

Zusammenfassung der Dissertation “Interactions of bottom–up and top–down processes in human evoked gamma–band activity”

Dipl.–Psych. Niko Busch

Oszillatorische Phänomene im menschlichen EEG haben in den letzten Jahren viel Beachtung gefunden. Es konnte gezeigt werden, daß die Analyse von EEG Signalen mit Methoden der Zeit–Frequenz Analyse eine wertvolle Ergänzung der traditionellen ereigniskorrelierten Potentiale (EKP) darstellt (siehe Herrmann et al., 2004b). Insbesondere hochfrequente Oszillationen im Gamma–Band, das ist der Frequenzbereich zwischen 30 und 80 Hz, sind in letzter Zeit vermehrt untersucht worden (Herrmann et al, 2004c; Kaiser und Lutzenberger, 2003; Tallon-Baudry, 2003). Viele Studien konnten belegen, daß Gamma-Band Aktivität im Zusammenhang mit verschiedenen perzeptuellen und kognitiven Prozessen steht. Trotz dieser Popularität der Gamma–Aktivität sind einige wichtige Eigenschaften dieses Phänomens bislang wenig untersucht und infolgedessen unverstanden geblieben. In meiner Arbeit habe ich mich bemüht, einige dieser Wissenslücken zu schließen. Insbesondere habe ich den Versuch unternommen, Parameter für optimale visuelle Stimulation zu finden, um zuverlässige Gamma–Band Signale als Korrelat perzeptueller Prozesse messen zu können, die Umstände zu identifizieren, unter denen diese Prozesse durch höhere Informationsverarbeitung moduliert werden können, und schließlich eine umfassende Erklärung solcher Modulationen zu geben, die eine große Anzahl scheinbar heterogener Forschungsergebnisse integrieren könnte.

Prozesse, welche mit der Verarbeitung von Signalen aus der Umwelt verbunden sind, werden in den kognitiven Neurowissenschaften häufig als “bottom–up” bezeichnet. Hingegen nennt man solche Prozesse, welche aus dem kognitiven Sy-

stem heraus mit der Informationsverarbeitung befaßt sind (etwa Aufmerksamkeit und Gedächtnis), auch “top-down” (siehe Engel et al., 2001). Interessanterweise wurde Gamma-Aktivität in verschiedenen Untersuchungen mit beiden Funktionen in Zusammenhang gebracht (Herrmann et al., 2004c). Es wurde auch kritisch eingewendet, daß tatsächlich sehr verschiedenartige Phänomene in undifferenzierter Weise als Gamma-Aktivität bezeichnet wurden, und daß eine übergreifende Theorie für deren Funktionen bislang aussteht (Bertrand und Tallon-Baudry, 2000). Desweiteren wurde auch ausgehend von Negativbefunden behauptet, Gamma-Aktivität existiere gar nicht im menschlichen EEG (Juergens et al., 1999) oder sie sei ein lediglich sensorisches Phänomen ohne jede Relevanz für perzeptuelle oder kognitive Prozesse (Karakas und Başar, 1998). In dieser Dissertation habe ich versucht, dieser Kritik zu begegnen.

In einem ersten Experiment wurde untersucht, inwiefern Gamma-Band Aktivität von grundlegenden Parametern visueller Stimulation (Stimulus Größe, Dauer und Exzentrizität) abhängig ist. Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden in der Fachzeitschrift *Clinical Neurophysiology* veröffentlicht (Busch et al., 2004) und sind detailliert in Kapitel 4 der Dissertation dargestellt. Die Untersuchung hatte zwei Hauptziele. Zum einen sollten Parameter für optimale Stimulation in zukünftigen Experimenten gefunden werden. Zum anderen sollte der Grad der Beeinflussbarkeit der Gamma-Aktivität durch Stimuluseigenschaften Aufschluß über die Funktion und Herkunft dieses Signals geben. Es zeigte sich, daß frühe evozierte Gamma-Aktivität sehr stark auf Variationen der Stimuluseigenschaften anspricht. Desweiteren wurde beobachtet, daß solche Variationen vor allem die Phase und weniger die Amplitude der Gamma-Aktivität beeinflussten. In zukünftigen Experimenten sollte daher darauf geachtet werden, daß eine möglichst starke Stimulation (große zentrale Stimuli) verwendet wird. Berichte über das Nichtvorhandensein von Gamma-Aktivität im EEG (siehe Juergens et al., 1999) lassen sich daher möglicherweise durch eine ungeeignete Stimulation erklären. Außerdem weisen die Ergebnisse darauf hin, daß Gamma-Aktivität in frühen visuellen Kortexarealen generiert wird. Diese Demonstration der Bedeutung von bottom-up Prozessen für die frühe evozierte Gamma-Band Aktivität steht daher im Einklang mit der Behauptung, dieses Phänomen spiegle rein sensorische und nicht etwa kognitive Prozesse (Karakas und Başar, 1998) wider. Eine solche Interpretation würde allerdings einer Vielzahl anderer Untersuchungen widersprechen, die auch Einflüsse von Top-down Prozessen fanden.

Ein zweites Experiment wurde unternommen, um mögliche Interaktionen zwi-

schen bottom-up und top-down Prozessen im frühen evozierten Gamma-Band zu untersuchen (siehe 5 Kapitel der Dissertation). Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind derzeit unter Begutachtung bei der Fachzeitschrift *Neuroimage* (Busch et al., 2005). Wir gingen von der Annahme aus, daß evozierte Gamma-Aktivität in frühen merkmalsselektiven, retinotop organisierten visuellen Arealen generiert wird. Wir führten ein Zielreiz-Erkennungs-Experiment durch, in dem das Stimulusmerkmal, das den Zielreiz definierte, über einen kleinen oder einen großen Bereich des gesamten Stimulus verteilt sein konnte. Die Ergebnisse zeigten, daß lediglich Zielreize, die großflächig verteilt waren, mehr Gamma-Aktivität als Standard Reize evozierten, obwohl die Gesamtgröße der Stimuli in allen Bedingungen identisch war. Diese vermehrte Aktivität kam nicht durch stärkere Phasenstarrheit zustande wie in Experiment 1, sondern durch eine Zunahme der Amplitude der Gamma-Aktivität. Desweiteren zeigte sich, daß die EKP Komponenten N1 und P3 für Zielreize unabhängig von deren Fläche vergrößert waren. Wir schlußfolgerten daraus, daß frühe evozierte Gamma-Aktivität von jenen merkmalsselektiven neuronalen Verbänden generiert wird, welche die sensorische Repräsentation des Stimulus bereitstellen, und daß deren Aktivität jedoch auch von höheren Prozessen wie der Erwartung eines Zielreizes modulierbar ist. Daher können im Falle einer großflächigeren Verteilung des relevanten Stimulusmerkmals mehr neuronale Verbände moduliert und entsprechend ein stärkerer Effekt im EEG gemessen werden. Bei einer kleineren Verteilung und entsprechend wenigen modulierten neuronalen Verbänden sind die Effekte möglicherweise zu klein, um im EEG noch detektierbar zu sein. Im Gegensatz dazu scheinen die neuronalen Prozesse, welche die EKP Zielreiz-Effekte generierten, unabhängig von der Stimulusrepräsentation zu funktionieren. Man kann daher mutmaßen, daß das Fehlen von top-down Effekten auf evozierte Gamma-Band-Aktivität in manchen Untersuchungen (z.B. Karakaş und Başar, 1998) auf ungünstige Stimulation zurückzuführen ist.

Im zweiten Experiment wurden top-down Prozesse in einem Zielreiz-Erkennungs-Paradigma untersucht. In anderen Berichten über top-down Modulationen der Gamma-Aktivität wurde eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Paradigmen eingesetzt. So wurde etwa gefunden, daß Gesichter zu mehr Gamma-Aktivität führen als Nicht-Gesichter (Keil et al., 1999), Sprachreize zu mehr als nichtsprachliche Reize (Pulvermüller et al., 1996) oder Zielreize zu mehr als Standardreize (Herrmann et al., 1999). Obwohl man mutmaßen könnte, daß Gamma-Aktivität in unspezifischer Weise von jeder denkbaren experimentellen Manipulation moduliert sei, gingen wir davon aus, daß es einen gemeinsamen Faktor in vielen dieser au-

genscheinlich heterogenen Untersuchungen gibt. Interessanterweise scheint stets diejenige experimentelle Bedingung zu mehr Gamma-Aktivität zu führen, die den Probanden bekannter erscheint. Daher stellten wir die Behauptung auf, daß die Übereinstimmung zwischen einer Stimulus- und einer Gedächtnisrepräsentation die entscheidende Voraussetzung für eine top-down Modulation der Gamma-Aktivität darstellt. Diese Hypothese wurde im dritten Experiment untersucht (siehe Kapitel 6 der Dissertation), das in der Fachzeitschrift *BMC Neuroscience* veröffentlicht wurde (Herrmann et al., 2004a). In dieser Untersuchung wurden schematische Stimuli präsentiert, die entweder bekannte Alltagsgegenstände darstellten oder Nonsense-Objekte, die jedoch aus denselben Komponenten bestanden. Die bekannten Stimuli, für welche die Probanden über Repräsentationen im Langzeitgedächtnis verfügten, evozierten mehr Gamma-Aktivität als die unbekanntes Stimuli ohne solche Gedächtniseinträge. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde geschlußfolgert, daß top-down Effekte auf Gamma Aktivität durch Feedback Prozesse zwischen Gedächtnis- und Wahrnehmungssystemen zustande kommen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Ergebnisse nahelegen, daß die frühe evozierte Gamma-Aktivität eine frühe Schnittstelle zwischen sensorischen und kognitiven Prozessen darstellt.

Literatur

- Busch, N. A., Debener, S., Kranczioch, C., Engel, A., Herrmann, C. S., 2004. Size matters: effects of stimulus size, duration and eccentricity on the visual gamma-band response. *Clin Neurophysiol* 115 (8), 1810–1820.
- Busch, N. A., Schadow, J., Freund, I., Herrmann, C. S., 2005. Time-frequency analysis of target-detection reveals an early interface between bottom-up and top-down processes in the gamma-band. *Neuroimage* Under review.
- Engel, A., Fries, P., Singer, W., 2001. Dynamic predictions: oscillations and synchrony in top-down processing. *Nat Rev Neurosci* 2 (10), 704–716.
- Herrmann, C. S., Lenz, D., Junge, S., Busch, N. A., Maess, B., 2004a. Memory-matches evoke human gamma-responses. *BMC Neurosci* 5 (1), 13.
- Herrmann, C. S., M., G., Busch, N. A., 2004b. Wavelet analysis of EEG oscil-

- lations. In: Handy, T. (Ed.), *Event-related Potentials: A Methods Handbook*. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 229–259.
- Herrmann, C. S., Mecklinger, A., Pfeifer, E., 1999. Gamma responses and ERPs in a visual classification task. *Clin Neurophysiol* 110 (4), 636–642.
- Herrmann, C. S., Munk, M. H. J., Engel, A., 2004c. Cognitive functions of gamma-band activity: memory match and utilization. *Trends Cogn Sci* 8 (8), 347–355.
- Juergens, E., Guettler, A., Eckhorn, R., 1999. Visual stimulation elicits locked and induced gamma oscillations in monkey intracortical- and EEG-potentials, but not in human EEG. *Exp Brain Res* 129 (2), 247–259.
- Keil, A., Müller, M. M., Ray, W. J., Gruber, T., Elbert, T., 1999. Human gamma-band activity and perception of a gestalt. *J Neurosci* 19 (16), 7152–7161.
- Pulvermüller, F., Eulitz, C., Pantev, C., Mohr, B., Feige, B., Lutzenberger, W., Elbert, T., Birbaumer, N., 1996. High-frequency cortical responses reflect lexical processing: an MEG study. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 98 (1), 76–85.