiegelneurone

Spiegelneurone werden aktiv, wenn eine Mund- oder Handbewegung (mit Objekten) ausgeführt wird, aber auch, wenn dieselbe oder eine ähnliche Handbewegung an einem anderen Individuum beobachtet wird.

Spiegelneuronen wurden bisher nur im F5-Bereich eindeutig nachgewiesen.

Spiegelneuronähnliche Neurone (mirror-like neurons)

Diese Neurone sind nur aktiv bei der Beobachtung, aber nicht bei der Ausführung einer Handlung.

Die „Hand-Spiegelneurone“ sind anatomisch vorwiegend im dorsalen Teil der Area F5 lokalisiert, die „Mund-Spiegelneurone“ hingegen vorwiegend im ventralen Teil.

Eigenschaften von „Hand-Spiegelneuronen“:

Spiegelneurone wurden zuerst Mitte der 1990er von einer Arbeitsgruppe um Vittorio Gallese und Giacomo Rizzolatti an der Universität Parma untersucht.

Dabei ließen sich verschiedene Typen unterscheiden:

1. Grasping neurons: Aktiv beim Ergreifen von Objekten
2. Placing neurons: Aktiv beim Ablegen von Objekten
3. Manipulating neurons: Aktiv beim Berühren oder Verschieben von Objekten
4. Hands interaction neurons: Aktiv beim Wechseln von Gegenständen von einer in die andere Hand
5. Holding neurons: Aktiv beim Halten eines Gegenstandes

Zudem zeigte sich zwischen der beobachteten und effektiv ausgeführten Handlung eine Übereinstimmung, die sich folgendermaßen einteilen lässt.

Eine strikte Übereinstimmung bei einer spezifischen Handlung zeigten 31.5% der untersuchten Neurone. Z.B. bei präzisiertem Greifen eines Gegenstandes mit Zeigefinger und Daumen, wenn beobachtet und ausgeführt.

Eine weitgehende Übereinstimmung zeigten die Mehrheit aller Neurone mit einem Anteil von 60,9%. Diese lassen sich in drei Untertypen einteilen:

1. Spezifisch aktiviert bei der Ausführung einer einzigen Bewegung (z.B. präzises Greifen), aber aktiviert bei der Beobachtung von unterschiedlichen Greifbewegungen.
2. Bei der Ausführung einer Bewegung aktiviert (z.B. Greifen), aber aktiviert bei der Beobachtung von unterschiedlichen Handlungen (z.B. Greifen und Bearbeiten).
3. Aktiviert durch aktives Greifen mit der Hand und aktiviert beim Beobachten von Greifen, egal ob mit Hand oder Mund.

Bei 7,6% aller Spiegelneurone zeigte sich keine erkennbare Korrelation zwischen Handeln und Beobachten von bestimmten Tätigkeiten.

Präferenz einer bestimmten Hand:

Mehr als ein Drittel der Neuronen, unabhängig ob Spiegelneurone oder Spiegelneuronähnliche zeigten eine Abhängigkeit der Reaktion von der verwendeten Hand bei der beobachteten Handlung.

Fast 20% reagierten stärker, wenn die benutzte Hand der gemessenen Hirnhemisphäre entspricht, z.B. die rechte Hand bei Ableitung der rechten Hemisphäre
Solche Unterschiede zeigen sich auch, wenn das Tier selbst mit rechts oder links handelt.

Richtungsabhängigkeit:

Es zeichneten sich Unterschiede bei der Reaktion von Spiegelneuronen bezüglich der Richtung der beobachteten Bewegungen gibt. In 83% der Fälle fand die stärkere Reaktion der Neuronen in der Hemisphäre statt, in deren Richtung die Handlung ausgeführt wurde, d.h. von rechts nach links bei Zellableitungen in der linken Hemisphäre.

Mögliche Erklärung:

Die Neuronen können Richtungen unterscheiden oder die räumliche Anordnung von Hand zu Arm wird während der Bewegung registriert.

Untersuchung von „Mund-Spiegelneuronen“:

Die gleiche Arbeitsgruppe veröffentlichte im Jahr 2003 Untersuchungen zu „Mund-Spiegelneuronen“.

Dabei zeigte sich, dass 85% aller untersuchten Neurone „ingestive Mund-Spiegelneurone“ sind, d.h. die reagieren auf Beobachtung und Ausführung von Mundbewegungen wie Greifen nach Objekten (Essen), Kauen und Saugen.

15% der Neurone reagierten bei kommunikativen Bewegungen wie Schmatzen, Zunge herausstrecken oder Lippen schmolten.

Die „ingestiven Mund-Spiegelneurone“ zeigten ein sehr ähnliches Verhalten wie die „Hand-Spiegelneurone“ bezüglich der strikten und weitgehenden Übereinstimmung von beobachteter und effektiv ausgeführter Handlung.

Im Unterschied zu allen anderen bisher untersuchten Spiegelneuronen reagierten „kommunikative Spiegelneurone“ hingegen auf Bewegungen ohne Bezug auf ein Objekt. Denkbar wäre, dass der Affe sich dabei eine Handlung mit einem Objekt vorstellt (z. B. Zunge herausstrecken → an etwas Lecken). Dagegen spricht allerdings, dass die „kommunikativen“ Spiegelneuronen nicht auf beobachtete ingestive Mundreize (mit Objekt) reagieren.

Untersuchungen zu Handbewegungen mit Objekten, welche die Affen teilweise nicht sehen konnten:

2001 veröffentlichten Umlita et al. eine Arbeit unter dem Titel: „I know what you are doing“.

Experimentaufbau:

Makaken wurde eine Handlung, d.h. das Ergreifen eines Gegenstandes zunächst ganz gezeigt → „Full Vision Condition“.

Als nächstes wurde die gleiche Handlung durchgeführt, das eigentlich Ergreifen des Objekts aber durch einen Wandschirm für den Affen unsichtbar gemacht → „Hidden Condition“
Zwei weitere anschließende Versuche fanden unter den gleichen Bedingungen statt, allerdings ohne Objekt, d.h. das Ergreifen wurde also gemimt.

Ergebnisse:

37 Spiegelneuronen wurden bei zwei Makaken untersucht.

Von den 37 untersuchten Spiegelneuronen reagierten 19 auch bei der „Hidden Condition“.

Bei 7 der 19 reagierenden Neuronen gab es keine signifikanten Unterschiede zur vollständig ausgeführten Handlung.

Bei 9 war die Reaktion in der „Full Vision Condition“ stärker, bei einem Neuron in der „Hidden Condition“.

Zwei Neurone verhielten sich ambivalent.

Bei einer statistischen Untersuchung der beiden Zellpopulation zeigte sich, dass die neuronale Aktivität der „Hidden Condition Neurone“ außer in der Frühphase der Bewegung etwas geringer war.

Die Spiegelneurone reagierten nicht auf die gemimten Handlungen.

Schlussfolgerung:

Der Affe weiß, nach Ansicht der „Full Vision Condition“, dass das Objekt da ist, und die Spiegelneuronen reagieren z. T. auch wenn er das Ergreifen des Gegenstandes nicht sehen kann.

Der fehlende „visuelle“ Reiz für die Aktivierung der Spiegelneuronen könnte in diesem Fall aus der Vorstellung des Affen heraus kommen, dass ein Objekt ergriffen wird. Der Affe könnte also das „verstehen“, das er nicht sieht, wenn es eine für ihn logische Folge. Es scheint daher nicht unbedingt nötig eine Handlung vollständig zu beobachten, um die Handlung bzw. das Ziel der Handlung zu verstehen.

Wozu dienen Spiegelneurone?

Zwei Haupthypothesen:

1. Sie sollen zur Imitation anregen (Lerneffekt).

Spiegelneuronen „beobachten“ Handlungen und können sie gleichzeitig mit einer Art „Bewegungsvokabular“, das im F5-Bereich gespeichert ist, abgleichen, das die anschließende Nachahmung erleichtert. Die Beobachtung wird also in eigene Bewegung „übersetzt“.

2. Sie fördern das Verständnis für Handlungen anderer.

Da eine Verbindung zwischen Handeln (Bewegungsmuster) und den Folgen des Handelns (Zielsetzung, Bedeutung) besteht, könnten Spiegelneurone diese Assoziationen auf andere Individuen übertragen, indem das Beobachtete im Kopf als Bewegung „nachgespielt“ wird. Damit könnten die Folgen des Handelns des Anderen nachvollzogen werden, das zum Verständnis beiträgt.

Literatur:

Gallese V, Fadiga L, Fogassi L, Rizzolatti G. 1996. Action recognition in the premotor cortex. *Brain* 119:593–609.

Rizzolatti G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V. 1996. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cogn. Brain Res.* 3:131–41.

Umiltà MA, Kohler E, Gallese V, Fogassi L, Fadiga L, et al. 2001. “I know what you are doing”: a neurophysiological study. *Neuron* 32:91–101.

Ferrari PF, Gallese V, Rizzolatti G, Fogassi L, et al. 2003. Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *European Journal of Neuroscience* 17:1703–41.

Mirror Neuron System in Human: action recognition or action understanding ? (Part I)

Carine Ciceron

Introduction

In human, single cell recording is of course impossible. So the identification of a mirror system and its localization relies on the identification of brain areas which are activated during the observation and during the execution of the same action thanks to brain imaging techniques, and on homologies with monkeys. Such activations have been found in the premotor cortex including Broca's area and in the inferior parietal lobe. Broca's area is thought to be the functional homologue of area F5 in monkeys. Three articles will be presented here, which show different properties of the mirror system, its implications in perception of complex actions and in imitation, some similarities and differences with the mirror system of monkeys, and it will be discussed how these properties support the hypothesis of a role of the mirror system in action recognition and action understanding. In particular, Byrne's hypothesis may account for implication of the mirror system in observation of actions that are not previously present in the motor repertoire of the observer: it assumes that such a complex action is decomposed into a string of simpler acts that are already in the observer's repertoire and thus allow a direct matching with the observed action.

Top-down Effect of Strategy on the Perception of Human Biological Motion: a PET Investigation (Grèzes J., Costes N.)

Experimental procedure: subjects were required to observe meaningful and meaningless actions, without any explicit instruction in a first session and with the aim of imitate them later in a second session. Meaningful actions were pantomimes of transitive acts (movement directed towards an object, for instance opening a bottle, hammering a nail...), meaningless actions were derived from the American Sign Language. All actions mainly involved the right hand. A control condition consisting in the observation of stationary hands was subtracted from the studied condition in order to identify the areas specifically activated by the studied condition.

The aim of the study was to investigate the effect of the nature of the action (meaningful/meaningless) and the effect of the goal of the observation on the visual information processing.

Results and discussion: Some areas known to be part of the mirror system were activated in all conditions (meaningful and meaningless action, with or without a goal), namely areas of the premotor cortex, and the inferior parietal lobule. Moreover, the left primary motor cortex was activated within the representation of hand area during observation without any purpose. As this area is of course activated during hand actions, this shows that it is also part of the mirror system. Contrary to the mirror system of monkeys, it seems that the mirror system of humans responds to non-object-related actions (pantomimes), and to intransitive meaningless actions.

It also turned out that different networks are involved in visual information processing depending on the nature of the observed action, when observation has no goal: meaningful actions mainly involve the ventral visual pathway (known to be implicated in processing of object features, recognition and categorisation) and the left inferior frontal gyrus (Broca's area). It is thus interpreted: the analysis of visual features of the stimuli leads to a semantic representation of the action (subjects maybe recognized the objects involved), and the activation of Broca's area may account for a silent verbalisation. But Broca's area also contains a representation of the hand, and thus could be implicated in action recognition thanks to its mirror properties. On the other hand, meaningless actions involve the dorsal visual pathway, known to be involved in localisation of objects, analysis of the spatiotemporal characteristics of movements (direction and kinematics) and in visuomotor transformations. As no understanding is possible, the stimulus processing would be limited to a fine analysis

of hand movements. But when the aim of the observation is to imitate, both meaningful and meaningless actions involve only the dorsal pathway, extending to the premotor cortex. This shows that imitation does not require semantic integration. The activation of the mirror system therefore does not seem to require understanding of actions, or even the recognition of an action previously performed. This could be explained thanks to Byrne's hypothesis: the decomposition of the action into a sequence of simple motor acts would allow the elaboration of a mental representation of the gestures. The activation of areas implicated in action planning (dorsal lateral premotor cortex, supplementary motor area) during observation for imitation is consistent with this hypothesis.

The Human Premotor Cortex is “Mirror” Only for Biological Actions (Tai Y. F. & al.)

Experimental procedure: subjects were required to observe object-related grasping actions performed either by a human model or by a robot model. The response of the premotor cortex was recorded thanks to PET scans. For the analysis, the human action condition was contrasted with the observation of a static human, the robot action condition with the observation of a static robot, altogether with the to-be-grasped object.

The aim of this experiment was to study the response of the mirror system in a similar condition to that studied by Rizzolatti & al. in monkeys with the experimenter using a tool, in order to see whether the mirror system of humans is also biologically tuned. So as to make the two experiments as close as possible, the robot was activated by a visible agent pressing a button.

Results and discussion: a significant activation was elicited in the left ventral premotor cortex during the observation of the grasping human, but not during the observation of the grasping robot. It therefore appears that in humans as in monkeys the mirror property of the premotor cortex is specific for biological actions. A first hypothesis was suggested to explain this specificity in monkeys: the activation of the mirror system reflects a matching between the observed action and its internal motor command, but monkeys do not use tools and so do not have a motor command for an action performed with a tool in their behavioural repertoire. As a consequence, the monkey would be unable to interpret the action of the tool as a grasping one. But is the same argument valid for humans who are familiar with using tools and interpreting robotic movement? A possible explanation is that the kinematic pattern of the robotic movement is too different from that of a human movement to be recognized as a natural grasping pattern.

Anyway, it seems that the direct matching of the observed action on the observer's motor representation can occur only when this action is performed by a biological model. Some other observations could be interpreted in the light of this result: infants are more likely to reproduce movements performed by a human model than by a mechanical device, and people can imitate more rapidly actions performed by a human than by a robot. This supports the hypothesis of a role of the mirror system in “response facilitation” (the automatic tendency to imitate).

As it is unlikely that subjects did not understand the aim of the action performed by the robot (or did not recognize it as a grasping action), it seems that activation of the mirror system is independent of the understanding. One thus has to assume the existence of two different kinds of “recognition”: a recognition involving a direct matching through the mirror system, and an “intellectual” or “cognitive” one, which does not involve the mirror system.

Neural Circuits Underlying Imitation Learning of Hand Actions: An Event-Related fMRI Study (Buccino & al.)

Experimental procedure: Musically naive subjects were required to observe carefully guitar chords played by a guitarist and to imitate them. Subjects were scanned during observation of the model, preparation of the imitation and execution of the chord.

Results and discussion: A strong activation of the mirror circuit (inferior parietal lobule, posterior part of the inferior frontal gyrus and ventral premotor cortex) was found during all

phases from action observation to action execution. It appears to represent the circuit that “translates” the observed actions into their motor representations. But the subjects had never performed the observed actions before the experiment, and so they probably did not have any motor representation of these actions. A possible explanation is the one already mentioned: mirror neurons resonate in response to the elementary motor acts that formed the observed action and that are already present in the observer’s repertoire. These elementary motor acts would be then reorganized into a new motor sequence corresponding to the observed action. The area 46 of the prefrontal lobe, also found to be activated here and supposed to be involved in selection of appropriated motor acts could be responsible for this reorganization.

Conclusion

The mirror system is not only implicated in observation of actions, but also in imitation of familiar actions and imitation learning. As in monkeys, the mirror system of humans appears to respond specifically to biological actions, but it also shows properties that lack in monkeys: it is activated by the observation of intransitive actions and action pantomimes.

Its activation could be interpreted the following way: the subject recognizes the observed action as corresponding to an action already present in his motor repertoire.

The direct matching between an observed action and its motor representation is thought to play a role in action understanding, but the mirror system can also be activated without understanding (in the case of meaningless actions) and understanding can occur without activation of the mirror system (in the case of an action performed by a mechanical device). Would it mean that two different mechanisms exist for understanding: one for biological actions and one for the others?

Geräusche hören, Handlungen sehen: Spiegelneurone als Weg zum Verständnis einer Handlung

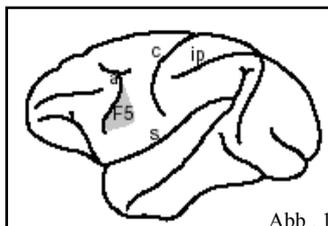
1. Einführung:

Es ist eine Fähigkeit der Menschen die Handlung eines Individuums zu sehen, und daraus nicht nur zu verstehen was er gerade macht, sondern auch seine Vorhaben zu erkennen. Darüber hinaus können die Folgen dieser Handlung registriert und analysiert werden. Auch Tiere besitzen diese Fähigkeit, die beim Überleben in einem Räuber-Beute-Ökosystem eine immense Rolle spielt.

Weiterhin können wir aus bestimmten Geräuschen nicht nur deren Ursache ermitteln, sondern auch weitere Faktoren erkennen, die das „wie“ und „warum“ erklären.

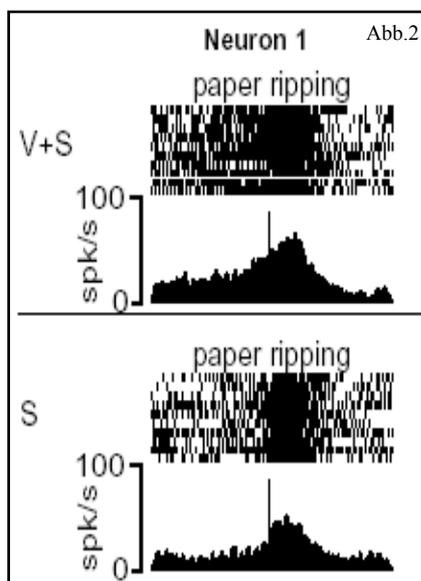
In diesem Referat werden Arbeiten vorgestellt bei denen Spiegelneurone als Brücke zwischen der Wahrnehmung einer biologischen Aktion (Greifen nach Futter, das Knacken einer Nuss) und dem Verstehen dieser Aktion dienen.

2. Hören, Sehen und Verstehen.



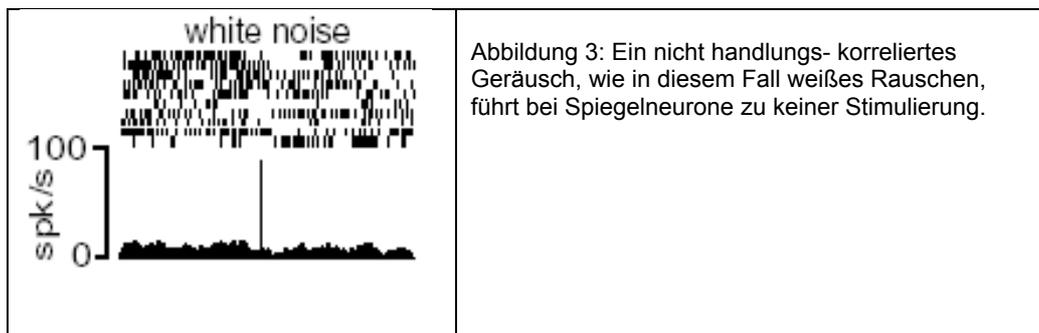
In der Area F5 (homolog zum Broca Areal beim Menschen) des Affen befinden sich Neurone die sowohl dann feuern wenn der Affe eine Handlung beobachtet, als auch wenn er hört wie diese durchgeführt wird.

497 Neurone dieses Areals wurden abgeleitet und ihre motorischen und visuellen Eigenschaften untersucht. Die Messungen ergaben, dass 13% dieser Neurone (=63 Neurone) beim Sehen und Hören der Aktion feuern. Als Beispiel soll die Ableitung von Neuron 1 gezeigt werden (Abb. 2):



Dieses Neuron feuert wenn der Experimentator ein Blatt Papier zerreißt (obere Messung, V+S) und auch wenn er diese Aktion zwar hört aber nicht sieht (untere Messung, V).

Eine wichtige Eigenschaft dieser Neurone ist dass das Geräusch mit einer Handlung in Verbindung gebracht werden muss. So feuert nämlich Neuron 1 nicht wenn der Affe weißes Rauschen zu hören bekommt (Abb.3). Diese Tatsache lässt vermuten, dass die Spiegelneurone beim Verstehen einer Aktion eine wichtige Rolle spielen.



Nachdem nachgewiesen werden konnte, dass Neurone des F5 Areals auf handlungskorrelierte auditorische Stimuli reagieren, wurden Experimente durchgeführt, bei denen das Versuchstier eine Aktion sah und hörte, nur sah, nur hörte und selbst durchführte. Die Aktionen konnten handlungskorreliert oder handlungunkorreliert sein.

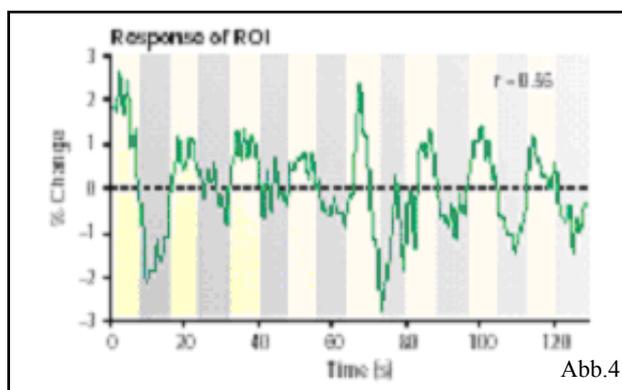
33 Neurone wurden abgeleitet mit folgenden Ergebnissen:

- 29 Neurone zeigten auditorische Selektivität; von diesen waren 22 auch visuell selektiv.
- 3 Neurone waren visuell unselektiv.
- 4 zeigten kaum visuelle Erregung.

Area F5 beherbergt also Neurone, audio-visuelle Spiegelneurone, die sowohl beim Sehen als auch beim Hören einer Handlung feuern. Sie feuern vor allem bei zielgerichteten Handlungen. Diese Tatsache führt zur Vermutung, dass sie zum Verständnis von Durchführungen benötigt werden.

2. Von der Wahrnehmung zum Verstand.

Wie schon erwähnt werden bei Tieren Neurone bestimmter Gehirnareale erregt, wenn sie handlungskorrelierte Bewegungsabläufe zu sehen bekommen. Bildgebende Verfahren erlaubten die Durchführung ähnlicher Versuche beim Menschen.



fMRI Studien (Abb. 4) konnten zeigen, dass Neurone im superioren temporalen Sulcus erregt werden, wenn die Testperson natürliche Handlungsabläufe zu sehen bekam (helle Balken). Im Gegensatz dazu zeigten diese Neurone kaum Erregung, wenn ein zufälliges Bewegungsmuster gezeigt wurde.

Weitere Studien konnten zeigen, dass

im medialen temporalen visuellen Areal und im medialen superioren temporalen Areal einer Versuchsperson Neurone erregt werden, wenn diese Person Bilder betrachtet auf denen eine dynamische Handlung dargestellt ist. Diese Neurone bleiben unerregt wenn das Bild eine passive Handlung zeigt.

3. Zusammenfassung.

Neuropsychologische und neurophysiologische Versuche konnten nachweisen, dass das Gehirn in der Lage ist natürliche Bewegungen zu erkennen, um daraus die Folgen dieser Handlung zu bewerten.

Literatur:

Rizzolatti et al. (2002) Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Review Neuroscience* 2: 661-670.

Köhler et al. (2002) Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons. *Science* 297: 846-8

Blakemore & Decety (2001) From the perception of action to the understanding of intention. *Nature Review Neuroscience* 2: 561-567

Kandel, Schwartz, Jessell, (eds.) *Neurowissenschaften* Spektrum Verlag, 1996.

Somatotopische Repräsentation von Verben im menschlichen Kortex

Nadine Ariane Hoffmann

Sprache und Gehirn:

- frühere Annahme Sprachverarbeitung beschränkt auf spezialisierte, separate Zentren: auditorischer Cortex (Reizaufnahme), Wernicke-Areal (sensorisches Sprachzentrum, Sprachverständnis), Broca Areal (motorisches Sprachzentrum), motorischer Cortex (Sprechen)
- linkshemisphärische Dominanz
- Hebb'sches Modell der Zellverbände (1949): „What fires together that wires together“
- Lernen: Übertragung neuronaler Korrelation auf Verbindungsstärke
- dynamische Sprachverarbeitung, je nach Wort-Bezugnahme
- neuronale Zellverbände mit unterschiedlichen kortikalen Topographien bilden biologisches Pendant zur Wortbedeutung
- kortikale Abbildung von Nomen & Verben in extra-perisylvischen Regionen (Modell): „vision words“ (okzipitaler und temporaler visueller Kortex) und „action words“ (anteriore Regionen: primärer Motorkortex, prämotorischer und präfrontaler Kortex)
- Verben unterteilbar nach Assoziationen mit (handlungsausführenden) Körperteilen
- erwartet: Verarbeitung von Verben gemäß Homunculus Motorkortex: Repräsentation Gesicht, Arme, Beine getrennt und somatotopisch organisiert im motorischen und prämotorischen Kortex
- Lösen Verben frontale Gehirnaktivitätsmuster entsprechend ihrem Körperbezug aus?

gemeinsame Studien von Olaf Hauk und Friedemann Pulvermüller, Cambridge 2004:

I) fMRI-Studie:

- funktionelle Magnetresonanztomographie; gute räumliche, aber relativ schlechte zeitliche Auflösung
- passives Lesen von Verben, die mit verschiedenen Körperteilen assoziiert werden (Unterteilung in Subkategorien: Gesichts-, Arm-, und Fuß-Wörter, z.B. lick, pick, kick)
- anschließend individuelle Lokalisierung des Motorkortex in Bewegungsversuchen
- Ergebnisse (Abb.1):
- A) Bewegung: klare somatotopische Unterteilung Motorkortex und somatosensorischer Kortex gemäß Homunculus: Zunge: inferior-frontal, Finger: dorsolateral, Fuß: dorsomedial
- B) Verben: Lesen alleine ruft somatotopische Aktivität im Motorkortex hervor; alle Verbtypen: linkshemisphärisch inferior-temporal und -frontal (Wernicke- und Broca-Areal);
Gesichtswörter: inferior-frontale prämotorische Areale, bilateral
Armwörter: dorsal der Gesichtswörter-Areale; bilateral im mittleren frontalen Gyrus und linkshemisphärisch im präzentralen Gyrus des Motorkortex
Beinwörter: dorsale Areale prämotorischer Kortex und prä- und postzentrale Gyri
- körperteilspezifische Aktivierung im primären Motorkortex durch Arm- und Bein-Wörter, im prämotorischen Kortex durch Arm- und Gesichtswörter
- überlappende Gehirnaktivitäten hervorgerufen durch Arm- und Bein-Wörter und korrelierende Finger- und Fuß-Bewegung, aber nicht durch Gesichtswörter und Zungenbewegung

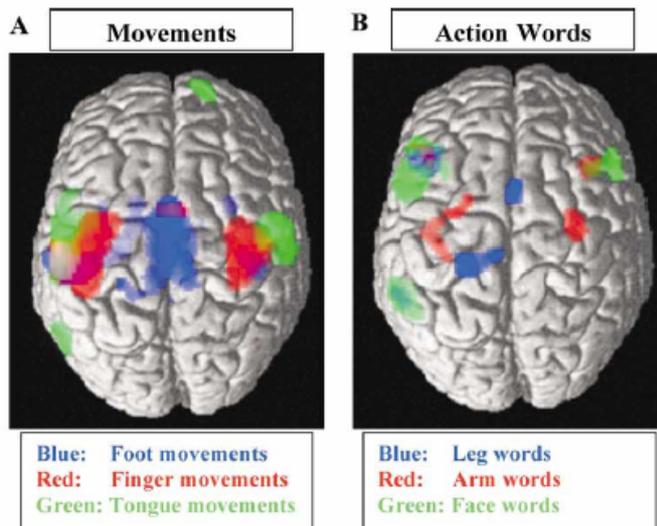


Abb.1: Ergebnisse fMRI-Studie

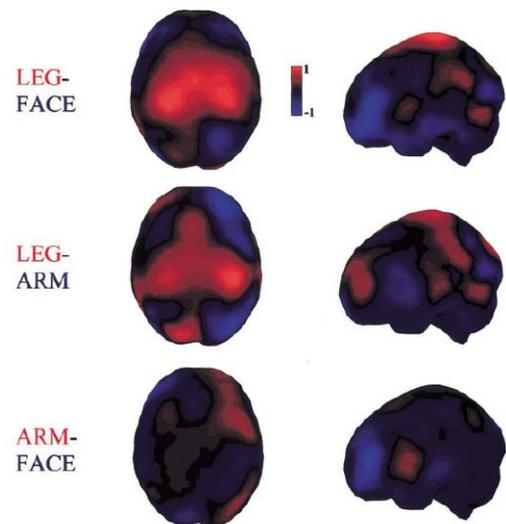


Abb.2: Ergebnisse EEG-Studie

II) EEG-Studie:

- elektrophysiologische, nicht-invasive Ableitung; gute zeitliche, aber relativ schlechte räumliche Auflösung
- nahezu identische Versuchsdurchführung
- Gehirnaktivität in frontal-zentralen Bereichen nur ca. 220ms nach Lesen des Wortes, daher untersuchtes Zeitfenster 210-230ms für spezifische semantische Prozesse
- Ergebnisse (Abb.2):

Vergleich der Gehirnaktivitätsmuster unterschiedlicher Verbkategorien (Subtraktion):

- somatotopische Organisation: Bein-Wörter rufen dorsale fronto-zentrale Aktivität hervor, Arm- und Gesichts-Wörter hingegen inferio-frontale Aktivität. starke rechtshemisphärische präfrontale Aktivierung durch Arm-Wörter, evl. erklärbar durch Bezug auf komplexe Aktionen, z.B. knit oder draw, die dort geplant werden

Fazit:

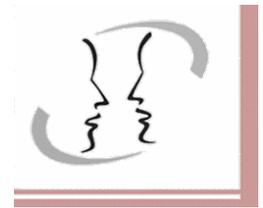
Bestätigung anfänglicher Hypothese (ähnliche Befunde fMRI- und EEG-Studie):

- Es gibt kein einheitliches Sprachzentrum, sondern dynamische Wortverarbeitung in spezifischen Zellverbänden mit kortikalen Topographien entsprechend Wortbedeutung.
- Der assoziative Inhalt von Verben korreliert mit der somatotopischen Aktivität im motorischen und prämotorischen Kortex.
- Das durch passives Lesen von Verben hervorgerufene Aktivitätsmuster reflektiert die kortikale Repräsentation der damit verbundenen Handlung:
multimodale Spiegelneuronen als mögliche Erklärung für Überlappung

Hauk et al. (2004) Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron* 41: 301-7

Hauk & Pulvermüller (2004) Neurophysiological distinction of action words in the fronto-central cortex. *Human Brain Mapping* 12: 191-201

Pulvermüller et al. (1999) Nouns and verbs in the intact brain: evidence from event-related potentials and high-frequency cortical response. *Cerebral Cortex* 9: 497-506



Von Bewegung zu Sprache: die Entstehung der aktiven Kommunikation

Schon immer stellte sich dem Menschen die Frage, wie seine Sprache entstanden ist. Was ist passiert zwischen dem unkommunikativen Primaten, aus dem sich der Mensch entwickelte und dem heutigen Menschen, der ohne seine Sprache nicht mehr auskommt?

Es gibt unter Wissenschaftlern die These, dass sich die menschliche Sprache aus Gesten entwickelt hat. Sie gehen dabei von folgendem Szenario aus:

Einst gab es natürlich gar keine Verständigung zwischen den Individuen, jedoch ist jeder, der in irgendeiner Weise agiert, auch ein Sender von Information, sei es auch unbewusst und unfreiwillig. So sagte Paul Watzlawick¹: „Es ist unmöglich nicht zu kommunizieren.“ Das führt dazu, dass jeder, der zum Beispiel einen Apfel isst, unfreiwillig zum Sender der Information „Apfel essen“ wird. Dieses Phänomen wird als „ungewollte Kommunikation“ bezeichnet. Damit Kommunikation zustande kommt, müssen jedoch verschiedene Voraussetzungen erfüllt werden. Sie kann nur stattfinden, wenn zwei oder mehr Individuen an ihr beteiligt sind (Sender und Empfänger) und wichtig ist natürlich auch, dass der Empfänger die Message des Senders versteht. An dieser Stelle kommen die Spiegelneurone („mirror neurons“) ins Spiel. Spiegelneurone im motorischen Kortex feuern nicht nur wenn eine bestimmte Bewegung ausgeführt wird, sondern auch wenn eine spezifische Bewegung beobachtet wird. Durch diese interne Imitation der Bewegung kann diese dann auch verstanden werden. Im Klartext: sieht der Empfänger z.B. wie sein Gegenüber einen Apfel vom Boden aufhebt, so feuern seine Spiegelneurone so, als wenn der Empfänger diese Bewegung selber ausführen würde. Da die neuronalen Muster von selbst ausgeführter und beobachteter Bewegung gleich sind, kann er verstehen, dass der andere gerade einen Apfel aufhebt. Rizzolatti und Arbib stellten fest, dass es verschiedene Arten von Neuronen gibt, die für verschiedene Bewegungen kodieren: greifen mit der Hand, halten, zerrn und die bereits erwähnten Spiegelneurone. Spiegelneurone sind NICHT für die Objektpräsentation, sondern für bestimmte beobachtete Aktionen zuständig. Manche dieser Spiegelneurone sind sehr spezifisch, so dass sie nur feuern, wenn eine bestimmte Bewegung auf eine spezifische Weise ausgeführt wird. Zum Beispiel feuert das Neuron nur wenn das Objekt mit Daumen und Zeigefinger gegriffen wird aber nicht wenn das Objekt mit einer Zange angehoben wird. Spiegelneurone zeigen eine visuelle Generalisierung, das heißt es ist ihnen egal, ob der Sender der Information nah oder fern vom Betrachter ist. Am meisten repräsentiert sind Spiegelneurone für greifen, manipulieren, zerrn und auf einen Teller legen. Wie bereits erwähnt ist die Funktion der Spiegelneurone das Verstehen und Imitieren von Bewegung. Sie bilden damit den Link zwischen Sender und Empfänger, was eine Voraussetzung für Kommunikation ist! Doch wie gelang es, dass sich aus dieser ungewollten Kommunikation eine echte Kommunikation² entwickelte? So besteht doch eine recht große Kluft zwischen der reinen Aktionserkennung und dem Senden von absichtlichen Signalen. Wie gesagt sind die Spiegelneurone für Verstehen

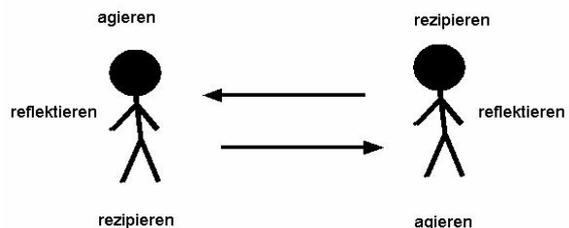


Abbildung 1: Kommunikation

¹ P. Watzlawick war Professor für Psychotherapie und Entwickelte die Kommunikationstheorie, zu deren Axiomen u.a. oben genannter Satz gehört.

² Definition Kommunikation: „In der Biologie versteht man unter Kommunikation bestimmte Formen der Übertragung von Informationen zwischen lebenden Einheiten. Ein solcher Informationsaustausch ist Grundlage aller Lebensgemeinschaften, angefangen von Zellverbänden bis hin zu sozialen Systemen im Tierreich. Wir sprechen immer dann von Kommunikation, wenn der Informationsübertragung ein Abkommen zwischen zwei biologischen Einheiten zugrunde liegt: Botschaften in Form von Signalen gehen von einem Sender aus und werden von einem Empfänger wahrgenommen. Bei der Übermittlung ist jedoch der bloße Empfang der Botschaft nicht das Wichtigste. Wesentlich ist vielmehr, dass im Empfänger nach Erhalt der Nachricht eine Veränderung stattfindet, die sich auf physiologischer Ebene oder im Verhalten ausdrückt, und mit oder ohne Rückmeldung des Empfängers zum Sender ablaufen kann.“

und innerliche Imitation zuständig. Normalerweise haben wir Kontrolle über unser Spiegelsystem, so dass die Nachahmung des Beobachteten und aber auch eine verfrühte Bewegungsinitiierung verhindert wird. Manchmal jedoch funktioniert diese Inhibierung nicht und so kommt es dazu, dass sogenannte Präfixe gesendet werden. Es entsteht ein primitiver Dialog: der Agierende sieht eine Intention im Beobachter und der Beobachter merkt, dass seine unfreiwillige Antwort den Sender beeinflusst. Die Kontrolle des Spiegelsystems wird dadurch enorm wichtig, denn sie bildet den Kern der Sprache!



Abbildung 2:
Mimik

Dieser neue Gebrauch des Spiegelsystems markiert den Beginn von absichtlicher Kommunikation. Doch welche Aktionen wurden dafür genutzt? Waren es Gesten (brachio-manual) oder Mimiken (oro-facial)? Primaten nutzen oro-faciale Bewegungen zur Kommunikation, Gesten haben bei ihnen keine Bedeutung. Somit können wir davon ausgehen, dass auch unsere Sprache einen oro-facialen Ursprung hat. Laute haben zu diesem Zeitpunkt der aktiven Kommunikation nur emotionale Bedeutung. Sie werden nur zur Verdeutlichung von Mimiken verwendet, wie zum Beispiel lautes Kreischen bei Angst.

Die Mimische Kapazität spielt eine zentrale Rolle in der Kultur des Menschen, zum Beispiel bei Tänzen, Spielen und anderen Ritualen. Die Evolution dieser Kapazität war der Vorläufer der Evolution der Sprache. Unsere heutige Sprache kann sich jedoch nicht direkt aus diesem Stadium heraus entwickelt haben. Der Nachteil der oro-facialen Kommunikation ist es nämlich, dass sie auf eine Anzahl von zwei Teilnehmern beschränkt ist. Werden Mimiken jedoch durch Gesten



Abbildung 3: Geste

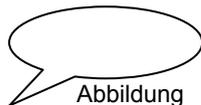


Abbildung
4: Sprache

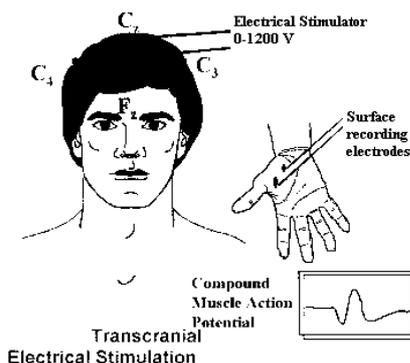
ergänzt, ergibt sich ein viel größeres Spektrum an Möglichkeiten. So kann nun zum Beispiel durch Deuten die Position eines Dritten vermittelt werden. Die Vokalisation war zuerst nur ein Zusatz zu den Gesten, jedoch gewann sie mit Laufe der Zeit immer mehr Bedeutung, während die Gesten an ihrer verloren.

Schön und gut, doch wie lässt sich diese wunderbare Theorie nun mit der Praxis verbinden? Passt sie überhaupt zu den Funden in unserem Gehirn? Wenn diese Theorie zutrifft, dann müsste unsere Sprache im motorischen Kortex entstanden sein, da dieser die für die Kommunikation so wichtigen Spiegelneurone enthält. Doch lässt sich dies mit unserem Sprachzentrum, der Broca-Area vereinbaren? Die meisten Autoren gehen davon aus, dass es sich bei dem motorischen Zentrum F5 in Affen und der Broca-Area des Menschen um Homologe handelt. Hinweise dafür gibt es einige. So sind sich diese beiden Areale cytoarchitektonisch sehr ähnlich und sie gehören beide zur unteren Area 6. Viel wichtiger aber ist, dass ein Teil von F5 Mund- und Kehlkopfbewegungen repräsentiert und die motorischen Eigenschaften der Broca-Area beschränken sich nicht nur auf die Sprache, sondern werden auch aktiv, wenn Hand- oder Armbewegungen ausgeführt werden.

Bisherige Arbeiten über Spiegelneurone gingen immer vom motorischen Kortex F5 des Affen aus. Damit sich beim Menschen Sprache in oben beschriebener Art und Weise entwickeln konnte, muss dieser aber auch über Spiegelneurone verfügen. Fadiga et al. machten ein Experiment, das auf der Messung von MEP's beruht (siehe weiter unten). Sie stellten fest, dass Observationen einer Bewegung eine Erhöhung der motorisch hervorgerufenen

Potentiale aus den theoretische bei der Aktion aktivierten Muskeln herbeiführt. Diese Experimente wurden jedoch nicht wie sonst an Affen, sondern an Menschen durchgeführt. Damit geben diese Funde Hinweise darauf, dass Spiegelneurone sehr wohl im Menschen vorkommen.

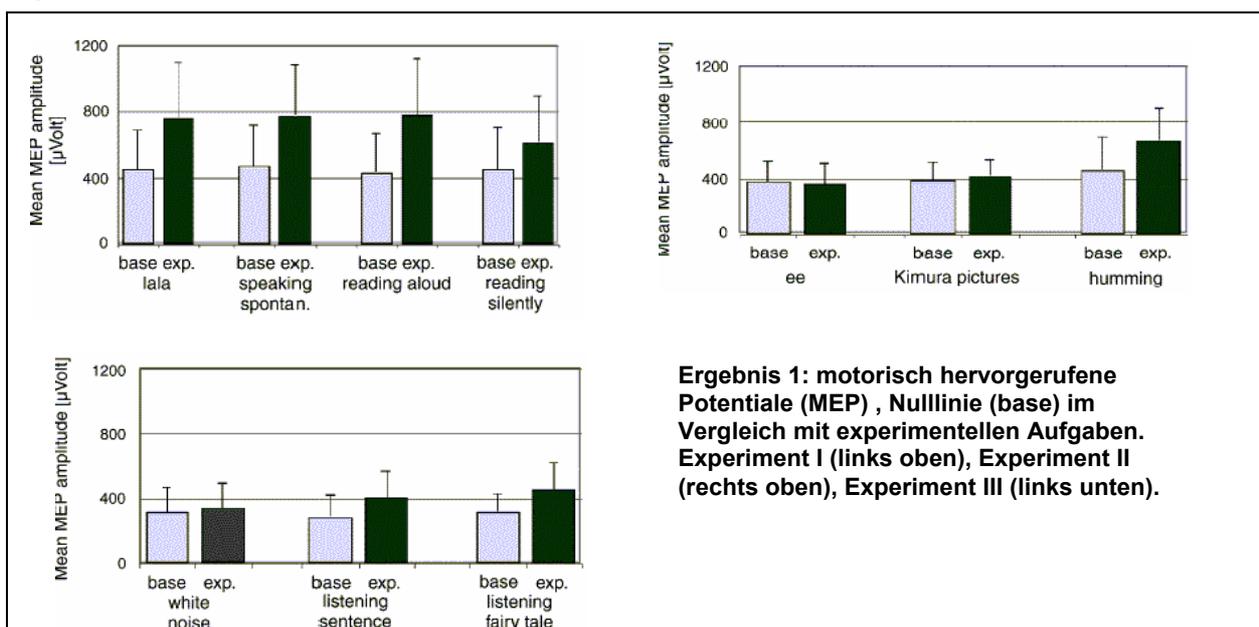
Flöel et al. führten ein weiteres Experiment durch, dass auch auf dieser Methode beruhte. Ihre These war, dass das motorische System im Menschen durch sprachliche Aufgaben aktiviert wird. Dadurch wollten sie einen Link zwischen dem motorischen Cortex und der Broca-Area herstellen. Die Arbeitsgruppe führte drei



Experiment 1: Transcranial Electrical Stimulation

aufeinanderfolgende Experimente durch, in denen sie die kritischen Komponenten isolieren wollten, die das motorische System aktivieren. Sie testeten dabei auf artikulierte Sprache, auditorische, kognitive sowie visuospatiale Aufmerksamkeit. Die Experimente beruhten auf dem Prinzip der Schwellenerniedrigung. Wie oben erwähnt werden durch Spiegelneurone neuronale Muster hervorgerufen, die wie die einer ausgeführten Bewegung sind. Jedoch wird durch eine Schwelle verhindert, dass es zur Ausführung dieser Aktionen kommt. Durch „*Transcranial Electrical Stimulation*“ kann jedoch diese Schwelle, erniedrigt werden, dadurch können Signale durchdringen, die in den jeweiligen Muskeln gemessen werden. Diese Potentiale werden MEP's (motor evoked potentials) genannt. Da die Broca-Area auch bei Handbewegungen aktiv wird, wurde hier auf die kortikale Erregbarkeit der Handmuskeln getestet. Im ersten Experiment wurde untersucht wie Händigkeit und Hemisphärische Dominanz die Aktivierung durch gesprochene Sprache und durch sprachverwandte Aufgaben beeinflusst wird. Es sollte also geschaut werden, ob die Motor-Kortex Erregung auf die Seite der Sprachdominierten oder auf die Handdominierte Hemisphäre begrenzt ist. Versuchspersonen waren hier Rechtshänder mit linker oder rechter Sprachdominierter Hemisphäre und Linkshänder deren linke oder rechte Hemisphäre dominiert war. Die Aufgaben waren hier: laut vorlesen, still lesen, spontanes Sprechen und Produktion von Lauten („lala“). Da im ersten Experiment keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stimulationsseiten gefunden werden konnten, sollte das zweite Experiment kontrollieren, ob unspezifische erregende Mechanismen diese bilaterale „Erleichterung“ hervorrufen. Dafür wurden zwei nicht-sprachliche Kontrollaufgaben erstellt. Die Versuchspersonen mussten nonverbale abstrakte Strukturen erinnern („Kimura pictures“) und Wortpaare („ee“) finden. Zusätzlich wurden noch vier Sprach- oder Sprachähnliche Aufgaben gestellt: summen, lala, still lesen und laut vorlesen. Das dritte Experiment zielte darauf, ob die gesteigerte Erregung während des Sprechens und Lesens nur darauf zurückzuführen ist, das Muskeln, die für die Artikulation zuständig sind durch sprachähnliche Vokale und Subvokale aktiviert werden. Dafür wurden den Versuchspersonen fünf verschiedene Aufgaben gestellt: bekanntes Märchen anhören, kurze einfache Sätze anhören, weißes Rauschen anhören (alle drei sind Wahrnehmungsaufgaben), Märchen laut vorlesen und Märchen still lesen. Die Ergebnisse sind in unten dargestellt (Ergebnis 1).

Zusammenfassend war das Ergebnis der Experimente, dass das motorische System durch pure linguistische Aufnahme aber nicht durch auditorische oder visuospatiale Verarbeitung aktiviert wird. Interessant an ihren Funden war auch, dass die Verarbeitung in beiden Hemisphären gleich ausgeprägt war. Dies unterstützt die Theorie, dass Sprache in einem generellen und bilateralen aktionswahrnehmendem Netzwerk entstanden ist.



Tierlaute und menschliche Sprache sind in verschiedenen Arealen angelegt. Die Laute der Tiere werden in Arealen erzeugt, die Diencephalon, Hirnstamm und cingulären Kortex miteinbeziehen. Die zwei Sprachzentren des Menschen sind die Broca-Area und die Wernicke-Area, die miteinander in Verbindung stehen.

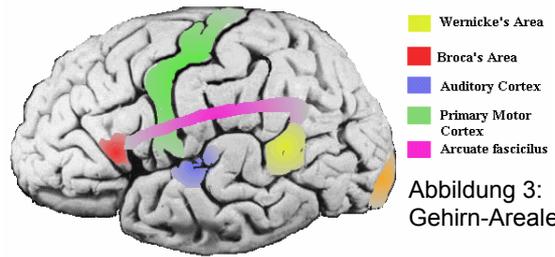


Abbildung 3: Gehirn-Areale

Die These, die nun die Funde in F5 und in Broca zusammenführt ist, dass der evolutionäre Vorläufer von der Broca-Area schon Mechanismen zur Erkennung von Aktionen anderer besaß. Dies ist wie erwähnt eine Voraussetzung für Inter-Individual-Kommunikation und somit für Sprache. F5 und Broca haben die neuronalen Strukturen um oro-laryngeale (Mund-Kehlkopf), oro-faciale (Mund-Gesicht) und brachio-manuale (Arm-Hand) Bewegungen zu kontrollieren und Aktionen zu initiieren und zu observieren. Wichtig ist nun die geschickte Anwendung. Sobald Laute nicht mehr nur emotionale, sondern auch beschreibende Bedeutung bekamen, musste die Kontrolle über sie zunehmen. Schließlich müssen dann bestimmte Laute in gleichen Situationen immer identisch sein. Diese gesteigerte Komplexität führte dazu, dass die Sprache aus dem F5 ähnlichen Vorläufer ausgelagert und in der Broca-Area angesiedelt wurden. Dort konnte sich unsere Sprache dann immer weiter entwickeln. Wie wir sehen konnten, bilden Spiegelneurone dabei den Kern der Sprachentwicklung. So ist es nicht verwunderlich, dass oft zu hören ist, dass die Spiegelneurone das für die Psychologie werden könnten, was die DNA für die Biologie ist...

Referenzen:

Literatur:

- 1) Rizzolatti and Arbib (1998) Language within our grasp. *Trends in Neuroscience* 21: 188-194
- 2) Flöel et al. (2003) Language perception activates the hand motor cortex: implications for motor theories of speech perception. *European Journal of Neuroscience* 18: 704-8

Abbildungen:

zu Überschrift: [http://www.acon-](http://www.acon-ag.com/sites/kompetenz/beratungsschwerpunkte/kommunikation/pics/kommunikation.gif)

[ag.com/sites/kompetenz/beratungsschwerpunkte/kommunikation/pics/kommunikation.gif](http://www.acon-ag.com/sites/kompetenz/beratungsschwerpunkte/kommunikation/pics/kommunikation.gif)

1: <http://itgl.informatik.uni-bremen.de/Schelhowe/Antrittsvorlesung/Antritt-Folien-JPG/AntrittFOLIEN/Folie13.JPG>

2: http://www.ph-freiburg.de/Projekt-ILL/Frauen/goodall/jane_g2.jpg

5: <http://cas.bellarmine.edu/tietjen/Human%20Nature%20S%201999/Brain/brain07.gif>

Ergebnis 1: s. Literatur 2

Experiment 1: <http://analgesc.anest.ufl.edu/anest2/mahla/snacc/eps/TCMEP.jpg>