

Revenstorf
Peter



Hypnose in Psychotherapie, Psychosomatik und Medizin

Manual für die Praxis



Springer

802 Seiten
zu beziehen
über jede Buchhandlung oder
über die MEG-Stiftung
siehe Bestellformular am Ende dieses Heftes

EEG-Rhythmen während tiefer Meditation: Eine Einzelfallstudie mit einem Zen-Meister

Ewgeni Coromaldi
Canan Basar-Eroglu
Michael A. Stadler

■ In der vorliegenden Studie wurde die EEG-Aktivität eines Zen-Meisters während tiefer Meditation untersucht. Dieser Zustand wird als "große Wachheit" bezeichnet und subjektiv wie folgt charakterisiert: während das Ich-Bewusstsein bestehen bleibt, verschwinden Körperwahrnehmung, Zeitgefühl sowie Gedanken und Emotionen vollständig.

Das EEG wurde innerhalb einer Kontrollbedingung und während der Meditation aufgezeichnet. Im Zuge der Meditationsbedingung wurde der Beginn einer Meditationsstufe von der Versuchsperson durch mehrmaliges Drücken des Markierungsknopfes gekennzeichnet. Die EEG-Aufzeichnung wurde sechsmal innerhalb eines halben Jahres wiederholt. Die EEG-Daten wurden mit Hilfe von Power-Spektren analysiert und statistisch in vier Frequenzbändern (Theta (4-7 Hz), Alpha (8-13 Hz), Beta (13-28 Hz) und Gamma (28-48 Hz)) ausgewertet.

Die Ergebnisse der tiefsten Meditationsstufe zeigen gegenüber der Kontrollbedingung eine hochsignifikante Erhöhung der Theta-Power an allen Ableitorten, am deutlichsten parietal links (P3) und eine erhöhte Aktivität im Alpha-Band (8-13 Hz) mit ähnlicher Topografie. Die Beta-Aktivität (15-28 Hz) zeigt eine Tendenz zur globalen Reduzierung. EEG-Aktivität im Theta- und Alpha-Band weist eine starke linkshemisphärische Lateralisierung auf, während das Beta-Band eine centro-parietale linkshemisphärische Lateralisierung aufweist. Die Gamma-Aktivität zeigt eine signifikante Reduzierung an den rechten frontalen und parietalen Ableitorten. Die im Zustand tiefer Meditation registrierte langanhaltende Theta-Aktivität ist ein stabiler Befund und konnte in sechs weiteren EEG-Messungen innerhalb eines halbes Jahres reproduziert werden. Derartig synchronisierte und langanhaltende Aktivität dieses Frequenzbereiches im Wachzustand lässt vermuten, dass während der Meditation nicht nur kortikale sondern auch subkortikale Strukturen involviert sind.

Schlüsselwörter: Meditation, Zen, EEG, Alpha-, Beta-, Gamma-, Theta-Aktivität

Einführung

Die Untersuchung des Bewusstseins hat sich zu allen Zeiten an den außergewöhnlichen Bewusstseinszuständen orientiert. Das alltägliche Wachbewusstsein ist nicht Gegenstand unserer Aufmerksamkeit, sondern es konstruiert eine stabile Sicht der Außenwelt. Die Aufmerksamkeit richtet sich meist erst dann auf eigene Bewusstseinszustände, wenn diese im Zuge von Meditation, Hypnose oder Narkose kontrolliert werden sollen oder sich der Kontrolle entziehen. Gerade dem Meditierenden zeigt sich das Problem der bewussten Unterdrückung von Denkprozessen in besonders deutlicher Weise: "Versuchen Sie einmal, nicht an einen rosa Elefanten zu denken". Diese Fragestellung hat sich auch bei der Untersuchung des Bewusstseins in der kognitiven Psychologie etabliert. Die vorliegende Studie hat sich mit der Frage beschäftigt, welche Veränderungen im EEG bei einer langjährig meditierenden Person registriert werden können.

Erste EEG-Messungen während der Meditation wurden schon in den 50er Jahren publiziert, jedoch konnten die Ergebnisse nicht repliziert werden. Ott (2000) berichtet in seinem Buch, dass erst in den 80er Jahren einige methodisch höher qualifizierte und validere Untersuchungen veröffentlicht wurden. Diese Publikationen verweisen darauf, dass sich Veränderungen des EEGs bei Meditierenden zuerst in einer Zunahme der Alpha-Aktivität zeigen (Delmonte, 1984; Fenwick, 1987; Ott, 2000; Aftanas und Golocheikine, 2001). Bei fortgeschrittenen Meditierenden ist eine Erhöhung der Theta-Aktivität im Frontalbereich mehrfach dokumentiert und publiziert worden. Schon 1969 wurde von Kasamatsu und Hirai über eine immer öfter auftretende Theta-Aktivität berichtet, die mit der Zunahme der Meditationstiefe positiv korreliert.

Die Modulation der Theta-Aktivität (4-8 Hz) des EEGs wurde schon längere Zeit im Zusammenhang mit Traumphasen, Einschlaf-EEG und hypnotisierten Personen untersucht. In den letzten Jahren haben die ereigniskorrelierten Rhythmen eine Bedeutung bei der Untersuchung hirnpfysiologischer Korrelate kognitiver Prozesse im Gehirn gewonnen. In diesem Zusammenhang werden Theta-Oszillationen insbesondere mit Gedächtnisprozessen in Beziehung gebracht. Untersuchungen haben gezeigt, dass Theta-Oszillationen eine wichtige Rolle bei Lernprozessen, bei fokussierter Aufmerksamkeit und beim Kurzzeitgedächtnis spielen (Klimesch, 1999; Basar, 1999; Basar et al., 1999; Basar-Eroglu & Demiralp 2001; Schmiedt, 2002). Eine Studie von Klimesch et al. (1997) dokumentiert Ergebnisse, die Theta-Aktivität mit Prozessen des Arbeitsgedächtnisses, dem Abruf und der Einspeicherung von episodischen Gedächtnisinhalten korrelieren. Weiterhin konnten Smith, McEvoy und Gevins (1999) nachweisen, dass erhöhte Theta-Aktivität neuronale Adaptationsprozesse widerspiegelt. Diese Prozesse gehen mit fokussierter Aufmerksamkeit und kontext- bzw. aufgabenschwierigkeitsgebundener, bewusster Steuerung der Aufmerksamkeit und des Erregungsniveaus einher.

Aktuelle Untersuchungen von Aftanas und Golocheikine (2001) verweisen auf se-

lektive Assoziationen zwischen Theta- und Alpha-oszillatorischen Netzwerken im Kontext mit internalisierter Aufmerksamkeit bei Meditation. Lehmann et al. (2001) dagegen betonen die Rolle des Gamma-Bandes (40 Hz) und ihre Bedeutung bei Änderungen der Bewusstseinszustände während der Meditation.

Die meisten bislang durchgeführten Meditationsstudien wurden an Versuchspersonen vorgenommen, die allesamt unterschiedlich lange Meditationserfahrung besaßen. Nur die wenigsten Untersuchungen konnten mit einem Meditations-Meister durchgeführt werden, so im Falle von Lehmann et al. (2001), die in ihrer Studie einen buddhistischen Lama untersuchten. Es liegt nahe anzunehmen, dass eine langjährige Meditationspraxis noch keinen unmittelbaren Hinweis auf die Fortgeschrittenheit der Meditation liefert. Die Bezeichnung Zen-Meister sollte als Indikator für eine besondere Qualität des meditativen Zustandes herangezogen werden können. Die Anerkennung als Zen-Meister wird gewöhnlich von anderen Zen-Meistern aufgrund einer subjektiven, nicht rationalen Bewertung vergeben. Dennoch konnten Kasamatsu & Hirai (1969) sowie Hard (1994) zeigen, dass das Auftreten charakteristischer EEG-Aktivität mit der Einstufung des Meditationsfortschrittes durch den Zen-Meister korrelierte.

Ausgehend von den Ergebnissen der hier vorgestellten Studien, nutzten wir die Möglichkeit, einen erfahrenen Zen-Meister elektrophysiologisch zu untersuchen, um festzustellen, welche EEG-Korrelate (neuronale Aktivationsmuster in unterschiedlichen Frequenzbändern) mit dem subjektiv berichteten Zustand tiefer Meditation einhergehen.

Methode

Versuchsperson

Das Elektroenzephalogramm (EEG) wurde von dem Zen-Meister Michael Sabaß (Rei-Ko Sensei) aufgenommen. Michael Sabaß (58 Jahre alt, rechtshändig, ohne neurologische und psychiatrische Vorgeschichte, keine Drogen- oder Medikamenteneinnahme) praktiziert Zen-Meditation seit 23 Jahren. 1980 begann er mit Zen-Übungen und wurde Schüler von Prabhava Dharma Roshi und später von Wolf-Dieter Nolting (Rei Shin Sensei). 1989 hatte er zum ersten mal einen Aufenthalt in Myoshin-ji in Kyoto, wo er von Oi Saidan Roshi zum Mönch ordiniert wurde und den Namen Rei-Ko ("Gutes Licht") erhielt. 1996 erhielt er von Rei Shin Sensei die Anerkennung als Rinzaï-Zen-Meister in der Traditionslinie von Oi Saidan Roshi (Hoko ji Kloster, Japan). Im Sommersemester 2001 führte Michael Sabaß zusammen mit einem der Koautoren dieses Artikels (Prof. Dr. Michael Stadler) eine Lehrveranstaltung an der Universität Bremen über "Zen-Meditation und Neurokognitionsforschung" durch.

Meditationsmethode

In der vorliegenden Untersuchung hat die Versuchsperson als Meditationsmethode Zen-Meditation praktiziert. Zen-Meditation ist eine buddhistische Art der Meditation,

welche das Erlangen des Zustandes der Satori ("Erleuchtung") zum Ziel hat (siehe auch Sabaß, 2003). Während der Untersuchung unternimmt der Proband nach eigenen Angaben den Versuch, eine besondere geistige Haltung einzunehmen, in welcher Gedanken, Gefühle, sowie sämtliche Sinnesreize unbeteiligt wahrgenommen werden, so dass nach kurzer Zeit ein Zustand "großer Wachheit" erreicht wird. Subjektiv wird dieser Zustand, als Bewusstsein ohne Gedanken und Gefühle beschrieben. Die Körperwahrnehmung und das Zeitgefühl verschwinden dabei vollständig, während das Ich-Bewusstsein bestehen bleibt. Der Meditierende nimmt dabei nach eigenen Angaben äussere Reize weiterhin wahr, schenkt diesen jedoch keinerlei Aufmerksamkeit.

Datenaufnahme

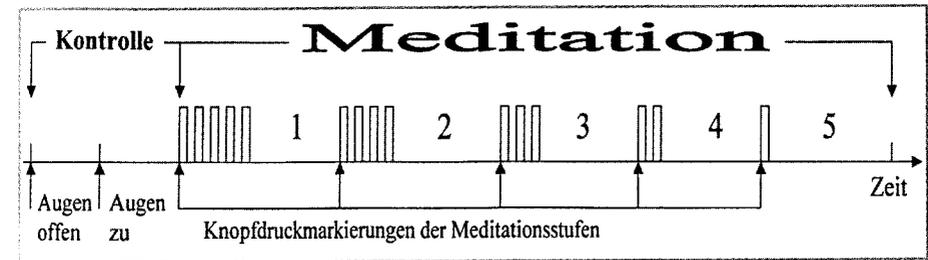
Das EEG wurde mithilfe eines Mehrkanalschreibers (Nihon Kohden-4421G) aufgezeichnet und verstärkt (Zeitkonstante 0.3 s; Bandpaß-Filter: 0.1-70 Hz). Zusätzlich wurde ein Notchfilter (50 Hz, 36dB/Oktave) verwandt, um Artefakte durch das Stromversorgungsnetz zu vermeiden. Die Daten wurden mit einem Analog/Digital-Wandler (Data Translation, Modell DT21-EZ) mit einer Abtastrate von 1024 Punkten pro Sekunde digitalisiert und gespeichert.

Während der Hauptuntersuchung wurde das EEG mithilfe einer Elektrodenhaube des Herstellers ECI von den Elektrodenpositionen F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, T3, T4, T5, T6 entsprechend dem internationalen 10-20-System abgeleitet. Bei allen Aufnahmen dienten die verbundenen Ohr läppchen A1 + A2 als Referenz. Als Erdungselektrode diente eine speziell dafür vorgesehene Elektrode der Elektrodenhaube. Um den optimalen Kontakt der Elektroden mit der Kopfhaut und eine bestmögliche Reduzierung des Leitwiderstandes zu gewährleisten wurde Elektrolytgel (Electro-gel-eci) verwendet. Die Kontrolle der Augenbewegungen erfolgte über die kombinierte Betrachtung der Elektrodenpositionen F3 und F4. Ein Elektromyogramm (EMG) wurde mithilfe zweier zusätzlicher Ag/AgCl-Elektroden abgeleitet, die auf der Stirn mithilfe einer leitenden Paste (Grass electrode paste) angebracht wurden. Der Elektrodenwiderstand wurde kleiner als 5 kOhm gehalten. Ein zusätzlicher Kanal des Mehrkanalschreibers wurde zur Registrierung der Knopfdrucke genutzt.

In drei Voruntersuchungen wurden einzelne Ag/AgCl-Elektroden an den Elektrodenpositionen Fz, Cz, Pz, Oz plaziert. Als Erdung diente eine Nackenelektrode. Zwei Elektroden am rechten Auge wurden für die Aufzeichnung des Elektrookulogramms (EOG) verwendet. Das EMG wurde hier mithilfe zweier zusätzlicher Elektroden am linken Mastoid aufgenommen.

Versuchsdurchführung

Alle Aufnahmen fanden in einem schwach beleuchteten, schallgedämpften und elektromagnetisch abgeschirmten Raum gegen 9.00 Uhr morgens statt und dauerten im Durchschnitt 1,5 Stunden.



Die Versuchsperson saß während der gesamten Aufnahmezeit auf einem Meditationskissen im "halbem Lotus-Sitz" (ein Fuß auf dem gegenüberliegenden Oberschenkel) auf dem Boden des Aufnahmezimmers.

Kontrollbedingung

In der Kontrollbedingung wurde das Spontan-EEG mit offenen und geschlossenen Augen, jeweils 1 Minute, aufgezeichnet.

Meditationsbedingung

Während der Meditationsbedingung hielt die Versuchsperson die Augen geschlossen und den Markierungsknopf in der rechten Hand. Der Knopf war elektromagnetisch abgeschirmt, so dass Artefakte durch das Knopfdrucksignal weitgehend ausgeschlossen werden konnten. Die Versuchsperson wurde instruiert, diesen Knopf zu drücken, wenn sie einen Wechsel zwischen den fünf nachfolgenden Stufen der meditativen Versenkung wahrnahm.

Die Knopfdruckinstruktion für die jeweiligen Stufen lautete:

1. Fünfmaliges Knopfdrücken - erste Stufe (subjektive Zustandsbeschreibung: gezielte Aufmerksamkeit, alle Gedanken, Gefühle, Reize werden zugelassen).
2. Viermaliges Knopfdrücken - zweite Stufe (subjektive Zustandsbeschreibung: Gedanken, Gefühle, Reize werden nur beobachtet und nicht aufgegriffen).
3. Dreimaliges Knopfdrücken - dritte Stufe (subjektive Zustandsbeschreibung: wie vorher mit verstärktem Beobachterstatus).
4. Zweimaliges Knopfdrücken - vierte Stufe (subjektive Zustandsbeschreibung: gezieltes Stoppen aller Gedanken).
5. Einmaliges Knopfdrücken - fünfte und somit die tiefste Stufe der Meditation (subjektive Zustandsbeschreibung: völlig anstrengungsloses Gewahrsein ohne Geistesaktivität).

Diese experimentelle Sitzung wurde an sechs verschiedenen Terminen innerhalb eines halben Jahres wiederholt. Außerdem wurde eine zusätzliche Schlaf-EEG-Aufzeichnung während des natürlichen Schlafs von 23:00 Uhr bis 02:30 Uhr durchgeführt, um die im Einschlaf, Leichtschlaf und in anderen Stadien von Schlaf auftretenden Thetawellen mit den in der Meditation beobachteten Thetawellen zu vergleichen. In dieser

Arbeit beschränken wir uns hauptsächlich auf die Analyse der fünften (tiefsten) Stufe der Meditation.

Datenanalyse

Die Analyse der Daten umfasst folgende Bedingungen: Kontrollbedingung (wach, Augen geschlossen) versus tiefster Stufe der Meditation, sechs Messsitzungen und den Variablen: Linke, rechte Hemisphäre oder zwölf einzelne Messpunkte (F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, T3, T4, T5, T6).

Zunächst wurden die EEG-Daten off-line auf mögliche Augen-, Muskel-, Schwitz- und Bewegungsartefakte hin untersucht. Danach wurden 40 artefaktfreie Epochen von jeweils 1000 ms Dauer aus der Stufe der tiefsten Meditation und aus dem Kontroll-EEG ausgewählt und ausgewertet. Für die Analyse dieser Epochen wurden die Frequenzspektren des EEG über die Fast-Fourier-Transformation (FFT) ermittelt.

Mit Hilfe der Analyse fortlaufender Power-Spektren wurden die Stufen der Meditation innerhalb einer Experimentalsitzung, so wie die tiefsten Meditationsstufen von sechs Messwiederholungen innerhalb eines halbes Jahres ausgewertet und verglichen.

Statistische Analyse

Um mögliche signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen (Spontan-EEG vs tiefe Meditation) an den 12 Ableitorten und in den vier gewählten Frequenzbändern (Theta 4-7 Hz, Alpha 8-13 Hz, Beta 13-28 Hz, Gamma 28-48 Hz) zu ermitteln, wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) durchgeführt: Bedingungen (2 Stufen: Spontan vs. Meditation) x Ableitort (12 Stufen: F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, T3, T4, T5, T6). Dafür wurden aus Powerspektren fortlaufender Epochen (1000 ms) die maximalen Werte (Peaks) in den Grenzen der entsprechenden Frequenzbänder ermittelt und mit Hilfe des Programmes SPSS (Version 11..0) statistisch ausgewertet. Darüber hinaus wurde innerhalb der Kontrollbedingung (Spontan EEG, geschlossene Augen) und während des Zustands tiefster Meditation (fünfte Stufe) mit derselben Methode ein Vergleich der hemisphärischen Aktivität in den oben angeführten Frequenzbändern ausgewertet: Bedingungen (2 Stufen: Spontan linke Hemisphäre vs. Spontan rechte Hemisphäre) x Ableitort (12 Stufen: F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, T3, T4, T5, T6), so wie Bedingungen (2 Stufen: Meditation linke Hemisphäre vs. Meditation rechte Hemisphäre) x Ableitort (12 Stufen: F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, T3, T4, T5, T6).

Ergebnisse

Bei der Betrachtung des EEGs zeigen sich markante Unterschiede zwischen der Kontrollbedingung (Ruhezustand, Augen geschlossen) und dem Zustand tiefer Meditation (Abb. 1). Im Vergleich zu der niedrigamplitudigen, frequenzinstabilen polymorphen EEG-Aktivität während der Kontrollbedingung kommt es in der Phase tiefer Medita-

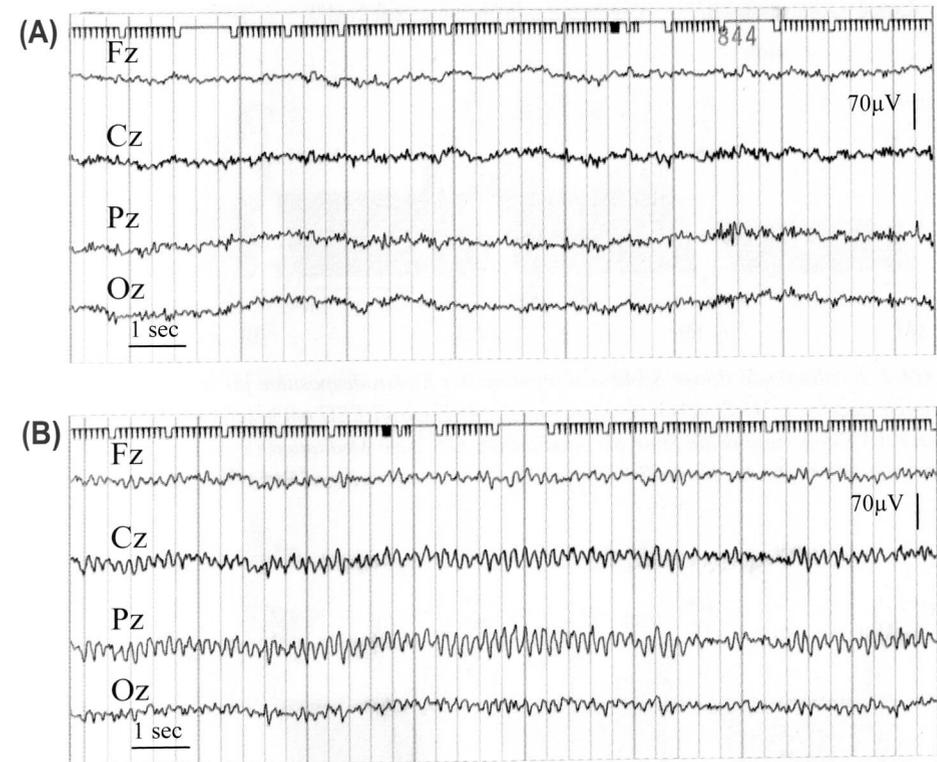


Abb. 1: (A) Kontroll-EEG mit geschlossenen Augen. (B) EEG während tiefer Meditation. Elektrodenpositionen Fz, Cz, Pz, Oz.

tion (Stufe 5) zu einer monomorphen, hochamplitudigen dominanten Theta-Aktivität. Diese Aktivität zeigt einen ausgeprägt stabilen sinusoidalen Verlauf, der im tiefsten Meditationsstadium minutenlang nahezu unverändert bleibt. Nur selten wird er von ein bis zwei sekundiger hochfrequenter Aktivität unterbrochen. Diese Art von EEG-Aktivität kann man berechtigterweise als Theta-Rhythmus bezeichnen. Die besondere sinusoidale Form der Theta-Aktivität, die wir hier finden, wurde auch in früheren Untersuchungen beschrieben (Banquet, 1973). Diesen Theta-Rhythmus konnten wir in keinem Schlafstadium oder während des Einschlaf-EEG bei dieser Versuchsperson registrieren.

Als weitere Besonderheit ergibt sich das Fehlen eines Alpha-Rhythmus im Ruhezustand mit geschlossenen Augen. Dieser Befund wurde bis jetzt nicht als charakteristisch für Zen-Meditierende oder für Meditierende allgemein beschrieben.

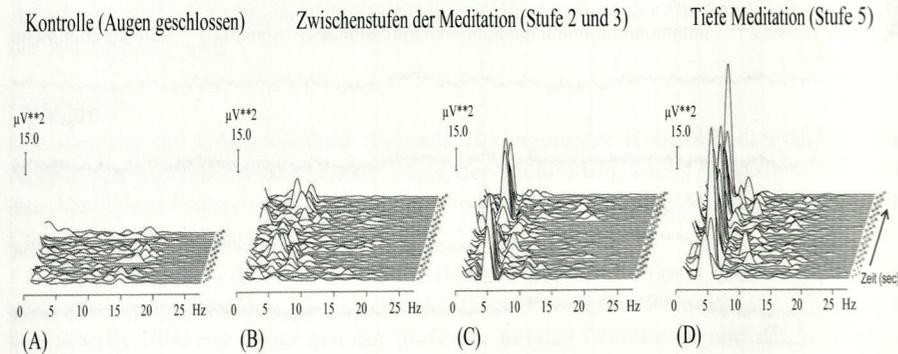


Abb. 2: Fortlaufende Power Spektralanalyse an der Elektrodenposition parietal links (P3), die durch einzelne EEG-Epochen berechnet wird. (A) Kontroll-EEG mit geschlossenen Augen. (B) und (C) Zweite und dritte Stufe der Meditation. (D) Tiefe Meditation (Stufe 5). Die Zeitdauer beträgt 24 sec für das Kontroll-EEG und 39 sec in den jeweiligen Stufen des Meditation.

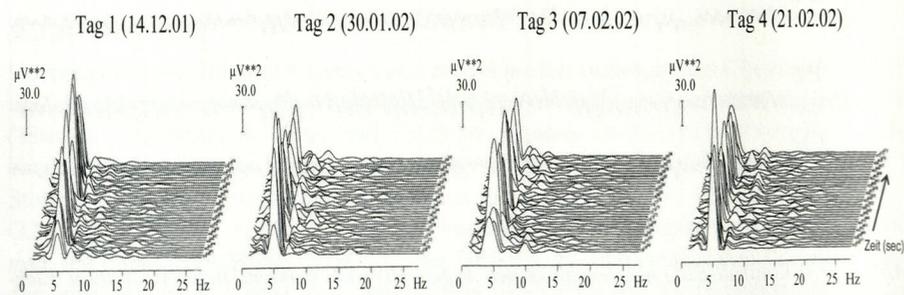


Abb. 3: Fortlaufende Power Spektralanalyse der tiefsten Meditationsstufe (Stufe 5) an verschiedenen Tagen am parieto-zentralen Ableitort (Pz). Die Zeitachse eines jeden Tages beträgt jeweils 39 sec.

Power Spektrum

Die Analyse fortlaufender Power-Spektren einzelner Epochen (Abb. 2) zeigt die zunehmende Ausprägung einer dominanten Theta-Aktivität mit einem Maximum um 6 Hz im Zuge der zunehmenden meditativen Versenkung. Diese Theta-Aktivität gewinnt nicht nur an Stärke, sondern fokussiert sich auch auf den 6-Hz-Bereich des Spektrums und wird stabiler im Verlauf: je tiefer die Stufe, desto weniger Unterbrechungen. Diese prominente Theta-Aktivität ist ein stabiler Befund. Sie konnte an insgesamt sechs EEG-Messungen innerhalb eines halbes Jahres reproduziert werden (Abb. 3).

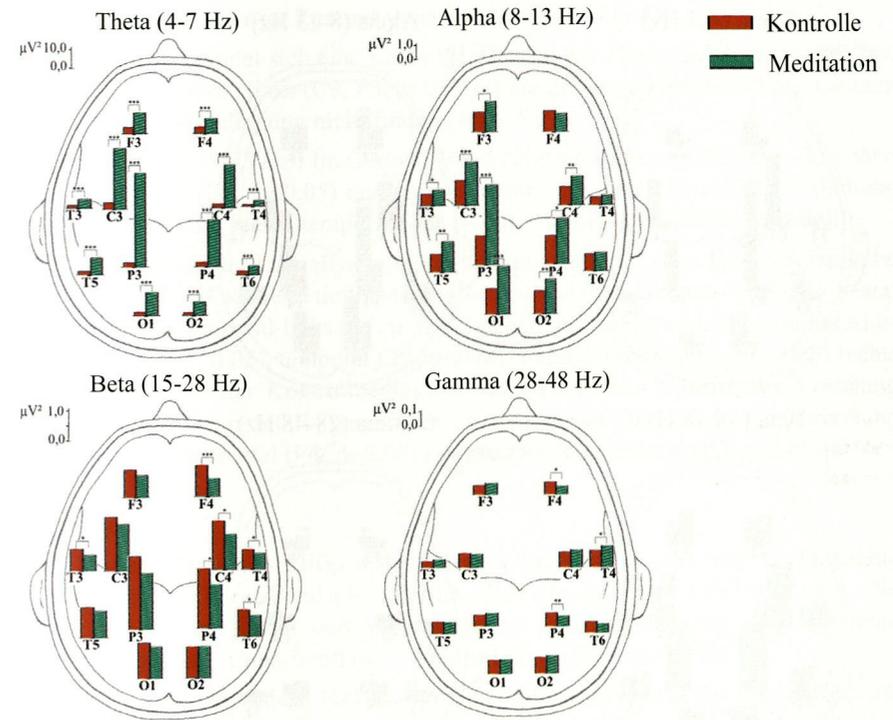


Abb. 4: Vergleich der gemittelten Power-Werte zwischen Kontrollbedingung (Augen geschlossen) und Meditation (Stufe 5) für Theta-, Alpha-, Beta- und Gamma-Band an verschiedenen Ableitorten. Signifikanzniveaus: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Topographische Veränderungen im EEG

Die Varianzanalyse für die verschiedenen Bänder ergab folgende Ergebnisse:

Theta Band (4-7 Hz): Der Vergleich der Phase tiefer Meditation mit der Kontrollbedingung (Ruhe, Augen geschlossen) zeigt eine signifikante Erhöhung ($p < 0,001$) der Theta-Power an allen Ableitorten (F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, T3, T4, T5, T6), am deutlichsten centro-parietal links (C3, P3) (Abb. 4).

Weiterhin zeigte sich eine signifikante Lateralisierung mit erhöhter Theta-Power linkshemisphärisch an allen Ableitorten in der Phase tiefer Meditation. Die Lateralisierung fiel parietal (P3), temporal (T5) und okzipital (O1) besonders deutlich aus ($p < 0,001$). In der Kontrollbedingung beschränkte sich die Lateralisierung dagegen auf centro-temporal links (T3, C3; $p < 0,05$) (Abb. 5).

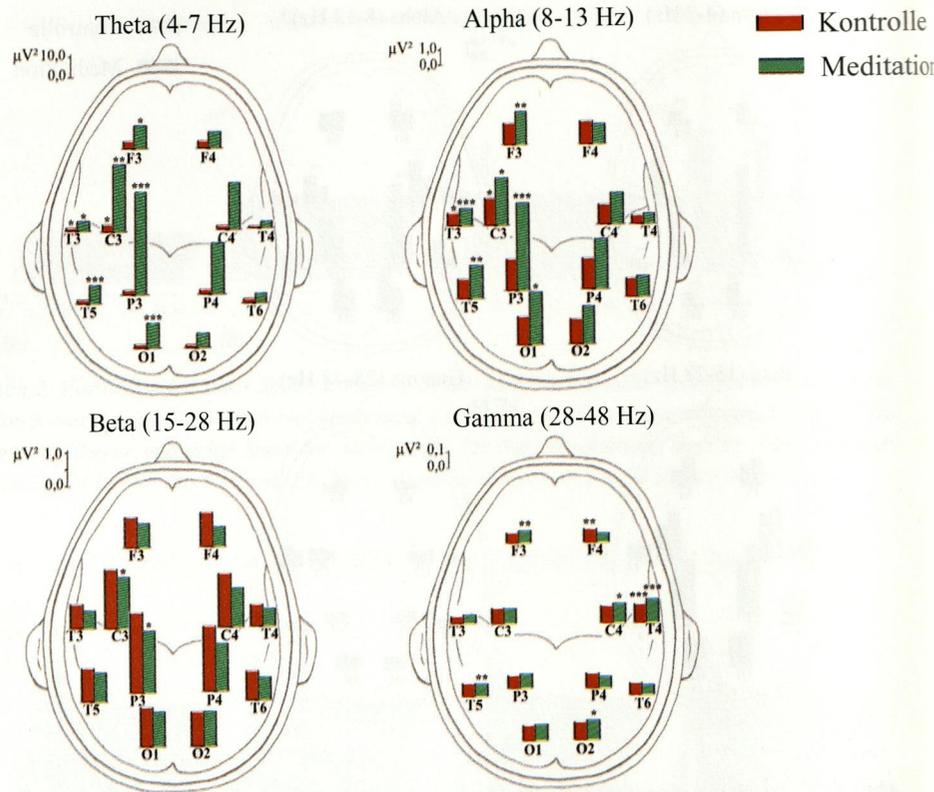


Abb. 5: Hemisphärenvergleich der gemittelten EEG-Power im Theta-, Alpha-, Beta- und Gamma-Band. Signifikanzberechnung: F3 vs. F4, C3 vs. C4, P3 vs. P4, T3 vs. T4, T5 vs. T6 und O1 vs. O2 jeweils innerhalb der Kontrollbedingung und während tiefer Meditation. Signifikanzniveau: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Alpha Band (8-13 Hz): Im Alpha-Band zeigt sich eine signifikante Erhöhung der Power an allen Ableitorten, mit Ausnahme der Positionen F4, T4, und T6, mit der stärksten Alpha-Verstärkung parietal-links (P3) in der Phase tiefer Meditation (Abb. 4). Während tiefer Meditation fand sich außerdem eine starke Lateralisierung mit linkshemisphärischer Alpha-Dominanz, besonders temporal (T3) und parietal (P3) ($p < 0,001$) (Abb. 5).

Beta Band (13-28 Hz): Für die Beta-Band-Power zeigt sich eine signifikante Verringerung, hauptsächlich rechtshemisphärisch (F4; $p < 0,001$), (C4, P4, T4, T6; $p < 0,05$) und links temporal (T3; $p < 0,05$), sowie eine nicht-signifikante allgemeine Tendenz

zur Abnahme der Power im Zustand tiefer Meditation (Abb. 4).

Centro-parietal findet sich eine Lateralisierung in der Phase tiefer Meditation mit erhöhter Beta-Aktivität links (C3, P3; $p < 0,05$). Eine derartige Lateralisierung konnten wir in der Kontrollbedingung nicht finden (Abb. 5).

Gamma Band (28-48 Hz): Im Gamma-Band zeigt sich eine signifikante Aktivitätsminderung frontal (F4; $p < 0,05$) und parietal rechts (P4; $p < 0,01$) und eine Erhöhung der Gamma-Aktivität rechts-temporal (T4; $p < 0,05$) in tiefer Meditation (Abb. 4).

Die hemisphärische Lateralisierung des Gamma-Bandes zeigt keine einheitliche Tendenz. Wir finden während tiefer Meditation eine erhöhte Gamma-Aktivität frontal (F3; $p < 0,01$) und temporal-links (T5; $p < 0,01$) gegenüber rechts und eine erhöhte Aktivität central (C4; $p < 0,05$), temporal (T4; $p < 0,001$) und occipital (O2; $p < 0,005$) rechts gegenüber links. In der Kontrollbedingung finden wir eine signifikante Erhöhung rechts temporal (T4; $p < 0,001$) gegenüber links temporal (T3) sowie eine Erhöhung der Aktivität rechts frontal (F4; $p < 0,001$) gegenüber links frontal (F3) (Abb. 5).

Diskussion

Unsere Untersuchung des EEGs während tiefer Meditation zeigt eine stark erhöhte EEG-Aktivität im Theta-Band (4-7 Hz) an allen abgeleiteten EEG-Positionen. Die höchste Theta-Power findet sich hierbei parietal links. Gleichzeitig zeigt sich eine erhöhte Aktivität im Alpha-Band (8-13 Hz) mit ähnlicher Topografie.

Die Beta-Aktivität (15-28 Hz) hat im Gegensatz zur Theta- und Alpha-Aktivität eine Tendenz zur globalen Reduzierung, signifikant ist sie rechtshemisphärisch reduziert, insbesondere rechts-frontal. Das Gamma-Band zeigt keine globale Veränderung. Damit findet sich während tiefer Meditation eine starke linkshemisphärische Lateralisierung der EEG-Aktivität im Theta- und Alpha-Band und centro-parietal eine linkshemisphärische Lateralisierung des Beta-Bandes.

Die stark dominierende Power des Theta-Bandes zeigt das Maximum um 6 Hz, was im EEG mit bloßem Auge zu beobachten ist. Die Alpha-Aktivität weist im parieto-okzipitalen Bereich (P3, P4, O1, O2) sowie links-temporal (T5) ein deutliches 11-Hz-Maximum auf.

Eine erhöhte Theta-Aktivität bei Meditierenden wurde bereits in mehreren früheren Arbeiten festgestellt: bei transzendentaler Meditation (Banquet, 1973; Tebecis, 1975; Hebert & Lehmann, 1977; Gaylord et al., 1989), bei Zen-Meditation (Murata et al., 1993; Hardt, 1994), bei Sahaja Yoga (Aftanas & Golocheikine, 2001, 2002), bei Yoga Nidra (Kjaer et al., 2001) und bei Tantric Yoga (Corby et al., 1978). Im Gegensatz zu unseren Ergebnissen zeigten die meisten der hier erwähnten Untersuchungen das Maximum der Theta-Aktivität über frontalen und fronto-centralen Arealen des Kortex und nicht innerhalb parietaler Bereiche wie im Falle des von uns untersuchten Zen-Meisters.

Nur in der Untersuchung zur transzendentalen Meditation von Banquet (1973) wurde festgestellt, dass sich die Theta-Aktivität (5-7 Hz) in der zweiten Meditations-Phase entwickelt, dabei zunächst frontal auftritt und sich in Richtung posteriorer Bereiche des Cortex ausbreitet, jedoch ohne dabei eine deutliche parietale Dominanz zu erreichen. Darüber hinaus entwickelt sich diese Theta-Aktivität (5-7 Hz) im Gegensatz zu unseren Untersuchungen in der zweiten Meditations-Phase aus einer Verlangsamung der dominierenden Alpha-Frequenz der ersten Phase. Im Falle unserer Versuchsperson entwickelt sich die Zunahme der Theta-Aktivität nicht auf Basis der vorangegangenen Alpha-Aktivität, sondern Theta- und Alpha-Aktivität scheinen parallel anzusteigen.

Die von Banquet gefundene erhöhte Theta-Aktivität an frontalen Gehirnarealen in der Zwischenstufe der Meditation und die erhöhte Theta-Aktivität über frontalen und fronto-centralen Arealen der oben erwähnten Studien könnte als Zeichen einer Fokussierung der Aufmerksamkeit interpretiert werden. Smith et al. (1999) konnten zeigen, dass kognitive Prozesse, die fokussierte Aufmerksamkeit erfordern, z.B. Lernprozesse, mit einer erhöhten Theta-Aktivität an fronto-centralen Ableitorten einhergehen. Nach diesen Autoren spiegelt diese Erhöhung neuronale Adaptationsprozesse wider, die mit fokussierter Aufmerksamkeit, kontextgebundener bewusster Steuerung und Aufrechterhaltung eines aufgabenadäquaten Aufmerksamkeitszustandes einhergehen. Diese Annahme steht mit Untersuchungen von Klimesch (1999) im Einklang, wonach paradigmeng-unabhängige ereigniskorrelierte Theta-Oszillationen erhöhte Aufmerksamkeitsanforderungen repräsentieren (Aufgabenschwierigkeitsgrad, Ausmaß an kognitiver Belastung).

Für den hier untersuchten Zustand tiefer Meditation gilt diese erhöhte Aufmerksamkeitsanforderung offenbar nicht mehr. Dieser Zustand (fünfte Stufe der Meditation) entsteht, nach Angaben des Probanden, ohne die Möglichkeit willentlicher Beeinflussung, wogegen die ersten vier Stufen willentlich und durch konzentrierte Aufmerksamkeit aufrecht erhalten werden. Der Proband beschreibt diese Stufe wie folgt: "Ohne die Möglichkeit willentlicher Beeinflussung verändert sich nach einer Weile der Zustand in der Weise, dass keinerlei Anstrengung oder Wille notwendig ist, vollkommene Stille zu halten: Während bis hierher der 'Grundzustand' des Geistes die Aktivität war, die willentlich ruhig gehalten wird, ist jetzt der Grundzustand Stille und reines Gewahrsein."

So lässt sich folgern, dass die im fronto-centralen Bereich geringere und im parieto-centralen Bereich, relativ zu anderen Regionen, erhöhte Theta-Aktivität nicht mehr den Zustand erhöhter Aufmerksamkeit, sondern einen Zustand fehlender Orientierung widerspiegelt. Nach Angaben des Probanden existiert hier für das Bewusstsein kein Körper mehr, kein Außen und kein Innen, kein Unterschied zwischen dem Ich und der Außenwelt; Funktionen, die dem posterior superioren parietalen Areal zugeschrieben werden (siehe Newberg & Iversen, 2003). In diesem Fall spiegelt die erhöhte Theta-

Aktivität offenbar nicht Aktivierung, sondern Inaktivierung wider. Wahrscheinlich auf ähnliche Weise wie im Falle von "Feuerläufern", die während des kurzen Kontaktes (ca. 400ms) mit bis zu 500°C heißen Holzkohlen erhöhte Theta-Aktivität (3.5-5.0 Hz) über parietalen Arealen, bei gleichzeitiger Schmerzunempfindlichkeit zeigen (Larbig, 2002); oder ähnlich der Schmerzunempfindlichkeit eines Fakirs, der sich während einer Trance "mehrere lange Spieße und Lanzen durch den Körper trieb ohne erkennbare Schmerzreaktionen zu zeigen" (Larbig, 2002). Auch in diesem Fall wurde während der Schmerzerwartung und Schmerzreizung eine signifikant erhöhte Theta-Aktivität über sensomotorischen Hirnarealen gefunden. Bereits 1982 hatten Larbig et al. bei einem Fakir unter Laborbedingungen eine ähnliche Theta-Synchronisation an parietalen Ableitorten, während der Antizipation schmerzhafter akustischer und elektrischer Reize, festgestellt (vgl. Larbig in diesem Heft).

In der vorliegenden Untersuchung haben wir während tiefer Meditation, neben einer deutlichen Erhöhung der Theta- und Alpha-Aktivität, eine starke linkshemisphärische Lateralisierung in erster Linie im Theta- und Alpha-Band, sowie in centroparietalen Arealen im Beta-Band festgestellt. Nach Ansicht von Deepak (2002) ist Meditation eine Funktion der rechten Hirn-Hemisphäre. Laut einer früheren Arbeit von Delmonte (1984) beginnt Meditation mit einer linkshemisphärischen Aktivität, die in eine rechthemisphärische Aktivität übergeht. Während fortgeschrittener Meditation ("keine Gedanken") wird die Aktivität beider Hemisphären stark inhibiert. In Single-Photon-Emissions-Computer-Tomografie (SPECT) Untersuchungen von Newberg et al. (2001) von tibetisch-buddhistisch Meditierenden wurde eine erhöhte Aktivität im präfrontalen Cortex (größere Aktivität an der rechten Seite), sowie im Gyrus cinguli festgestellt. Die Autoren interpretieren das als Zeichen des Willens (präfrontaler Cortex, besonders rechts), sich zu konzentrieren bzw. zu meditieren, sowie als ein Zeichen fokussierter Aufmerksamkeit (Gyrus cinguli). Außerdem wurde eine Reduzierung des zerebralen Blutflusses (rCBF) im linken superioren parietalen Areal festgestellt. Unsere Ergebnisse im Gamma-Band zeigen eine Umkehr der hemisphärischen Dominanz im frontalen Bereich (F3 vs. F4) (Abb. 5). Während tiefer Meditation ist die EEG-Power im Gamma-Band links-frontal grösser als rechts, in der Kontrollbedingung ist dieses Verhältnis umgekehrt. Wir teilen die Meinung von Newberg und Iversen (2003), die nach einer phänomenologischen Analyse zum Schluß kommen, dass das "Endergebnis vieler Meditationspraktiken ähnlich ist, obgleich diese Ergebnisse mithilfe verschiedener kultur- und personenabhängiger Merkmale beschrieben werden. Deshalb scheint es angemessen zu sagen, dass sich anfängliche neurophysiologische Aktivierungen aufgrund der unterschiedlichen Meditationspraktiken durchaus unterscheiden können, sich letzten Endes jedoch annähern." Daher lassen sich die Unterschiede in der EEG-Aktivität zwischen dem von uns untersuchten Zen-Meister und den Ergebnissen anderer Meditationsuntersuchungen möglicherweise auf die Fortgeschrittenheit in der Meditationspraxis zurückführen.

Nach Ward (2003) können "globale synchrone neuronale Oszillationen verteilt über das ganze Gehirn [...] eher die Entstehung bewusster Wachheit reflektieren als lokale synchrone Oszillationen, die auftreten im Kontext der Enkodierung von Stimuli in sensorischen Arealen". Nach unserer Ansicht es ist sinnvoll, zwei zentrale Funktionen bestimmter Frequenzen (bzw. Oszillationen) oder Frequenz-Bänder zu unterscheiden. Einem von Basar et al. (1999, 2001) postulierten Konzept zufolge werden Oszillationen als definierte Aktivierungen angesehen, die sich durch gezielte Stimulation immer wieder als ähnliche Aktivierungsmuster aufrufen lassen. Charakteristische ereigniskorrelierte Theta- und Alpha-Oszillationen korrelieren z.B. mit vorübergehender Speicherung und dem Abruf von Gedächtnisinhalten aus dem Kurzzeitspeicher (siehe Klimesch et al., 1997; Klimesch, 1999). Solche Oszillationen können auch vorbereitende Rhythmen darstellen, die vor der Präsentation von Stimuli auftreten können. Den unterschiedlichen Frequenzbändern und ereigniskorrelierten Oszillationen wird nach Basar und Mitarbeitern (1999, 2001) eine Vielzahl von Funktionen zugesprochen. Es wird angenommen, dass die Generierung von Gehirnoszillationen unterschiedlicher Frequenz bestimmten Strukturen und kortikalen Regionen zugeordnet werden kann. Diese Autoren sprechen von "selectively distributed systems". Diese repräsentieren und ermöglichen die funktionalen Aktivierungen des Gehirns bei der Informationsverarbeitung. Vor allem unter komplexen Anforderungen, die sensorische, kognitive und motorische Prozesse erfordern, wird nach dem Ansatz dieser Autoren eine Kombination vieler oszillatorischer Antworten und Aktivierungen erforderlich.

Wir sehen darüberhinaus noch eine andere, übergeordnete Funktion einer Frequenz, im Falle ihrer deutlichen, anhaltenden Dominanz über den gesamten Cortex hinweg, wie im Falle der Delta-Frequenz im Tiefschlaf, des Alpha-Bandes im Zuge von Entspannungszuständen oder der hier gezeigten Theta-Aktivität während tiefer Meditation: Die Kombination langanhaltender dominierender Frequenzen mit anderen Frequenzen, wie der Alpha-Frequenz, während tiefer Meditation, kann verschiedene Eigenschaften eines bestimmten Bewusstseinzustandes darstellen. Besonders zu erwähnen ist die linkshemisphärische fronto-parietal erhöhte Theta-Aktivität und reduzierte Gamma-Aktivität. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Meditation ebenso aufgabenspezifische kognitive Strategien fordert, wie z.B. diejenigen des Arbeitsgedächtnisses oder bei Aufmerksamkeitprozessen. Die nach innen gerichtete und intern gesteuerte Aufmerksamkeit während der Meditation triggert möglicherweise sowohl anteriore als auch posteriore Aufmerksamkeitsnetzwerke des Gehirns. Unsere Ergebnisse stimmen mit Befunden von Aftanas (Aftanas & Golocheikine, 2001) überein, der diese Erhöhungen im Kontext mit positiver emotionaler Erfahrung interpretiert hat.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Zustand tiefer Meditation des von uns untersuchten Zen-Meisters eine besondere EEG-Aktivität aufweist. Diese Aktivität unterscheidet sich von allen uns bekannten Meditationsuntersuchungen in erster Linie

in ihrer Topografie (mit der höchsten Theta- und Alpha-Aktivität an parietalen Ableitungen). Diese Unterschiede sind unserer Ansicht nach auf die besonderen Qualitäten des Zen-Meisters zurückzuführen und legen nahe, bei der Auswahl von Versuchspersonen den jeweiligen Grad der Meditationspraxis zu berücksichtigen. Die in tiefer Meditation über den gesamten Cortex hinweg registrierten, lang anhaltenden Rhythmen könnten sich als ein geeignetes Modell zur Erforschung der Funktionen verschiedener Frequenz-Bänder für kognitive und emotionale Prozesse, sowie für das Bewusstsein an sich erweisen.

Literatur

- Aftanas, L.I. & Golocheikine, S.A. (2001). Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high-resolution EEG investigation of meditation. *Neuroscience Letters*, 310(1), 57-60.
- Aftanas, L.I. & Golocheikine, S.A. (2002). Non-linear dynamic complexity of the human EEG during meditation. *Neuroscience Letters*, 330(2), 143-146.
- Banquet, J.P. (1973). Spectral analysis of the EEG in meditation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 35(2), 143-151.
- Basar, E. (1999). *Brain Function and Oscillations: Volume II: Integrative Brain Function*. Neurophysiology and Cognitive Processes. Berlin: Springer.
- Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S. & Schürmann, M. (1999). Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG. *Neuroscience Letters*, 259, 165-168.
- Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S. & Schürmann, M. (2001). Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes. *International Journal of Psychophysiology*, 39, 241-248.
- Basar-Eroglu, C. & Demiralp, T. (2001). Event-related theta oscillation: an integrative and comparative approach in the human and animal brain. *International Journal of Psychophysiology*, 39, 167-195.
- Corby, J.C., Roth, W.T., Zarcone, V.P. Jr. & Kopell, B.S. (1978). Psychophysiological correlates of the practice of Tantric Yoga meditation. *Archives of General Psychiatry*, 35(5), 571-577.
- Deepak, K.K. (2002). Neurophysiological mechanisms of induction of meditation: a hypothetico-deductive approach. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 46(2), 136-158.
- Delmonte, M.M. (1984). Electro cortical activity and related phenomena associated with meditation practice: a literature review. *International Journal of Neuroscience*, 24(3-4), 217-231.
- Fenwick, P. (1987). Meditation and the EEG. In M.A. West (Ed.), *The Psychology of Meditation*. New York: Oxford University Press.
- Gaylord, C., Orme-Johnson, D. & Travis, F. (1989). The effects of the transcendental meditation technique and progressive muscle relaxation on EEG coherence, stress reactivity, and mental health in black adults. *International Journal of Neuroscience*. 46(1-2), 77-86.

- Hard, J.V. (1994). Proficiency in Zen meditation: correspondence with multichannel EEG coherence spectrum. *International Journal of Psychophysiology*, 18(2), 112-113.
- Hebert, R. & Lehmann, D. (1977). Theta bursts: An EEG pattern in normal subjects practising the transcendental meditation technique. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 42(3), 397-405.
- Kasamatsu, A. & Hirai, T. (1969). An electroencephalographic study on the Zen meditation (zazen). *Psychologia*, 12(3-4), 205-225.
- Kjaer, T.W., Bertelsen, C., Piccini, P., Brooks, D., Alving, J. & Lou, H.C. (2002). Increased dopamine tone during meditation-induced change of consciousness. *Cognitive Brain Research*, 13(2), 255-259.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29, 169-195.
- Klimesch, W., Dopplmayr, M., Pachinger, T. & Ripper, B. (1997). Brain oscillations and human memory: EEG correlates in the upper alpha and theta band. *Neuroscience Letters*, 238, 9-12.
- Lehmann, D., Faber, P.L., Achermann, P., Jeanmonod, D., Gianotti, L.R. & Pizzagalli, D. (2001). Brain sources of EEG gamma frequency during volitionally meditation-induced, altered states of consciousness, and experience of the self. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 108(2), 111-121.
- Larbig, W., Elbert, T., Lutzenberger, W., Rockstroh, B., Schnerr, G. & Birbaumer, N. (1982). EEG and slow brain potentials during anticipation and control of painful stimulation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 53, 298-309.
- Larbig, W. (2002). Kortikale Korrelate der Schmerz Wahrnehmung. *Hypnose und Kognition*, 19(1-2), 79-92.
- Murata, T., Koshino, Y., Omori, M., Murata, I., Nishio, M., Sakamoto, K., Horie, T. & Isaki, K. (1993). Quantitative EEG study on zen meditation (zazen). *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 87(2), 51.
- Newberg, A., Alavi, A., Baime, M., Pourdehnad, M., Santanna, J. & d'Aquili, E. (2001) The measurement of regional cerebral blood flow during the complex cognitive task of meditation: a preliminary SPECT study. *Psychiatry Research*, 106(2), 113-122.
- Newberg, A. B. & Iversen J. (2003). The neural basis of the complex mental task of meditation: neurotransmitter and neurochemical considerations. *Medical Hypotheses*, 61(2), 282-291.
- Ott, U. (2000). Merkmale der 40 Hz-Aktivität im EEG während Ruhe, Kopfrechnen und Meditation. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Sabaß, M. (2003). Über die Zen-Übung und warum wir uns das antun. Berlin: Pro Business.
- Schmiedt, C. (2002). Untersuchung des Arbeitsgedächtnisses bei Gesunden und Patienten mit schizophrenen Störungen: Eine EEG-Studie. Diplomarbeit, Universität Bremen.
- Smith, M.E., McEvoy, L.K. & Gevins, A. (1999). Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition. *Cognitive Brain Research*, 7, 389-404.
- Tebecis, A. K. (1975). A controlled study of the EEG during transcendental meditation: com-

- parison with hypnosis. *Folia Psychiatrica et Neurologica Japonica*, 29(4), 305-313.
- Ward, L. M. (2003). Synchronous neural oscillations and cognitive processes. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 553-559.

EEG-Rhythms during deep meditation: A single case study with a zen-master

Ewgeni Coromaldi, Canan Basar-Eroglu, and Michael A. Stadler

Abstract: In the present study, we investigated the EEG-activity in a zen-master while deep meditation. Deep meditation is characterized subjectively as "great awakeness": while the self-consciousness remains existent, body perception, time feeling as well as thought and emotions disappear completely. EEG was recorded under a control condition with open, closed eyes and a meditation condition respectively. The subject was required to press the button, immediately after changes in meditational state. The EEG data was analysed by means of power-spectra and the power-values in relevant frequency bands were evaluated for the different experimental conditions. The results of the deepest meditation stage show a highly significant increase in theta-power (4-7 Hz, $p < 0,001$) at all locations with a maximum around 6 Hz and most prominent parietal left (P3). Further an increase in the alpha-band (8-13 Hz) with similar topography could be observed. Beta-activity (15-28 Hz) was significantly reduced over the right hemisphere, whereas a higher theta and alpha activity was observed over the left hemisphere. Gamma-activity (28-48 Hz) showed a significant reduction at right frontal and parietal locations. The registered long-sustained theta-activity during deep meditation could be reproduced in six further EEG-measurements on six different days within a half year. Based on the subjective description of the deep meditation stage, meditation is possibly a type of inhibition of cognitive and emotional processes. The topography of the theta- and alpha-activity differs clearly from the results of earlier investigations. These differences may be due to the aspect that our subject was highly experienced in meditation. A possible explanation for such a long sustained theta synchronization might be that this reflects a voluntary initiated inhibitory process that induce a maintenance of a highly specific cognitive state.

Keywords: meditation, zen, EEG, alpha, beta, gamma, theta

Ewgeni Coromaldi, Dipl.-Med.

Universität Bremen

Institut für Psychologie und Kognitionsforschung & Zentrum für Kognitionswissenschaften

Grazer Str.4, 28359 Bremen

email: coromaldi@web.de

erhalten: 28.4.04

revidierte Version akzeptiert: 30.6.04

Danksagung: In erster Linie bedanken wir uns bei dem Rei-Ko Michael Sabaß Sensei, der sich als Versuchsperson zur Verfügung gestellt hat. Außerdem den Mitarbeitern unseres Instituts Dipl.-Psych. Jan Ehlers, Dipl.-Biol. Edwin Hoff und Dipl.-Psych. Christina Schmiedt für ihre konstruktive und unermüdlche Unterstützung.