

# Vom neuronalen Einzelfahrschein zur kortikalen Netzkarte

Audio-visuelle  
Objekterkennung  
in der Großhirnrinde

von Marcus J. Naumer,  
Christoph Bledowski, Christian  
F. Altmann und Jochen Kaiser

Die Wahrnehmung von Objekten gelingt uns jeden Tag unzählige Male – zumeist rasend schnell und problemlos. Obwohl fast immer mehrere unserer Sinne gleichzeitig bei ihrer Wahrnehmung angesprochen werden, erscheinen uns diese Objekte dennoch als ganzheitlich und geschlossen. Für die neuronale Verarbeitung eines bellenden Hundes zum Beispiel empfängt die Großhirnrinde zumindest Eingangsdaten des Seh- und des Hörsystems. Sie werden auf getrennten Pfaden und in spezialisierten Arealen mit aufsteigender Komplexität analysiert. Dieses Funktionsprinzip der parallel verteilten Verarbeitung stellt die Wissenschaftler aber auch vor das so genannte »Bindungsproblem«: Wo und wie werden die Details wieder zu einem Ganzen – zu einer neuronalen Repräsentation – zusammengefügt? Am Institut für medizinische Psychologie der Universitätsklinik Frankfurt untersuchen Neurokognitionsforscher die crossmodale Objekterkennung mit einer Kombination modernster Verfahren der Hirnforschung und kommen dabei den Verarbeitungspfaden in der Großhirnrinde auf die Spur.

Nun aber schnell die Beine in die Hand nehmen: Das laute Bellen dröhnt in den Ohren, mit raschen Sätzen kommt er näher, schwarz ist er, der Hund, und Furcht einflößend groß, dazu der strenge Geruch! Wenn er nun auch noch beißt? Ach nein, er springt nur hoch und legt die Pfoten auf die Schulter...« Das Gehirn des Joggers hat gerade eine ebenso bemerkenswerte wie rätselhafte Leistung vollbracht. Daten wurden blitzschnell mit Hilfe von vier unterschiedlichen Sinnessystemen verarbeitet, und seine Großhirnrinde konstruiert eine Repräsentation dieses einen Hundes. Wir nehmen ihn als eine geschlossene und lebendige Einheit wahr. Daher erscheint es zunächst plausibel, dass die Information, die über verschiedene Sinne – also crossmodal – dem Gehirn übermittelt wird, dort in einem bestimmten Zentrum wieder zusammenläuft. Neuere Ergebnisse der Hirnforschung deuten jedoch in eine andere Richtung.

Tatsächlich werden zunächst die unterschiedlichen Aspekte von Alltagsobjekten – wie Form, Farbe und Bewegung oder die charakteristischen Geräusche eines Hundes – in jeweils hoch spezialisierten Regionen der Großhirnrinde – dem Kortex – verarbeitet. Dabei ist der primäre visuelle Kortex, auch »V1« genannt [siehe auch Lars Muckli et al. »Wie optische Illusionen in der Großhirnrinde entstehen«, Seite 14), nicht das einzige Areal, welches Seheindrücke verarbeitet. Die Information über das Bild, das wir gerade betrachten, ist mehrfach repräsentiert. Die Verarbeitung schreitet dabei von eher einfacheren Merkmalen zu immer komplexeren Aspekten des visuellen Reizes fort. Das heißt, in anderen visuellen Arealen werden zum Beispiel komplexe

Ähnlich wie die Linien eines U-Bahnnetzes (hier: Karte des südlichen Teils von New York City) laufen Verarbeitungspfade in der Großhirnrinde häufig parallel und kreuzen sich gelegentlich, konvergieren aber nie in einem einzigen Punkt.

Formen bis hin zu bestimmten Klassen von Objekten, wie Werkzeugen oder Gesichtern, analysiert. Die Beobachtung dieser Verarbeitungshierarchie vom Einfachen zum Komplexen führte in den frühen 1970er Jahren zu der heute überwundenen Vorstellung, dass die bewusste Wahrnehmung eines Objekts der Außenwelt über ein einziges Neuron vermittelt wird, das am Ende einer solchen Abstraktionskette steht.<sup>11/</sup> Wenn wir beispielsweise einen schwarzen Hund schlafend vor seiner Hütte sehen, so gibt es dieser Theorie zufolge ein einzelnes Neuron in unserem Gehirn, das diesen Sinneseindruck selektiv repräsentiert. Wenn derselbe Hund nach dem Aufwachen uns anschaut, sollte ein anderes Neuron diesen visuellen Inhalt vermitteln. Da die Anzahl der möglichen Sinneseindrücke fast unbegrenzt, die Anzahl unserer Neurone hingegen begrenzt ist, gilt eine solche, strikt konvergent verlaufende neuronale Verarbeitung heute als sehr unwahrscheinlich.

### Kortikale Verarbeitungspfade beim Sehen

Zeitgleich mit diesen (inzwischen überwundenen) Überlegungen wurde ein weiteres Organisationsprinzip der Großhirnrinde entdeckt: die Analyse von visueller Information in parallelen Verarbeitungspfaden. So erkannte man, dass die Verarbeitung von Seheindrücken in höheren Arealen nicht einfach nur komplexere Aspekte betraf, sondern fand eine Aufspaltung der Verarbeitung, die ihre Entsprechung in der Beschreibung des Objekts nach Kriterien der Identität beziehungsweise der Lage hat: »Was ist das?« und »Wo befindet es sich?« **1** Während entlang eines ventral (unterhalb) gelegenen so genannten »Was-Pfades« vor allem Form- und Farbaspekte verarbeitet werden, existieren weitere Areale, die vor allem die Bewegung und Position eines Objekts enkodieren und damit dem dorsalen (oberhalb gelegenen) so genannten »Wo-Pfad« zugerechnet werden.

Mit Hilfe von Läsionsstudien an Rhesusaffen konnte die funktionelle Relevanz dieser Organisation gezeigt werden: Der Ausfall von visuellen Arealen, die die Form eines Objekts repräsentieren, führt dazu, dass das betroffene Tier ein Objekt zwar nicht mehr identifizieren, meist jedoch weiterhin zielsicher nach ihm grei-

fen kann. Ergebnisse aus neuropsychologischen Forschungsarbeiten konnten dieses Modell weiter verfeinern: So existiert ein Pfad, der die Identität eines Objekts repräsentiert und ein weiterer, der die Handlungsvorbereitung bezüglich des Objekts leistet. Beispiele für solche objektbezogenen Handlungen sind das Ergreifen des Objekts oder das Fixieren mit den Augen. Diese offenkundige Trennung von Prozessen bei neurologischen Patienten ist häufig sehr eindrucksvoll, vermutlich weil sie so deutlich unserer phänomenal »glatten« visuellen Erlebniswelt widerspricht.

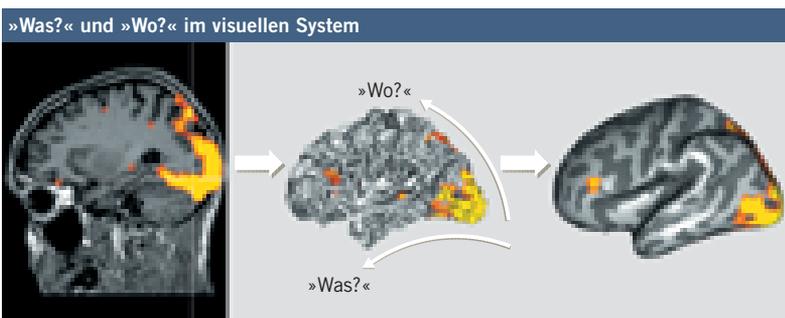
Gestützt auf diese bemerkenswerten tierexperimentellen und neuropsychologischen Befunde, verstärkten in den 1990er Jahren – der »Dekade des Gehirns« – die Neurokognitionswissenschaftler ihre Anstrengungen, um diese parallelen Verarbeitungspfade zu bestätigen und weitere Dissoziationen zu finden. Mit Hilfe der funktionellen Bildgebung konnten zahlreiche visuelle Areale mit ihren unterschiedlichen Spezialisierungen immer detaillierter beschrieben werden.

### Verarbeitungspfade im auditorischen System

Aber nicht nur im Seh-, sondern auch im Hörsystem vermutet man mittlerweile, dass die Verarbeitung von komplexen Geräuschen auch in Regionen außerhalb der primären Hörrinde »A1« – der ersten kortikalen Verarbeitungsstation für akustische Reize – stattfindet. Diese Regionen lassen sich ebenfalls in zwei getrennte Verarbeitungspfade gruppieren. Sowohl Einzelzellableitungen aus dem Gehirn von Affen als auch Studien mit bildgebenden Verfahren beim Menschen haben gezeigt, dass Geräuschmerkmale wie Tonhöhe und Lautstärke in anderen Strukturen repräsentiert werden als die räumliche Position oder die Bewegung einer Geräuschquelle. Diese Beobachtungen legen die Existenz spezialisierter Pfade der auditorischen Wahrnehmung nahe, die der Objekterkennung (»Was?«) beziehungsweise der Objektlokalisierung (»Wo?«) dienen. Eine serielle Informationsverarbeitung entlang dieser Pfade haben wir in einer Reihe von magnetenzephalografischen Studien nachgewiesen.<sup>12/</sup> Nach einer frühen, relativ unspezifischen Antwort der primären Hörrinde auf unerwartete Geräuschveränderungen folgt nach etwa 130 Millisekunden eine detaillierte Analyse entweder des Geräuschmusters oder von dessen räumlichen Merkmalen in hierfür jeweils spezialisierten Regionen entlang der »Was-« beziehungsweise »Wo-Pfade.« **2**

### Netzwerke synchron »feuernder« Nervenzellen

Das Wissen, dass kortikale Hirnregionen für Einzelmerkmale von Wahrnehmungsinhalten spezialisiert sind, steht jedoch in dem bereits erwähnten starken Kontrast zu unserer Alltagserfahrung: Den laut bellenden schwarzen Hund, der mit großen Sätzen auf uns zukommt, nehmen wir ganz selbstverständlich als ein und dasselbe Objekt wahr, egal wo er sich befindet und welche Ansicht er uns gerade präsentiert. Dies gelingt uns schnell und mühelos, und vom zugrunde liegenden Verarbeitungsprozess merken wir nichts, obwohl die unterschiedlichen Eigenschaften des Hundes doch an ganz unterschiedlichen Orten in unserem Gehirn verar-



**1** Basierend auf fMRT-Daten von Versuchspersonen sind solche Hirnrindenregionen farblich markiert, die auf visuelle Stimulation hin einen Aktivitätsanstieg zeigen. Diese funktionelle Karte wurde auf ein Schnittbild (links) sowie gefaltete (Mitte) beziehungsweise virtuell aufgeblasene 3D-Rekonstruktionen (rechts) der linken Großhirnhälfte projiziert. Hirnwindungen und -furchen erscheinen in hell- beziehungsweise dunkelgrau. Während entlang eines ventral (das heißt unterhalb) verlaufenden so genannten »Was-Pfades« vor allem Form- und Farbaspekte verarbeitet werden, existieren weitere Areale, die vor allem die Bewegung und Position eines Objekts enkodieren und dem dorsal (das heißt oberhalb) gelegenen »Wo-Pfad« zugerechnet werden.

## »Was?« und »Wo?« im auditorischen System



2 Magnetenzephalografisch gemessene evozierte Felder (grün; gemessen zirka 120-180 Millisekunden nach Darbietung eines Geräusches) und Gammaband-Aktivität (blau und rot) während der Wahrnehmung räumlicher Abweichungen (links) und abweichender Geräuschmuster (rechts). Die Positionen der MEG-Sensoren sind auf einer schematischen Karte der Großhirnoberfläche dargestellt (von oberhalb des Kopfes gesehen). Während die evozierten Felder im Bereich der primären Höririnde kaum zwischen den beiden Arten von Geräuschveränderungen differenzieren, zeigt die Gammaband-Aktivität die Spezialisierung höherer Regionen entlang des »Was«- (roter Pfeil) und des »Wo-Pfades« (blauer Pfeil) für Veränderungen des Geräuschmusters (nach zirka 320 Millisekunden) beziehungsweise Veränderungen der Geräuschposition (nach zirka 220 Millisekunden).

beitet werden. Als Neurokognitionsforscher stehen wir damit vor dem so genannten »Bindungsproblem«: Wie schaffen es die Neuronen der Großhirnrinde, nach einer lokal verteilten Analyse von spezifischen Objekteigenschaften die »Einheit der Wahrnehmung« wieder herzustellen? Existiert dafür ein übergeordnetes kortikales Zentrum, wo alle neuronalen Informationen zusammenlaufen? Oder gibt es vielleicht trickreiche Bindungsmechanismen?

Ein Vorschlag zur Lösung dieses Bindungsproblems stammt aus dem Frankfurter Max-Planck-Institut für Hirnforschung<sup>3/</sup> und wurde auf der Grundlage tierexperimenteller Befunde formuliert: Die zahlreichen Nervenzellen, die an der Verarbeitung ganz unterschiedlicher Eigenschaften ein und desselben Objekts beteiligt sind, synchronisieren ihre Entladungen miteinander [siehe auch Wolf Singer »Synchronisierte Antworten aus der Großhirnrinde«, Seite 45]. Hierdurch entstehen Netzwerke reziprok verknüpfter und synchron »feuern« Nervenzellen, die für eine gewisse Zeit rhythmische Aktivitätsmuster zeigen. Das heißt: Sie oszillieren ähnlich wie ein Schwingkreis mit einer Frequenz zwischen 30–100 Hz, im so genannten »Gamma-Frequenzbereich«. Diese oszillatorische Gamma-Aktivität kortikaler Neuronenverbände gilt als Korrelat der zeitlichen Integration räumlich verteilter Information. Ein solches Konzept flexibler Zellverbände kann die Fähigkeit unseres Gehirns erklären, mit einer begrenzten Zahl von Neuronen eine praktisch unbegrenzte Zahl von Objektrepräsentationen im Kortex entstehen zu lassen.

## Methoden der Hirnforschung

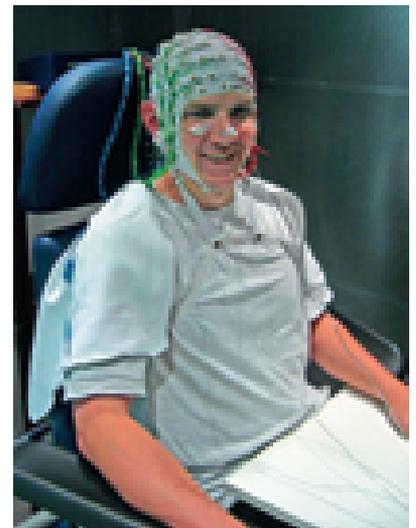
Untersuchungen der Gamma-Aktivität im menschlichen Elektroenzephalogramm (EEG) zeigen deutlich den Zusammenhang mit der Objektwahrnehmung der Versuchspersonen, mit ihrer selektiven Ausrichtung der Aufmerksamkeit und der inneren Aktivierung von Repräsentationen, zum Beispiel während bestimmter Gedächtnisprozesse. Dies ist die Basis, auf der die Forschungsprojekte unserer Arbeitsgruppe aufbauen: Am Institut für Medizinische Psychologie des Frankfurter Universitätsklinikums beschäftigen wir uns mit der nicht-invasiven Erforschung uni- und crossmodaler Integrationsprozesse bei gesunden Menschen. Wir kombinieren hierfür die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) mit zwei weiteren Verfahren der kognitiven Hirnbildgebung, der Elektroenzephalografie (EEG) und der Magnetenzephalografie (MEG) [siehe auch »Ausgewählte Methoden der Hirnforschung im Überblick«, Seite 78). Durch die Integration der zeitlichen und räumlichen Vorteile dieser Methoden ist eine recht detaillierte Beschreibung jener neuronalen Vorgänge

möglich, die einer kognitiven Leistung zugrunde liegen. Schließlich können die analysierten Bestandteile der neuronalen Verarbeitungsprozesse mit bestehenden Modellen aus der kognitiven Psychologie abgeglichen werden.

## Präzisere Lokalisierung durch Methodenkombination

Das Elektroenzephalogramm (EEG) erfasst mit Hilfe von Kopfhautelektroden Spannungsänderungen der unter der Schädeldecke liegenden Hirnrindenschichten. 3 Die hervorragende zeitliche Auflösung im Millisekundenbereich, die für die Untersuchung kognitiver Prozesse entscheidend ist, und die relative Nähe des EEG-Signals zur eigentlichen Nervenzellaktivität machen das EEG zu einer sehr bedeutenden Methode für die modernen Neurowissenschaften. Diesen Vorteilen stehen jedoch das niedrige räumliche Auflösungsvermögen und die damit zusammenhängende Überlappung der auf der Kopfoberfläche gemessenen Hirnquellensignale gegenüber. Daher werden seit einigen Jahren enorme Anstrengungen unternommen, aus der gemessenen Aktivität an der Kopfoberfläche das Quellensignal mathematisch zu erschließen und in der Hirnrinde zu verorten. Diese »klassische« Quellenanalyse stößt jedoch aufgrund des so genannten »inversen Problems« an Grenzen. Dieses Problem besteht darin, dass eine nahezu unendliche Anzahl von Quellenkonfigurationen das EEG-Signal gleichwertig erklären kann: Eine Einschränkung des Lösungsraums durch weitere objektive Daten ist notwendig.

Hier kommt die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) ins Spiel, da diese Methode der funktionellen Bildgebung eine sehr gute räumliche Auflösung im Millimeterbereich bietet. Bei der Kombination von Elektroenzephalografie und funktioneller Magnetresonanztomografie werden durch die fMRT-Messung zunächst die aufgabenrelevanten Hirnregionen identifiziert und als potenzielle Quellen definiert. Die mathematische Quellenanalyse überprüft dann, welchen Beitrag diese gesetzten Quellen leisten können, um das an der Kopfoberfläche gemessene EEG-Signal zu erklären.<sup>4/</sup> 4 Diese Methodenkombination liefert über die Verortung der EEG-Quellen hinaus millisekundengenaue Information über den neuronalen Aktivitätsverlauf.



3 EEG-Probant mit Elektrodenkappe. Die Untersuchung kognitiver Prozesse mit Hilfe der Elektroenzephalografie liefert Daten, die zeitlich hochaufgelöst sind. Nachteile der EEG-Methode ergeben sich jedoch aus dem niedrigen räumlichen Auflösungsvermögen.

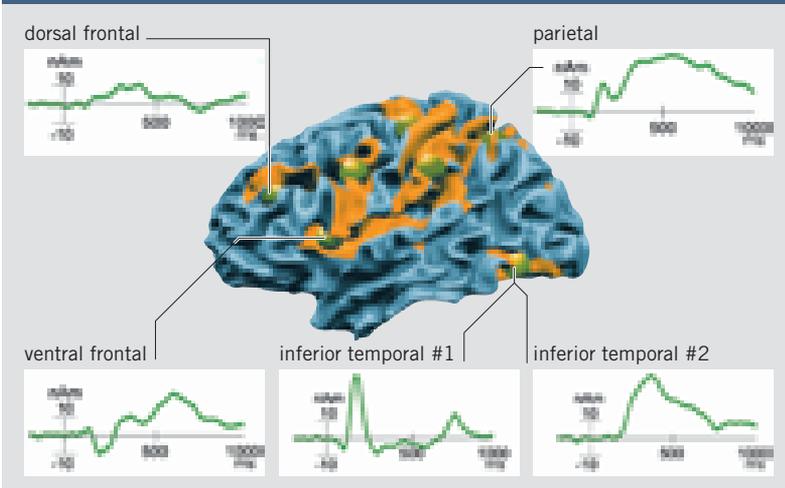
## Untersuchungen mit der Magnetenzephalografie

Wie stark sich die automatische Integration von Information aus verschiedenen Sinnesmodalitäten auf unser Erleben auswirkt, lässt sich am Beispiel der so genannten McGurk-Illusion verdeutlichen, bei der Kombinationen von gesprochenen Silben und hierzu inkongruenten Mundbewegungen zu einem veränderten auditorischen Wahrnehmungseindruck führen. Gemeinsam mit Kollegen des Tübinger Universitätsklinikums setzten wir in einer Studie<sup>15/</sup> die Magnetenzephalografie (MEG) ein, um die von der McGurk-Illusion ausgelösten neuronalen Prozesse zu untersuchen. Dabei boten wir überwiegend kongruente Kombinationen aus Silben und Mundbewegungen dar: Die Probanden hörten die Silbe »ta« und sahen gleichzeitig die dazu passende Mundbewegung. In diese Reizsequenz eingestreut waren weitaus seltenere Darbietungen, bei denen man die gleiche Silbe »ta« hörte, aber eine dazu nicht passende Mundbewegung sah, nämlich die Bewegung, die beim Aussprechen der Silbe »pa« entsteht. Die Illusion besteht nun darin, dass bei inkongruenten Präsentationen der Eindruck dominiert, ein »pa« zu hören. Der Vergleich von Hirnantworten auf inkongruente und kongruente Darbietungen ergab eine erhöhte Gamma-band-Aktivität über einer Reihe von Hirnrindenregionen **5**. Zunächst trat diese Aktivität über Arealen des

Scheitel- und Hinterhauptlappens auf, die vermutlich die abweichende visuelle Mundbewegungsinformation repräsentierten. Nach weiteren 120 Millisekunden kam es zu erhöhter Gammaband-Aktivität über einer weiteren Region im linken Stirnhirn, die auch an der Verarbeitung rein akustischer Musterveränderungen beteiligt ist. Diese Magnetenzephalografie-Befunde sprechen dafür, dass die Aktivierung neuronaler Netzwerke im auditorischen »Was-Pfad« dem subjektiven Eindruck eines veränderten Geräuschmusters zugrunde liegt.

Auch eine aktuelle Magnetresonanztomografie-Studie zur audio-visuellen Erkennung von Alltagsobjekten erweiterte unser Verständnis der Hirnprozesse, die crossmodale Integration erst ermöglichen.<sup>16/</sup> Den Versuchspersonen wurden als Reize Geräusche und Schwarzweißfotos aus vier Objektkategorien dargeboten. Bei der Analyse der gewonnenen Daten fanden wir räumlich voneinander getrennte Aktivitätsspitzen für Tiere, Werkzeuge, Sporttreibende und Autos im visuellen »Was-Pfad«. **6** Überraschenderweise zeigten diese Hirnrindenregionen ihre jeweilige Präferenz für eine Objektkategorie nicht nur während visueller Reizdarbietung, sondern auch nach rein auditorischer Stimulation. Da wir mit einem Kontrollelexperiment visuelle Imagination als eine mögliche Alternativerklärung für diesen Befund ausschließen konnten, scheinen Regionen des visuellen »Was-Pfads« tatsächlich auch in die Verarbeitung von Alltagsgeräuschen involviert zu sein. Diese Entdeckung verweist auf die Bedeutung von angelegten Assoziationen, wenn physikalisch höchst unterschiedliche optische und akustische Eigenschaften von Alltagsobjekten verarbeitet werden.

### EEG-fMRT-Methodenkombination am Beispiel einer Kurzzeitgedächtnisaufgabe



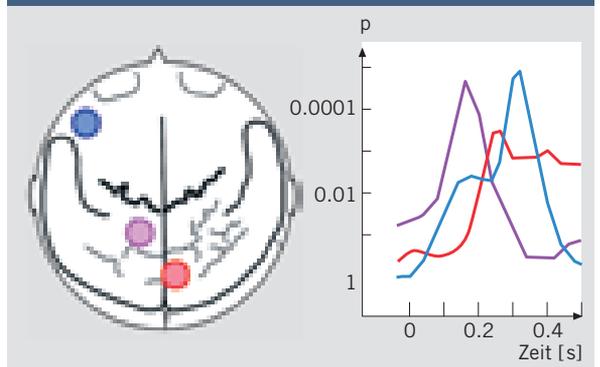
**4** Dargestellt sind das räumliche Aktivitätsmuster (fMRT) und die millisekundengenauen Zeitverläufe der modellierten Quellenaktivität (EEG) während des Abrufs von visuellen Gedächtnisinhalten. Die aus den fMRT-Daten (im Modell orange markiert) abgeleiteten Positionen für die EEG-Quellen sind als grüne Kugeln dargestellt. Die Zeitverläufe der jeweiligen Quellenaktivität (die fünf aussagekräftigsten sind als grüne Kurven gezeigt) repräsentieren die zeitliche Struktur der am Gedächtnisabruf beteiligten Prozesse.

**5** Illusorische akustische Veränderungen aufgrund inkongruenter visueller Präsentationen (das heißt von Mundbewegungen, die nicht zu der jeweils dargebotenen Silbe passen) werden von Aktivierungen visueller Regionen im hinteren Scheitel- und Hinterhauptlappen sowie einer Region im linken Stirnhirn begleitet. Links sind auf einer schematischen Karte der Großhirnoberfläche die Positionen der MEG-Sensoren mit erhöhter Gammaband-Aktivität dargestellt (von oberhalb des Kopfes gesehen). Rechts sind in der entsprechenden Farbe die Zeitverläufe der Aktivierungsunterschiede zwischen inkongruenten und kongruenten audio-visuellen Darbietungen für diese Sensoren gezeigt. Die Aktivierung im Stirnhirn (im angenommenen auditorischen »Was-Pfad«) folgt dabei den weiter hinten gelegenen Arealen, die die visuelle Information der Mundbewegung repräsentieren.

### Das Schließen der »Bild-Ton-Schere«

Während wir also für die Verarbeitung von eher sprachlichem Material einen auditorischen Verarbeitungsschwerpunkt ausmachen konnten **5**, fanden wir bei der Erkennung von Alltagsobjekten crossmodale Modulations- und Integrationseffekte eher in visuellen Hirnrindenstrukturen **6**. Wo solche Effekte zu finden sind, scheint unseres Erachtens vor allem davon abzuhängen, welche Art von Sinnesreizen integriert werden müssen. Wir wissen, dass sich das auditorische und das visuelle System hinsichtlich ihrer zeitlichen und räumlichen Verarbeitungsgenauigkeit deutlich unterscheiden: Das visuelle System verfügt über ein höheres räumliches, das auditorische System über ein höheres zeitliches Auflösungsvermögen. Daher stellt das Sehsystem für die Verarbeitung von Alltagsobjekten, das Hörsystem jedoch

### Audio-visuelle Objekterkennung I – MEG-Befunde

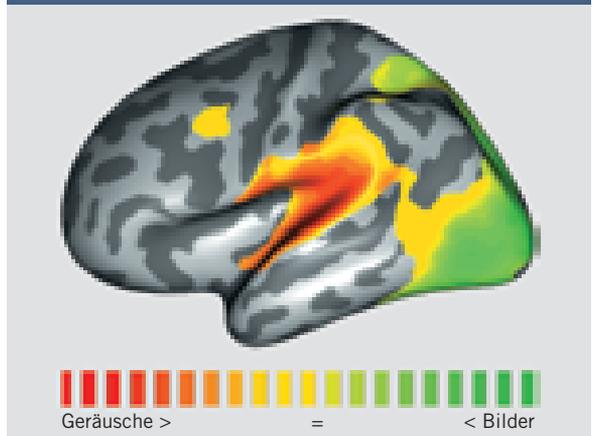


für die Verarbeitung eher sprachlichen Materials die verlässlichere Information bereit. Vor diesem Hintergrund halten wir die Annahme für plausibel, dass die »Bild-Ton-Schere« in Regionen des jeweils dominierenden Sinnessystems geschlossen wird.

Gleichzeitig wird auch unser gesamtes Objektwissen räumlich verteilt repräsentiert, und zwar in Netzwerken von Hirnrindenregionen, die über reziproke Verbindungen miteinander interagieren. Dabei dienen dieselben Hirnregionen, die eine spezifische Art eingehender Sinnesinformation verarbeiten, auch als Wissensspeicher für die jeweilige Objekteigenschaft<sup>171</sup>. Die lokalen unimodalen Repräsentationen sind nun so miteinander verknüpft, dass bereits das einfache Betrachten eines Hundefotos die entsprechenden auditorischen, taktilen und auch Bewegungsrepräsentationen aktivieren kann. Erst diese unmittelbare Verfügbarkeit von umfassendem Erfahrungswissen über Grenzen zwischen einzelnen Sinnesmodalitäten hinweg ermöglicht uns schnelle und dennoch hinreichend flexibel an die jeweilige Situation angepasste Verhaltensweisen: In der menschlichen Großhirnrinde wird auf diese Weise ein »Einzelfahr-schein« quasi automatisch zur »Netzkarte«.

Die Abbildung zeigt eine virtuell aufgeblasene 3D-Rekonstruktion der linken Großhirnhälfte eines gesunden erwachsenen Probanden, wobei Hirnwindungen und -furchen in hell- beziehungsweise dunkelgrau erscheinen. Die verwendete Falschfarbenskala gibt den relativen Anteil auditorischer (Geräusche; in rot) und visueller (Bilder; in grün) Aktivierungen an der Gesamtaktivierung der jeweiligen Region an. Zusätzlich zu diesen Regionen, die den visuellen beziehungsweise auditorischen »Was-« und »Wo-Pfaden« angehören, fanden wir weitere Regionen (in gelb). Diese zeigten entweder eine stärkere Aktivierung während bimodaler audio-visueller Stimulation als während unimodaler auditorischer oder visueller Reizpräsentation, oder sie waren sensitiv dafür, ob die jeweiligen Bilder und Geräusche zueinander passten.

Audio-visuelle Objekterkennung II – fMRT-Befunde



Literatur:

<sup>11/</sup> Breidbach, O. (1997): Die Materialisierung des Ichs – Zur Geschichte der Hirnforschung im 19. und 20. Jahrhundert. Frankfurt: Suhrkamp, stw 1276.

<sup>12/</sup> Kaiser, J. & Lutzenberger, W. (2003): Induced gamma-band acti-

vity and human brain function. *Neuroscientist*. 9(6): Seiten 475–84.

<sup>13/</sup> Singer, W. (1999): Neuronal synchrony: a versatile code for the definition of relationality? *Neuron*, 24(1): Seiten 49–65, Seiten 111–25.

<sup>14/</sup> Bledowski, C.; Prvulovic, D.; Hochstetter, K.; Scherg, M.; Wibral, M.; Goebel, R. & Linden, D.E.

(2004): Localizing P300 generators in visual target and distracter processing: a combined event-related potential and functional magnetic reso-

nance imaging study. *Journal of Neuroscience* 24(42): Seiten 9353–60.

<sup>15/</sup> Kaiser, J.; Hertrich, I.; Ackermann, H.; Mathiak, K. & Lutzenberger, W. (2005): Hearing lips: gamma-band activity during audiovisual speech perception. *Cere-*

bral Cortex: 15(5): Seiten 646–53.

<sup>16/</sup> Naumer, M.J.; Wibral, M.; Singer, W. & Muckli, L.: Natural sounds activate object-related visual cortex. (Manuskript ist eingereicht und wird derzeit begutachtet).

<sup>171</sup> Amedi, A.; von Kriegstein, K.; van Atteveldt, N.M.; Beauchamp, M.S. & Naumer, M.J. (2005): Functional imaging of human crossmodal identification and object recognition. *Experimental Brain Research* (im Druck).

Die Autoren

**Marcus J. Naumer**, 32, (Zweiter von links) studierte Philosophie und Psychologie an den Universitäten Freiburg im Breisgau und Koblenz-Landau. In seiner Doktorarbeit am Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt untersuchte er audio-visuelle Objekterkennungsprozesse mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT). Seit Mai 2005 lehrt er als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Medizinische Psychologie der Johann Wolfgang Goethe-Universität und erforscht vor allem crossmodale (audio-visuo-taktile) Wahrnehmungsprozesse.

**Christoph Bledowski**, 33, (Dritter von links) studierte von 1995 bis 2001 Psychologie an den Universitäten Freiburg im Breisgau und Bonn. Seine Doktorarbeit zur Kombination der Methoden fMRT und EEG fertigte er im Rahmen eines Tandemprojekts der Klinik für Psychiatrie der Johann Wolfgang Goethe-Universität und des Max-Planck-Instituts für Hirnforschung in Frankfurt an. Seit Ende 2004 ist er als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Medizinische Psychologie der Johann Wolfgang Goethe-Universität tätig und erforscht vor allem Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsprozesse.

**Dr. Christian Altmann**, 30, (Erster von links) studierte Psychologie an der Universität Konstanz und untersuchte in seiner Doktorarbeit am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen visuelle Formerkennung mit Hilfe der fMRT. Seit April 2005 ist er als wissen-

schaftlicher Assistent am Institut für Medizinische Psychologie der Johann Wolfgang Goethe-Universität tätig und widmet sich dort unter anderem den neuronalen Korrelaten auditorischer Wahrnehmung.



**Prof. Dr. Jochen Kaiser**, 37, (rechts) studierte Psychologie an den Universitäten Mainz und Glasgow und promovierte 1998 am Imperial College London. Während seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Assistent an der Universität Tübingen war er Teilprojektleiter im Sonderforschungsbereich »Erkennen, Lokalisieren, Handeln: Neurokognitive Mechanismen und ihre Flexibilität« und vollendete 2003 seine Habilitation zum Thema »Oscillatory activity in human magnetoencephalogram during auditory spatial and auditory pattern processing«. Für seine Arbeiten wurde er mit dem Young Scientist Award der European Federation of Psychophysiology Societies (FEPS) und dem Walter-Kalkhof-Rose-Gedächtnispreis der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz ausgezeichnet. Seit 2004 ist Kaiser Leiter des Instituts für Medizinische Psychologie der Johann Wolfgang Goethe-Universität. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich auditorischer und crossmodaler Wahrnehmungs- und Gedächtnisprozesse.