

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse  
**Band:** 96 (2005)  
**Heft:** 7

**Artikel:** Hirnstrom- und Hirnmagnetfeld-Messungen  
**Autor:** Junghöfer, Markus / Peyk, Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-857787>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 02.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Hirnstrom- und Hirnmagnetfeld-Messungen

## Analyse und Visualisierung

Jede Wahrnehmung eines Reizes, jede Bewegung eines Muskels, jede kognitive Leistung beruht auf der koordinierten Aktivität von Nervenzellen in verschiedenen Hirnstrukturen. Die Messung und Analyse der dabei auftretenden Hirnströme und ihrer zugehörigen magnetischen Felder erlaubt Rückschlüsse auf die Prozesse im Gehirn. Mit der rasanten Entwicklung der Neurowissenschaften wachsen auch die Ansprüche an die Analysesoftware.

Wie lernt unser Gehirn eine neue Fremdsprache? Wie regenerieren sich Sprachareale in unserem Gehirn nach einem Schlaganfall? Um solche Fragestellungen zu untersuchen, kooperieren Forscher aus Fachbereichen wie Biologie, Linguistik, Mathematik, Medizin,

*Markus Junghöfer, Peter Peyk*

Physik und Psychologie und nutzen moderne Instrumente der Neurowissenschaften: So können beispielsweise die chemischen Hirnsignale sowie Stoffwechsel- und Blutflussprozesse innerhalb unseres Gehirns mittels Positronen-Emissionstomographie (PET) oder funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) sichtbar gemacht werden. Diese Verfahren zeichnen sich durch eine hervorragende räumliche Auflösung aus, messen jedoch meist die integrative Hirnaktivität über längere Zeitbereiche. Mit einer zeitlichen Auflösung im Millisekundenbereich erlauben Verfahren wie Elektro- und Magnetoenzephalographie die genauere Analyse des Zeitverlaufes sowie der Interaktionen verschiedener Hirnprozesse.

### Elektro- und Magnetoenzephalographie

Die etwa 100 Milliarden Nervenzellen unseres Gehirns tauschen über ihre Verzweigungen mit jeweils einigen tausend anderen Neuronen Signale aus. Bei Aktivierung einer Nervenzelle werden geladene Teilchen wie Kalium-, Natrium- oder Chlorionen innerhalb der Zelle und

durch die Zellmembran hindurch bewegt. Bei simultaner Aktivierung von einigen tausend benachbarten Neuronen summieren sich diese Stromflüsse an der Kopfoberfläche zu messbaren Potentialschwankungen in der Größenordnung einiger  $\mu\text{V}$  ( $10^{-6}\text{V}$ ) und können mit Elektroden detektiert werden (Elektroenzephalographie, EEG). Mit der auf Supraleitung basierenden SQUID-Technologie<sup>1)</sup> ist es seit einiger Zeit möglich, die durch diese Ströme hervorgerufenen Kleinstmagnetfelder in der Größenordnung einiger fT ( $10^{-15}$  Tesla) ausserhalb

des Kopfes aufzunehmen (Magnetoenzephalographie, MEG). Die zeitliche Frequenzverteilung der EEG- oder MEG-Signale liegt zwischen 0 und etwa 100 Hz, womit eine digitale Abtastung der entsprechenden Potentiale und Felder mit Millisekundenauflösung eine nahezu vollständige Informationserhaltung gewährleistet. Mit der neuesten Generation von EEG- und MEG-Geräten mit bis zu 256 Kopfelektroden beziehungsweise 275 Magnetfeldspulen ist diese Informationserhaltung nun auch im Raumfrequenzbereich erfüllt (Bild 1).

### Signale und Rauschen

Im Vergleich zur ständigen Hintergrundaktivität unseres Gehirns ist das Nutzsignal einer untersuchten Teilaktivierung sehr klein. Zudem sind die gemessenen Nutzsignale hochgradig komplex: Selbst zur Verarbeitung einfacher Reize oder Ausführung einzelner Bewegungen nutzt unser Gehirn eine Vielzahl verschiedener Hirnstrukturen, deren Aktivierungen sich zeitlich und räumlich überlagern sowie Rückkopplungsmechanismen aufweisen. Darüber hinaus sind die Gehirne verschiedener Personen trotz

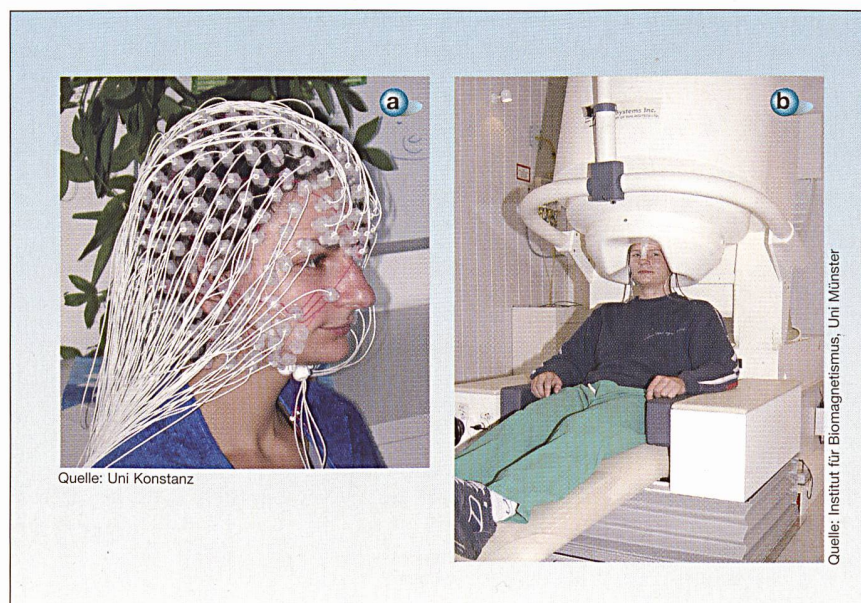
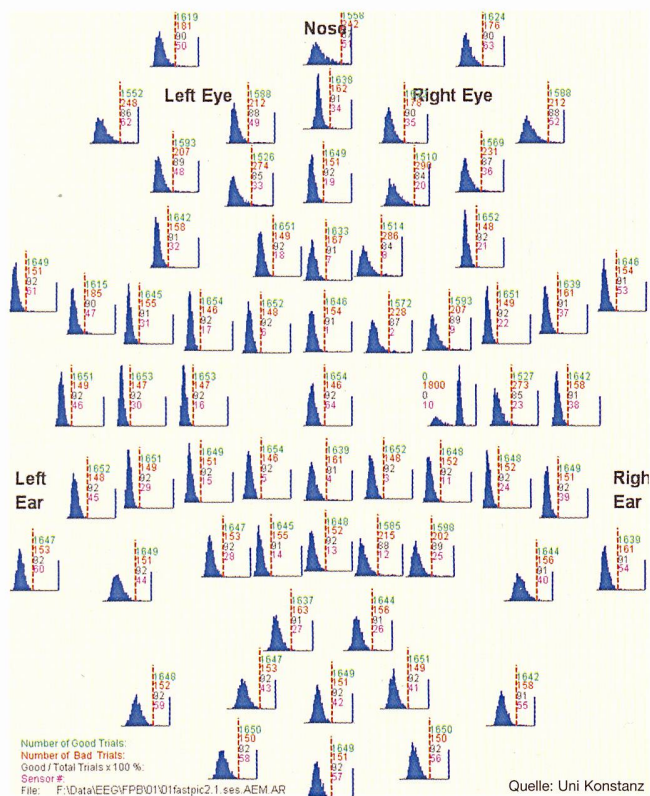


Bild 1 EEG und MEG

Hirnströme generieren Potentialschwankungen auf der Kopfoberfläche und magnetische Felder ausserhalb des Kopfes, die mit Hilfe der Elektroenzephalographie (EEG mit 256 Elektroden, Bild 1a) beziehungsweise mittels Magnetoenzephalographie (MEG mit 275 Magnetfeldspulen, Bild 1b) detektiert werden können.



**Bild 2 Artefakteditierung**

Darstellung der zeitlichen Varianz der EEG-Potentiale an 64 Sensoren über 1800 Epochen in Histogrammform. Epochen mit Varianzen, Maximalwerten, zeitlichen Sprüngen oder spektralen Leistungen über berechneten oberen Schwellenwerten werden als verrauscht definiert und von der weiteren Analyse ausgeschlossen.

ihres grundlegend identischen Aufbaus recht unterschiedlich. Insbesondere die individuelle Faltung unserer Grosshirnlappen führt zu unterschiedlichen Signalen bei prinzipiell gleicher Hirnaktivierung. Verringert wird das Signal-Rausch-Verhältnis auch durch ver-

schiedene biologische und technische Störsignale: So generiert jede Art von Muskelaktivierung (Herzmuskel, Nacken-, Stirn-, Augen- und Kiefermuskeln) Störströme, die das Nutzsignal kontaminieren. Insbesondere in der MEG kommen technische Störquellen wie Variatio-

nen des Erdmagnetfeldes, bewegte Metallkörper wie Zahnfüllungen oder selbst in weiter Entfernung bewegte Autos, Strassenbahnen oder Aufzüge hinzu.

Eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses gelingt im Allgemeinen über die Detektion einer Vielzahl identischer Hirnaktivierungen. Dafür wird der Umstand ausgenutzt, dass nur das Nutzsignal eine zeitliche Korrelation mit dem Untersuchungsparadigma aufweist: Während bei einer Mittelung vieler identischer oder ähnlicher Hirnantworten ein grosser Teil des Nutzsignals als Folge der zeitlichen Koppelung erhalten bleibt, verringern sich die zeitlich korrelierten, aber nicht phasentreuen Anteile sowie das unkorrelierte Hintergrundrauschen infolge destruktiver Interferenz.

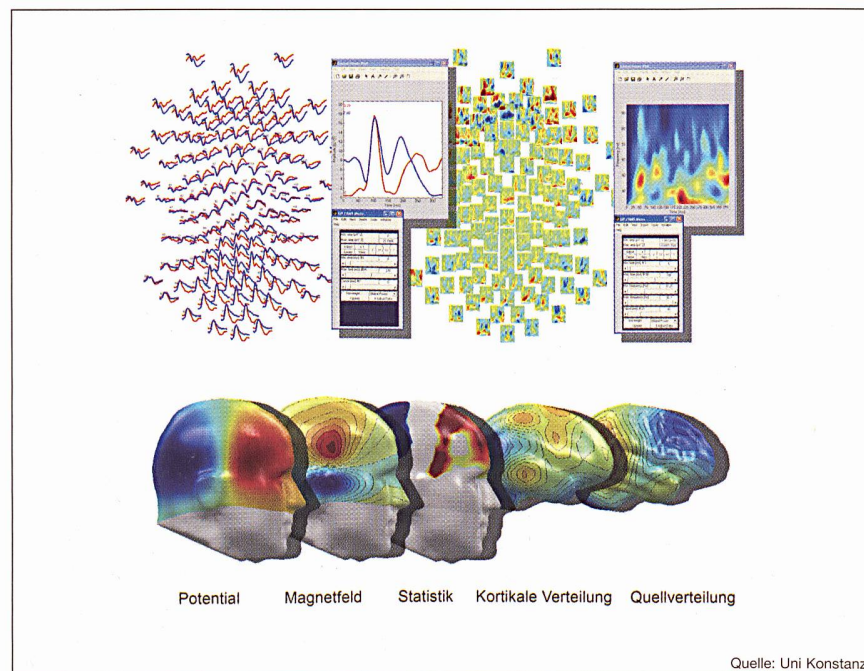
Die individuelle Hirnanatomie der Probanden kann durch bildgebende Verfahren wie Computer- oder Magnetresonanztomographie gemessen und bei der Datenanalyse berücksichtigt werden. Die Zuordnung bestimmter EEG- oder MEG-Komponenten zu Aktivierungen bestimmter Hirnareale bedarf dennoch meist der Mitberücksichtigung von Zusatzinformationen aus anderen Bereichen der Neurowissenschaften.

### Software analysiert Daten

Zur Analyse von EEG- oder MEG-Daten stehen eine Reihe kommerzieller Softwarepakete zur Verfügung. Für Arbeitsgruppen, die über existierende Analyseverfahren hinweg neue Auswertungsmethoden nutzen oder sogar selbst entwickeln wollen, sind diese geschlossenen Pakete allerdings ungeeignet. Aus diesem Grund hat der Lehrstuhl für klinische Psychologie an der Universität Konstanz im Laufe der Jahre eine Matlab-basierte Software (EMEGS) entwickelt, die neue methodische Entwicklungen oder Anwendungen verschiedener Arbeitsgruppen zusammenführt und allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe sowie kooperierenden Zentren zur Verfügung stellt:

- Spline-Interpolations- und Feldfortsetzungsverfahren [1]
- Dateneditierungsverfahren [2]
- Inverse Verfahren zur Rücktransformation der gemessenen Potentiale oder Felder auf die Hirnaktivierungen [3]
- Untersuchung phasenvariabler Signale mittels Zeitfrequenz-Analysen [4]
- Statistische Testung definierter Kontraste [5]
- Einzelepochen-basierte statistische Analysen [6]

Da verschiedene MEG- und EEG-Systeme auf unterschiedlichen Plattformen



**Bild 3 Darstellung der Hirnaktivitäten**

Oben: Zeitreihen und Frequenzspektren (links) sowie Zeitfrequenzdarstellung (rechts). Unten: Dreidimensionale topographische Projektion von Potential- oder magnetischen Feldverteilungen sowie Lösungen varianzanalytischer Berechnungen auf einen Modellkopf beziehungsweise Projektion der Ergebnisse von Feldfortsetzungs- oder inversen Verfahren auf einem Modellgehirn.

### Beispiel eines typischen EEG- oder MEG-Experiments

Zur Untersuchung, welche Hirnregionen dafür zuständig sind, emotional relevante Reize (z.B. eine Schlange auf dem Boden) innerhalb kürzester Zeit zu erkennen und angemessene Reaktionen vorzubereiten, könnten die Hirnströme von Versuchspersonen mittels EEG oder MEG abgeleitet werden, während diese verschiedene emotionale und neutrale Bilder betrachten.

Nach der Präsentation einer genügend grossen Anzahl verschiedener Bilder aus den beiden Kategorien (emotional, neutral) und Mittelung der ereigniskorrelierten evozierten Potentiale oder Felder würden sich zunächst für beide Kategorien ähnliche Komponenten zeigen.

Zunächst erscheint bei 50 bis 60 ms nach der Präsentation eines Bildes eine EEG- oder MEG-Komponente, die die früheste visuelle Verarbeitung einfacher Formen des Bildes in visuellen Hirnarealen des Hinterkopfes repräsentiert. Spätere Komponenten spiegeln dann die sukzessiven Stufen des Erkennens, der emotionalen Evaluation, des Gedächtnisabrufs und der -einspeicherung, der Vorbereitung und Ausführung von Augenbewegungen und Defensiv- oder Annäherungsreaktionen in weiten Arealen unseres Gehirns wider.

Während sich die frühen Komponenten beim Betrachten emotionaler und neutraler Bilder nicht unterscheiden – die emotionale Relevanz des Bildes ist vom Gehirn noch nicht erkannt –, beginnen sich die Komponenten schon um 100 ms zu differenzieren und weisen in späteren Zeitbereichen zum Teil grosse Differenzen auf, die im Wesentlichen eine weitaus stärkere Verarbeitung emotional relevanten Materials gegenüber neutralen Bildern repräsentieren.

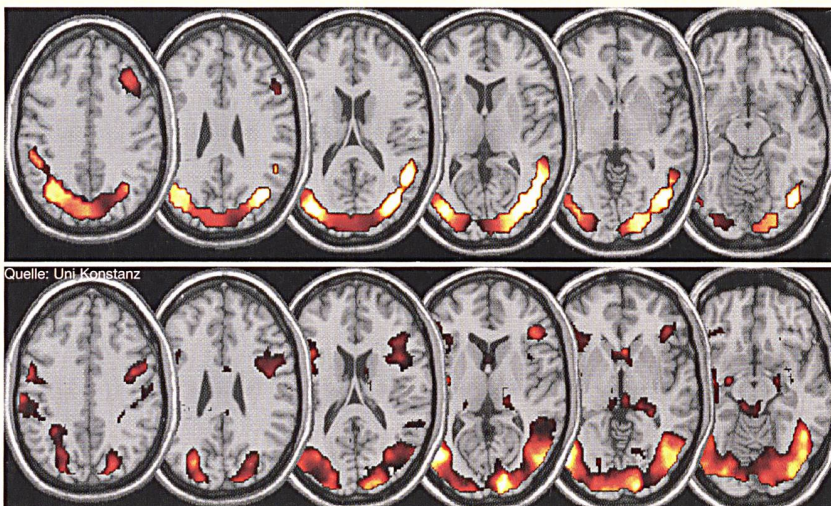


Bild 4 Analyse beim Betrachten von Bildern

Unten: Hirnareale mit verstärktem Blutfluss (fMRT-SPM-Analyse) beziehungsweise verstärkter MEG-Quellaktivität (oben, MEG-SPM-Analyse) bei der Betrachtung emotional erregender gegenüber emotional neutraler Bilder

(Unix, Windows, Macintosh) operieren, gewährleistet die Plattformunabhängigkeit von Matlab eine grösstmögliche Nutzungs- und Entwicklungsfreiheit. Darüber hinaus erlaubt es Anwendern mit geringen Programmierkenntnissen, innerhalb kurzer Zeit einfache, aber höchst nützliche Module, wie etwa ein Interface zum Einlesen fremder Datenformate einer kooperierenden Arbeitsgruppe, zu integrieren. Nicht zuletzt stellt Matlab eine Fülle von Softwaremodulen zur Verfügung, die die Implementierung neuer methodischer Entwicklungen enorm vereinfacht.

### Präsentation einiger EMEGS-Module

#### Dateneditierung

Durch unabhängige Messungen können einige Störsignale recht gut über Korrelationsanalysen korrigiert werden: So kann die Herzaktivität über ein Elektrokardiogramm und können Augenbewegungen über ein Elektrookulogramm aufgezeichnet werden. Externe magnetische Störsignale werden durch zusätzliche Messspulen detektiert. Andere Störungen können häufig auf der Basis verschiedener auffällender Eigenschaften identifi-

ziert werden: Sie zeichnen sich, neben den oft auffallend grossen Amplituden und Amplitudensprüngen, durch starke zeitliche Varianz sowie ungewöhnliche Frequenzverteilungen aus.

Dennoch sind Rauschen, Hintergrund- und Nutzsignal in vielen Fällen recht schwierig zu differenzieren. Um dieses Problem zu minimieren und zu objektivieren, versucht ein Editierungsverfahren das Signal-Rausch-Verhältnis zu optimieren. Es legt für jeden Sensor eine individuelle Schwelle für verschiedene Messparameter wie Maximalamplitude, zeitlichen Gradienten, Standardabweichung sowie spektrale Leistung innerhalb eines festgelegten Frequenzbereiches fest und extrahiert Zeitintervalle, die Werte oberhalb der entsprechenden Schwellen aufweisen. Kontaminierte Sensoren können sodann auf Basis der ungestörten Daten interpoliert werden. Bild 2 zeigt die Verteilungen der zeitlichen Varianz im interessierenden Zeitbereich für 1800 Epochen eines 64-Kanal-EEG-Systems in Histogrammform. Die sensorspezifischen Schwellenwerte als Lösung der Zielfunktion sind als rote Linien dargestellt.

#### Visualisierung der Zeit-, Frequenz- und Zeitfrequenz-Analysen im Sensor- und Quellraum

Für eine erste visuelle Inspektion der Daten können die Rohsignale oder die analysierten Potentiale/Felder als Zeitreihen an den entsprechenden Sensorpositionen zweidimensional dargestellt werden (Bild 3 oben). Die dargestellten dreidimensionalen Projektionen der Daten auf einen Modellkopf basieren auf Spline-Interpolationen der nicht mit Sensoren überdeckten Bereiche (Bild 3 unten). Für die Rücktransformation auf die den EEG- und MEG-Daten zugrunde liegenden Hirnaktivierungen stehen Verfahren der Feldfortsetzung<sup>2)</sup> sowie Verteilte-Quellen-Modelle<sup>3)</sup> zur Auswahl [1,3,4].

#### Varianzanalysen

In jüngster Zeit wurden Softwaremodule integriert, die varianzanalytische Untersuchungen über einzelne Personen einer Gruppe oder auch über einzelne Hirnaktivierungen hinweg erlauben. Diese statistischen Analysen können im Sensor- oder Quellraum sowie in der Zeit-, Frequenz- oder Zeitfrequenz<sup>4)</sup>-Domäne durchgeführt werden. Im einfachsten Fall werden interessierende Zeitintervalle sowie Sensorgruppen (Sensorraum) oder Hirnareale (Quellraum) definiert und diese über die verschiedenen Untersuchungsbedingungen und teilnehmenden Probanden oder Patienten va-

## Das EMEGS-Softwarepaket

Das Softwarepaket EMEGS besteht aus Modulen zur Filterung, Segmentierung, Editierung, Mittelung im Zeit-, Frequenz- oder Zeitfrequenz-Bereich, Feldfortsetzungs- und Minimum-Norm-Verfahren, zwei- und dreidimensionaler Visualisierung der Daten im Sensor- oder Quellraum, verschiedenen weiterführenden, insbesondere raum-zeitlichen Verfahren, statistischen Analysen auf der Basis gemittelter Datensätze oder auf Einzelepochenebene mit Visualisierung ihrer Ergebnisse sowie zur Generierung synthetischer Daten.



Bild 5 Grafische Benutzeroberflächen der verschiedenen Programmmodule

Zurzeit wird die Software vom Fachbereich Psychologie an der Universität Konstanz sowie einigen kooperierenden Arbeitsgruppen genutzt und entsprechend deren wissenschaftlichen Anforderungen erweitert. Die Vorteile gegenüber kommerziellen Produkten sind der offene Quellcode und die Plattformunabhängigkeit. Ein Nachteil ist die bis jetzt noch wenig umfassende Dokumentation. Das Paket steht Interessenten unter [www.uni-konstanz.de/win/emegs](http://www.uni-konstanz.de/win/emegs) zur Verfügung.

EEG-Lab), Varimax, Promax, Polyfit, Maxima-, Integral- und Gradientenberechnungen, zeitliche und räumliche Filterungen, Symmetrie- und verschiedene Normalisierungskalkulationen wie Z-Transformation, Rereferenzierungen sowie Kreuzkorrelationsberechnungen zur Verfügung. Zusätzliche Nutzeranwendungen können über ein bestehendes Interface realisiert werden.

Zur Veranschaulichung der Effekte verschiedenster Überlagerungen von Hirnaktivierungen, der Untersuchung des Einflusses verschiedener Störgrößen (z.B. Augenartefakte) auf alle zur Verfügung stehenden Analyseverfahren sowie Testung eigener methodischer Entwicklungen können synthetische Daten in Epochen- oder bereits gemittelter Form generiert und in verschiedenen Formaten abgespeichert werden.

## Referenzen

- [1] Junghöfer, M., Elbert, T., Leiderer, P., Berg, P., und Rockstroh, B. (1997). Mapping EEG-potentials on the surface of the brain: a strategy for uncovering cortical sources. *Brain Topography*, 9, 203-2
- [2] Junghöfer, M., Elbert, T., Tucker, D. M., und Rockstroh, B. (2000). Statistical control of artifacts in dense array EEG/MEG studies. *Psychophysiology*, 37, 523-532
- [3] Hauk O., Keil A., Elbert T., Muller MM. (2002). Comparison of data transformation procedures to enhance topographical accuracy in time-series analysis of the human EEG, *J Neurosci Methods*, 30;113(2):111-22
- [4] Keil A., Gruber T., Muller MM (2001). Functional correlates of macroscopic high-frequency brain activity in the human visual system, *Neurosci Biobehav Rev*; 25(6):527-34
- [5] Weisz, N., Keil, A., Wienbruch, C., Hoffmeister, S. und Elbert, T. (2004). One set of sounds, two tonotopic maps: exploring auditory cortex with amplitude modulated tones. *Clin Neurophysiol*, 115, 1249-1258
- [6] Junghöfer M., Schauer M., Neuner F., Odenwald M., Rockstroh B. und Elbert T. (2003). Enhanced fear-network in torture survivors activated by RVSP of aversive material can be monitored by magnetic source imaging. *Psychophysiology*, 40, Sup.1

## Angaben zu den Autoren

**Dr. Markus Junghöfer** arbeitet als Assistent/Juniorprofessor am Institut für Allgemeine Psychologie der Universität Konstanz und strebt die Habilitation im Bereich der affektiven Neurowissenschaften an. *Universität Konstanz, D-78457 Konstanz, markus.junghoef@uni-konstanz.de*

**Peter Peyk** ist diplomierter Psychologe und wird voraussichtlich im Sommer 2005 seine Promotion abschliessen. *Universität Konstanz, D-78457 Konstanz, peter.peyk@uni-konstanz.de*

<sup>1</sup> SQUID: Super conducting Quantum Interference Device

<sup>2</sup> Current Source Density, Cortical Mapping

<sup>3</sup> L2-Minimum-Norm

<sup>4</sup> Wavelet

<sup>5</sup> SPM: Statistical Parametric Mapping ([www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm](http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm))

riananalytisch (ANOVA) untersucht. Damit entfällt ein zeitaufwändiger Datenexport sowie externe Datenanalyse mittels verschiedener Statistikpakete.

Ebenfalls neu ist ein Interface, das die Nutzung des umfangreichen und ebenfalls Matlab-basierten und frei verfügbaren Programmpakets SPM<sup>5</sup> zur statistischen Analyse von fMRT- und PET-Daten ermöglicht. Hierbei werden die auf der Basis von EEG oder MEG berechneten dreidimensionalen Verteilungen der Hirnaktivierungen in einem SPM-kompatiblen Format gespeichert (Emegs2Spm). Damit können diese nun auch mit dem breiten Spektrum der in SPM verfügbaren statistischen Verfahren, wie parametrische Analyse oder Modelle gemischter Varianz, analysiert werden.

Ergebnisse solcher Analysen gemischter Varianz für MEG (oben) sowie fMRT (unten) Daten präsentiert Bild 4: Farblich markiert sind jene Bereiche, in denen emotional erregende Bilder stärkere

Hirnaktivierungen und damit stärkeren Blutfluss (fMRT) hervorrufen als emotional neutrale Reize (siehe Textbox: Beispiel eines typischen EEG- oder MEG-Experimentes).

Betrachtet man die SPM-basierte Analyse der entsprechenden MEG-Antworten in einem bestimmten Zeitbereich (150...230 ms nach Reizpräsentation, oben), so zeigt sich, dass ein grosser Teil der Blutflussveränderungen durch verstärkte elektrische Aktivierungen von Nervenzellen in diesen Hirnarealen hervorgerufen werden.

### Weitere Analyseverfahren

Neben den bisher beschriebenen Methoden und einfachen Summations- oder Differenzberechnungen stehen Algorithmen zur weiterführenden Datenanalyse wie Globale Leistung, Root Mean Square, Fast Fourier Transformation, Principal Component Analysis, Independent Component Analysis (basierend auf

## Mesure des courants et champs magnétiques cérébraux

### Analyse et visualisation

Toute perception d'une stimulation, tout mouvement d'un muscle, toute action cognitive est basée sur l'activité coordonnée de cellules nerveuses dans différentes structures cérébrales. La mesure et l'analyse des courants cérébraux produits et des champs magnétiques correspondants permettent de tirer des conclusions quant aux processus qui se déroulent dans le cerveau. Le développement vertigineux des sciences neurologiques fait croître les exigences posées au logiciel d'analyse.