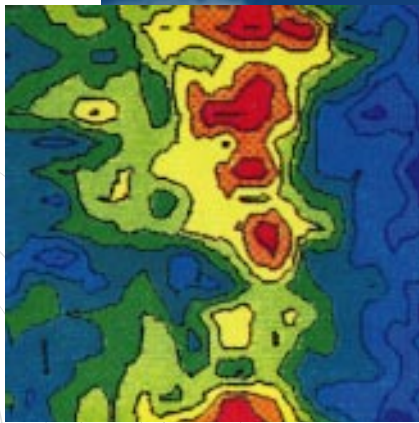


# Newsletter

# Edition Wissenschaft

Forschungsgemeinschaft Funk e.V. · G 14515 · Ausgabe Nr. 9 · Juli 1996



## Der Einfluß von gepulsten elektromagnetischen Feldern auf das Elektroenzephalo- gramm von Menschen

Von K. Jahre, K. Matkey und  
H.-J. Meckelburg



Forschungsgemeinschaft Funk

Edition  
Wissenschaft

## Editorial

### Liebe Leserinnen und Leser,

in einer Reihe von Publikationen und Vorträgen hat Dr. L. von Klitzing über eine mögliche Beeinflussung des Elektroenzephalogramms (EEG) beim Menschen durch gepulste hochfrequente elektromagnetische Felder berichtet. Aus den publizierten Arbeiten waren die von ihm durchgeführten Versuche durch andere Wissenschaftler jedoch bisher nicht nachvollziehbar.

Die Forschungsgemeinschaft Funk gab daher eine Studie in Auftrag mit der Aufgabe, sich mit den Versuchen Dr. von Klitzings kritisch auseinanderzusetzen. Mit seiner Unterstützung sollte eine Dokumentation erstellt werden, damit eine Reproduzierbarkeit durch andere Wissenschaftler möglich ist.

Die Verfasser dieser Studie haben neben der umfangreichen Versuchsdokumentation auch eine Bestandsaufnahme zur Aussagekraft von EEG-Bewertungen und zum Aufbau und zur Durchführung von wissenschaftlichen Arbeiten gemacht.

Die vorliegende Ausgabe der „Edition Wissenschaft“ gibt den Abschlußbericht dieser, von der Firma CETECOM erstellten Studie, wie in dieser Reihe üblich, vollständig und unkommentiert durch die Forschungsgemeinschaft wieder.

*Gerd Friedrich*

## Inhalt

Studie: <b>Der Einfluß von gepulsten elektromagnetischen Feldern auf das Elektroenzephalogramm von Menschen</b>	3
Vorwort	3
<b>TEIL EINS</b>	4
1 Aufgabenstellung und Ergebnisse	4
1.1 Aufgabenstellung	4
1.2 Was ist ein EEG?	4
1.3 Kurzbeschreibung der Versuche	5
1.4 Versuchsergebnisse	7
1.5 Bewertung der Ergebnisse	9
1.6 Bedeutung für den digitalen Mobilfunk	9
1.7 Resümee	10
<b>TEIL ZWEI</b>	11
2 Notwendige Vorbemerkungen	11
2.1 Logische Schritte (Phasen) und Dokumentation	11
2.2 Risikobetrachtungen	12
3 Systematischer Aufbau der Versuchsspezifikation	13
3.1 Versuchsaufbau und Durchführung	13
3.2 Auswertungsverfahren	15
3.3 Gesetzliche Anforderungen	17
3.4 Experimentelle Einschränkungen	17
3.5 Rahmenbedingungen für die Versuchsdurchführung	17
4 Versuchsergebnisse	19
4.1 Bestandsaufnahme der publizierten Versuche	19
4.2 Gemeinsam durchgeführte Versuche	19
5 Bewertung	20
5.1 Allgemein	20
5.2 Feldstärkebetrachtungen	21
5.3 Spektralbetrachtungen	23
5.4 Zusammenfassung der Aussagen von L. v. Klitzing	24
6 Literatur	25
Anhang I: <b>Auswertungsergebnisse des Versuchs vom 14.04.94 mit 10 Hz-Modulationen</b>	27
Anhang II: <b>Auswertungsergebnisse des Versuchs vom 15.04.94 mit 217 Hz-Modulationen</b>	30
Anhang III: <b>Versuchsbeschreibung von Lebrecht von Klitzing „Zur Untersuchung der EEG-Veränderungen durch gepulste HF-Felder“</b>	35
Anhang IV: <b>Checkliste zur Versuchsdurchführung am 14. und 15. April 1994</b>	40
Anhang V: <b>Protokoll zur Versuchsdurchführung am 14. und 15. April 1994</b>	41
Summary: <b>The effect of pulsed electromagnetic fields on the electroencephalogram of humans</b>	46

# Der Einfluß von gepulsten elektromagnetischen Feldern auf das Elektroenzephalogramm von Menschen

## Untersuchung der Versuche von Lebrecht von Klitzing

Autor: Hans-Jürgen Meckelburg

Durchführung der Studie: Klaus Jahre, Klaus Matkey, Hans-Jürgen Meckelburg

CETECOM GmbH, Im Teelbruch 122, 45219 Essen

### Vorwort

In einer Reihe von Publikationen und Vorträgen hat L. von Klitzing über eine mögliche Beeinflussung des Elektroenzephalogramms (EEG) beim Menschen durch gepulste hochfrequente elektromagnetische Felder berichtet.

Die durchgeführten Versuche konnten bisher nicht von anderen Wissenschaftlern nachvollzogen werden. Nach den Grundsätzen der Wissenschaftsethik kann jedoch erst von wissenschaftlichen Erkenntnissen gesprochen werden, wenn die Ergebnisse von anderen Wissenschaftlern reproduziert und bestätigt werden konnten.

Da eine mögliche Beeinflussung des Menschen durch elektromagnetische Felder von außerordentlicher gesellschaftlicher Bedeutung ist, wird dringend eine umfassende Dokumentation der Arbeiten von L. von Klitzing

benötigt, um sie breiten Kreisen von Wissenschaftlern für eine kritische Diskussion und eine Reproduktion zugänglich zu machen.

Die Firma CETECOM Certification and Testing in Communications GmbH – vormals RWTÜV Institut für Informationstechnik – hat von der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. den Auftrag erhalten, sich mit den Versuchen von L. von Klitzing kritisch auseinanderzusetzen.

Der Bericht über die Studie gliedert sich in zwei Teile:

- TEIL EINS ist identisch mit Kapitel 1 und beschreibt alle Aspekte der Studie, von der Aufgabenstellung bis hin zu den Ergebnissen, in einer möglichst einfachen und anschaulichen Darstellung. Sie richtet sich an den ergebnisorientierten Leser.
- TEIL ZWEI beinhaltet alle Folgekapitel, in denen die in TEIL

EINS gemachten Aussagen wissenschaftlich begründet werden.

In Kapitel 2 werden zunächst die notwendigen Voraussetzungen erläutert, um systematisch und strukturiert experimentelle Arbeiten analysieren zu können. Wesentlicher Gedanke der Methodik ist, daß aus den logischen Schritten, die man immer bei einer Versuchsentwicklung und -durchführung durchläuft, eine Dokumentation abgeleitet werden kann, die eine Reproduktion der Versuche durch andere Wissenschaftler ermöglicht. Diese wird dann für die von L. von Klitzing durchgeführten Versuche in Kapitel 3 entwickelt. Kapitel 4 enthält eine Bestandsaufnahme der aus der Literatur verfügbaren Informationen sowie die Beschreibung von zwei umfassend dokumentierten Versuchen. Eine Bewertung der Versuche L. von Klitzings wird in Kapitel 5 vorgenommen.

## TEIL EINS

### 1 Aufgabenstellung und Ergebnisse

#### 1.1 Aufgabenstellung

In einer Reihe von Publikationen und Vorträgen [1-16] hat L. von Klitzing über eine mögliche Beeinflussung des Elektroenzephalogramms (EEG) beim Menschen durch gepulste hochfrequente elektromagnetische Felder berichtet. Aus den publizierten Arbeiten sind die von ihm durchgeführten Versuche durch andere Wissenschaftler bisher nicht nachvollziehbar.

Da eine mögliche Beeinflussung des Menschen durch elektromagnetische Felder von außerordentlicher gesellschaftlicher Bedeutung ist, wird dringend eine umfassende Dokumentation der Arbeiten von L. von Klitzing benötigt, um sie breiten Kreisen von Wissenschaftlern für eine kritische Diskussion und eine Verifikation der Ergebnisse zugänglich zu machen.

Nach den Grundsätzen der Wissenschaftsethik kann erst von wissenschaftlichen Erkenntnissen gesprochen werden, wenn die Ergebnisse von anderen Wissenschaftlern nachvollzogen und bestätigt werden konnten.

Diese Studie wurde von CETECOM im Auftrag der Forschungsgemeinschaft Funke e.V. durchgeführt. Die Aufgabe bestand darin, sich mit den Versuchen von L. von Klitzing kritisch auseinanderzusetzen und mit der Unterstützung

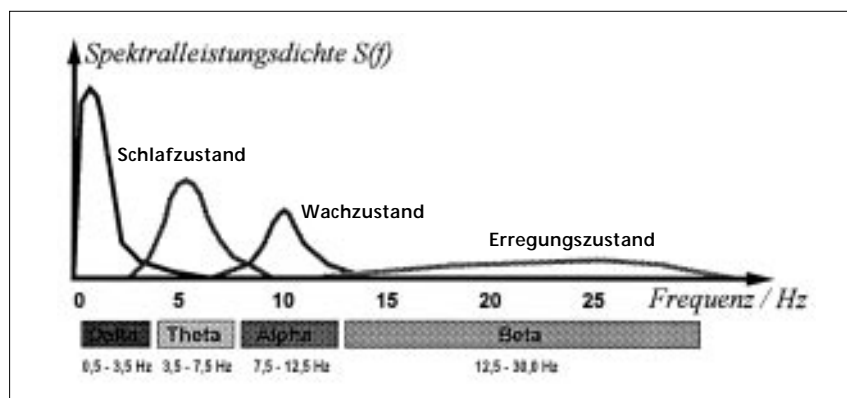


Abbildung 1: Eigenschaften des EEGs im Spektralbereich

von L. von Klitzing eine Dokumentation zu erstellen, damit eine Verifikation der Ergebnisse durch andere Wissenschaftler möglich ist.

#### 1.2 Was ist ein EEG?

Ein Elektroenzephalogramm [17], kurz EEG genannt, ist ein Kurvenbild des zeitlichen Verlaufs der die Gehirntätigkeit begleitenden langsamen elektrischen Erscheinungen. Das Aufzeichnungsverfahren (Elektroenzephalographie) basiert auf der Messung der örtlichen Potentialschwankungen (Ableitung). Es wird meist von mehreren Hirnregionen gleichzeitig abgeleitet. Der verwendete Apparat (Elektroenzephalograph) weist daher eine Reihe von Kanälen auf, von denen jeder einen Verstärker und ein Schreibsystem enthält. Die Ableitelektroden werden i.a. auf der Kopfhaut angebracht, von denen gleichzeitig abgeleitet wird.

Das lebende Gehirn zeigt im EEG eine fortlaufende rhythmische Eigentätigkeit. Je nach Frequenz und Größe der beobachteten Po-

tentialschwankungen unterscheidet man Alpha-, Beta-, Delta- und Thetawellen. Zur Interpretation des EEGs ist es hilfreich, den zeitlichen Potentialverlauf  $x(t)$  in den Spektralbereich zu transformieren, so daß die EEG-Wellen unmittelbar erkennbar sind (s. Abb. 1) [22]:

- **Alphawellen** treten im inaktiven Wachzustand, bei Ruhe und Entspannung auf. Dieser Zustand wird als Vigilanz bezeichnet. Alphawellen haben eine Frequenz von ca. 7,5 bis 12,5 Hz.
- **Betawellen** treten im Frequenzbereich von ca. 12,5 bis 30,0 Hz auf. Ganz allgemein läßt sich beobachten, daß eine Erhöhung des Erregungsni-veaus im Gehirn mit einer Zunahme der Frequenz und einer Abnahme der Amplitude des EEGs verbunden ist.
- Beim Übergang vom Wachzustand zum Schlaf sinkt die Frequenz der EEG-Wellen in den Theta- und Deltabereich ab. Die **Deltawellen** haben eine Frequenz von ca. 0,5 bis 3,5 Hz, die **Thetawellen** von ca. 3,5 bis 7,5

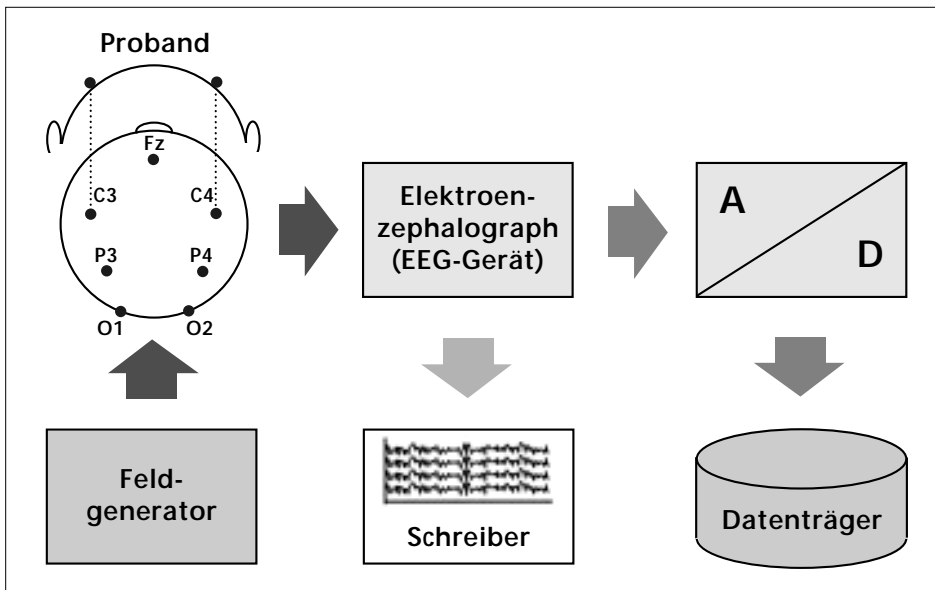


Abbildung 2:  
Schematische Darstellung  
des Versuchsaufbaus

Hz. Die Amplitude nimmt mit abnehmender Frequenz zu.

Die Amplituden der Wellen nehmen mit zunehmender Frequenz ab. Die Spektralleistungsdichte  $S(f, t)$  ist eine Darstellung der EEG-Aktivität in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  und der Frequenz  $f$ , so daß die zeitliche Veränderung der verschiedenen Wellentypen gut beobachtet werden kann. Betrachtet man das Spektrum zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t = t_0$ , so spricht man auch von einem Kurzzeitspektrum (s. Abb. 1).

### 1.3 Kurzbeschreibung der Versuche

Nach Aussage von L. von Klitzing verändert sich das menschliche EEG signifikant, wenn der Proband während der EEG-Ableitung zusätzlich einem niederfrequent gepulsten elektromagnetischen Feld ausgesetzt wird. Zu dieser Aussage kam L. von Klitzing aufgrund der im folgenden erläuterten Versuche.

Im ersten Schritt wird von einem Probanden ein EEG aufgezeichnet. Hierbei werden gleichzeitig

sechs Signale von der Kopfhaut zwischen den Ableitungspunkten C3, C4, P3, P4, O1 und O2 gegenüber der Referenz Fz (nach dem internationalen 10/20-System) abgeleitet und über einen handelsüblichen Elektrozephalographen gefiltert und verstärkt. Die Ausgangssignale  $x_j^i(t)$ ,  $j \in \{C3; C4; P3; P4; O1; O2\}$  werden über einen Analog-/Digitalwandler geführt und gespeichert. Der Index  $i$  kennzeichnet das Versuchsintervall (s. weiter unten). Damit stehen die EEG-Daten für eine anschließende Rechnerauswertung zur Verfügung (s. Abb. 2).

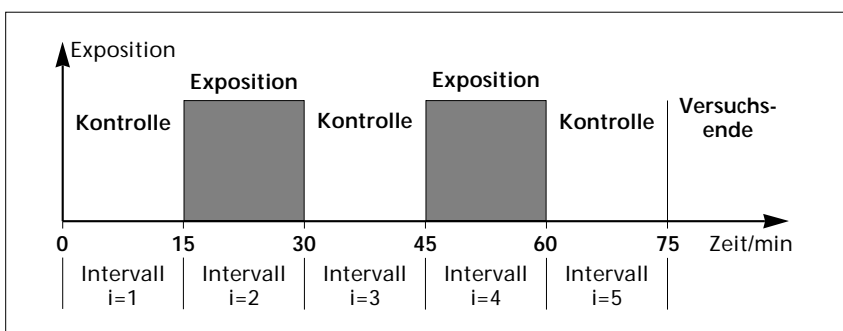


Abbildung 3: Zeitliche Folge der Versuchsintervalle

Der Versuchsablauf teilt sich in 5 Intervalle von je 15 min Dauer auf (s. Abb. 3). Im ersten, dritten und fünften Intervall werden sog. Kontrollmessungen (normale EEG-Ableitungen) ohne Exposition durchgeführt. Im zweiten und vierten Versuchsintervall (1. bzw. 2. Expositions-Intervall) wird mit Hilfe des Feldgenerators, der aus einem handelsüblichen Therapiegerät und einem Feldapplikator

# Aufgabe

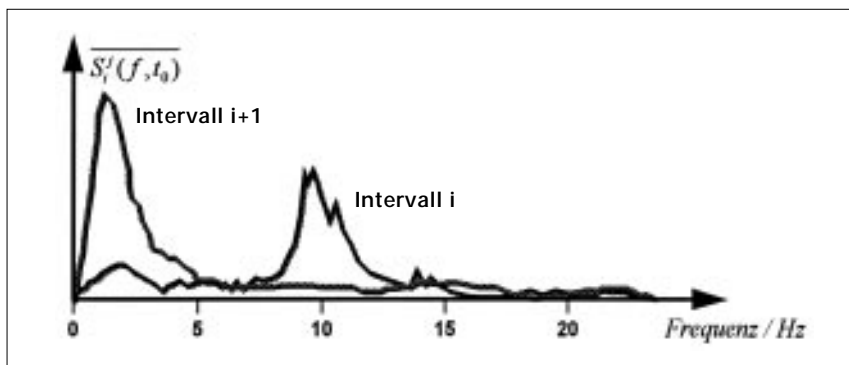


Abbildung 4: Verlauf der mittleren Spektralleistungsdichte in aufeinanderfolgenden Versuchsintervallen in Abhängigkeit der Frequenz

(Antenne) besteht, ein gepulstes elektromagnetisches Hochfrequenzfeld erzeugt. Der Feldapplikator sitzt direkt am Kopf des Probanden in Höhe des Inions (Ansatz des Nackenmuskels).

Die Testparameter wurden von L. v. Klitzing wie folgt gewählt: Die Frequenz des Hochfrequenzfeldes beträgt 150 MHz und ist mit ca. 10 Hz (Austastung für 80  $\mu$ s) oder 217 Hz (Austastung für 8  $\mu$ s) gepulst. Die Pulsfrequenz von ca. 10 Hz wurde gewählt, weil diese im Bereich der Frequenz der Alphawelle liegt. Die Frequenz von 217 Hz findet beim digitalen Mobilfunk (GSM 900 und DCS 1800) Anwendung. Die Ausgangsleistung des Hochfrequenzgenerators beträgt -3 dB<sub>m</sub>, d.h. 0,5 mW bei Anpassung (50  $\Omega$ ).

Im zweiten Schritt werden die gespeicherten EEG-Daten ausgewertet. Hierbei richtet L. von Klitzing sein Hauptaugenmerk auf die Alpha-Aktivität. Wenn sich diese Aktivität von einem Versuchsintervall zum nächsten verändert, dann wertet L. von Klitzing diese Änderung als einen durch die Exposition hervorgerufenen athermischen Effekt. Um den Effekt erkennen zu können, wendet er

aus der Spektralleistungsdichte  $S_i^j(f, t)$  des EEGs berechnen lassen.

L. von Klitzing hat die Kriterien verbal umschrieben. Die Kriterien wurden durch CETECOM mathematisch formuliert, um eine unmißverständliche Präzisierung herbeizuführen.

### Kriterium 1

Weichen die mittleren Spektralleistungsdichten  $\overline{S_i^j(f, t_0)}$  und  $\overline{S_{i+1}^j(f, t_0)}$  aus zwei aufeinanderfolgenden Versuchsintervallen (i und i+1) signifikant voneinander ab (s. Abb. 4), dann postuliert L. von Klitzing einen athermischen Effekt, dessen Ursache in der Beeinflussung durch das gepulste elektromagnetische Feld zu sehen ist.

Die mittlere Spektralleistungsdichte ist definiert über

$$\overline{S_i^j(f, t_0)} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} S_i^j(f, t) dt, \quad (1)$$

wobei die Mittelwertbildung über den Zeitbereich  $\Delta t$ , d.h. von  $t_0$  bis  $t_0 + \Delta t$  wird und der Index i die Nummer des Versuchsintervalls angibt.

### Kriterium 2

Weichen die spektralen Energiedichten  $E_i^j(f_{\alpha\text{-max}}, t)$  und  $E_{i+1}^j(f_{\alpha\text{-max}}, t)$  aus zwei aufeinanderfolgenden Versuchsintervallen (i und i+1) signifikant voneinander ab (s. Abb. 5), dann postuliert L. von Klitzing einen athermischen Effekt, dessen Ursache in der Beeinflussung durch das gepulste elektromagnetische Feld zu sehen ist. Die spektrale Energiedichte ist definiert über

$$E_i^j(f_{\alpha\text{-max}}, t) = \int_0^t S_i^j(f_{\alpha\text{-max}}, \tau) d\tau, \quad (2)$$

wobei die Spektralleistungsdichte  $S_i^j(f_{\alpha\text{-max}}, t)$  nur bei einer Frequenz  $f_{\alpha\text{-max}}$  betrachtet wird.  $f_{\alpha\text{-max}}$  ist die Frequenz des Alpha-Bereichs, bei der die mittlere Spektralleistungsdichte  $\overline{S_i^j(f_{\alpha\text{-max}}, t)}$  über ein 15 min Intervall maximal ist.

Das Kriterium 1 wurde in den Veröffentlichungen [1, 2, 3, 10, 12-

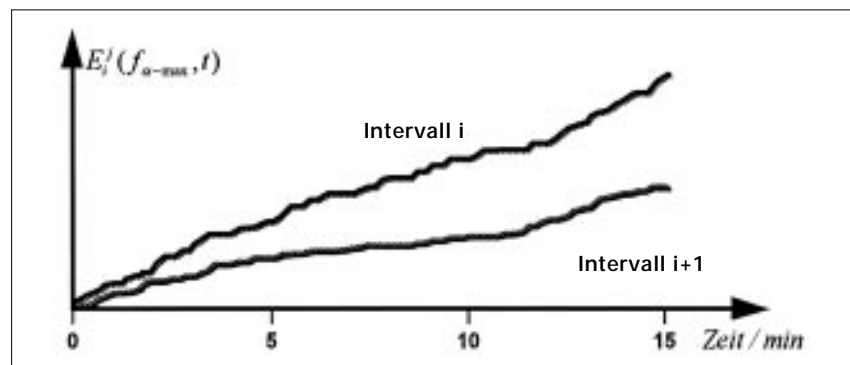


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf der spektralen Energiedichte in aufeinanderfolgenden Versuchsintervallen in Abhängigkeit der Zeit

Versuche mit ca. 10 Hz Modulation			
Nr.	$f_{\text{Mod}}/\text{Hz}$	Effekt*)	Bemerkungen
1	8,3	Kriterium 1*)	siehe [1, 10]; keine Analyse möglich am 26.08.93 gemeinsam mit CETECOM durchgeführt
2	10,0	nein*)	
3	10,0	Kriterium 1*)	
Versuche mit 217 Hz Modulation			
Nr.	$f_{\text{Mod}}/\text{Hz}$	Effekt*)	Bemerkungen
4	217,0	Kriterium 1*)	siehe [1, 13-15]; keine Analyse möglich; Inkonsistenzen in der Darstellung
5	217,0	Kriterium 1*)	
6	217,0	nein*)	siehe [1]; nicht alle Probanden reagieren auf Feldeinflüsse *)
7	217,0	Kriterium 1*)	siehe [2, 3]; $\Delta t$ nur 51,2 s
8	217,0	Kriterium 2*)	siehe [10, 12]
9	217,0	nein*)	am 15.04.94 gemeinsam mit CETECOM durchgeführt; vollständig dokumentiert
*) bezieht sich auf L. von Klitzings Interpretation			

Tabelle 1: Übersicht über alle durchgeführten Versuche

15] mit unterschiedlichen oder gar undefinierten Parametern herangezogen. Das Zeitintervall wird in einigen Fällen mit 51,2 s angegeben [2, 3], in anderen Fällen mit 5 min. Der Zeitpunkt  $t_0$  ist bei einigen Fällen mit dem Beginn des Versuchsintervalls gleichgesetzt, in anderen nicht angegeben worden. Das Kriterium 2 wurde in [10, 12] angewendet.

## 1.4 Versuchsergebnisse

Insgesamt sind dem Autor 16 Literaturstellen bekannt (siehe [1] bis [16]), in denen L. von Klitzing über den Einfluß von gepulsten elektromagnetischen Feldern auf das menschliche EEG berichtet. In 8 Stellen [1, 2, 3, 10, 12-15] wurden Auswertungsergebnisse dargestellt und interpretiert, aus denen 6 unterschiedliche Versuche identifiziert werden konnten. Bei

5 von diesen Versuchen ist nach L. von Klitzings Interpretation ein athermischer Effekt aufgetreten, bei einem Versuch [1] nicht. Außer den in der Literatur dargestellten Ergebnissen sind keine weiteren Dokumente oder Daten verfügbar, so daß keine aufklärende Analyse der publizierten Versuche möglich ist.

Weiterhin gibt es drei Versuche, die gemeinsam von L. von Klitzing und CETECOM durchgeführt wurden. Zwei dieser Versuche sind vollständig dokumentiert, wobei einmal nach L. von Klitzings Interpretation der athermische Effekt in besonderer Ausprägung aufgetreten ist.

Die Tabelle 1 stellt in Kurzform die aus der Literatur (6 Versuche) identifizierten und gemeinsam mit CETECOM (3 Versuche) durchgeführten Versuche zusammen.

Sie sind aufgeteilt nach der Modulationsfrequenz von ca. 10 Hz und 217 Hz.

Der am 14.04.93 gemeinsam durchgeführte Versuch 4 (10 Hz-Modulation) ist der einzige, bei dem eine umfassende Analyse möglich ist und bei dem nach Aussage von L. von Klitzing der athermische Effekt in ausgeprägter Weise aufgetreten ist. Zu dieser Aussage kam L. von Klitzing aufgrund eigener Auswertungen nach dem Kriterium 2, wobei der zeitliche Verlauf der spektralen Energiedichte betrachtet wird.

CETECOM hat unabhängige Analysen durchgeführt. Die Ergebnisse für die O2-Ableitung sind im folgenden in drei unterschiedlichen Auswertungen dargestellt. Die zweite und dritte Auswertung wurde von CETECOM entwickelt, um eine genauere Interpretation der Ergebnisse zu ermöglichen.

Abbildung 6 zeigt den zeitlichen Verlauf der Energiedichte  $E_i^{O_2}(f_{\alpha\text{-max}}, t)$  bei der Frequenz  $f_{\alpha\text{-max}}$ . Sie weichen stark zwischen den Intervallen  $i = 1$  und  $i = 2$  sowie zwischen den Intervallen  $i = 3$  und  $i = 4$  voneinander ab. Damit ist das Kriterium 2 erfüllt. Weitere Informationen lassen sich aus der Darstellung L. von Klitzings nicht gewinnen.

Abbildung 7 zeigt die zweite Auswertung. Hier ist die mittlere Spektralleistungsdichte  $S_i^{O_2}(f, t_0)$  über den gesamten Versuchsverlauf ( $i = 1$  bis 5) dargestellt. Als Mittelungszeit wurde  $\Delta t = 51,2$  s gewählt, womit auch die Diskretisierung der Zeitachse feststeht. Eine feinere Auflösung hat sich aufgrund der sehr starken Schwankungen der EEG-Rohda-

# Aufgabe

ten als nicht sinnvoll erwiesen. Der Vorteil dieser vollständigen Wiedergabe in der Zeit- und Frequenzebene besteht darin, daß die zeitliche Veränderung der verschiedenen Wellentypen gut erfaßt werden kann. Die Amplitudenwerte sind in einem logarithmischen Maßstab dargestellt,  $10 \cdot \log\{S_i^{02}(f, t_0)\}$ , und überspannen einen Bereich zwischen Minimum und Maximum von 25 dB. Eine Darstellung, bei der keine logarithmische Skalierung vorgenommen wird, ist nur sehr schwer zu interpretieren, da zu-

fällige Spitzen alle anderen Werte stark unterdrücken. Wendet man das Kriterium 1 an, so kommt es zu starken Einbrüchen der Alpha-Welle (ca. 10 Hz) während der 1. Exposition und der 2. Kontrolle. Beobachtet man aber gleichzeitig die Veränderungen im Delta- und Theta-Bereich, so kommt nach den Erläuterungen aus Abschnitt 1.2 der Verdacht auf, das der Proband eingeschlafen ist. Dies war im Intervall 3 (2. Kontrolle) tatsächlich der Fall. Nachdem der Proband geweckt wurde, war die Alpha-

Welle wieder voll vorhanden (s. bei ca. 40 min in Abb. 7).

Die dritte Auswertung bietet eine einfachere Darstellung als in Abbildung 7. Sie läßt sich gewinnen, in dem man den zeitlichen Leistungsverlauf der Delta-, Theta-, Alpha- und Betawelle,  $P_i^j(\Delta f_w, t)$ ,  $w \in \{\delta, \theta, \alpha, \beta\}$  berechnet, wobei  $\Delta f_w$  das Frequenzintervall der entsprechenden Welle angibt. Dabei wird über die in Abschnitt 1.2 angegebenen Frequenzbänder integriert; die Zeitachse ist mit 51,2 s Blöcken diskretisiert:

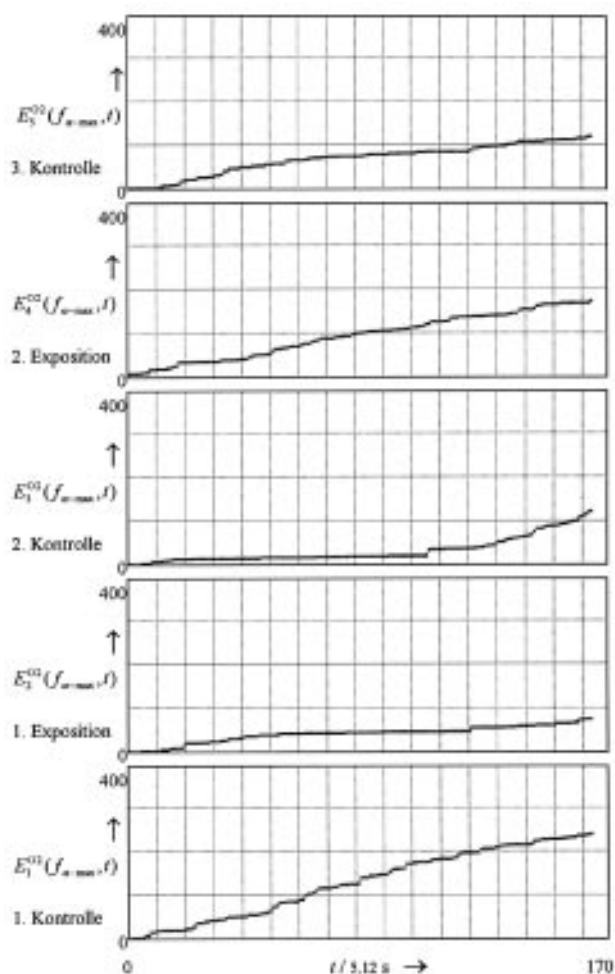


Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf der Energiedichte bei der Frequenz  $f_{\alpha_{max}}$

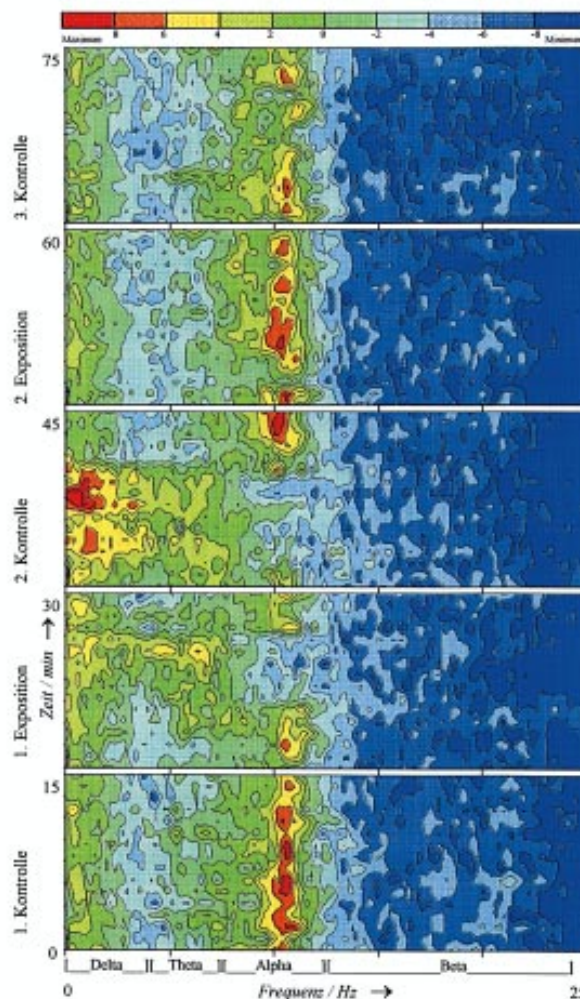


Abbildung 7: Versuchsauswertung der EEG-Daten in der Zeit-Frequenzebene

$$P_i^j(\Delta f_w, t_0) = \int_{\Delta f_w} S_i^j(f, t_0) df,$$

$$w \in \{\delta, \vartheta, \alpha, \beta\}. \quad (3)$$

Abbildung 8 zeigt den Verlauf der entsprechenden Leistungen. Auch hier ist eine logarithmische Skalierung verwendet worden. Der zeitliche Verlauf der Alpha-Welle ist sehr deutlich erkennbar. Dort wo ein Einbruch erkennbar ist ( $P_2^{02}$ ,  $P_3^{02}$ ), steigen die Leistungen der Delta- und Thetawelle an.

## 1.5 Bewertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Bewertung sind in Kurzform zusammengestellt:

- L. v. Klitzing hat nach eigenen Angaben 26 Versuche durchgeführt; 21mal ist nach seiner Interpretation der Effekt aufgetreten.
- Aus der Literatur-Recherche sind 6 unterschiedliche Versuche identifizierbar.
- Die Versuche sind in den Veröffentlichungen nicht ausreichend dokumentiert, so daß eine Reproduktion durch andere Wissenschaftler möglich wäre.
- Die Ergebnisse werden so dargestellt, als seien sie bereits wissenschaftliche Erkenntnis.
- L. von Klitzing und CETECOM haben gemeinsam 3 Versuche durchgeführt, wobei einmal nach der Aussage von L. von Klitzing der Effekt aufgetreten ist (Kriterium 2).
- Die Versuche wurden von L. v. Klitzing und CETECOM unabhängig ausgewertet. Das Ergebnis ist, daß bei Einbrüchen der Alphawelle die Delta- und Thetawelle ansteigen.
- Dieser Effekt tritt bei Verlust der Aufmerksamkeit des Probanden auf und wird von Medi-

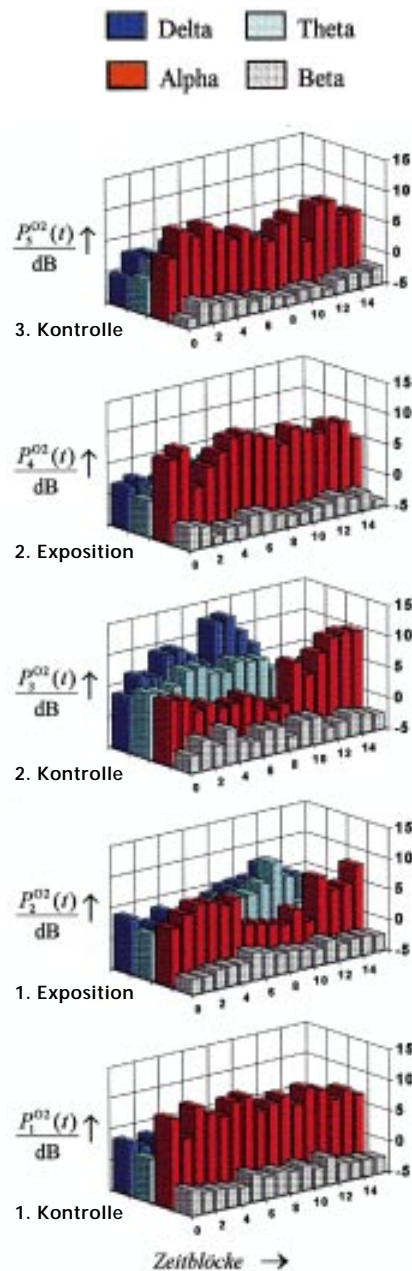


Abbildung 8: Zeitlicher Leistungsverlauf der Delta-, Theta-, Alpha- und Betawelle

zinern zur Vigilanzkontrolle herangezogen.

- Mediziner halten eine durchgängige Versuchsdauer von über einer Stunde für zu lang; sie empfehlen maximal 15 Minuten.
- L. von Klitzing hat bei seinen Versuchen keine EEG-Experten hinzugezogen.

- EEGs schwanken von Natur aus sehr stark.
- Es wurden keine statistischen Auswertungen vorgenommen (keine Korrelationen, keine Wahrscheinlichkeitsaussagen, keine Kontrollgruppenvergleiche).
- Es wurden keine dokumentierten Versuche ohne Exposition durchgeführt.
- Das Ein- und Ausschalten des Hochfrequenzfeldes konnte vom Probanden wahrgenommen werden (kein Blindversuch).
- Die Auswertungsergebnisse wurden im quadratischen und nicht im logarithmischen Maßstab dargestellt. Dies kann leicht zu Fehlinterpretationen führen.
- Bei der digitalen Signalverarbeitung wurden Fehler gemacht (Aliasing, ungünstiger Frequenzabstand), was insbesondere bei der Betrachtung von Kurzzeitspektren zu massiven Fehlern führt.
- Das bei den Versuchen verwendete gepulste HF-Signal unterscheidet sich von einem kontinuierlichen praktisch nicht.
- Damit ist die Bedeutung, die L. von Klitzing der Modulation beimißt, in Frage zu stellen.

## 1.6 Bedeutung für den digitalen Mobilfunk

Unabhängig von der grundsätzlichen Kritik im vorherigen Abschnitt sollen hier die Aspekte beleuchtet werden, ob aus den Versuchen L. von Klitzings mit der Modulationsfrequenz von 217 Hz Rückschlüsse auf mögliche Effekte beim digitalen Mobilfunk gezogen werden können.

- Der digitale Mobilfunk arbeitet im 900 MHz- oder im 1800 MHz-Bereich als GSM 900-System bzw. als DCS 1800-System. Die Frequenz des Trägersignals ist entscheidend für die elektromagnetische Einkopplung in den Körper. Die Eindringtiefe des elektromagnetischen Feldes wird i.a. mit zunehmender Frequenz geringer. Wie sich die tatsächliche Einkopplung bei einer 6- bzw. 12-fachen Frequenz gegenüber den durchgeführten Versuchen bei 150 MHz verändert, kann nicht pauschal gesagt werden. Dazu ist eine sehr aufwendige Modellbildung zur Lösung des entsprechenden elektromagnetischen Feldproblems nötig.
- Die Einkopplung des elektromagnetischen Feldes hängt im Nahfeldbereich ganz entscheidend von der Sendeantenne ab. Bei den Versuchen von L. von Klitzing wurde eine Spule (magnetischer Dipol) zur Felderzeugung eingesetzt. Dagegen wird im Mobilfunk derzeit ein elektrischer  $\lambda/4$ -Dipol als Antenne verwendet. Da der Mensch elektromagnetisch gesehen ausschließlich aus verlustbehafteter dielektrischer Materie besteht, sind auch aufgrund dieser Tatsache signifikante Unterschiede zu erwarten.
- Bei einigen Versuchen hat L. von Klitzing als Modulationsfrequenz 217 Hz verwendet, wie sie im digitalen Mobilfunk beim Zeitschlitzverfahren (TDMA) eingesetzt wird. Hierbei sendet ein Mobilfunkgerät in einem Zeitschlitz von 577  $\mu$ s. In den folgenden sieben Zeitschlitzten, die von anderen Mobilfunkgeräten genutzt wer-

den, bleibt das Hochfrequenzsignal (HF-Signal) ausgeschaltet. Dieser Vorgang wiederholt sich periodisch mit 217 Hz (Periodendauer =  $8 \cdot 577 \mu$ s = 4,616 ms), d.h. es ergibt sich ein Tastverhältnis (Pulszeitdauer / Periodendauer) von  $v = 0,125$  und eine Bandbreite des HF-Signals (-3 dB) von ca. 1,6 kHz. Da im Mobilfunk nicht nur das HF-Signal ein- und ausgeschaltet, sondern Informationen übertragen werden, beträgt hier die Bandbreite des HF-Signals (-3 dB) 120 kHz.

Bei den Versuchen von L. von Klitzing sind die Verhältnisse völlig anders. Er schaltet bei der 217 Hz-Modulation das HF-Signal für nur 8  $\mu$ s aus, woraus sich ein Tastverhältnis von  $v = 0,99783$  ergibt. Damit ist die Bandbreite des HF-Signals praktisch Null. Alle Spetrallinien sind um mehr als -55 dB (Faktor  $5 \cdot 10^{-6}$ ) kleiner als der HF-Träger. Das gepulste elektromagnetische Feld verhält sich praktisch wie ein unmoduliertes Signal.

- L. von Klitzing vertritt die Ansicht [1-16], daß die gepulste Modulation die Ursache für einen athermischen Effekt ist. Sein 217 Hz-Versuchssignal unterscheidet sich aber nach dem oben gesagten von einem unmodulierten praktisch nicht. Betrachtet man noch die geringe HF-Leistung von 0,5 mW bei den durchgeführten Versuchen, dann verbleiben für athermische Effekte, ohne Berücksichtigung von den oben erwähnten Einkopplungsdämpfungen, noch magnetische Feldstärken (Flußdichten) im Bereich von einigen mA/m bzw. Nanotesla (nT). Diese Feldstärken liegen

im Vergleich zu denen, wie sie im Haushalt und Freizeitbereich [23] häufig vorkommen, um den Faktor 1000 bis 100.000 niedriger. Falls bei diesen geringen Feldstärkeanteilen tatsächlich noch athermische Effekte auftreten sollten, dann stellt sich die Frage, ob diese Effekte nicht allgegenwärtig sind, auch ohne digitalen Mobilfunk.

Die in diesem Abschnitt diskutierten Punkte zwischen den durchgeführten Versuchen und den realen Verhältnissen beim digitalen Mobilfunk zeigen signifikante Unterschiede. Es können daher keine Rückschlüsse aus den Versuchen auf irgendwelche biologischen Wirkungen beim digitalen Mobilfunk gezogen werden. Keiner der hier betrachteten Aspekte wurde von L. von Klitzing untersucht oder zumindest diskutiert.

## 1.7 Resümee

- Die Versuche befinden sich noch in der Erprobungsphase.
- Es ist nicht nachgewiesen, ob überhaupt ein Effekt aufgetreten ist.
- Die Ergebnisse konnten bisher nicht durch andere Wissenschaftler reproduziert werden.
- Es kann daher nicht über wissenschaftliche Erkenntnisse gesprochen werden.
- Zwischen den durchgeführten Versuchen und den realen Verhältnissen beim digitalen Mobilfunk bestehen signifikante Unterschiede.
- Es können daher keine Rückschlüsse aus den Versuchen auf irgendwelche biologischen Wirkungen beim digitalen Mobilfunk gezogen werden.

## TEIL ZWEI

### 2 Notwendige Vorbemerkungen

#### 2.1 Logische Schritte (Phasen) und Dokumentation

Bei experimentellen Untersuchungen gibt es eine natürliche Folge von logischen Schritten, sog. Phasen (s. Abb. 9). Die hier gewählte Phasen-Aufteilung ist nicht die einzig mögliche oder gar die einzig richtige. Vielmehr ist es wichtig, eine systematische und strukturierte Betrachtungsweise zu de-

finieren, um damit eine eindeutige Zuordnung der logischen Schritte zu entsprechenden Aufzeichnungen, im folgenden als Dokumente bezeichnet, zu gewährleisten.

Die Dokumentation muß als wesentlicher Bestandteil einer wissenschaftlichen Arbeit angesehen werden. Von besonderer Wichtigkeit ist die Dokumentation der Versuchsspezifikation und die Dokumentation der Bewertung, d.h. die Interpretation von Daten und Informationen. Die Spezifikation ermöglicht die Nachvollziehbarkeit der Versuche durch andere Wissenschaftler. Die Darstellung von

Untersuchungsergebnissen beschreibt, warum der Wissenschaftler die Ergebnisse für bedeutsam hält.

Von einer wissenschaftlichen Erkenntnis kann jedoch erst dann gesprochen werden, wenn andere Wissenschaftler die dokumentierten Untersuchungsergebnisse und die Bedeutsamkeit bestätigen (s. Abb. 10).

Am Anfang steht eine Frage oder eine Behauptung. Mit der Entscheidung, dieser Frage oder Behauptung nachzugehen, beginnt der Entwicklungsprozeß für die experimentelle Arbeit.

Im ersten Schritt muß konkretisiert werden, „was“ überhaupt untersucht werden soll. Dieser Entwicklungsschritt nennt sich auch Konzeptphase. Es wird ein Dokument angelegt, das als Versuchsspezifikation bezeichnet wird. Die Spezifikation ist ein „lebendes“ Dokument und muß daher mit einer Versionsnummer oder einem Datum versehen werden. In diesem Dokument sind alle Informationen von der Definition des Untersuchungsziels, der Festlegung von Randbedingungen bis zur Beschreibung der Auswertemethoden und -algorithmen festgehalten. Z.B. neue Festlegungen oder Änderungen von Versuchsbedingungen, die sich erst in späteren Phasen herausstellen, müssen in eine neue Version der Spezifikation einfließen. Bei komplexen und umfangreichen Untersuchungen ist es nicht erforderlich, alle Details direkt in die Spezifikation zu schreiben; durch Referenzierung auf Detail-Dokumente kann die Spezifikation einfach und übersichtlich gehalten wer-

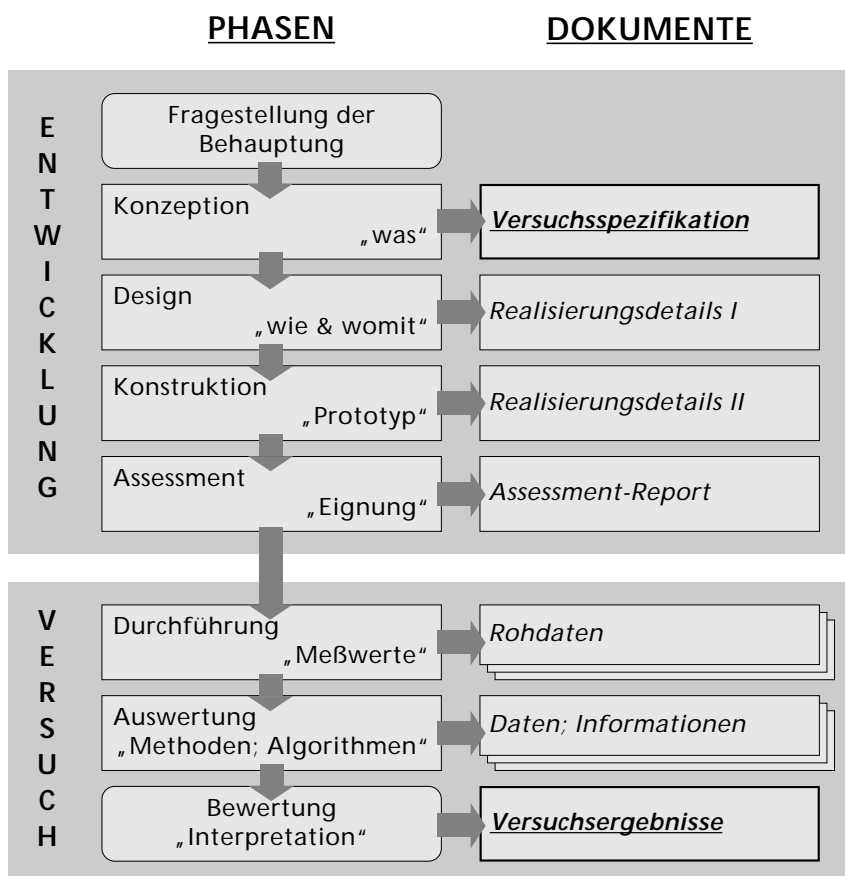


Abbildung 9: Entwicklungs- und Versuchsphasen mit zugehöriger Dokumentation als Basis experimenteller wissenschaftlicher Arbeit

den. Der Detaillierungsgrad sollte so gewählt werden, daß das Dokument für eine Verifikation der Versuche ausreicht.

Im zweiten Schritt wird das „**wie & womit**“ festgelegt. Er wird als Designphase bezeichnet. Zum Design gehören z.B. die Auswahl von Räumlichkeiten, die Meßtechnikauswahl oder der Entwurf eines Auswertealgorithmus.

Im dritten Schritt, der Konstruktionsphase, wird der Versuchsaufbau realisiert und auch notwendige Auswertungs-Software programmiert. Damit steht allerdings erst ein „Prototyp“ für die Versuche zur Verfügung.

Die anschließenden ersten Versuche dienen zunächst der Erprobung. In dieser Phase werden sehr häufig eine Reihe von Problemen mit dem Versuchsaufbau selbst oder mit der Auswertungs-Software aufgedeckt. Erst wenn die Eignung des Versuchs, um der anfangs gestellten Frage oder der Behauptung nachzugehen, festgestellt und dokumentiert wird, kann mit den eigentlichen Versuchen begonnen werden. Besonders zu erwähnen ist noch, daß diese Assessment-Phase sehr viel Zeit in Anspruch nehmen kann, da gerade bei experimentellen Untersuchungen die Auswirkungen verschiedener Parameter auf das Ergebnis nur empirisch ermittelt werden können.

Die Versuchsphasen bestehen aus der praktischen Versuchsdurchführung, der Auswertung sowie der abschließenden Bewertung und werden im Dokument Versuchsergebnis schriftlich festgehalten.

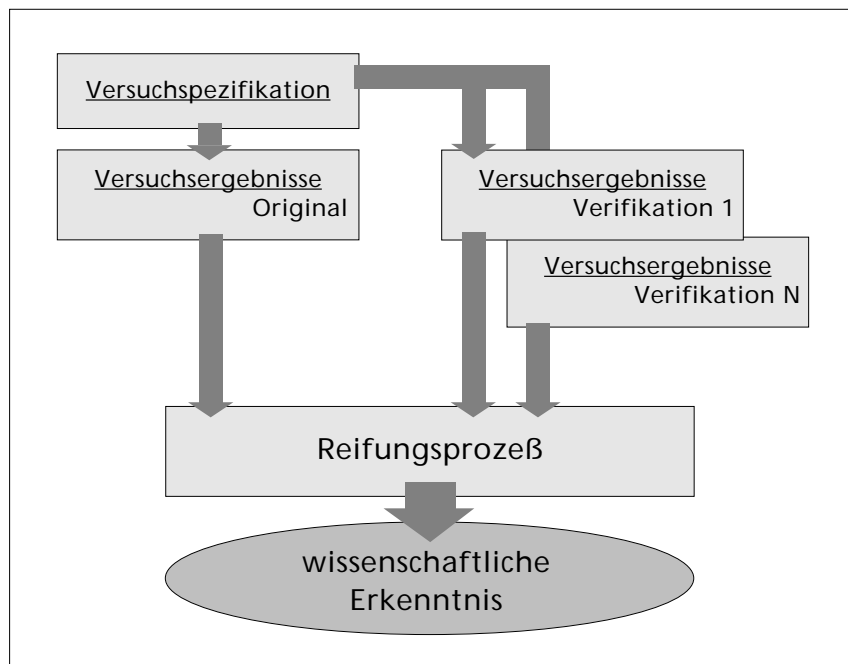


Abbildung 10: Der Weg von Versuchsergebnissen zur wissenschaftlichen Erkenntnis

## 2.2 Risikobetrachtungen

Die im vorherigen Abschnitt erläuterte Methodik scheint auf den ersten Blick sehr aufwendig zu sein. Der Aufwand steht natürlich in direktem Zusammenhang mit der Dokumentationstiefe. Die Kriterien für eine Bewertung, ob die Dokumentation ausreichend ist, sind im allgemeinen:

- Vollständigkeit,
- Korrektheit,
- Konsistenz,
- Überprüfbarkeit der Ergebnisse.

Ein weiterer Parameter, der den Dokumentationsaufwand entscheidend mitbestimmt, ist das mit den Ergebnissen in Zusammenhang stehende Risiko der Fehleinschätzung. Häufig wirken

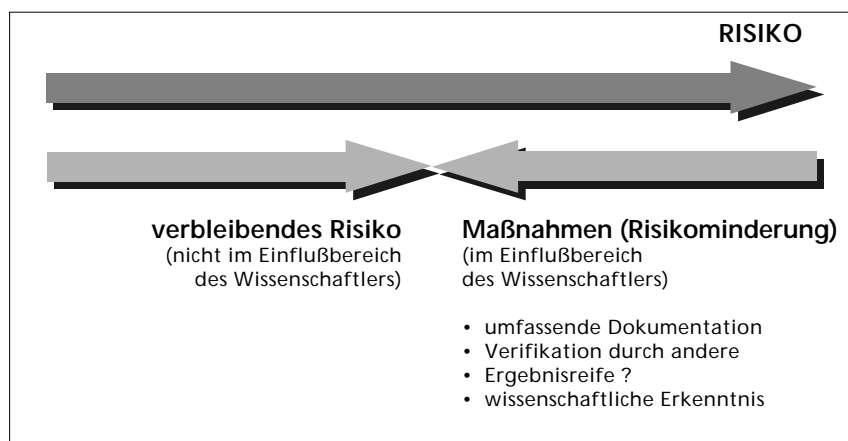


Abbildung 11: Risikominderung in der Verantwortung des Wissenschaftlers

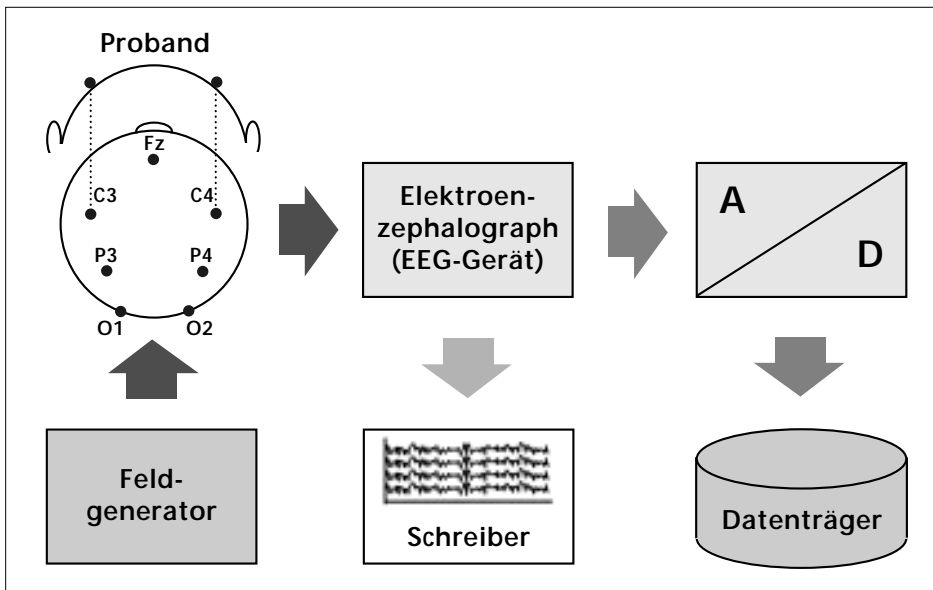


Abbildung 12:  
Schematische Darstellung  
des Versuchsaufbaus

erste Versuchsergebnisse sehr spektakulär. Bei der Veröffentlichung von Versuchsergebnissen, die von außerordentlichem gesellschaftlichen Interesse sind, hat der Wissenschaftler eine besondere Verantwortung. Es besteht das Risiko, daß die Öffentlichkeit diese ersten Versuchsergebnisse bereits als wissenschaftliche Erkenntnisse interpretiert. Sie könnten dann von unterschiedlichen Kreisen für völlig andere Interessen benutzt werden (s. Abb. 11).

Diesem Risiko wirken sog. zu ergreifende Maßnahmen entgegen, wozu an erster Stelle die Dokumentation zählt. Wenn diese nicht den oben erwähnten Kriterien genügt, ist eine Verifikation durch andere Wissenschaftler nicht möglich. Es ist keine Beurteilung der Ergebnisreife denkbar und somit jegliche wissenschaftliche Erkenntnis ausgeschlossen. Damit stehen die Ergebnisse und deren Verwendung nicht mehr im Einflußbereich des Wissenschaftlers.

Karl Popper unterstreicht den erläuterten Sachverhalt aus philosophischer Sicht [18]: „Da sich der Wissenschaftler nun einmal unentwirrbar in die Anwendung seiner Wissenschaft verwickelt hat, sollte er darin eine seiner besonderen Verpflichtungen sehen, die ungewollten Folgen seiner Tätigkeit so weit wie möglich vorauszusehen. Dann wird es ihm möglich sein, bevor es zu spät ist, die Aufmerksamkeit auf jene ungewollten Folgen zu lenken, die wir vermeiden müssen.“

### 3 Systematischer Aufbau der Versuchsspezifikation

In diesem Kapitel wird die Versuchsspezifikation entwickelt. Es sind alle erforderlichen Details, von der Konzeption bis einschließlich der Auswertung dokumentiert, so daß eine Verifikation der Versuche nach L. von Klitzing durch andere möglich wird. Die Informatio-

nen zu den Details wurden durch Gespräche und gemeinsame Versuchsdurchführungen mit L. von Klitzing zusammengetragen.

In diesem Kapitel werden keine Verbesserungsvorschläge gemacht. Es dient ausschließlich der Verifikation und gibt eine Hilfestellung zur Dokumentation der Versuchsdurchführung.

Die Gliederung in die Abschnitte 3.1 bis 3.5 lehnt sich an eine Gliederungsform an, wie sie sich in der Praxis bei der Entwicklung komplexer Systeme bewährt hat [19]. Die Entwicklung eines wissenschaftlichen Versuchs ist vergleichbar mit einer Systementwicklung. Daher können die Erfahrungen aus der Disziplin des Systems Engineering genutzt werden.

#### 3.1 Versuchsaufbau und Durchführung

Mit Hilfe des beschriebenen Versuchs soll der Frage nachge-

gangen werden, ob das menschliche EEG durch niederfrequent gepulste elektromagnetische Felder beeinflusst werden kann. Dazu wird folgender Versuchsaufbau benötigt (s. Abb. 12).

Zur Aufzeichnung des EEGs werden gleichzeitig sechs Signale von der Kopfhaut zwischen den Ableitungspunkten C3, C4, P3, P4, O1 und O2 gegenüber der Referenz Fz (nach dem internationalen 10/20-System) abgeleitet und über einen handelsüblichen Elektroenzephalographen gefiltert und verstärkt. Die Ausgangssignale  $x_j^i(t)$ ,  $j \in \{C3;C4;P3;P4;O1;O2\}$  werden über einen Analog-/Digitalwandler geführt und gespeichert. Der Index  $i$  kennzeichnet das Versuchsintervall (s. weiter unten). Damit stehen die EEG-Daten für eine anschließende Rechnerauswertung zur Verfügung (s. Abb. 12).

Außerdem wird neben den eigentlichen EEG-Ableitungen das Signal einer Elektrodenschleife mit aufgezeichnet (zwei Elektroden werden miteinander verbunden). Mit Hilfe dieses Signals kann beurteilt werden, daß die EEG-Daten nicht durch eine elektromagnetische Beeinflussung des Meßaufbaues verfälscht werden. Zusätzlich wird während der gesamten Versuchsdauer das elektromagnetische Feld in der Nähe des Probanden mit Hilfe einer Antenne und eines Spektrumanalysators überwacht (Aufzeichnung per Video möglich). Damit kann eine evtl. mögliche Beeinflussung des Probanden durch andere als im Versuch geplanten elektromagnetischen Felder ausgeschlossen werden. Weiterhin muß eine Methode zur Vigilanzkontrolle vorgesehen

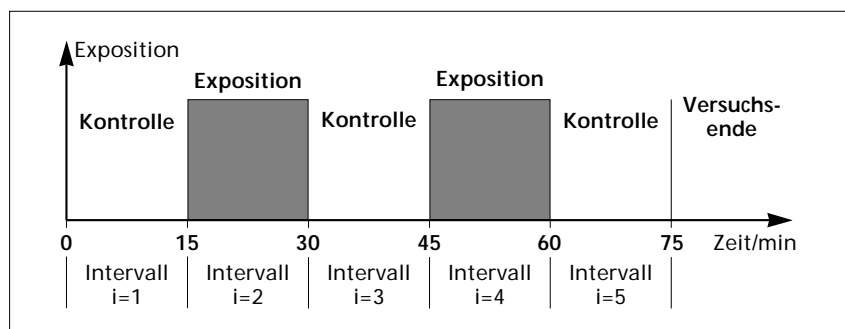


Abbildung 13: Zeitliche Folge der Versuchsintervalle

werden. L. v. Klitzing verwendet die Methode nach W.M. Herrmann, d.h. er verwendet einen Summer, der langsam lauter wird und durch den Probanden durch Knopfdruck zurückgestellt werden kann.

Der Versuchsablauf teilt sich in 5 Intervalle von je 15 min Dauer auf (s. Abb. 13). Im ersten, dritten und fünften Intervall werden sog. Kontrollmessungen (normale EEG-Ableitungen) ohne Exposition durchgeführt. Im zweiten und vierten Versuchsintervall (1. bzw. 2. Expositions-Intervall) wird über eine Spule ein gepulstes elektromagnetisches Hochfrequenzfeld erzeugt. Die Spule sitzt direkt am Kopf des Probanden in Höhe des Inions (Ansatz des Nackenmuskels).

Die Frequenz des Hochfrequenzfeldes beträgt 150 MHz und ist mit ca. 10 Hz (Austastung für 80  $\mu$ s) oder 217 Hz (Austastung für 8  $\mu$ s) gepulst. Die Pulsfrequenz von ca. 10 Hz wird gewählt, weil diese im Bereich der Frequenz der Alphawelle liegt. Die Frequenz von 217 Hz findet beim digitalen Mobilfunk (GSM 900 und DCS 1800) Anwendung. Die Ausgangsleistung des Hochfrequenzgenerators beträgt -3 dB<sub>m</sub>, d.h. 0,5 mW.

Der Feldgenerator besteht aus zwei Komponenten, dem Hochfrequenzgenerator und dem Feldapplikator (Spule). Beide werden über ein Kabel mit BNC-Steckern miteinander verbunden. Das Ein- und Ausschalten der Hochfrequenz darf vom Probanden nicht bemerkt werden.

Der Feldgenerator hat folgende technische Daten:

- Typ: Mega-Wave 150/1 mit B-betontem Feldapplikator (Spule), Fa. MediLine Berlin
- Betriebsarten: LF, HF (ohne Modulation), HF moduliert; verwendet wird nur die Betriebsart HF moduliert
- Trägerfrequenz: 150 MHz
- Ausgangspegel:
  - 7,8 dB<sub>m</sub> (Leistungsstufe 1);
  - 4,8 dB<sub>m</sub> (Leistungsstufe 2);
  - 3,0 dB<sub>m</sub> (Leistungsstufe 3);
  - 1,8 dB<sub>m</sub> (Leistungsstufe 4)
- Modulation: Pulsmodulation
- Austastzeit: 80  $\mu$ s / 8  $\mu$ s
- Modulationsfrequenz: 1 Hz bis 6 kHz

Für den Probanden gelten folgende Vorbedingungen:

- Nichtraucher,
- keine Pharmakaabhängigkeit,
- keine Pharmaka in den letzten 48 Stunden,

- kein Koffein oder Alkohol vor dem Versuch.

Die Erfüllung der Vorbedingungen wird durch eine Befragung festgestellt und in einem Fragebogen festgehalten. Weitere Untersuchungen werden nicht durchgeführt.

Während des Versuches sind folgende Bedingungen vom Probanden einzuhalten:

- a) die Augen sind geschlossen zu halten (Auge-auf- /Auge-zu-Bewegung ist im EEG wahrnehmbar),
- b) der Proband muß entspannt sein, darf aber nicht einschlafen (Vigilanzkontrolle),
- c) notwendige Schluckbewegungen müssen schnell erfolgen,
- d) der Proband muß die Umgebungstemperatur als angenehm empfinden.

Die Anschlußleitungen werden verdrillt und haben eine Länge von 1 m. Der Übergangswiderstand wird vor dem Versuch mittels eines Impedanzmeßgerätes ausgemessen und darf nicht mehr als 3 k $\Omega$  betragen.

Am EEG-Vorverstärker (EEG-Brause) werden die Anschlußleitungen der Elektroden angeschlossen. Nach der Vorverstärkung werden die Signale über eine Verbindungsleitung zum Hauptteil des EEG-Gerätes übertragen.

Im Hauptteil des EEG-Gerätes können Filterung und Verstärkung des vom Vorverstärker kommenden Signals eingestellt werden. Das entsprechende Signal wird an den Ausgangsbuchsen dem Meßrechner zur Verfügung gestellt. Parallel

werden die Signale einem Schreiber zur Aufzeichnung weitergeleitet.

Das EEG-Gerät besitzt folgende technische Daten:

- Typ: E12000, Fa. Schwarzer (einzustellende Werte sind **fett** gekennzeichnet)
- Tiefpass: 15, **30**, 70, 3000 Hz einstellbar
- Hochpass: DC, 0, 1.5, **0.3**, 0.1, 0.01 s einstellbar
- Notchfilter: 50 Hz Bandsperre (**ein/aus**)
- Dämpfungsfaktor: 3, **1**, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 einstellbar

Der Ausgangspegel des EEG-Gerätes und der Eingangspegelbereich des A/D-Wandlers sind aneinander anzupassen. Bei guter Anpassung und richtiger Einstellung des Verstärkungsfaktors des EEG-Gerätes reicht ein 8 bit-Wandler; ein 12 bit-Wandler ist unkritischer.

In Abschnitt 3.5 ist eine Checkliste angegeben, mit deren Hilfe die Gleichmäßigkeit der Versuche sichergestellt werden kann.

## 3.2 Auswertungsverfahren

Bei der Beschreibung der Auswertungsverfahren wird davon ausgegangen, daß die Rohdaten korrekt aufgezeichnet und gespeichert wurden und daß die Ableitungen  $j$  und die Versuchsintervalle  $i$  eindeutig zuordenbar sind. Damit werden die weiteren Beschreibungen unabhängig von einer speziellen Rechnerhardware.

Die Basisfunktion für alle weiteren Betrachtungen stellt die Spektralleistungsdichte  $S_i^j(f, t)$

dar, die sich aus den Rohdaten in zeit- und frequenzdiskreter Form berechnen läßt. Da die Verarbeitung für jede Ableitung  $j \in \{C3;C4;P3;P4;O1;O2\}$  und für jedes Versuchsintervall  $i = 1, 2, \dots, 5$  identisch ist, wird zur besseren Übersicht auf die Indizierung  $i$  und  $j$  verzichtet.

Ausgangspunkt bildet das analoge Ableitsignal  $x(t)$ , mit  $0 \leq t \leq 15$  min. Aufgrund der Abtastung erhält man ein zeitdiskretes Signal  $x[\bar{n} \delta t]$ , mit dem Abtastintervall  $\delta t = 10$  ms. Dieses Signal wird nun in Signalblöcke

$$y[n, k] = x[n \delta t + kN \delta t],$$

mit  $0 \leq n \leq N - 1$   
und  $0 \leq k \leq K - 1$  (4)

aufgeteilt. Die Blocklänge wird mit  $N = 512$  gewählt, woraus sich eine Blockanzahl  $K \approx 160$ , entsprechend der Intervallzeit von 15 min ergibt. Mit dem gewählten Abtastintervall besitzt ein Zeitblock eine Länge von  $T = 5,12$  s. Mit Hilfe einer diskreten Fourier-Transformation (DFT) läßt sich das komplexe Spektrum

$$\tilde{Y}[m, k] = \delta t \sum_{n=0}^{N-1} y[n, k] e^{-j \frac{2\pi}{N} mn},$$

mit  $0 \leq m \leq N/2 - 1$  (5)

berechnen. Die Spektralleistungsdichte ergibt sich über:

$$\hat{S}[m, k] = |\tilde{Y}[m, k]|^2. \quad (6)$$

Gl. (5) läßt sich am effizientesten mit Hilfe einer FFT [20] berechnen. Dabei wird mit  $k$  in 5,12 s-Zeitschritten gezählt und mit  $m$  in  $1/T=0,195$  Hz-Frequenzschritten. Bei der Auswertung nach Gl. (5), wie sie auch L. von Klitzing durchgeführt hat, ergeben sich zwei Probleme:

- Das komplexe Spektrum  $\tilde{Y}[m,k]$  stellt lediglich eine Approximation des wirklichen Spektrums dar. Die Approximation ergibt sich aus einer Faltung des wirklichen Spektrums mit einer si-Funktion. Insbesondere kommt es bei stark schwankenden Signalen, wie es bei EEGs normal ist, zu massiven Verfälschungen (Aliasing-Effekt; s. [20]).
- Die nach L. von Klitzing gewählte Blocklänge von  $N = 512$  mit  $\delta t = 10$  ms führt zu einem Stützstellenabstand von  $\Delta f = 0,195$  Hz. Liegt die Frequenz der Alphawelle zufällig zwischen zwei Stützstellen, dann kann es zu zufälligen Amplitudenfehlern bis zum Faktor  $[\sin(\pi/2)/(\pi/2)]^{-2} = 2,44$  in der Spektralleistungsdichte nach Gl. (6) kommen.

Beide Fehler lassen sich signifikant verringern, indem man das komplexe Spektrum wie folgt berechnet:

$$Y[m,k] = \delta t \sum_{n=0}^{N-1} w[n] \{y[n,k] - \mu[k]\} \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N} mn},$$

mit  $0 \leq m \leq N/2 - 1$ . (7)

Das Zeitsignal wird mit einer Windowfunktion

$$w[n] = \frac{1}{0,42} \left\{ 0,42 + 0,5 \cos \left[ \frac{2\pi(n-N/2)}{N} \right] + 0,08 \cos \left[ \frac{4\pi(n-N/2)}{N} \right] \right\},$$

mit  $0 \leq n \leq N - 1$  (8)

gewichtet, wodurch der Aliasing-Effekt reduziert wird. Hier wird ein sog. Blackman-Window verwendet, da es eine starke Ne-

benzipfelunterdrückung und eine Verbreiterung des Hauptzipfels bewirkt [21]. Damit ist auch der maximale Amplitudenfehler (zweites Problem) auf den Faktor 1,3 verringert. Die Funktion

$$\mu[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y[n,k] \quad (9)$$

dient zur Elimination eines möglichen Off-sets innerhalb eines Zeitblocks. Damit ergibt sich die Spektralleistungsdichte

$$S[m,k] = |Y[m,k]|^2 \quad (10)$$

in zeit- und frequenzdiskreter Form, wie sie als Basis für die Versuchsauswertungen geeignet ist.

Für die Bewertung werden drei Auswertungen durchgeführt. Sie sind unterschiedliche Sichtweisen des EEGs.

### • Auswertung 1

Diese Darstellung wurde von L. von Klitzing gewählt. Sie beschreibt den zeitlichen Verlauf der spektralen Energiedichte

$$E[m_{\alpha-\max}, k] = \sum_{\kappa=0}^k S[m_{\alpha-\max}, \kappa] \quad (11)$$

an der Stelle  $m_{\alpha-\max}$ . Dies ist die Stützstelle  $m$ , bei der die mittlere Spektralleistungsdichte

$$\overline{S[m]} = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} S[m,k] \quad (12)$$

über ein 15 min dauerndes Versuchsintervall maximal ist. Diese Auswertung wird für alle Ableitungen und alle Versuchsintervalle durchgeführt.

### • Auswertung 2

Diese Darstellung wurde von CETECOM entwickelt, damit ein umfassender Überblick über die zeitliche Veränderung der

Spektralleistung möglich ist. Die unmittelbare Darstellung der Spektralleistungsdichte nach Gl. (10) ist aufgrund der starken zeitlichen Veränderungen für eine Interpretation nicht geeignet. Wenn man die Spektralleistungsdichte über  $\Delta k = 10$  Blöcke (entspricht einer Mittelungszeit von 51,2 s) bildet, erhält man einen gemittelten und somit geglätteten zeitlichen Verlauf der Spektralleistungsdichte

$$\overline{S[m,\kappa]} = \frac{1}{\Delta k} \sum_{k=\kappa\Delta k}^{(\kappa+1)\Delta k-1} S[m,k]$$

mit  $0 \leq \kappa \leq K/\Delta k$ . (13)

Einen guten Überblick erhält man im logarithmischen Maßstab, d.h.

$$\overline{S[m,\kappa]}^{\cdot} = 10 \cdot \log\{\overline{S[m,\kappa]}\}. \quad (14)$$

### • Auswertung 3

Die dritte Auswertung wurde entwickelt, um eine unmittelbare Einsicht in den zeitlichen Leistungsverlauf der Wellentypen der Delta-, Theta-, Alpha- und Betawelle zu erhalten. Dieser ergibt sich aus der Summation der mittleren Spektralleistungsdichte nach Gl. (13), indem über den entsprechenden Frequenzbereich der Wellentypen summiert wird [22]:

1. Leistungsverlauf der Deltawelle (Frequenzbereich von 0,5-3,5 Hz):

$$P[\Delta f_{\delta}, \kappa] = \sum_{m=3}^{17} \overline{S[m,\kappa]} \quad (15)$$

2. Leistungsverlauf der Thetawelle (Frequenzbereich von 3,5-7,5 Hz):

$$P[\Delta f_{\theta}, \kappa] = \sum_{m=18}^{38} \overline{S[m,\kappa]} \quad (16)$$

3. Leistungsverlauf der Alphawelle (Frequenzbereich von 7,5-12,5 Hz):

$$P[\Delta f_{\alpha}, \kappa] = \sum_{m=39}^{63} S[m, \kappa] \quad (17)$$

4. Leistungsverlauf der Betawelle (Frequenzbereich von 12,5-18,0 Hz):

$$P[\Delta f_{\beta}, \kappa] = \sum_{m=64}^{92} S[m, \kappa] \quad (18)$$

Es wird empfohlen, die Leistungsverläufe im logarithmischen Maßstab über

$$P[\Delta f_w, \kappa]^* = 10 \cdot \log\{P[\Delta f_w, \kappa]\},$$

$$\text{mit } w \in \{\delta; \sigma; \alpha; \beta\} \quad (19)$$

darzustellen.

Auswertungen nach den hier beschriebenen Algorithmen sind in TEIL I dieser Studie in den Abbildungen 6, 7 und 8 sowie in den Anhängen I und II dargestellt.

### 3.3 Gesetzliche Anforderungen

Bei jedem wissenschaftlichen Versuch sind gesetzliche Vorschriften zu beachten. Besonders erwähnenswert sind sicherheitstechnische Anforderungen sowie ethische Aspekte.

Bei den sicherheitstechnischen Betrachtungen muß jede Gefährdung einer Person ausgeschlossen werden. Es ist ein Dokument anzulegen, daß diese Anforderungen erfüllt werden. Hier ist sicherzustellen, daß alle eingesetzten elektrischen Geräte in ordnungsgemäßem Zustand sind.

Bei Versuchen mit Menschen sind die Regeln der Ethikkommission zu beachten.

### 3.4 Experimentelle Einschränkungen

In diesem Abschnitt kann der Experimentator seine Abweichungen von den idealen Versuchsbedingungen festhalten. Abweichungen ergeben sich in der Praxis häufig schon aus finanziellen Gründen. Hierbei stellt sich immer die Frage, ob unter diesen Einschränkungen der Versuch dann überhaupt noch geeignet ist, dem Versuchszweck nachzugehen. Wenn diese Frage positiv begründet werden kann, liegt somit auch eine Dokumentation von Abweichungen vor. Dies ist insofern wichtig, weil bei der Reproduktion durch andere Wissenschaftler immer neue Erfahrungen und Fragen entstehen und somit die speziellen Versuchsabweichungen bedeutsam werden könnten.

Anhand von drei Fragen soll die Vorgehensweise erläutert werden:

#### Einschränkungen durch den Hochfrequenzgenerator:

*Untersuchungsziel:* „Mit dem Versuch soll der Frage nachgegangen werden, ob das menschliche EEG durch niederfrequent gepulste elektromagnetische Felder beeinflusst werden kann.“

Die Frequenz des Hochfrequenzfeldes beträgt 150 MHz und ist mit ca. 10 Hz (Austastung für 80 µs) oder 217 Hz (Austastung für 8 µs) gepulst. Die Pulsfrequenz von ca. 10 Hz wurde gewählt, weil diese im Bereich der Frequenz der Alphawelle liegt. Die Frequenz von 217 Hz findet beim digitalen Mobilfunk (GSM 900 und DCS 1800) Anwendung. Die Ausgangsleistung des Hochfrequenzgenerators beträgt -3 dB<sub>m</sub>, d.h. 0,5 mW.

Folgende Fragen ergeben sich aus der Spezifikation:

1. *Frage:* „Warum werden 150 MHz gewählt?“  
*Antwort:* „Der Generator mit 150 MHz steht zur Verfügung.“
2. *Frage:* „Können Aussagen über mögliche Einflüsse beim digitalen Mobilfunk gemacht werden?“  
*Antwort:* „NEIN“ (Begründung ist in Abschnitt 1.6 dieser Studie bereits gegeben).
3. *Frage:* „Ist die gepulste Modulation geeignet, um einen athermischen Effekt auszulösen?“  
*Antwort:* „Da es für einen athermischen Effekt, ausgelöst durch ein gepulstes Hochfrequenzsignal, bis heute kein Modell gibt und keine experimentelle Erfahrung vorliegt, ist die Beurteilung einer Eignung der Modulation schwierig. Es ist daher erforderlich, das gepulste Signal genau zu analysieren.“ (Ergebnis: UNGÜNSTIG; s. Kapitel 5)

Mit der Antwort zur Frage 3 stellt sich spätestens die Frage, ob das Untersuchungsziel mit dem bis hier spezifizierten Versuch überhaupt noch sinnvoll verfolgt werden kann. Normalerweise muß an dieser Stelle eine Änderung des Versuchsaufbaus (Abschnitt 3.1) erfolgen. Da hier aber kein neuer Versuch entwickelt werden soll, muß an dieser Stelle abgebrochen werden.

### 3.5 Rahmenbedingungen für die Versuchsdurchführung

Die Rahmenbedingungen für die Versuchsdurchführung können systematisch aus der Beschreibung des Versuchsaufbaus abgeleitet

<b>VERSUCHS-Nr.: XX</b>	
<b>DATUM: tt.mm.jj UHRZEIT: ss:mm</b>	
<b>CHECKFRAGEN</b>	<b>ANTWORTEN</b>
<b>1. Versuchslabor / -raum</b>	
a) Ist der Raum für EEG-Aufzeichnungen geeignet (z.B. DIN VDE 0107)? b) Gibt es Umgebungseinflüsse (Lichtverhältnisse, Geräusche)? c) Wird das elektromagnetische Feld beobachtet?	
<b>2. Qualifikation des Personals</b>	
a) Hat das Personal EEG-Erfahrung (z.B. MTA)?	
<b>3. Feldgenerator</b>	
a) Arbeitet der HF-Generator wie spezifiziert (Technische Beschreibung, Bedienungsanleitung)? b) Arbeitet die Modulation richtig? c) Ist die Spule in Ordnung (Sichtprüfung, Verbindung Stecker/Kabel)? d) Liegt beim Einschalten wirklich ein Feld an?	
<b>4. Schnittstelle Feldgenerator/Proband</b>	
a) Ist die Spule richtig plaziert?	
<b>5. Proband</b>	
a) Hat der Proband seine Einverständniserklärung abgelegt (Ethikkommission)? b) Erfüllt der Proband Vorbedingungen? - Nichtraucher - keine Pharmaka-abhängigkeit - keine Pharmaka in den letzten 48h - kein Koffein oder Alkohol vor dem Versuch c) Ist der Proband in entspanntem Wachzustand (Vigilanzkontrolle)? d) Kann das Einschalten der HF wahrgenommen werden? e) Wird mit einer Kamera zusätzl. beobachtet?	
<b>6. Schnittstelle Proband/EEG-Gerät</b>	
a) Sind die Elektroden fachgerecht angebracht? b) Sind die Ableitkabel alle miteinander verdrillt? c) Hat eine Impedanzmessung vor dem Versuch stattgefunden ( $R < 3k\Omega$ )?	

d) Hat eine Impedanzmessung nach dem Versuch stattgefunden ( $R < 3k\Omega$ )? e) Sind zusätzl. Ableitkabel als Schleife angeschlossen, um evtl. elektromagnetische Einkopplungen zu registrieren?	
<b>7. EEG-Gerät</b>	
a) Werden die eingestellten Parameter des EEG-Gerätes aufgezeichnet (Verstärkungen, Filter)? b) Wird ein Probelauf durchgeführt? c) Wurde die Offset-Taste betätigt? d) Wird das EEG-Gerät entsprechend den Herstellerangaben gewartet?	
<b>8. Schnittstelle EEG-Gerät/A/D-Wandler</b>	
a) Passen die Signalpegelbereiche zusammen? b) Wie hoch wird der A/D-Wandler angesteuert?	
<b>9. A/D-Wandler</b>	
a) Wieviel bit ist die Auflösung des Wandlers? b) Wie groß ist die Abtastfrequenz?	
<b>10. Schnittstelle A/D-Wandler/Datenspeicher</b>	
a) Ist eine eindeutige Zuordnung der Kanäle zur Datenablage gewährleistet? b) Sind die Datenformate geeignet gewählt?	
<b>11. Datenspeicher</b>	
a) Werden die aufgezeichneten Daten archiviert? b) Können die Daten eindeutig den Versuchen zugeordnet werden? c) Ist damit eine spätere Datenanalyse möglich?	
<b>12. Schnittstelle Datenspeicher/Rechner</b>	
a) Sind die Daten auf einem Träger, z.B. Diskette, so daß ein Austausch mit anderen möglich ist?	

werden, indem jede Komponente und jede Schnittstelle betrachtet wird.

Die Versuchsdurchführung sollte möglichst gleichmäßig erfolgen und ohne großen Aufwand dokumentiert werden. Dies ist am einfachsten mit Hilfe einer Checkliste möglich. Sie ist gegliedert in Komponenten und Schnittstellen und enthält zu jedem Gliederungspunkt Fragen, die bei jeder Versuchswiederholung zu beantworten sind. Damit ist sichergestellt, daß insbesondere Routineaufgaben nicht vergessen worden sind. Die Checkliste kann natürlich mit zunehmender Erfahrung erweitert werden. Ein Beispiel für eine ausgefüllte Checkliste befindet sich in Anhang IV.

## 4 Versuchsergebnisse

### 4.1 Bestandsaufnahme der publizierten Versuche

In den Literaturstellen [1, 2, 3, 10, 12-15] hat L. von Klitzing Auswertungsergebnisse dargestellt und interpretiert. In Tabelle 2 werden die wesentlichen Versuchsmerkmale angegeben.

Den in den Publikationen dargestellten Ergebnissen wurden durch Vergleich Versuchsnummern zugeordnet. Die Versuche Nr. 2, 3 und 9 wurden gemeinsam mit CETECOM durchgeführt und werden im nächsten Abschnitt diskutiert. Es gibt insgesamt 6 unterschiedliche Versuche, wobei 5 mal nach L. von Klitzings Interpretation der Effekt aufgetreten ist. Es gibt nur einen Versuch im

10 Hz-Bereich (8,3 Hz). Alle anderen Versuche wurden mit 217 Hz-Modulation durchgeführt. Außer beim Versuch 8 wurde immer das Kriterium 1 (gemittelte Spektralleistungsdichte) herangezogen. Der Zeitpunkt  $t_0$ , zu dem die Mittelwertbildung beginnt, wurde kein mal konkret angegeben. Das Mittelungsintervall  $\Delta t$  beträgt bis auf Versuch 7 (51,2 s) immer 300 s, was durch Vergleich unterschiedlicher Literaturstellen festgestellt werden kann. Bei den Angaben der Ableitungspunkte treten mehrfach Inkonsistenzen auf. Ein wesentlicher Widerspruch tritt bei der Angabe der Versuchswiederholungszeit zwischen den Versuchen 4 und 5 auf. Nach [1] beträgt die Zeit 3 Wochen, nach [13-15] 24 Stunden. Bemerkenswert sind noch die Zitate. Es gibt keine zitierte Literaturstelle, außer den eigenen, in der über ähnliche Effekte oder eine Reproduktion berichtet wird.

### 4.2 Gemeinsam durchgeführte Versuche

L. von Klitzing und CETECOM haben zweimal gemeinsam Versuche durchgeführt. Beim ersten Mal, am 26.08.93, ist kein Effekt aufgetreten. Beim zweiten Mal, am 14./15.04.94, wurden zwei Versuche mit unterschiedlichen Pulsfrequenzen (10 Hz und 217 Hz) durchgeführt. Beim 10 Hz-Versuch ist nach L. von Klitzings Interpretation der Effekt mit deutlicher Ausprägung aufgetreten. Da die EEG-Daten bei der Versuchsdurchführung von CETECOM parallel mit aufgezeichnet wurden, konnten sie unabhängig ausgewertet und analysiert werden.

Die Versuche wurden wie in Kapitel 3 dokumentiert aufgebaut, durchgeführt und ausgewertet. In Abschnitt 1.4 sind die Ergebnisse für die O<sub>2</sub>-Ableitung bereits ausführlich diskutiert wor-

Lit.-Stelle	Versuch Nr.	Effekt*)/Kriterium	$f_{Mod}$ /Hz	$t_0$ /s	$\Delta t$ /s	Abltg.	Zitate
[1]	1	ja / Krit. 1	8,3	k.A.	300	O1;O2; P3;P4	9*L.v.K. 4*Andere
	4	ja / Krit. 1	217,0	k.A.	300	O2	
	5	ja / Krit. 1	217,0	k.A.	300	O2;C3;	
	6	nein / Krit. 1	217,0	k.A.	300	O2	
[2]	7	ja / Krit. 1	217,0	k.A.	51,2	P3;P4 O1;O2	k.A.
[3]	7	ja / Krit. 1	217,0	k.A.	k.A.	C3	4*L.v.K.
[10]	1	ja / Krit. 1	8,3	k.A.	300	O2	2*L.v.K.
	8	ja / Krit. 2	217,0	-	-	k.A.	
[12]	8	ja / Krit. 2	217,0	-	-	k.A.	k.A.
[13]	4	ja / Krit. 1	217,0	k.A.	k.A.	k.A.	3*L.v.K.
	5	ja / Krit. 1	217,0	z.T.	z.T.	k.A.	
[14]	4	ja / Krit. 1	217,0	k.A.	k.A.	P4	3*L.v.K.
	5	ja / Krit. 1	217,0	z.T.	z.T.	P4	
[15]	4	ja / Krit. 1	217,0	k.A.	k.A.	k.A.	4*L.v.K. 2*Andere
	5	ja / Krit. 1	217,0	z.T.	z.T.	k.A.	
*) bezieht sich auf L. von Klitzings Interpretation keine Angaben: k.A.; zum Teil: z.T.							

Tabelle 2: Übersicht über alle publizierten Versuche

den. Bei der O1-Ableitung ergaben sich Probleme bei der EEG-Aufnahme, so daß die Auswertung dieser Daten nicht sinnvoll ist. Die Auswertungen aller anderen Ableitungen dieses Versuchs sind in Anhang I zusammengestellt. Außer den in Abschnitt 1.4 durchgeführten Interpretationen sollen an dieser Stelle keine weiteren vorgenommen werden.

Da auch der 217 Hz-Versuch vollständig dokumentiert ist, sind in Anhang II auch die Auswertungen dieses Versuchs dargestellt. Die Auswertungen zeigen den Verlauf eines normalen EEGs. Der Leser kann sich damit selbst einen Eindruck über die Amplitudenschwankungen eines EEGs verschaffen.

## 5 Bewertung

### 5.1 Allgemein

Nach eigenen Angaben hat L. von Klitzing (Stand: 25.08.93) insgesamt 26 Versuche bei unterschiedlichen Pulsfrequenzen mit 20 verschiedenen Probanden durchgeführt, wobei nach seiner Aussage 21mal der Effekt aufgetreten war (Zeitraum: April - Juni 1992) s. Tabelle 3).

Bezüglich dieser Versuche existiert keine Dokumentation von Basisdaten, die es erlauben, die Versuche und die abgeleiteten Ergebnisse nachzuvollziehen. Diese Angaben von L. von Klitzing stehen im Widerspruch zu seinen in der Literatur veröffentlichten. Danach sind lediglich 6 verschiedene Versuche identifizierbar (s. Abschnitt 1.4).

Pulsfrequenz/Hz	8,3	9,6 /10	217	ohne Bestrahlung
Anzahl der Versuche	6	5	15	6...9
Phänomen aufgetreten	4	5	12	-
Kein Phänomen aufgetreten	2	-	3	6...9

Tabelle 3: Ergebnisse der Versuche von L. von Klitzing

Der am 14.04.94 gemeinsam durchgeführte Versuch 3 (10 Hz-Modulation) ist der einzige Versuch, bei dem eine umfassende Analyse möglich und nach Aussage L. von Klitzings der athermische Effekt aufgetreten ist.

Die Analyse dieses Versuchs zeigt zwar starke Schwankungen der Alphawelle, die aber immer mit einem Anstieg der Delta- und Thetawelle verbunden sind. Dieser Effekt wird nach Aussage von Kubicki, Sekretär der Gesellschaft für klinische Physiologie (ehemals deutsche EEG-Gesellschaft), üblicherweise zur Vigilanzkontrolle herangezogen. Im 3. Versuchsintervall war der Proband auch tatsächlich eingeschlafen.

Die von L. von Klitzing eingesetzte Methode der Vigilanzkontrolle (nach W.M. Hermann) ist nach Aussage von Kubicki für diese Versuche nicht geeignet. Dies beweist der Versuch, da der Proband unerkannt eingeschlafen war.

Die durchgängige Versuchsdauer von mehr als einer Stunde erscheint sehr lang. Eine gleichbleibende Alpha-Aktivität über eine Stunde hält Kubicki für unmöglich.

Ein monotoner Alpha-Rhythmus findet sich am ehesten bei Patienten nach frühen Hirnschädi-

gungen bzw. geistigen Behinderungen verschiedenster Ursachen. Die Alpha-Aktivität schwankt bei gesunden Menschen immer (auch im Mehr-Minutenrhythmus) (Dr. Spittler, Knappschafts Krankenhaus Bochum-Langendreer).

Dr. Splitter hält die Versuchsdauer ebenfalls für zu lang, da in der Praxis häufig schon nach 15 Minuten die Aufmerksamkeit von Probanden nachläßt und dies zu signifikanten Schwankungen der Alpha-Aktivität führt.

L. von Klitzing hat bisher keine EEG-Experten zu seinen Interpretationen befragt.

Die Anzahl der durchgeführten Versuche ist gering. Bei dieser geringen Stichprobenzahl kann sicherlich nicht von einer statistisch belegbaren Aussage, sondern nur von Einzelergebnissen gesprochen werden.

Insbesondere haben auch keine dokumentierten Untersuchungen ohne Exposition stattgefunden. Damit ist nicht einmal geklärt, ob die registrierten Schwankungen womöglich in ganz natürlichen Varianzbereichen unterschiedlicher Wachheitsgrade liegen.

Wenn man bedenkt, daß die natürlichen Schwankungen des EEGs bei monotonen Ableitungs-

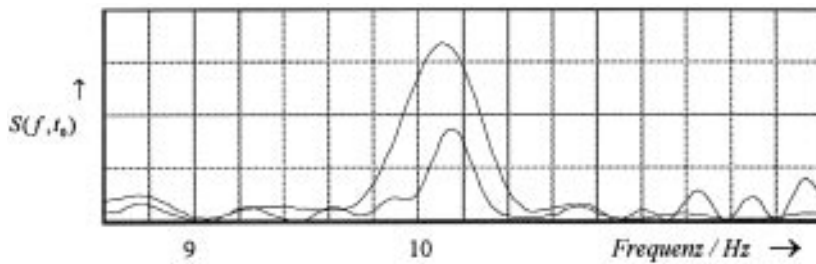


Abbildung 14: Fehler bei der digitalen Signalverarbeitung (höhere Kurve mit Window)

bedingungen (geringe Außenreize) sehr ausgeprägt sind, dann stellt sich die Frage, ob ein kausaler Zusammenhang zur Wirkung des gepulsten Feldes, wenn überhaupt, dann allenfalls im Kontrollgruppenvergleich feststellbar ist.

Darüber hinaus können die Versuche nicht als Blindversuche bewertet werden, da zum Ein- und Ausschalten des Feldes L. von Klitzing jeweils zum Feldgenerator gehen muß, um das Spulenkabel anzuschließen. Der Feldgenerator befindet sich in ca. 1,5 m Abstand zum Probanden, so daß dieser diesen Vorgang sicherlich wahrnehmen konnte.

Alle Ergebnisse, die L. von Klitzing publiziert hat, sind in quadratischer Skalierung dargestellt. Dadurch machen sich Amplitudenschwankungen verstärkt bemerkbar. Eine Schwankung der Alphawelle um den Faktor 3 macht sich nach der Quadrierung (Faktor 9) dramatisch bemerkbar. Dieses Problem kann mit Hilfe einer logarithmischen Skalierung gelöst werden (s. Abb. 7 und 8 sowie Anhang I und II). Veränderungen, wie sie in [2] und [3] diskutiert werden, sind völlig normale Schwankungen.

Ein weiteres Problem ist bei der Anwendung der Spektrallei-

stungsberechnung mit Hilfe der FFT aufgetreten. Die Signale sind mit 100 Hz abgetastet. Bei der Anwendung der FFT mit 512 Werten wird das Spektrum nur an diskreten Stützstellen im Abstand von 0,195 Hz berechnet. Dies kann bei schmalbandigen Signalen zu Fehleinschätzungen bis zum Faktor 2,44 führen, wenn z.B. das Maximum gerade zwischen zwei Stützstellen liegt. Die Auswertung der spektralen Energiedichte kann dann ebenfalls um diesen Faktor falsch sein.

Da immer schwankende Signale und Rauschsignale mit aufgezeichnet werden, stellen sich Aliasing-Effekte ein, die durch Anwendung von Window-Funktionen verringert werden können, was bei den Auswertungen von L. von Klitzing nicht berücksichtigt wurde. Abbildung 14

zeigt den Aliasingeffekt bei der Berechnung der Spektralleistungsdichte (kleinere Funktion) gegenüber der Window-Anwendung. Die Spektralleistungsdichte wurde aus Originaldaten gebildet.

## 5.2 Feldstärkebetrachtungen

Die Einkopplung des elektromagnetischen Feldes in den Kopf des Menschen hängt im Nahfeldbereich ganz entscheidend von der Sendeantenne ab. Bei den Versuchen von L. von Klitzing wurde eine Spule (magnetischer Dipol) zur Felderzeugung eingesetzt. Dagegen wird im Mobilfunk derzeit ein elektrischer  $\lambda/4$ -Dipol als Antenne verwendet. Da der Mensch elektromagnetisch gesehen ausschließlich aus verlustbehafteter dielektrischer Materie besteht,

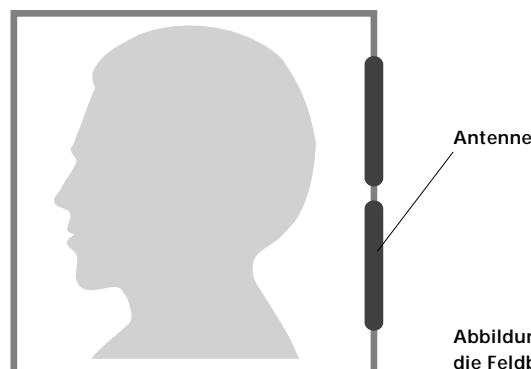


Abbildung 15: Ebene für die Feldberechnung

sind auch aufgrund dieser Tatsache signifikante Unterschiede zu erwarten.

In den Abbildungen 16-19 sind Feldverteilungen berechnet worden, um einen Vergleich zwischen elektrischen und magnetischen Dipol vornehmen zu können. Abbildung 15 skizziert die Ebene, in der die Felder berechnet wurden. Die Ebene geht genau mittig durch den Kopf. Sowohl der Dipol als auch die Spule wurde in den Nacken gelegt, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Abbildung 16 zeigt das elektrische und magnetische Feld eines  $\lambda/2$ -Dipols bei 900 MHz im freien Raum und Abbildung 17 das entsprechende Feld im Kopf. Jede Farbstufe entspricht einer 6 dB-Stufe in der Feldstärke. Deutlich zu erkennen ist die starke Feldveränderung durch den Einfluß des Kopfes.

Abbildung 18 zeigt das elektrische und magnetische Feld der Versuchsspule bei 150 MHz im freien Raum und Abbildung 19 das entsprechende Feld im Kopf. Jede Farbstufe entspricht auch hier einer 6 dB-Stufe in der Feldstärke. Im Unterschied zum Dipol verändert sich die magnetische Feldstärke durch den Kopfeinfluß kaum. Das elektrische Feld wird durch die dielektrischen Eigenschaften des Kopfes natürlich stärker beeinflusst.

Das Ergebnis dieser Feldbetrachtung zeigt recht deutlich, daß zwischen den Verhältnissen beim Mobilfunk und den Versuchsbedingungen nach L. v. Klitzing ein signifikanter Unterschied besteht. Rückschlüsse aus den Ver-

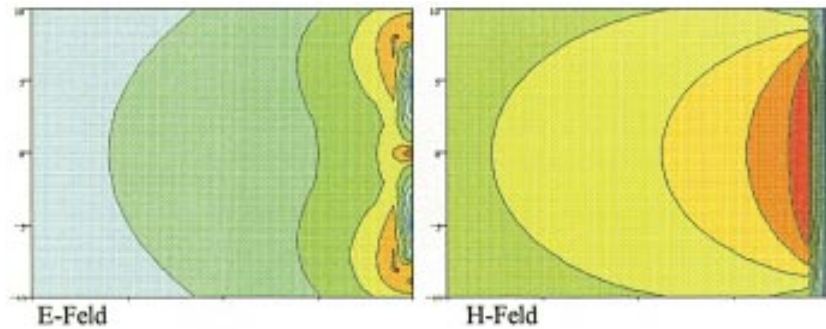


Abbildung 16: Feldstärkeverteilung eines  $\lambda/2$ -Dipols bei 900 MHz im freien Raum

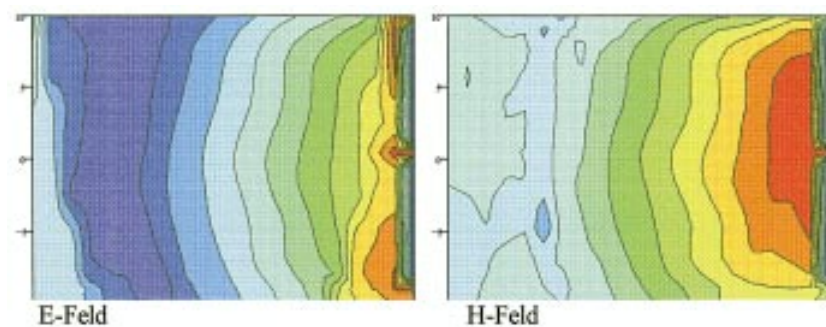


Abbildung 17: Feldstärkeverteilung eines  $\lambda/2$ -Dipols bei 900 MHz am Kopf

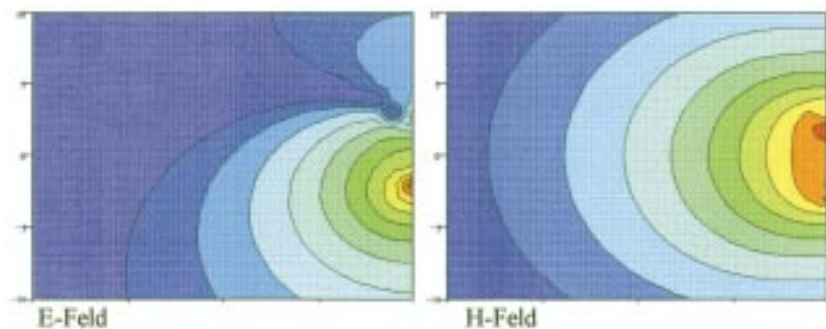


Abbildung 18: Feldstärkeverteilung einer Spule bei 150 MHz im freien Raum

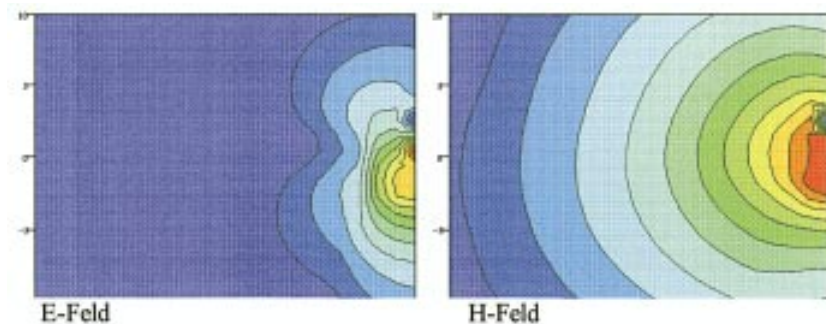


Abbildung 19: Feldstärkeverteilung einer Spule bei 150 MHz am Kopf

suchen von L. v. Klitzing auf den Mobilfunk sind demzufolge unzulässig.

## 5.3 Spektralbetrachtungen

L. von Klitzing gibt an [1-16], daß die gepulste Modulation die Ursache für den athermischen Effekt sei. Seine gepulsten Versuchssignale unterscheiden sich von unmodulierten nur sehr wenig. Dies ergibt sich aus der Berechnung der Spektrallinien über

$$c_n = \begin{cases} A & \text{für } n=0 \\ \frac{A}{n\pi} \sin(n\pi v), & \text{für } n=\pm 1, \pm 2, \dots \end{cases} \quad (20)$$

wobei das Tastverhältnis  $v = t_{\text{ein}} / (t_{\text{ein}} + t_{\text{aus}})$  die Amplituden der Spektrallinien entscheidend bestimmt. Bei den 10 Hz-Versuchen sind die Spektrallinien, die durch die Modulation hervorgerufen werden, mehr als 60 dB unter dem Pegel des Trägersignals A, bei den 217 Hz-Versuchen mehr als 55 dB.

In Abbildung 20 sind die Spektralverteilungen der Versuchssignale der 10 Hz- und der 217 Hz-Modulation im Vergleich zum Spektrum des Mobilfunksignals (GSM) dargestellt. Bei der Frequenz 0 befindet sich der Hochfrequenzträger. Die Unterschiede zum Mobilfunk sind sehr groß, so daß keine Rückschlüsse von den Versuchen auf den Mobilfunk gezogen werden können.

Betrachtet man noch die geringe HF-Leistung von 0,5 mW bei den durchgeführten Versuchen, dann verbleiben für athermische Effekte, ohne Berücksichtigung von den oben erwähnten Einkopplungsdämpfungen, noch

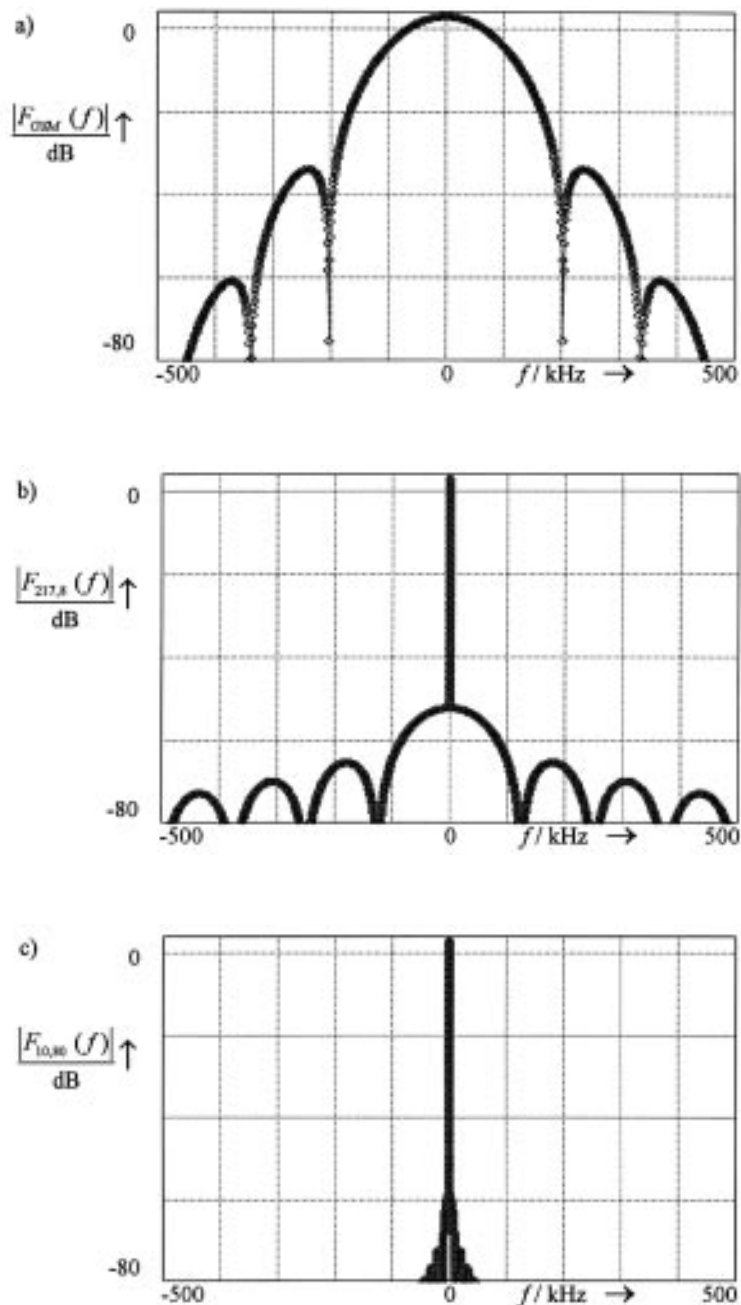


Abbildung 20: Vergleich der Spektralverteilungen von GSM- und Versuchssignalen  
a) GSM-Signal  
b) Versuchssignal mit 217 Hz-Pulsfrequenz und 8 µs-Austattung  
c) Versuchssignal mit 10 Hz-Pulsfrequenz und 80 µs-Austattung

magnetische Feldstärken (Flußdichten) im Bereich von einigen mA/m bzw. Nanotesla (nT). Diese Feldstärken liegen im Vergleich zu denen, wie sie im Haushalt

und Freizeitbereich [23] häufig vorkommen, um den Faktor 1000 bis 100.000 niedriger. Falls bei diesen geringen Feldstärkeanteilen tatsächlich noch ather-

mische Effekte auftreten sollten, dann stellt sich die Frage, ob diese Effekte nicht allgegenwärtig sind, auch ohne digitalen Mobilfunk.

## 5.4 Zusammenfassung der Aussagen von L. v. Klitzing

Aus den Publikationen [1-15] wurde je ein Zitat entnommen, um eine generelle Aussage zu entwickeln.

- „Durch niederfrequent gepulste elektromagnetische HF-Felder mit Energien, die weit unterhalb der derzeit gültigen VDE-DIN Normen liegen, wird beim Menschen das Leistungsspektrum des spontanen EEG massiv verändert.“ [1]
- „Pulsed electromagnetic HF-fields, as used for a new type of telecommunication in future influence extremely the power density of human EEG at an energy level of less than  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . These results demonstrate, that there are not only interference between electromagnetic fields and biological system on the level of temperature effects.“ [2]
- „Bei einer imitierten Leistungsdichte von weniger als  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  kommt es während des Feldeinflusses zu Veränderungen im EEG-Leistungsspektrum, die dadurch charakterisiert sind, daß sehr schmalbandig im Frequenzbereich um 10 Hz eine Energieerhöhung erfolgt.“ [3]
- „Die Ergebnisse zeigen deutlich, daß das Leistungsspektrum signifikant verändert ist; die maximale Energie im 10 Hz-Bereich steigt bis zum Zehnfachen der Kontrollmessung von der Exposition an.“ [4]
- „So kann ein mit 8-10 Hz-Rechteck gepulstes HF-Signal ein ebenfalls in diesem Frequenzbereich liegendes schmalbandiges EEG-Signal aktivieren (oder generieren), das nicht unbedingt dieselbe Frequenz wie das Reizsignal haben muß.“ [5]
- „Die bisherigen Ergebnisse zeigen deutlich, daß es unter diesen Bedingungen zu signifikanten Veränderungen im menschlichen EEG kommt, die – und das erscheint hier sehr wichtig – auch nach der Exposition für längere Zeit fortbestehen.“ [6]
- „Als Ergebnis zeigt sich eine Änderung im Leistungsspektrum insofern, als das zuvor in der Kontrollmessung relativ breitbandige Alpha-Signal sehr schmalbandig wird, wobei das Maximum der Frequenz nicht unbedingt bei derselben Frequenz liegt, mit der das HF-Feld getaktet wurde.“ [7]
- „Eigene Untersuchungen weisen darauf hin, daß die periodische Stimulation, wie sie bei frequenzstabilen Pulsen von Hochfrequenzsignalen (D-Netz) erfolgen, eine biologische Antwort zeigen. Es gibt einige konkrete Hinweise dafür, daß das periodische niederfrequente Aufprägen eines Musters als Information vom biologischen System gespeichert wird und auch noch nach der Exposition so erhalten ist. Welche biologische Relevanz diese aufgeprägten Zeitfunktionen haben, kann derzeit nicht beurteilt werden.“ [8]
- „Auch niederfrequent gepulste elektromagnetische Felder im athermischen Bereich verändern das menschliche EEG. (...) Die bisherigen Ergebnisse zeigen deutlich, daß es unter diesen Bedingungen zu signifikanten Veränderungen im menschlichen EEG kommt, die – und das erscheint hier sehr wichtig – auch nach der Exposition für längere Zeit fortbestehen.“ [9]
- „By low-frequently pulsed electromagnetic fields the energy of encephaloelectrical signals are altered significantly. This effect is not to explain only by the exposure itself. The small band-width of the new signal point to a resonance system activated or generated by these external fields“ [10]
- „Daß aber das relativ niederfrequente Signal als Informationsquelle biologisch relevant ist, zeigt sich an entsprechenden Veränderungen der Hirnströme (EEG) beim Menschen, die auch bei einer Laborsimulation nach der Exposition erhalten bleiben“ [11]
- „Aus den bisherigen Erkenntnissen muß davon ausgegangen werden, daß periodische Reize niedriger Frequenz zu einem biologischen Phänomen führen, das sich im EEG (Elektroenzephalogramm) als

schmalbandige Oszillation darstellt. Dieser Effekt wird erreicht sowohl bei direkter Reizung (z. B. über Elektroden auf der Haut) als auch indirekt (über gepulste Magnetfelder); er ist also primär unabhängig von der Reizart selbst.“ [12]

- „Als Ergebnis zeigt sich eine Änderung im Leistungsspektrum insofern, als das zuvor in der Kontrollmessung relativ breitbandige Alpha-Signal sehr schmalbandig wird, wobei das Maximum der Leistung nicht unbedingt bei der selben Frequenz liegt, mit der das HF-Feld getaktet wurde. Auch nach der Exposition bleibt in der entsprechenden Kontrollmessung das Signal erhalten und kann bei der nachfolgenden Exposition weiter verstärkt oder auch reduziert werden.“ [13]
- „Als Ergebnis zeigt sich eine Änderung im Leistungsspektrum insofern, als das zuvor in der Kontrollmessung relativ breitbandige Alpha-Signal sehr schmalbandig wird, wobei das Maximum der Leistung nicht unbedingt bei derselben Frequenz liegt, mit der das HF-Feld getaktet wurde. Auch nach der Exposition bleibt in der entsprechenden Kontrollmessung das Signal erhalten und kann bei der nachfolgenden Exposition weiter verstärkt oder auch reduziert werden.“ [14]
- „Als Ergebnis zeigt sich eine Änderung im Leistungsspektrum insofern, als das zuvor in der Kontrollmessung relativ breitbandige Alpha-Signal sehr

schmalbandig wird, wobei das Maximum der Leistung nicht unbedingt bei der selben Frequenz liegt, mit der das HF-Feld getaktet wurde. Auch nach der Exposition bleibt in der entsprechenden Kontrollmessung das Signal erhalten und kann bei der nachfolgenden Exposition weiter verstärkt oder auch reduziert werden.“ [15]

Die Hauptaussage lautet: „Durch niederfrequent gepulste Hochfrequenzfelder kommt es zur Beeinflussung des EEGs“. Die Änderungen am EEG sind sehr unterschiedlich. Es gibt mal eine Zunahme der Amplitude der Alpha-Welle, dann gibt es ein Schmalwerden der Alpha-Welle. Häufig bleibt der Effekt auch über einen längeren Zeitraum bestehen.

Beim Lesen der Publikationen ist es nicht möglich, die gemachten Aussagen aus den Arbeiten schlüssig abzuleiten.

Betrachtet man die ständig wechselnden Interpretationen von Auswertungsergebnissen in den Publikationen, dann stellt sich natürlich die Frage, wann sich Stabilität einstellt. Dies ist typischerweise ein Kennzeichen für die Phase der Versuchserprobung.

In seinen Publikationen geht L. von Klitzing selbstverständlich davon aus, daß die Beeinflussung des EEGs durch gepulste Felder bereits wissenschaftliche Erkenntnis sei. Dies kann jedoch nur dann der Fall sein, wenn seine Versuche reproduziert und die Ergebnisse durch andere bestätigt werden konnten.

## 6 Literatur

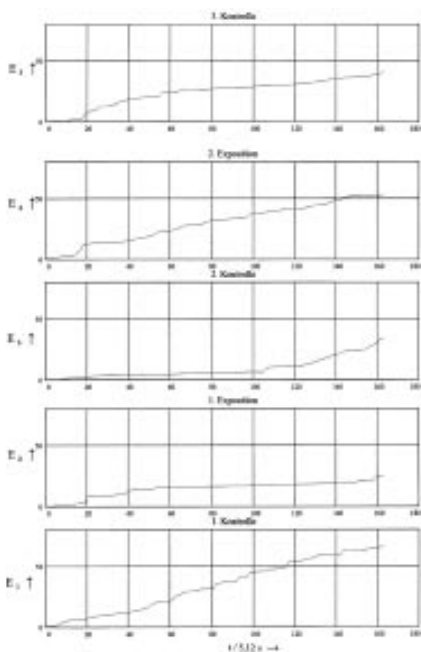
- [1] L. von Klitzing: „Biologische Wirkungen im niederfrequenten gepulsten niederenergetischen HF-Feld“, in: FH-Lübeck, „Das elektromagnetische Feld und dessen Auswirkung auf das biologische System“, Lübeck, 29.10.1992
- [2] L. von Klitzing: „Electromagnetic Fields Pulsed with 217 Hz alter EEG of man at very low energy levels“, Proceedings of the 14th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Lyon, France, November 1992, pp. 221 - 223
- [3] L. von Klitzing: „Athermische Effekte magnetischer und elektromagnetischer Felder“, Vortragsmanuskript, Kiel: VDE-Symposium, Oktober 1992
- [4] L. von Klitzing: „Wirkung elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf den Menschen unter besonderer Berücksichtigung athermischer Effekte“, Gutachten im Auftrag der Untersuchungsstelle für Umwelttoxikologie (UFU) des Landes Schleswig-Holstein, 1992
- [5] L. von Klitzing: „Athermische Wirkungen gepulster HF-Felder“, in: VDE-Fachbericht 45 „Biologische Wirkungen elektromagne-

- tischer Felder", Berlin: VDE-Verlag, 1993, S. 89 - 92
- [6] L. von Klitzing: „Der Mensch im elektromagnetischen Feld“, Wechselwirkung, Nr. 40, Dezember 1993, S. 13 - 16
- [7] L. von Klitzing: „Athermische biologische Effekte durch gepulste elektromagnetische Felder“, in: Niedersächsisches Umweltministerium, Tagungsreader des Internationalen Elektrosmog-Hearing des Niedersächsischen Umweltministeriums, 16.09.1993
- [8] L. von Klitzing: (Antwortenliste), in: Ausschuß für Post und Telekommunikation (Hrsg.), Synopse der Stellungnahmen der Verbände und Sachverständigen zum Problem der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit von Mobil- und Richtfunkseanlagen und insbesondere damit zusammenhängender möglicher Gesundheitsgefahren, 14.05.1993
- [9] L. von Klitzing: „Elektrosmog' durch Mobiltelefone – besteht hier eine gesundheitliche Gefährdung?“, Stadt und Gemeinde, S. 365 - 367, 10/1993
- [10] L. von Klitzing: „Low-Frequently Pulsed Electromagnetic Fields Influence Biosignals of Man“. Proceedings of the 2nd International Scientific Meeting „Microwaves in Medicine“, p. 195 - 198, Rom, 11-14 October 1993
- [11] L. von Klitzing: „Strahlenschutz im Mobilfunk“, F.A.Z., September 1993
- [12] L. von Klitzing: „Zur Untersuchung der EEG-Veränderungen durch gepulste HF-Felder“, 22.07.93, erstellt für die vorliegende Studie, die im Auftrag der Forschungsgemeinschaft Funk durchgeführt wurde
- [13] L. von Klitzing: „Veränderte Biosignalwirkung beim Menschen während und nach der Exposition im elektromagnetischen Feld“, Euroforum Konferenz Bad Homburg 23./24.10.93
- [14] L. von Klitzing: „Veränderte Biosignalwirkung beim Menschen während und nach der Exposition im elektromagnetischen Feld“, Symposium ‚Biologische Wirkungen niederfrequenter Felder‘, Lübeck (1994)
- [15] L. von Klitzing: „Neurophysiologische Einflüsse durch elektromagnetische Felder während und nach der Exposition“, Anhörung im Landtag, 30.04.93
- [16] L. von Klitzing: „Elektromagnetische Verträglichkeit aus biologischer Sicht“, VI. Winterschule in Pichl/Steiermark, Kurs 2: Meßverfahren in der Medizinischen Physik und Biomedizinischen Technik, 24.1.-28.1.1994
- [17] Meyers Enzyklopädisches Lexikon, Bibliographisches Institut, Mannheim, Band 7, S. 638
- [18] K. Popper: „Die moralische Verantwortlichkeit des Wissenschaftlers“. Meyers Enzyklopädisches Lexikon, Bibliographisches Institut, Mannheim, Band 25, S. 435-439, 1979
- [19] DIN V VDE 0801: „Grundsätze für Rechner in Systemen mit Sicherheitsaufgaben“. 1990
- [20] A. Papoulis: „Signal Analysis“. Mc Graw-Hill, New York, 1985
- [21] E. Schrüfer: „Signalverarbeitung“. Hanser-Verlag, München, 1990, S. 167-173
- [22] W.M. Herrmann: St. Kubicki, H. Künkel, J. Kugler, D. Lehmann, K. Maurer, P. Rappelsberger, W. Scheuler: „Empfehlung der deutschen Deutschen EEG-Gesellschaft für das Mapping von EEG-Parametern (EEG- und MP-Mapping)“, Mapping-Kommission der Deutschen EEG-Gesellschaft, Z.EEG-EMG20(1989), 1989
- [23] N. Krause: „Niederfrequente elektromagnetische Felder – Grenzwerte und Sicherheit – – EG-Richtlinien-vorschlag ‚Physikalische Einwirkungen‘ –“, Symposium ‚Biologische Wirkungen niederfrequenter Felder‘, Lübeck (1994)

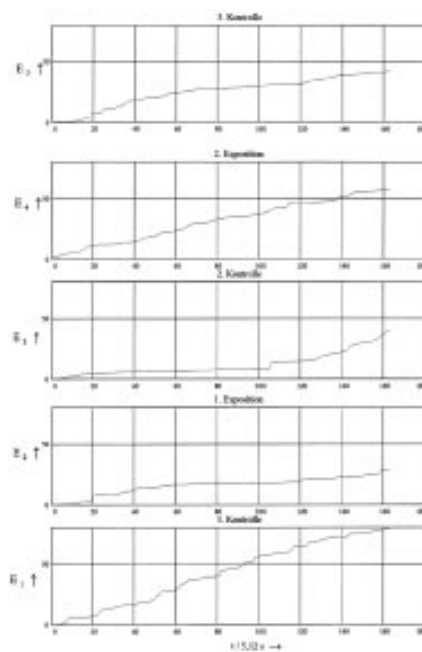
Anhang I:

# Auswertungsergebnisse des Versuchs vom 14.04.94 mit 10 Hz-Modulation

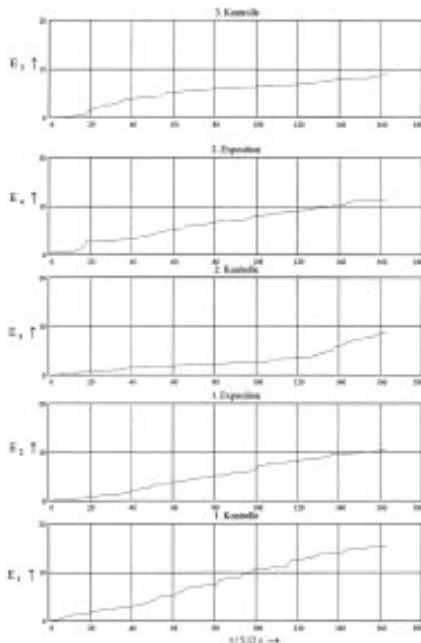
Zeitlicher Verlauf der Energiedichte bei der Frequenz  $f_{\alpha_{max}}$



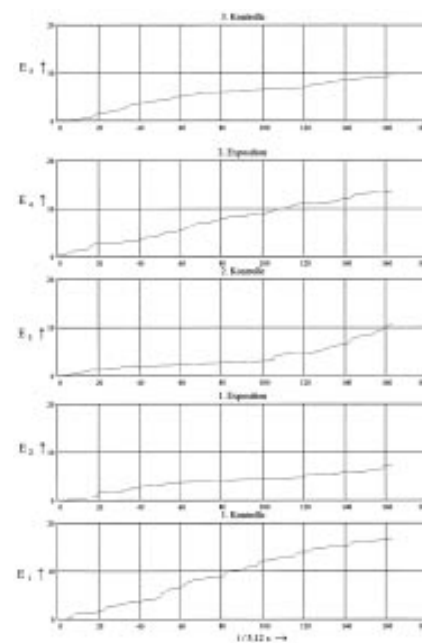
Ableitung: P3  
Pulsfrequenz:  
10 Hz



Ableitung: P4  
Pulsfrequenz:  
10 Hz

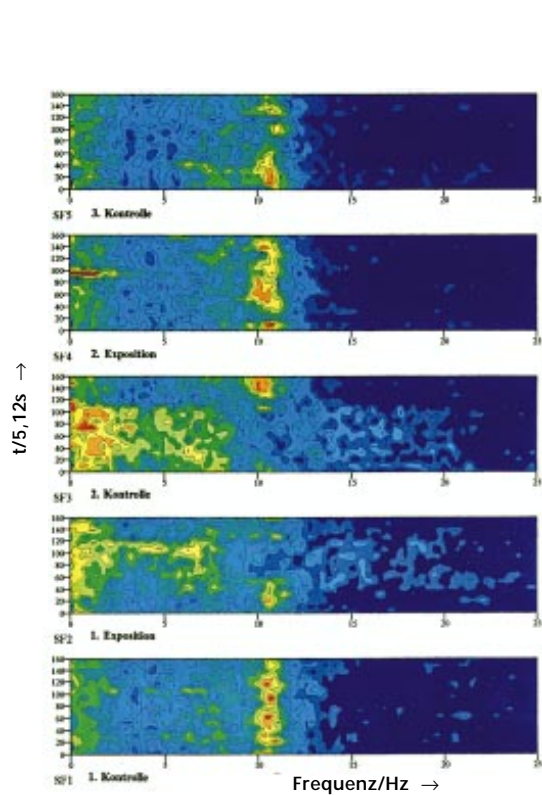


Ableitung: C3  
Pulsfrequenz:  
10 Hz

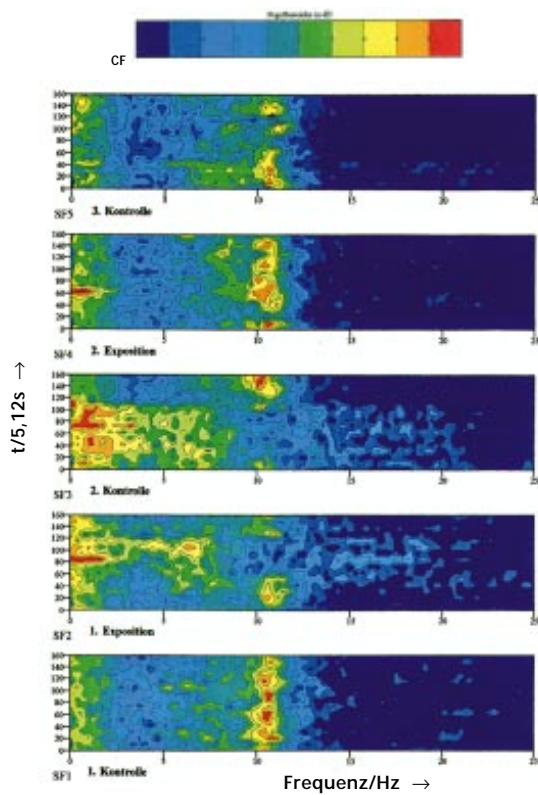


Ableitung: C4  
Pulsfrequenz:  
10 Hz

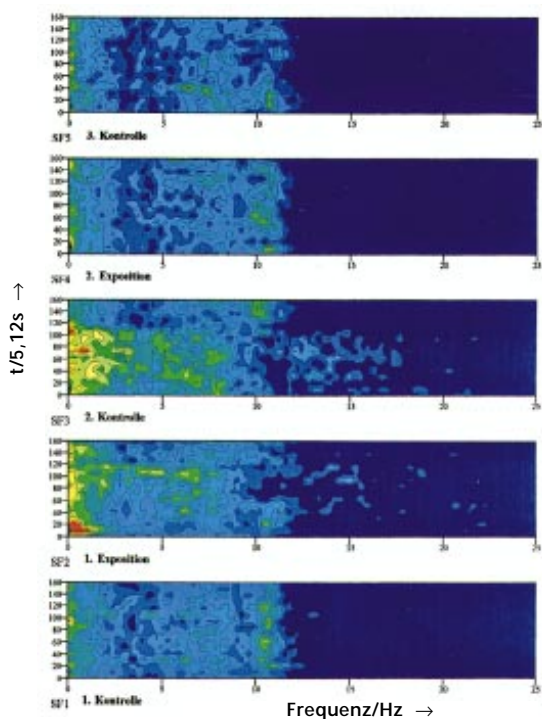
## Versuchsauswertung der EEG-Daten in der Zeit-Frequenzebene



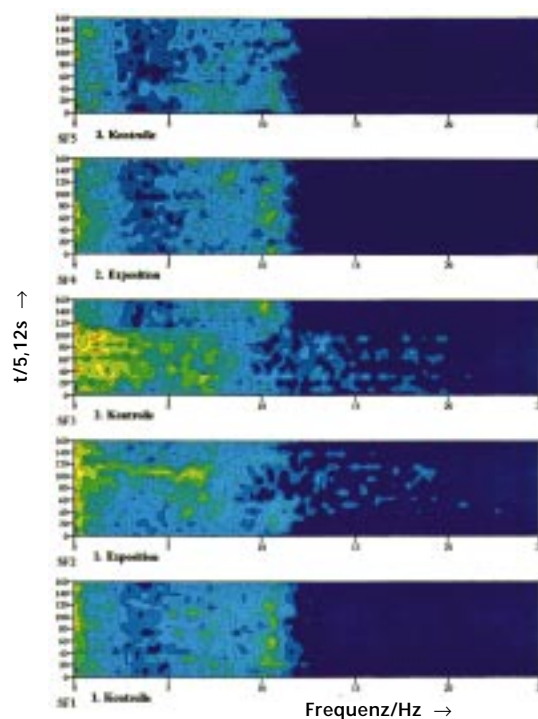
Ableitung: P3  
Pulsfrequenz: 10 Hz



Ableitung: P4  
Pulsfrequenz: 10 Hz

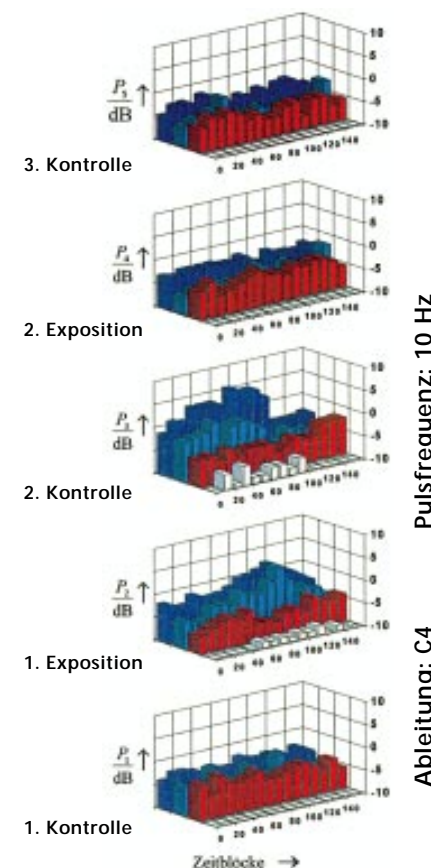
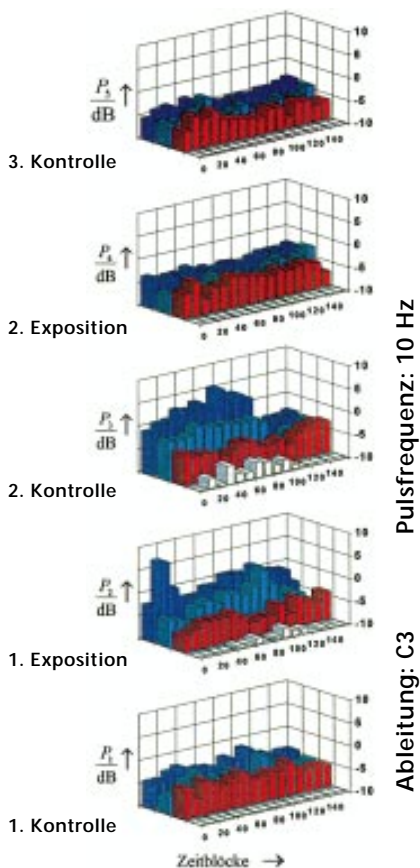
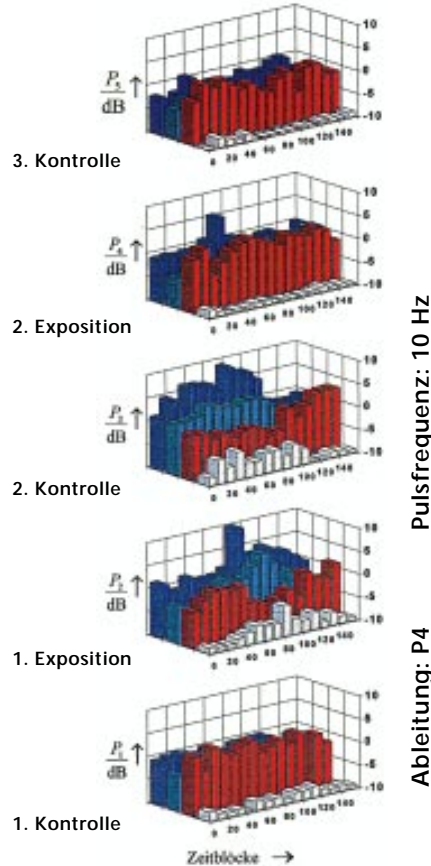
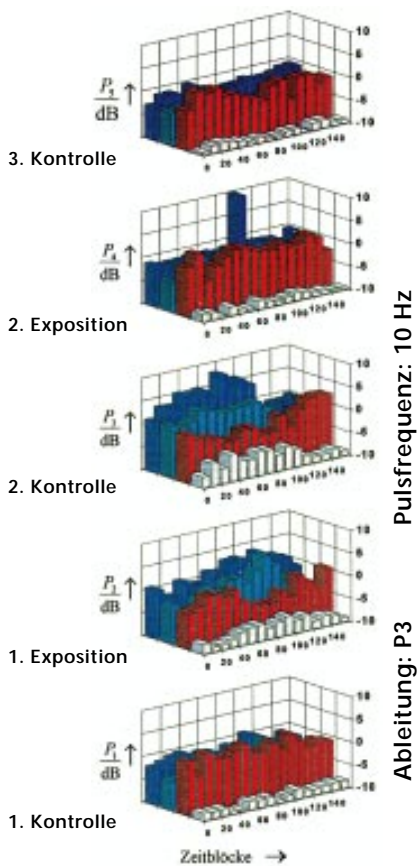


Ableitung: C3  
Pulsfrequenz: 10 Hz



Ableitung: C4  
Pulsfrequenz: 10 Hz

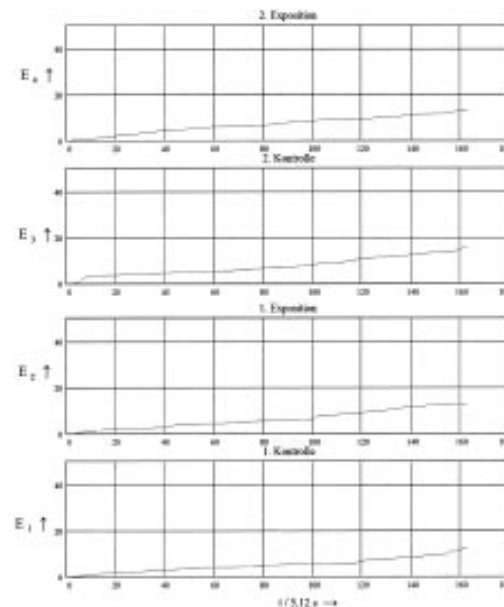
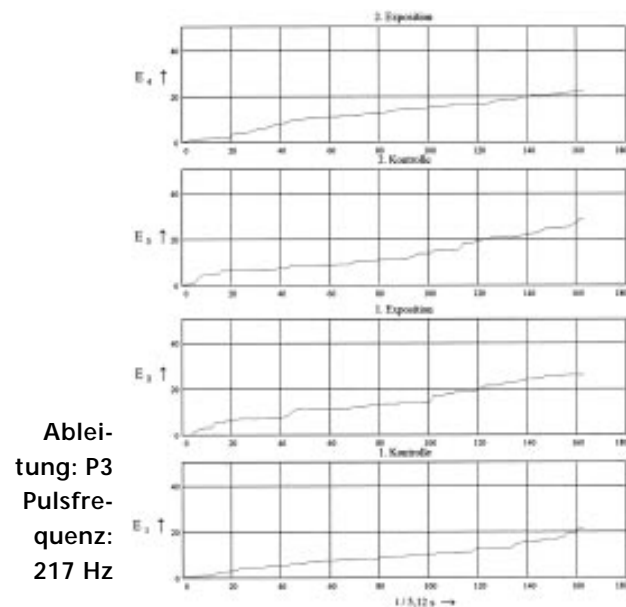
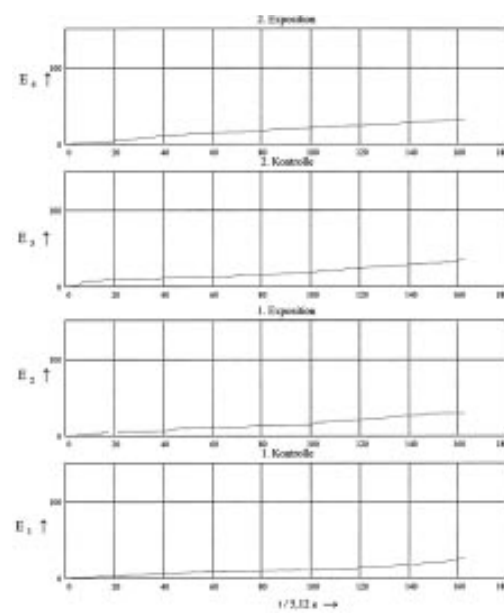
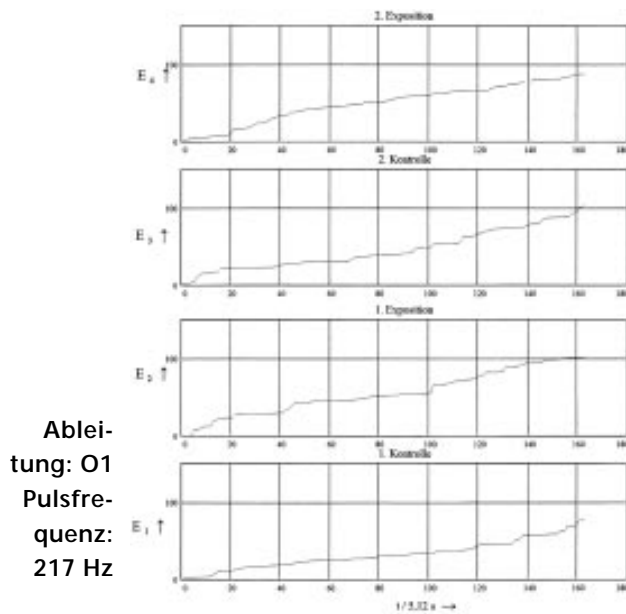
Zeitlicher Leistungsverlauf der Delta-, Theta, Alpha- und Betawelle

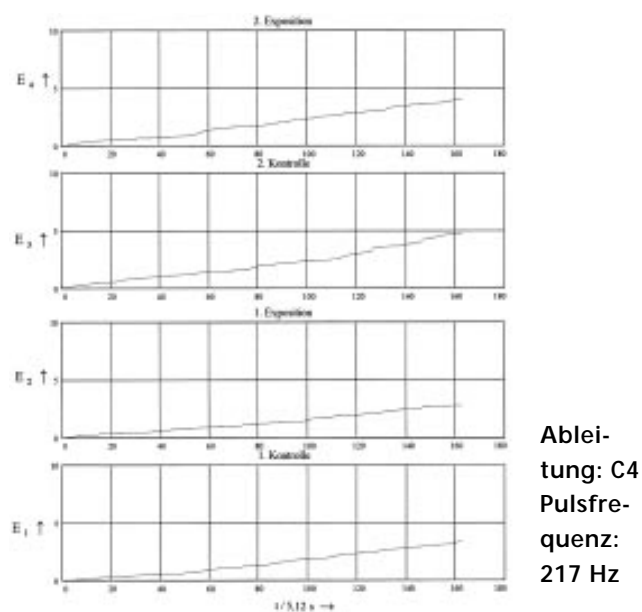
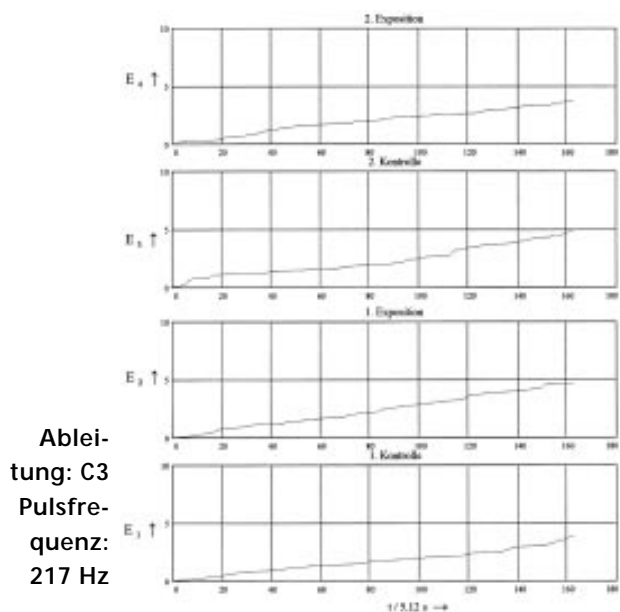


Anhang II:

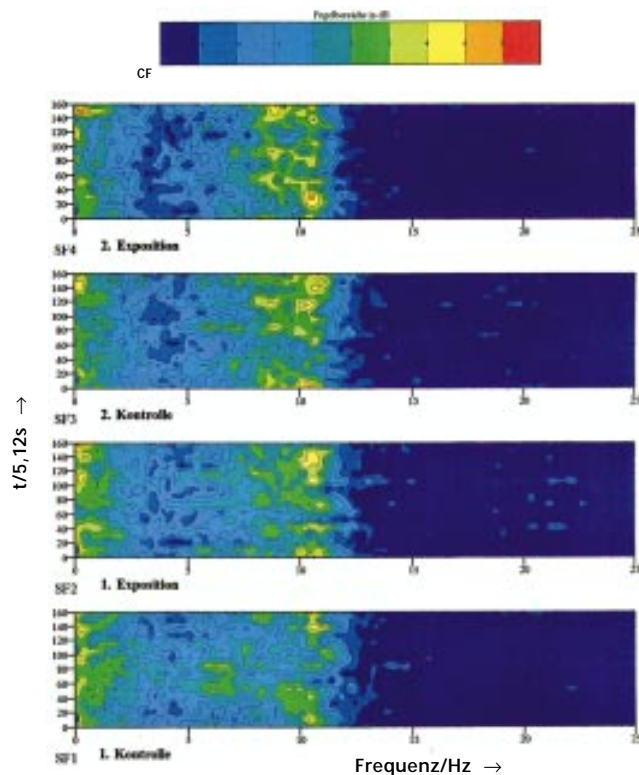
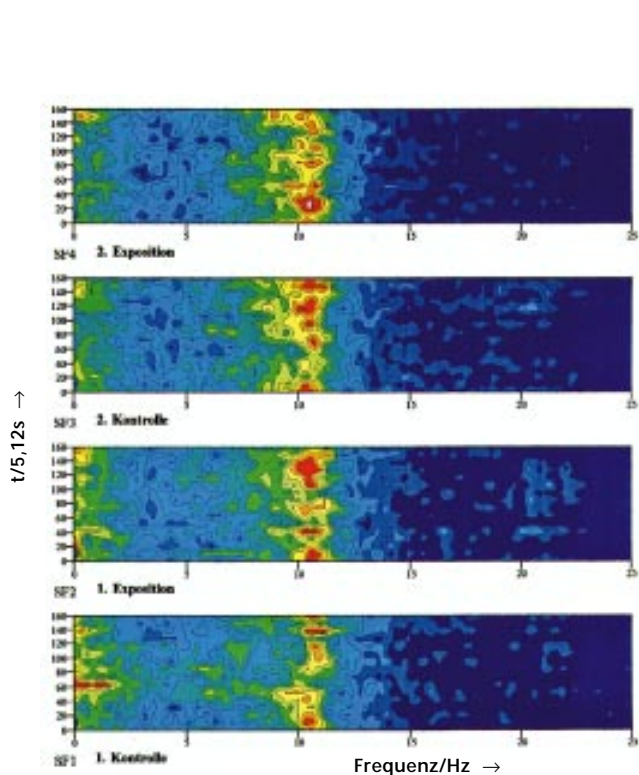
# Auswertungsergebnisse des Versuchs vom 15.04.94 mit 217 Hz-Modulation

Zeitlicher Verlauf der Energiedichte bei der Frequenz  $f_{\alpha_{max}}$

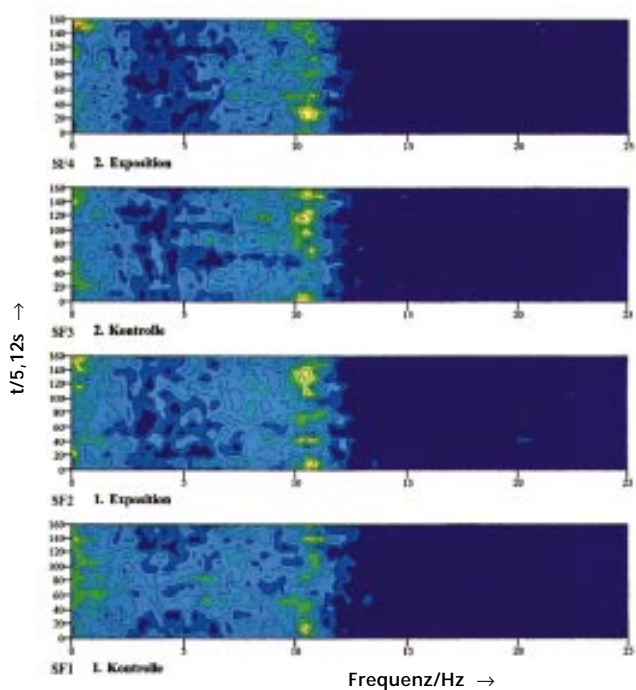




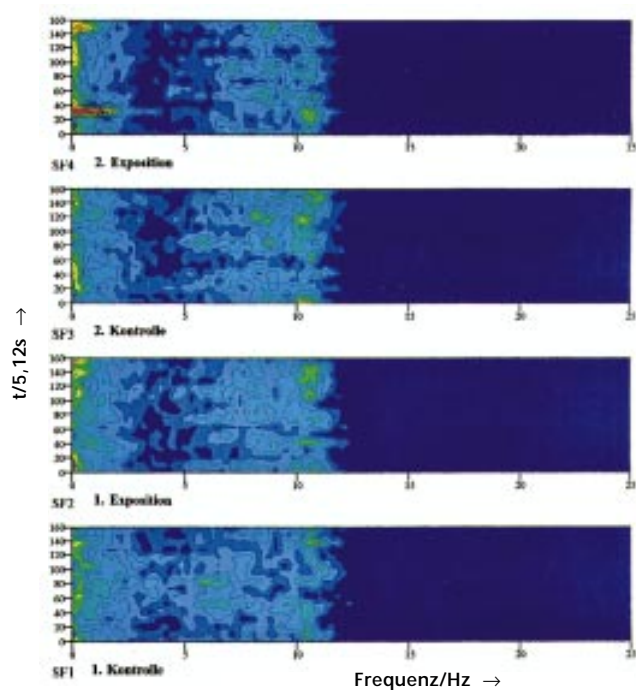
## Versuchsauswertung der EEG-Daten in der Zeit-Frequenzebene



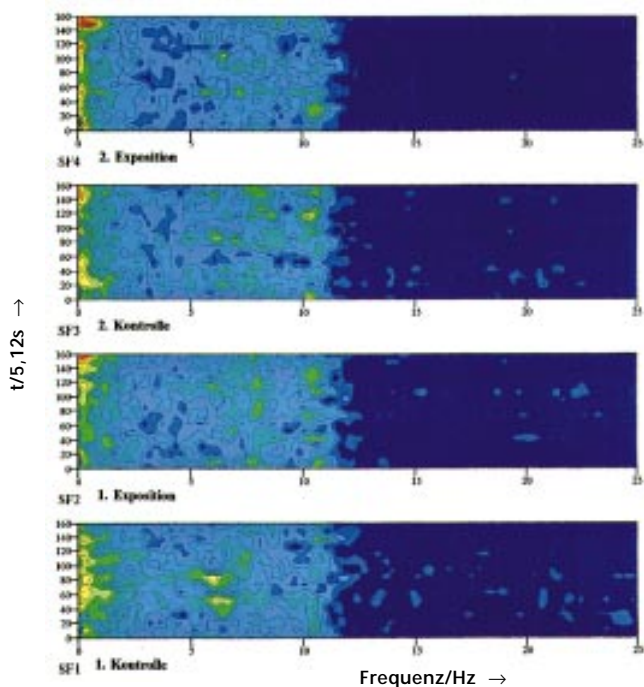
# Anhang II



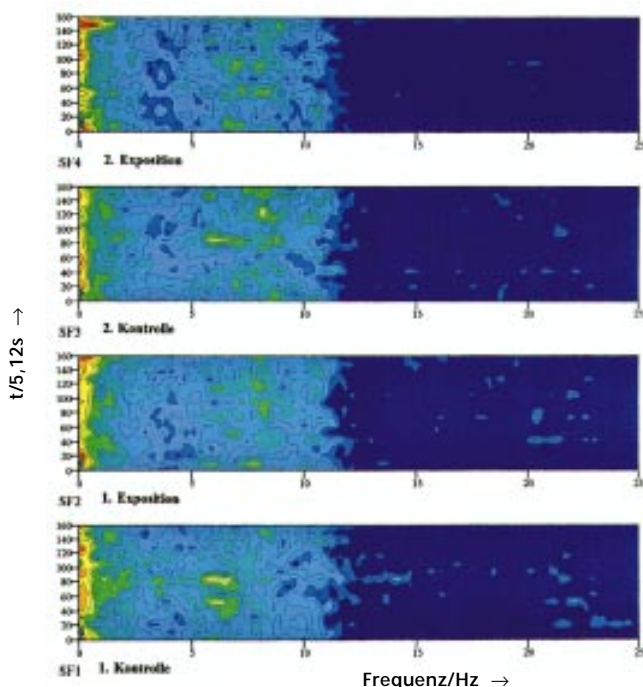
Ableitung: P3  
Pulsfrequenz: 217 Hz



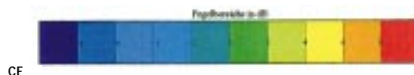
Ableitung: P4  
Pulsfrequenz: 217 Hz



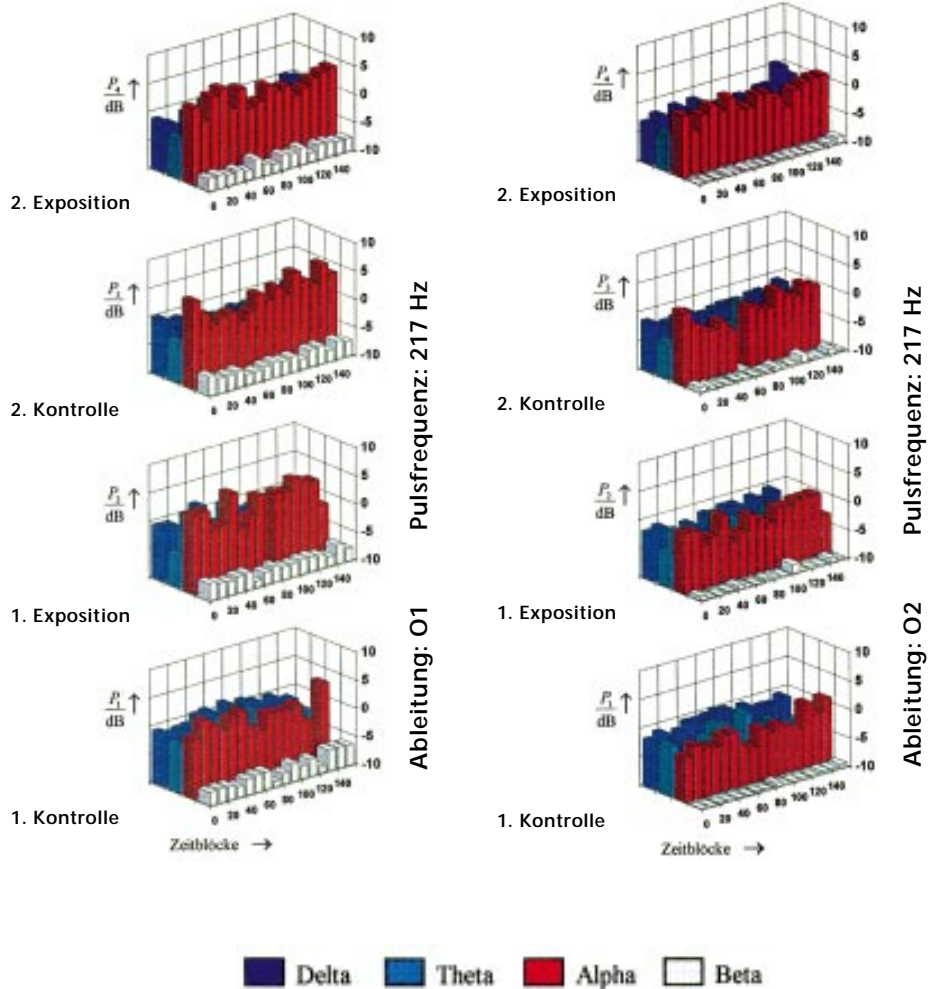
Ableitung: C3  
Pulsfrequenz: 217 Hz



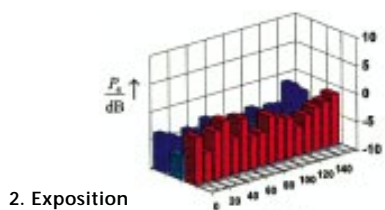
Ableitung: C4  
Pulsfrequenz: 217 Hz



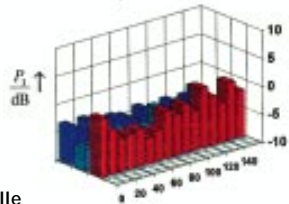
Zeitlicher Leistungsverlauf der Delta-, Theta, Alpha- und Betawelle



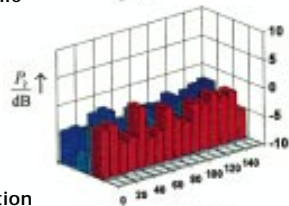
# Anhang II



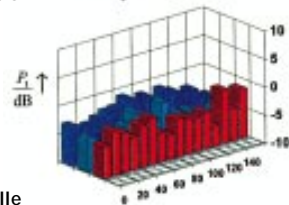
2. Exposition



2. Kontrolle



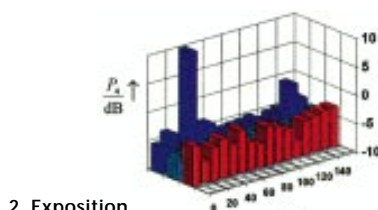
1. Exposition



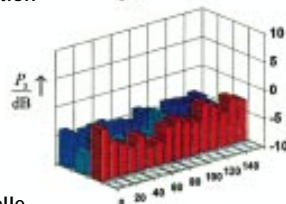
1. Kontrolle

Pulsfrequenz: 217 Hz

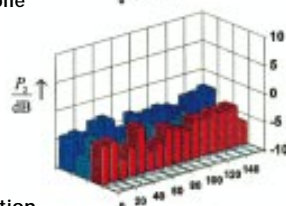
Ableitung: P3



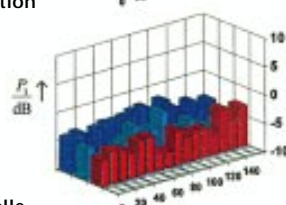
2. Exposition



2. Kontrolle



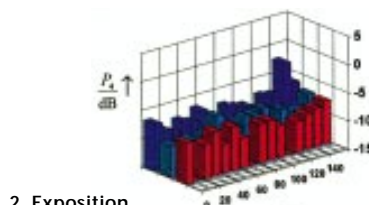
1. Exposition



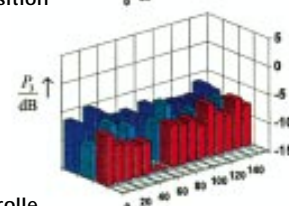
1. Kontrolle

Pulsfrequenz: 217 Hz

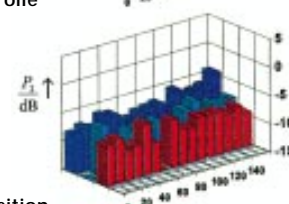
Ableitung: P4



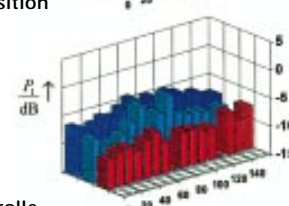
2. Exposition



2. Kontrolle



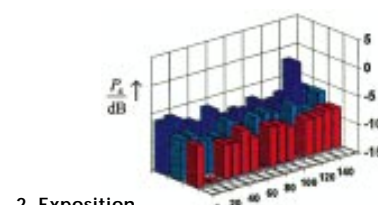
1. Exposition



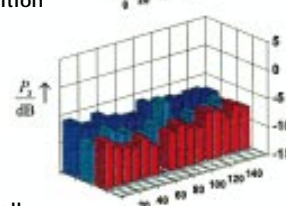
1. Kontrolle

Pulsfrequenz: 217 Hz

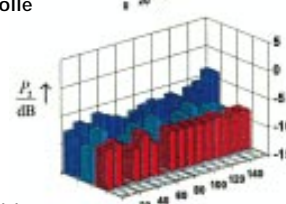
Ableitung: C3



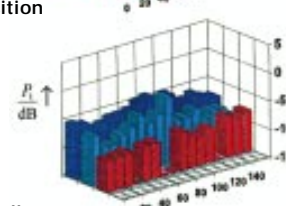
2. Exposition



2. Kontrolle



1. Exposition



1. Kontrolle

Pulsfrequenz: 217 Hz

Ableitung: C4

Delta

Theta

Alpha

Beta

Anhang III:

# Zur Untersuchung der EEG-Veränderungen durch gepulste HF-Felder

## Versuchsbeschreibung von Lebrecht von Klitzing

### Grundsätzliches zur Fragestellung

Bei den seit 1983 in der Klinisch-Experimentellen Forschungseinrichtung an der Medizinischen Universität zu Lübeck durchgeführten Experimenten geht es nicht um die Wirkung von Hochfrequenzfeldern auf das biologische System des Menschen, sondern um den biologisch relevanten Informationsgehalt, der in den niederfrequent gepulsten Magnetfeldern steckt. Aus den bisherigen Erkenntnissen muß davon ausgegangen werden, daß periodische Reize niedriger Frequenzen zu einem biologischen Phänomen führen, das sich im EEG (Elektroenzephalogramm) als schmalbandige Oszillation darstellt. Dieser Effekt wird erreicht sowohl bei direkter Reizung (z.B. über Elektroden auf der Haut) als auch indirekt (über gepulste Magnetfelder); er ist also primär unabhängig von der Reizart selbst. Des weiteren reichen sehr niedrige Reizintensitäten aus, d.h. beim direkten elektrischen Reiz liegt diese unterhalb der sensorischen Schwelle. Bei der indirekten Stimulation über gepulste Magnetfelder konnte der Effekt dann quantitativ verbessert werden, wenn anstelle der Appli-

kation der Rechteckimpulse von 10 bzw. 100 µs Dauer diese auf einen HF-Träger (hier 150 MHz) pulscodiert aufmoduliert waren. Konkret wurde hier das HF-Signal in einer entsprechenden Sequenz ausgeblendet; bei einer Modulationsfrequenz von 10 Hz betragen die Puls/Pausen-Zeiten 100 µs und 9.9 ms (bei 217 Hz: 10 µs/4598 µs).

Es geht hier also prinzipiell nicht um den HF-Einfluß, der im Zusammenhang mit IRPA- bzw. DIN/VDE 0848-Grenzwerten diskutiert wird, sondern um den Informationsgehalt der periodischen niederfrequenten Ereignisse. Der Rechteckpuls selbst wurde in Hinblick auf andere Frequenzanteile (z.B. Oberwellen) nicht analysiert. Wichtig ist hier die Periodizität; aus den bisherigen Versuchsreihen mit direkter Reizung über Hautelektroden wurde dann kein Effekt gefunden, wenn die Reizung selbst aperiodisch erfolgte. Eine endgültige Bewertung steht hier jedoch noch aus. Die indirekte magnetische Stimulation hatte ihren Ursprung in der Tatsache, daß beim Menschen magnetsensitive „Rezeptoren“ nachgewiesen worden sind, also biologische Wirkmechanismen, die nicht mit der Umsetzung in Joule'sche Energie erklärt werden können.

### Grundsätzliches zur Methodik

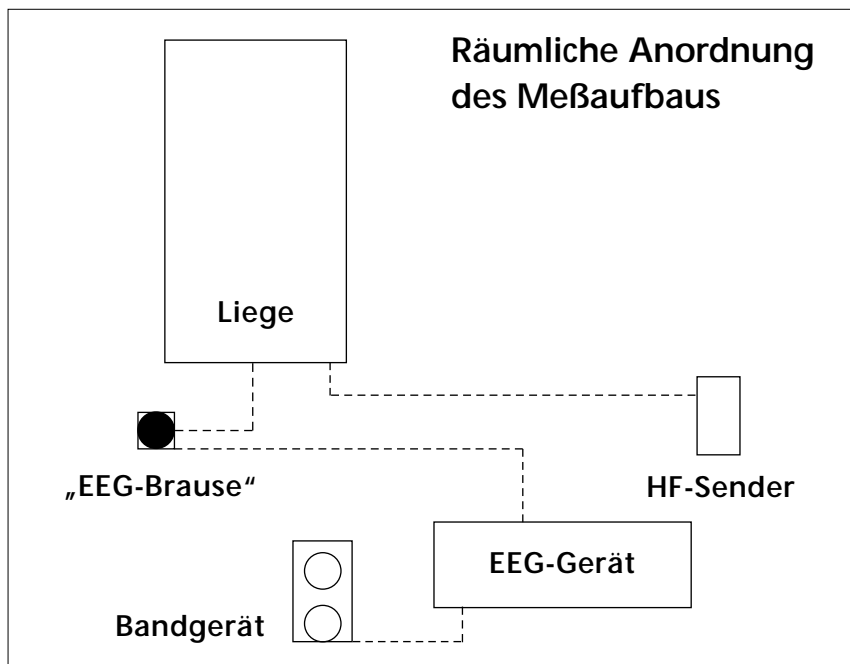
Es wurde das EEG über Oberflächen-elektroden entsprechend dem 10:20 System aus O1/O2-, P3/P4- und C3/C4-Position gegen Fz abgeleitet.

Versuchspersonen waren Studenten, die während des Versuchs zeitweise einem mit unterschiedlichen Taktfrequenzen gepulsten HF-Feld (150 MHz) ausgesetzt wurden. Der Proband war zu keinem Zeitpunkt über die Versuchsbedingungen informiert. Die Biosignale wurden mit einem handelsüblichen EEG-Gerät verstärkt und auf Band zur weiteren Datenverarbeitung (FFT, Leistungsspektrum) gespeichert. Die grafische Darstellung erfolgte über ein Standardprogramm (Harvard Graphics®).

### Beschreibung des Versuchslabors

#### Laborgebäude: eingeschossig, Leichtbauweise ohne Stahlbeton

Das Labor wird ausschließlich für neurophysiologische Messungen



genutzt; kein weiterer Laborbetrieb. Die Stromversorgung ist vom benachbarten Klinikbetrieb abgetrennt, daher keine meßbaren Einstreuungen durch z.B. Röntgenanlagen, Leistungsregler u.s.w.

Ausreichend Tageslicht; die zur Raumbelichtung installierten Leuchtstoffröhren werden während der Messung nicht betrieben.

Im Meßraum befindet sich für andere Forschungsvorhaben ein 0.2-Tesla Ganzkörpermagnet; es handelt sich um ein resistives System ohne Funktion im Zusammenhang mit den hier beschriebenen Messungen.

Der Proband befindet sich während der gesamten Meßzeit auf einer Holzliege in horizontaler Position. Die EEG-Signale werden über einen Impedanzwandler und Vorverstärker in der Nähe des Kopfes auf ein kommerzielles EEG-Gerät (SCHWARZER 12000) übertragen, das sich zum Probanden in ca. 2,5

m Abstand befindet. Zwischen dem Probanden und dem EEG-Gerät besteht kein Sichtkontakt. Die endverstärkten Daten werden sowohl im real-time als Zeitfunktion dargestellt als auch auf Band aufgezeichnet. Im off-line wird dann die weitere Datenverarbeitung vorgenommen. Die Exposition im gepulsten HF-Feld erfolgte mittels eines Therapiegerätes (MegaWave) über eine B-betonte Antenne im Kopfbereich. Die Datenaufzeichnung erfolgte kontinuierlich.

Die Raumtemperatur/-luftfeuchte war nicht geregelt.

## Versuchsbeschreibung

### 1. Versuchsvorbereitung

Dem Probanden wurde an den für die Elektrodenplatzierung bezeichneten Positionen die Kopfhaut mit Isopropanol (70 %) gereinigt, ein erbsengroßes Stück Elektrodenpaste (GRASS) aufgetragen und in die Hand einmassiert. Anschließend

wurde auf die Elektroden (BECKMAN – Goldelektroden) die gleiche Menge Paste auf den Elektrodennapf aufgetragen und auf die entsprechende Kopfposition aufgedrückt. Auf die überschüssige Paste wurde ein Mulltupfer gepreßt und somit die Elektrode mechanisch zusätzlich fixiert. Mittels eines Impedanzmeßgerätes (RIM) wurde dann die Quellimpedanz zwischen den Meß- und der Bezugselektrode (Fz) gemessen; Mindest-Sollwert war hier 3 kOhm; Meßfrequenz: 150 Hz.

Die Ableitkabel (100 cm) waren miteinander verdreht, um artefizielle Einstreuungen (z.B. Influenz durch Kabelbewegung im Erdmagnetfeld) bei der nachfolgenden Differenzverstärkung weitgehend zu eliminieren. Diese gesamte Vorbereitung dauerte im Mittel ca. 20 min.

### 2. Einstellen der EEG-Verstärker

Vor Versuchsbeginn wurden die einzelnen Elektrodensignale soweit verstärkt, daß die Signalamplitude während ca. 2 min den Verstärker mit maximal 40 % aussteuerte. Dieses ist ein Erfahrungswert aus den Untersuchungen, da unter Feldeinfluß es in bestimmten Frequenzbereichen zu Signalerhöhungen kommt und die Verstärkereinstellungen während des Versuchs nicht verändert werden durften. Zur Vermeidung von 50 Hz-Einstreuungen wurde ein Notch-Filter gesetzt. Alle Verstärker wurden auf denselben Faktor eingestellt.

Für die analoge high/low-pass-Filterung wurden die Grenzen bei 0.3 s bzw. 70 Hz festgelegt. Vergleichende Untersuchungen ohne

low-pass-Filterung zeigten, daß auf diese prinzipiell verzichtet werden konnte, da ab ca. 35 Hz keine relevanten Signalintensitäten mehr meßbar waren.

### 3. Feldapplikator

Nach den Angaben des Herstellers (MediLine GmbH, Berlin) wurde von einer Leistungsdichte-Änderung von  $0.1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  in 6 cm Antennenabstand ausgegangen. Bei reinem Rechteckimpuls war die magnetische Induktion mit 1.2 nT ( $10^{-9}$  Tesla) an der Antennenoberfläche angegeben.

### 4. Datenaufzeichnung und Digitalisierung

Das am EEG-Gerät anstehende maximale Signal von  $\pm 1.4$  V wurde frequenzmoduliert auf Analogband gespeichert (BELL & HOWELL, 4020). Die Bandge-

schwindigkeit von 3.75 Zoll/s mit einer Mittelfrequenz von 6.75 kHz erlaubte eine Bandbreite von 0 bis 1.25 kHz ( $\pm 0.5$  dB). Das Signal/ Rauschverhältnis betrug 46 dB. Die Daten wurden simultan von allen Ableitpunkten aufgezeichnet; der maximale Pegel durfte 2 V nicht überschreiten, da der A/D-Wandler des Rechners auf diesen Wert limitiert ist.

Zur weiteren Rechnerverarbeitung wurden die Daten in einen Prozeßrechner übertragen (INTERTECHNIQUE-Plurimat). Die Digitalisierung erfolgte in der Regel mit 10 ms Abtastsequenz, d.h. die FFT-Grenzfrequenz lag bei 40 Hz, entsprechend dem Nyquist-Theorem. Zur Versuchsoptimierung wurden auch höhere Abtastraten benutzt; diese brachten jedoch keinen zusätzlichen Informationsgewinn.

Aliasingeffekte durch höherfrequente Signalanteile hatten hier für die Berechnung des Leistungs-

spektrums insofern keine Relevanz, als die Intensität dieser Signale praktisch Null war.

Die Speichertiefe und somit die Signalauflösung erfolgte über 11 bit ( $\pm 10$  bit), entsprechend 2 mV-Auflösung bei einer 2 V A/D-Wandlung. Auch hier brachte eine höhere Auflösung keinen zusätzlichen Informationsgewinn.

Die digitalisierten Daten wurden im real-time über FFT und nachfolgender Berechnung des Leistungsspektrums analysiert. Bei einer Blockgröße von 512 Kanälen und einer Abtastsequenz von 10 ms betrug das Frequenzraster 0.195 Hz. Jeder Datenblock entsprach einer Epoche von 5.11 s, im allgemeinen wurden die Leistungsspektren aus jeweils zehn Blöcken (also 51 s) gemittelt und als Summsignal dargestellt. Da während eines Versuchs weder die Verstärkereinstellungen noch die Anzahl der Mitteilungen verändert wurden, konnten die Energien für eine Versuchsserie in relativen Einheiten angegeben und unmittelbar verglichen werden.

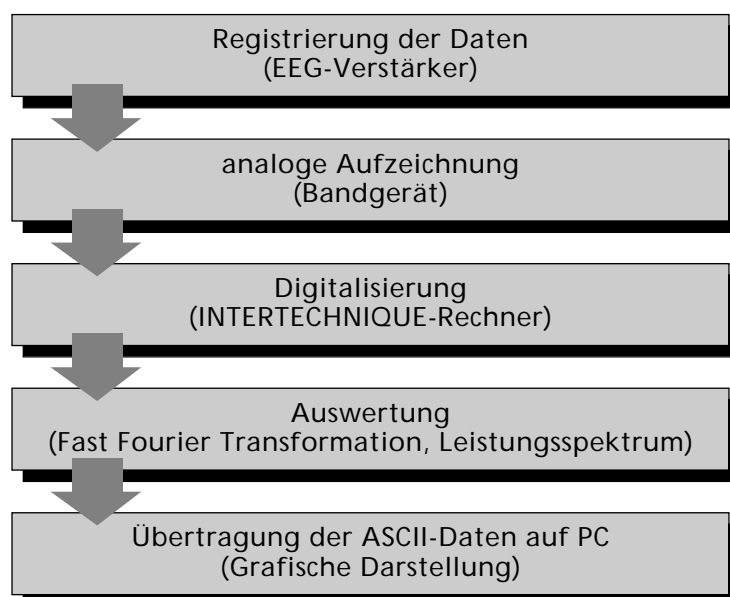
### Versuchsablauf

Die Auswahl der Probanden erfolgte nach den folgenden Kriterien:

- Nichtraucher,
- keine Pharmakaabhängigkeit,
- keine Pharmaka in den vergangenen 48 Stunden.

Dem Probanden wurden in sitzender Position an den vorgesehenen Elektrodenpositionen C3/C4, P3/P4, O1/O2 und Fz die Elektroden fixiert. Die Impedanzprüfung der einzelnen Elektroden erfolgte

### Schematische Darstellung der Auswertung



dann jeweils gegen Fz; die Werte sollten nicht über 3 kOhm liegen und vor allem gleich sein.

Die Elektrodenanschlüsse wurden mit dem Impedanzwandler und Vorverstärker („EEG-Brause“) des EEG-Gerätes verbunden und zur Überprüfung möglicher elektrischer Störeinflüsse eine erste Kontrollmessung vorgenommen.

Anschließend wurde der Proband für die eigentliche Messung in liegende Position gebracht. Für die Feldapplikation wurde die Antennenspule unter dem Kopf im Bereich des Inions positioniert, wobei zur Vermeidung von Druckstellen zwischen Kopf und Spule eine ca. 3 cm dicke Schaumgummipolsterung gebracht wurde. Ca. 10 min nach Abschluß dieser Vorbereitungen erfolgte die eigentliche Messung.

Für die gesamte Versuchsdauer mußten folgende Grundvoraussetzungen erfüllt sein:

1. der Proband hatte die Augen geschlossen zu halten,
2. der Proband mußte entspannt sein, durfte aber nicht einschlafen,
3. notwendige Schluckbewegungen mußten schnell erfolgen,
4. der Proband mußte die Umgebungstemperatur als angenehm empfinden.

Zu 1 und 3: Hier erhielt der Proband zuvor entsprechende Instruktionen, eine – durchaus mögliche – Kontrolle erfolgte nicht.

Zu 2: Der Proband mußte innerhalb von ca. 40 s eine Taste betätigen, um zu vermeiden, daß ein Alarmsignal aktiviert wurde.

Zu 4: Schwitzen und Frieren des Probanden führte immer zum Ver-

suchsabbruch; ebenfalls erfolgte dies, wenn der Proband durch die aufgezwungene Liegeposition allmählich unruhig wurde. Die Gesamtversuchsdauer war somit nicht von vornherein festzulegen.

Jeder Versuchsabschnitt (Kontrolle bzw. Exposition) erfolgte über 15-20 min, wobei die einzelnen Intervalle nicht identisch sein mußten.

Die Entscheidung darüber erfolgte während der Messung; Kriterium hierfür war, wie „sauber“ die Signale registriert wurden. Die entsprechende Kontrolle und visuelle Bewertung erfolgte über die simultane Darstellung der Zeitfunktion am EEG-Gerät. Weder über Zeitpunkt noch Zeitdauer der Kontroll- bzw. Expositionsmessung war der Proband informiert. Ausschließlich auf dem Bandgerät, das die Daten registrierte, wurde eine entsprechende Marke

Energiezunahme des 9.8 Hz-Signals

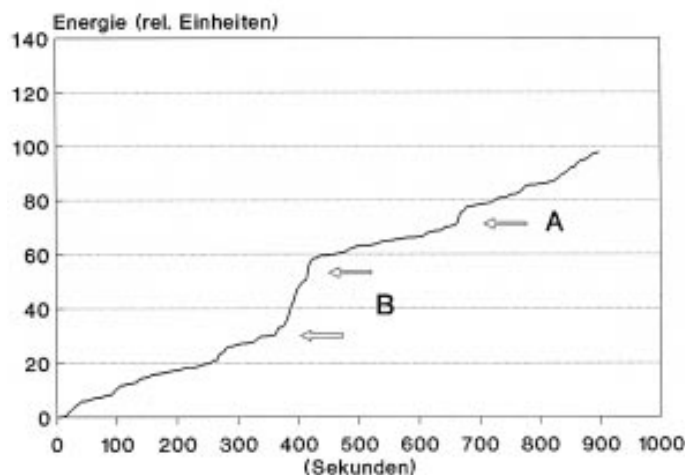


Abbildung 1: Bei der Darstellung der Energiezunahme mit dem Aufaddieren der Energien der einzelnen 5.1 s-Blöcke sind artefizielle Energiesprünge erkennbar, die bei einer Summenbildung zu Fehlinterpretationen führen. Dieses trifft hier in jedem Fall bei (A) zu, während im Bereich (B) ein biologischer Effekt nicht ausgeschlossen werden kann, da diese über einen längeren Zeitraum ablaufende größere Energiezunahme häufiger bei verschiedenen Probanden beobachtet wurde.

Für die hier diskutierten Ergebnisse wurde dieser Bereich eliminiert, so daß die Steigung des linearen Bereichs letztlich das Versuchsergebnis darstellt.

gesetzt. Ebenfalls Marken gesetzt wurden, wenn offensichtlich Störsignale registriert wurden.

### Datenauswertung

Die analog aufgezeichneten Daten wurden zunächst in jeweils 5.11 s-Blöcken digitalisiert. Zeigte es sich, daß die vorgegebenen Stützpunkte für die FFT durch die Abtastsequenz von 10 ms und der Blockgröße von 512 Kanälen nicht optimal war, so konnten in einer zweiten A/D-Wandlung andere Abtastwerte gewählt werden. Die Acquisition erfolgte gleichzeitig für alle sechs Kanäle; so war auch die zeitliche Zuordnung der einzelnen Datenblöcke eindeutig.

Die einzelnen Rechenschritte waren folgende: Digitalisierung, FFT und Berechnung des Leistungs-

spektrums im „real-time“, d.h. ohne jeden Datenverlust. Eine Artefaktunterdrückung erfolgte automatisch dann, wenn durch Störsignale die Dynamik des A/D-Wandlers überschritten wurde. Die Eliminierung des entsprechenden Datenblocks erfolgte dann immer für alle sechs Ableitungen. Eine weitere Artefaktunterdrückung erfolgte nicht.

Die Leistungsspektren wurden dann in „kontinuierlichen“ Files abgespeichert, mit Kennzeichnung der Gruppen „Kontrolle“/ „Exposition“.

Die anschließende Datenmittelung erfolgte über 60 Datenblöcke, was einem Zeitraum von ca. 300 s ( $60 \cdot 5.11$  s) entsprach. Da kurzzeitige artefizielle Einflüsse hier zur Datenverfälschung führen können, wurden neben dem Summensignal das Integral der Leistungen über die Gesamtzeit, also die Energiezunahmen mit der Zeit dargestellt (Abb. 1). Dieses Verfahren erlaubt eine Bewertung der Daten in Hinblick auf kurzzeitige Störungen, die sich im allgemeinen als biologisch nicht relevante höhere Leistung darstell-

ten. Für die endgültige Bewertung wurden nachfolgend die artefiziellen Abschnitte bei der Datenmittelung nicht berücksichtigt.

Für die grafische Darstellung wurden die ASCII-Daten auf einen PC übertragen; als Grafikprogramm wurde Harvard-Graphics<sup>®</sup> eingesetzt.

Zum Vergleich innerhalb einer Versuchsserie wurden alle Daten normiert, d.h. die Maximalenergie war dann Bezugsgröße für alle Darstellungen.

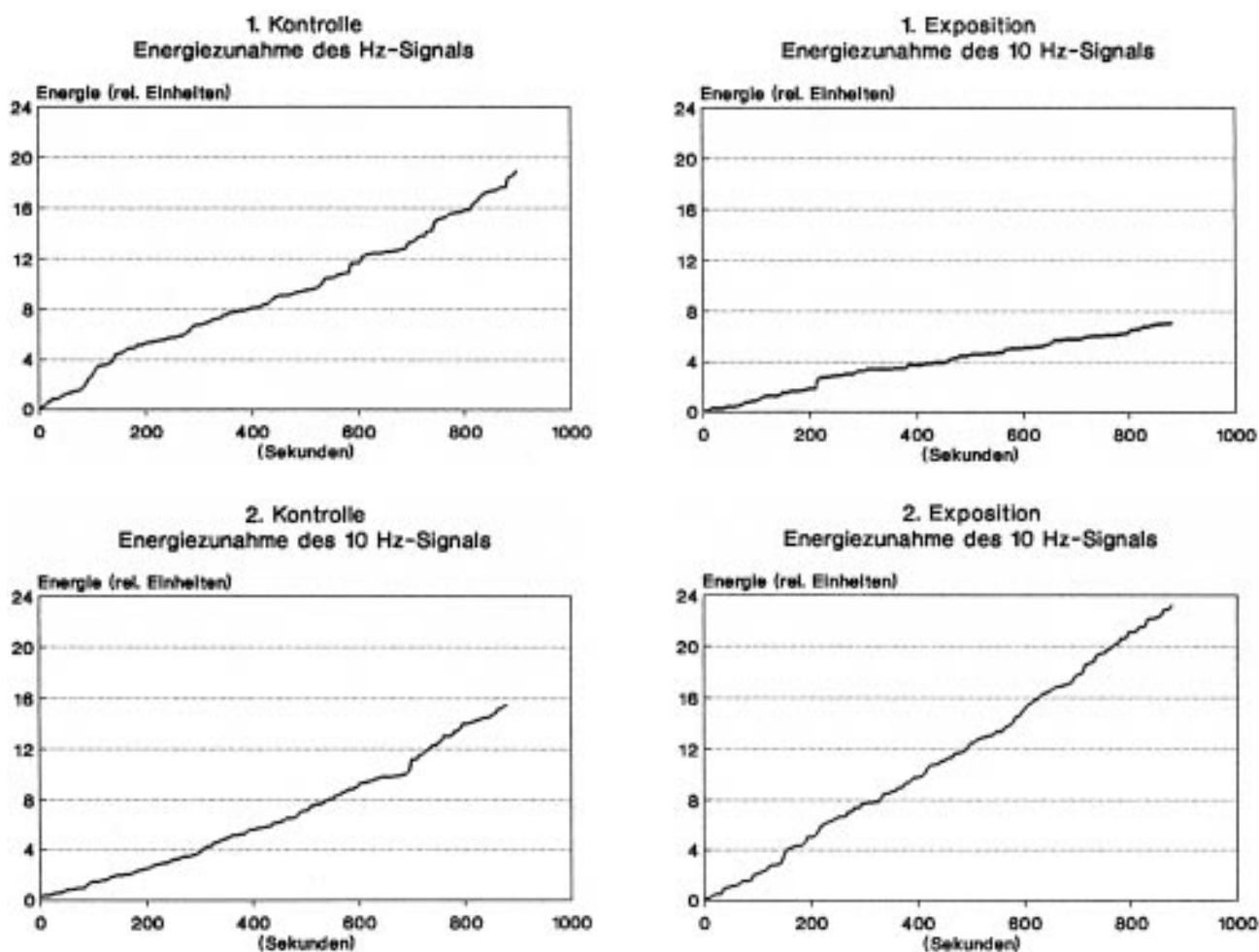


Abbildung 2: Die Gegenüberstellung der Energiezunahmen als Funktion der Zeit demonstriert, daß während der *ersten* Exposition im 217 Hz-gepulsten Feld die Leistung des 9.6 Hz-Signals deutlich verringert ist im Vergleich zur vorangegangenen Kontrolle. Bei der

*zweiten* Exposition ist die Leistung – wiederum bezogen auf die Kontrolle – erhöht. (Der Energiesprung bei ca. 220 s nach Beginn der 1. Exposition ist hier nicht eliminiert worden.)

## Anhang IV:

# Checkliste zur Versuchsdurchführung am 14. und 15. April 1994

<b>VERSUCHS-Nr.: 1      DATUM: 14.4.-15.4.1994</b>	
Verweise beziehen sich auf das Protokoll (Anhang V)	
CHECKFRAGEN	ANTWORTEN
<b>1. Versuchslabor/-raum</b>	
a) Ist der Raum für EEG-Aufzeichnungen geeignet (z.B. DIN VDE 0107)?	Ja, Sichtkontrolle und Messungen (siehe Kap. 4) Fenster mit Tageslicht, Heizkörper, leichte Nebengeräusche Ja (siehe Kap. 3.1 und 6.1)
b) Gibt es Umgebungseinflüsse (Lichtverhältnisse, Geräusche)?	
c) Wird das elektromagnetische Feld beobachtet?	
<b>2. Qualifikation des Personals</b>	
a) Hat das Personal EEG-Erfahrung (z.B. MTA)?	Ja, praktische Kenntnisse sind vorhanden
<b>3. Feldgenerator</b>	
a) Arbeitet der HF-Generator wie spezifiziert (Technische Beschreibung, Bedienungsanleitung)?	Ja (siehe Kap. 2)
b) Arbeitet die Modulation richtig?	Ja (siehe Kap. 2)
c) Ist die Spule in Ordnung (Sichtprüfung, Verbindung Stecker/Kabel)?	Ja (Sichtprüfung erfolgte)
d) Liegt beim Einschalten wirklich ein Feld an?	Ja (siehe Kap. 2b)
<b>4. Schnittstelle Feldgenerator/Proband</b>	
a) Ist die Spule richtig plaziert?	Ja (Sichtprüfung)
<b>5. Proband</b>	
a) Hat der Proband seine Einverständniserklärung abgelegt (Ethikkommission)?	nicht bekannt
b) Erfüllt der Proband Vorbedingungen? - Nichtraucher - keine Pharmakaabhängigkeit - keine Pharmaka in den letzten 48h - kein Koffein oder Alkohol vor dem Versuch	Ja, Feststellung durch Befragung
c) Ist der Proband in entspanntem Wachzustand (Vigilanzkontrolle)?	Kontrolle mit Summer (s. auch Kap. 3.3. und 6.3)
d) Kann das Einschalten der HF wahrgenommen werden?	Schwach wahrnehmbar
e) Wird mit einer Kamera zusätzl. beobachtet?	Ja
<b>6. Schnittstelle Proband/EEG-Gerät</b>	
a) Sind die Elektroden fachgerecht angebracht?	Ja (Sichtkontrolle)

b) Sind die Ableitkabel alle miteinander verdrillt?	Ja (Sichtkontrolle)
c) Hat eine Impedanzmessung vor dem Versuch stattgefunden ( $R < 3k\Omega$ )?	Ja (siehe Kap. 3.1 und 6.1)
d) Hat eine Impedanzmessung nach dem Versuch stattgefunden ( $R < 3k\Omega$ )?	Ja (siehe Kap. 3.1 und 6.1)
e) Sind zusätzl. Ableitkabel als Schleife angeschlossen, um evtl. elektromagnetische Einkopplungen zu registrieren?	Ja (siehe Kap. 3.1 und 6.1)
<b>7. EEG-Gerät</b>	
a) Werden die eingestellten Parameter des EEG-Gerätes aufgezeichnet (Verstärkungen, Filter)?	Ja (siehe Kap. 3.1 und 6.1)
b) Wird ein Probelauf durchgeführt?	Ja
c) Wurde die Offset-Taste betätigt?	Ja
d) Wird das EEG-Gerät entsprechend den Herstellerangaben gewartet?	keine Angaben
<b>8. Schnittstelle EEG-Gerät/A/D-Wandler</b>	
a) Passen die Signalpegelbereiche zusammen?	Ja (Kontrollmessung)
b) Wie hoch wird der A/D-Wandler angesteuert?	keine Übersteuerung, aber ausreichend hoher Signalpegel
<b>9. A/D-Wandler</b>	
a) Wieviel bit ist die Auflösung des Wandlers?	12 bit
b) Wie groß ist die Abtastfrequenz?	100 Hz
<b>10. Schnittstelle A/D-Wandler/Datenspeicher</b>	
a) Ist eine eindeutige Zuordnung der Kanäle zur Datenablage gewährleistet?	Ja (siehe Kap. 3.3 und 6.3)
b) Sind die Datenformate geeignet gewählt?	Ja
<b>11. Datenspeicher</b>	
a) Werden die aufgezeichneten Daten archiviert?	Ja, Datensicherung auf Band
b) Können die Daten eindeutig den Versuchen zugeordnet werden?	Ja (siehe Kap. 3.3 und 6.3)
c) Ist damit eine spätere Datenanalyse möglich?	Ja
<b>12. Schnittstelle Datenspeicher/Rechner</b>	
a) Sind die Daten auf einem Träger, z.B. Diskette, so daß ein Austausch mit anderen möglich ist?	Ja

Anhang V:

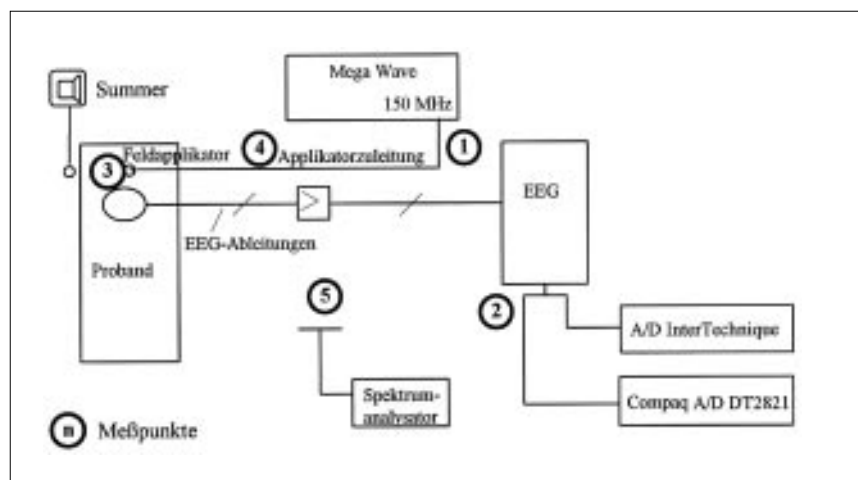
# Protokoll zur Versuchsdurchführung am 14. und 15. April 1994

Ort: Medizinische Universität Lübeck, Bereich Süd, Kronsfordter Allee, Lübeck  
 Teilnehmer: Dr. von Klitzing; Proband, der bereits mit Herrn Dr. von Klitzing gearbeitet hat;  
 Dr. Schüller (FGF); Dr. Menzel (FGF); Herr Jahre (CETECOM); Dr. Matkey (CETECOM)  
 Autoren: Herr Jahre (CETECOM), Dr. Matkey (CETECOM)

## 0 Benutztes Meßequipment

- Spektrumanalysator, Advantest TR 4131, SN66370929
- Meßrechner, Compaq Portable 386/20 Model 2770, SN1737CN3F0092 mit Data Translation AD-Wandlertkarte DT2821
- Nahfeldsondensatz EMCO 7405, SN9305-2457
- REF-RAD Dipol 30cm
- Detektordiode HP8470 / 001-012
- EEG-Gerät E12000, Fa. Schwarzer, SN: 21104
- Feldgenerator Mega-Wave 150/1, Fa. Mediline, Gerätenr. 120, Baujahr: 1991 mit B-betontem Feldapplikator
- Elektrodenpaste EC2, Grass Instrument, Quincy MA
- Kunstkopf (Eigenanfertigung FTZ), Lage der EEG-Anschlüsse nach 10:20 System, von jeden Anschlußpunkt ist ein 2,4 k Widerstand an einen gemeinsamen Sternpunkt angeschlossen
- Summer

## 1 Meßanordnung



## 2 Vorabmessungen

Zeit: 14.4.1994, ca. 10.00 bis 12.00

*Voraussetzung:*  
 Feldgenerator ist in Betrieb (150 MHz; Modulation mit 10 Hz, Tastverhältnis 100:1); HF-Signal ist über Schalter abschaltbar bei weiter laufendem Generator

### a - Ausgangssignal des Feldgenerators

*Meßdurchführung:*  
 Spektrumanalysator ist am Ausgang (ohne Diode) <sup>①</sup> angeschlossen, Applikatorleitung ist nicht angeschlossen

*Ergebnis:*  
 Signal bei 150 MHz mit von Leistungsstufe abhängiger Amplitude

Leistungsstufe	dbm
1	-7,8
2	-4,8
3	-3,0
4	-1,8

Nach Abschalten der HF (150 MHz), bei weiter laufender LF (10 Hz) tauchen unterhalb von 150 MHz sporadisch Linien mit zeitlich veränderlicher Frequenz und Amplitude auf.

Nach Auftrennen des Kabels bei <sup>①</sup> treten sie nicht mehr auf.

*Dokumentation:*

- Videosequenz
- Photos

## b - Feld am Applikator

*Meßdurchführung:*

Applikator am Generator angeschlossen; Abscannen des vom Applikator erzeugten Feldes mittels Ringsonde und Spektrumanalysator <sup>③</sup>

*Ergebnis:*

Linien bei 150 und 400 MHz; Amplitude der Linie bei 150 MHz am größten, -17,4 dBm bei Leistungsstufe 1, -13 dBm bei Leistungsstufe 3.

Auch nach der HF-Abschaltung sind die beiden Frequenzen 150 MHz und 400 MHz noch erkennbar.

*Dokumentation:*

- Videosequenz
- Photos

## c - Feld an der Applikatorzuleitung

*Meßdurchführung:*

Applikator am Generator angeschlossen; Abscannen des Feldes entlang der Zuleitung <sup>④</sup> mittels Refrad-Dipol/Sonden und Spektrumanalysator

*Ergebnis:*

- 1) Messung mit Ringsonde:  
max -30 dBm bei 150 MHz
- 2) Messung mit Refrad Dipol parallel zur Zuleitung:  
-40 bis -30 dBm
- 3) Messung mit Refrad Dipol senkrecht zur Zuleitung:  
-50 bis -40 dBm

*Dokumentation:*

- Videosequenz

## 3 EEG-Messung mit Proband

Zeit: 14.04., ca. 14.30 bis 16.30

### 3.1 Vorbereitung

Die Einstellung der Geräte und die Behandlung des Probanden erfolgten durch Dr. von Klitzing. EEG-Elektroden wurden an den Stellen C3, C4, P3, P4, O1, O2 und Fz (Bezugselektrode) mit Elektrodenpaste befestigt.

*Messung der Übergangswiderstände vor der EEG-Messung:*  
zwischen 2 und 4 kΩ.

*Messung der Übergangswiderstände nach der EEG-Messung:*

zwischen 3 und 5 kΩ.  
(5 kΩ an Ableitung C3)

*Einstellungen am Feldgenerator:*  
HF: 150 MHz; NF: 10 Hz; HFmod: on; Leistungsstufe: 3

*Einstellungen am EEG:*  
TP: 30 Hz; HP: 0,3 sec: Attenuation: 1

Meßwertaufnahme erfolgt parallel mit Acquisition von Intertechnique und A/D-Karte von Compaq-Rechner jeweils mit 100 Hz Abtastfrequenz.

Die Datenerfassung wird jeweils manuell gleichzeitig gestartet. Die Erfassung mit Compaq-Rechner ist einige Blöcke länger, daher ca. 1-2 Minuten Wartezeit (bei Dr. von Klitzing) zwischen dem Starten der einzelnen ca. 15 Min. langen Abschnitte.

Der Proband befindet sich bei der Messung alleine im Raum. Die 1. Kontrolle erfolgt ohne Verbindung des Generators mit der Feldsondenzuleitung. Zwischen den folgenden 15 Min. Abschnitten geht Dr. von Klitzing jeweils leise zum Generator, um die Feldsondenzuleitung entweder aufzustecken oder abzuziehen.

*Belegung der Abtastkanäle:*  
siehe Tabelle 1.

Signal	Kennzeichnung	Anschluß A/D Karte DT2821
EEG-Ableitung 1	C3-Fz	Kanal 1
EEG-Ableitung 2	C4-Fz	Kanal 2
EEG-Ableitung 3	P3-Fz	Kanal 3
EEG-Ableitung 4	P4-Fz	Kanal 4
EEG-Ableitung 5	O1-Fz	Kanal 5
EEG-Ableitung 6	O2-Fz	Kanal 6
kurzgeschl. Kunstkopf-EEG-Ableitungen auf EEG-Ausgang 7	Kurz (nicht gegen Fz)	Kanal 0
Expositionssignal	Expo	Kanal 7

**Tabelle 1:**  
Belegung der Abtastkanäle

**Videoaufzeichnung:**

Erfassung der Umgebung mit Proband während der gesamten Meßzeit, gleichzeitig visuelle Erfassung des Bildschirms des Spektrumanalysators (Fernfeldmonitoring)

### 3.2 Erfasste Signale

**a - Signal auf den EEG-Ableitungen** <sup>②</sup>

*Meßdurchführung:*

Anschluß der A/D-Karte DT2821 an jeweilige EEG-Ausgänge gemäß Belegungstabelle.

*Ergebnis:*  
siehe 3.3.

**b - Expositionssignal am Applikator** <sup>③</sup>

*Meßdurchführung:*

Erfassung des Expositionssignal mit Ringsonde und Detektordiode auf Oszilloskop, parallel Abtastung mit Kanal 7 auf A/D-Karte  
Lokalisierung der Ringsonde im Schaumstoffkopfkissen des Probanden unter dem Applikator

*Ergebnis:*  
siehe 3.3. Pegel ca. 5-10 mV.

**c - Kurzgeschlossene EEG-Ableitungen** <sup>②</sup>

*Meßdurchführung:*

Messung der Spannung zwischen zwei unmittelbar am Kopf kurzgeschlossenen Ableitungen ohne Kontakt zum Kopf mit Kanal 0 der A/D-Karte DT2821 am jeweiligen EEG-Ausgang.  
Realisierung durch zwei vom Kunstkopf (Verbindung durch ohmsche Widerstände) abgegriffene Ableitungen, Kunstkopf unmittelbar neben dem Kopf des Probanden lokalisiert.

Datei	Messung	Artefakte
EEG_3A1.TLD	1. Kontrollmessung ohne Feld (ca. 15.00-15.15)	0
EEG_3A2.TLD	1. Messung mit Feld (ca. 15.15-15.30)	1 (bei 7,1 min)
EEG_3A3.TLD	2. Kontrollmessung ohne Feld (ca. 15.30-15.45)	2 (beide bei 7,1 min; bei 8,8 min Proband kurz eingeschlafen)
EEG_3A4.TLD	2. Messung mit Feld (ca. 15.45-16.00)	3 (zwei bei 7,6 min, einer bei 7,9 min)
EEG_3A5.TLD	3. Kontrollmessung ohne Feld (ca. 16.00-16.15)	0 (Hubschrauber bei 9,5 min)

Tabelle 2: Meßergebnisse, Datenerfassung

*Ergebnis:*  
siehe 3.3.

**d - Signal der Monitorantenne** <sup>⑤</sup>

*Meßdurchführung:*

Darstellung Fernfeld durch Monitorantenne (Dipol) auf Spektrumanalysator; Beobachtung während der Messung und Aufzeichnung per Video.

*Ergebnis:*  
Keine signifikante Änderung während der Messung

### 3.3 Meßergebnisse, Datenerfassung

Siehe Tabelle 2.

## 4 Messung der Interferenzsituation mit ausgeschaltetem Expositionsfeld

Zeit: 14.04., ca. 16.30 bis 18.00

### 4.1 Vorbereitung

Alle Geräte in Zustand wie bei Probandenmessung 3); EEG-Ablei-

tungen werden vom Kunstkopf abgegriffen; Verbindung bei <sup>①</sup> aufgetrennt.

### 4.2 Erfasste Signale

**a - Signal auf der nicht am Feldgenerator angeschlossenen Applikatorzuleitung**

*Meßdurchführung:*

Spektrumanalysator direkt an Applikatorleitung <sup>①</sup> angeschlossen; Lage der Applikationsleitung und des Applikators wie bei der Probandenmessung.

*Ergebnis:*  
Größte Linie bei 485 MHz mit -77 dBm

**b - Signal am Ausgang des EEG-Gerätes**

(6fach für die bei der Probandenmessung benutzten Ableitungen)

*Meßdurchführung:*

Spektrumanalysator direkt an jeweiligem Ausgang <sup>②</sup> angeschlossen; A/D-Wandler InterTechnique angeschlossen/nicht angeschlossen.

*Ergebnis:*  
• Spektrumanalysator an EEG-Ausgängen:

- jeweils Frequenzbündel bei 100 MHz mit max. -66 dBm
- Messung mit Compaq und A/D-Karte:  
Datei: EEG\_1B.TLD  
A/D-Wandler InterTechnique angeschlossen (ohne Papiervorschub des EEG)  
Datei: EEG\_1BO.TLD  
A/D-Wandler InterTechnique nicht angeschlossen (mit Papiervorschub des EEG)

Signal	Kennzeichnung	Anschluß A/D Karte DT2821
EEG-Ableitung 1	C3-Fz	Kanal 1
EEG-Ableitung 2	C4-Fz	Kanal 2
EEG-Ableitung 3	P3-Fz	Kanal 3
EEG-Ableitung 4	P4-Fz	Kanal 4
EEG-Ableitung 8	O1-Fz	Kanal 5
EEG-Ableitung 6	O2-Fz	Kanal 6
kurzgeschl. Kunstkopf-EEG-Ableitungen auf EEG-Ausgang 7	Kurz (nicht gegen Fz)	Kanal 0
Expositionssignal	Expo	Kanal 7

Tabelle 3:  
Belegung der Abtastkanäle

### ACHTUNG:

Kanal 5 des EEG zeigt offensichtliche Probleme (Schwingen ohne Signal)!

Bei Auswertung aller Signale Kanal 5 berücksichtigen, speziell auch bei Probandenmessung 3)

### c - Signal der Monitoring-antenne im Raum

*Meßdurchführung:*

Refrad-Dipol im Raum zwischen EEG-Zuleitungen und EEG-Gerät an Spektrumanalysator ⑤

*Ergebnis:*

150 MHz Linie im Rauschen verschwunden

*Dokumentation:*

Photos des Spektrums

## 5 Messung der Interferenzsituation mit eingeschaltetem Expositionsfeld

Zeit: 14.04., ca. 16.30 bis 18.00

### 5.1 Vorbereitung

Alle Geräte in Zustand wie bei Probandenmessung 3; EEG-Ableitungen werden vom Kunstkopf

abgegriffen; Verbindung bei ① hergestellt.

## 5.2 Erfasste Signale

### a - Signal auf der angeschlossenen Applikatorzuleitung ①

*Meßdurchführung:*

Siehe Messung zu 2.c.

*Ergebnis:*

Siehe Messung zu 2.c.

### b - Signal am Ausgang des EEG-Gerätes

(6fach für die bei der Probandenmessung benutzten Ableitungen)

*Meßdurchführung:*

Spektrumanalysator direkt an jeweiligem Ausgang ② angeschlossen; A/D-Wandler InterTechnique angeschlossen/nicht angeschlossen.

*Ergebnis:*

- Spektrumanalysator an EEG-Ausgängen:
  - jeweils Frequenzbündel bei 100 MHz mit max. -66 dBm
  - bei Anschalten des Applikators an Feldgenerator erscheint Linie bei 150 MHz mit -52 dBm; bleibt aber auch nach Abschalten des EEG-Gerätes erhalten!
- Messung mit Compaq und A/D-Karte:

Datei: EEG\_2B.TLD

A/D-Wandler InterTechnique angeschlossen (ohne Papiervorschub des EEG)

Datei: EEG\_2BO.TLD

A/D-Wandler InterTechnique nicht angeschlossen (mit Papiervorschub des EEG ab Mitte der Aufzeichnung)

### c - Signal der Monitoring-antenne im Raum

*Meßdurchführung:*

Refrad-Dipol im Raum zwischen EEG-Zuleitungen und EEG-Gerät an Spektrumanalysator ⑤

*Ergebnis:*

Linie bei 150 MHz mit max. -50 dBm

Das restliche Rauschspektrum zeigte auch nach stufenweiser Abschaltung aller anderen elektrischen Geräte (Compaq-Rechner, InterTechnique, EEG-Gerät, Feldgenerator) keine Änderung. Die Linie bei 150 MHz verschwindet nach dem Abschalten des Feldgenerators.

## 6 EEG-Messung mit Proband

Zeit: 15.04., ca. 14.15 bis 16.15

## 6.1 Vorbereitung

Alle Geräte und Proband in Zustand wie bei Probandenmessung 3) nach Dr. von Klitzing. EEG-Elektroden wurden an den Stellen C3, C4, P3, P4, O1, O2 und Fz (Bezugselektrode) mit Elektrodenpaste befestigt. Wegen der Probleme mit EEG-Kanal 5 am Vortag wurde statt dessen der Kanal 8 des EEG benutzt (Die Belegung der beiden AD-Wandler blieb unverändert).

*Messung der Übergangswiderstände vor der EEG-Messung:*  
zwischen 2 und 4 kΩ.

*Messung der Übergangswiderstände nach der EEG-Messung:*  
zwischen 2 und 4 kΩ.

*Einstellungen am Feldgenerator:*  
HF: 150 MHz; NF: 217 Hz; HFmod: on; Leistungsstufe: 3

*Einstellungen am EEG:*  
TP: 30 Hz; HP: 0,3 sec; Attenuation: 1/2

Meßwertaufnahme erfolgt parallel mit Acquisition von InterTechnique und A/D-Karte von Compaq-Rechner jeweils mit 100 Hz Abtastfrequenz.

Die Datenerfassung wird jeweils manuell gleichzeitig gestartet. Die Erfassung mit dem Compaq-Rechner ist einige Blöcke länger, daher ca. 1-2 Minuten Wartezeit (bei Dr. von Klitzing) zwischen dem Starten der einzelnen ca. 15 Min. langen Abschnitte.

Der Proband und Dr. Schüller befinden sich bei der Messung im Raum.

Die 1. Kontrolle erfolgt ohne Verbindung des Generators mit der Feldsondenzuleitung. Zwischen

den folgenden 15 Min. Abschnitten geht Dr. von Klitzing jeweils leise zum Generator, um die Feldsondenzuleitung entweder aufzustecken oder abzuziehen.

*Belegung der Abtastkanäle:*  
siehe Tabelle 3.

## 6.2 Erfasste Signale

### a - Signal auf den EEG-Ableitungen<sup>②</sup>

*Meßdurchführung:*  
Anschluß der A/D-Karte DT2821 an jeweilige EEG-Ausgänge gemäß Belegungstabelle.

*Ergebnis:*  
siehe 6.3.

### b - Expositionssignal am Applikator

*Meßdurchführung:*  
Erfassung Expositionssignal mit Ringsonde und Detektordiode auf Oszilloskop, parallel Abtastung mit Kanal 7 auf A/D-Karte Lokalisierung der Ringsonde im Schaumstoffkopfkissen des Probanden unter dem Applikator

*Ergebnis:*  
siehe 6.3. Pegel ca. 5-10 mV.

### c - Kurzgeschlossene EEG-Ableitungen<sup>②</sup>

*Meßdurchführung:*  
Messung der Spannung zwischen zwei unmittelbar am Kopf kurzgeschlossenen Ableitungen ohne Kontakt zum Kopf mit Kanal 0 der A/D-Karte DT2821 am jeweiligen EEG-Ausgang. Realisierung durch zwei vom Kunstkopf (Verbindung durch ohmsche Widerstände) abgegriffene Ableitungen, Kunstkopf unmittelbar neben dem Kopf des Probanden lokalisiert.

*Ergebnis:*  
siehe 6.3.

### d - Signal der Monitorantenne<sup>⑤</sup>

*Meßdurchführung:*  
Darstellung Fernfeld durch Monitorantenne (Dipol) auf Spektrumanalysator; Beobachtung während der Messung.

*Ergebnis:*  
Keine signifikante Änderung während der Messung

## 6.3 Meßergebnisse, Datenerfassung

Siehe Tabelle 4.

Datei	Messung	Artefakte
EEG_4A1.TLD	1. Kontrollmessung ohne Feld (ca. 14.45-15.00)	1 (bei 5,7 min)
EEG_4A2.TLD	1. Messung mit Feld (ca. 15.00-15.15)	0 (Erfassungsprogramm von Dr. von Klitzing meldet „error: nicht genügend Speicher reserviert“, aber Aufzeichnung normal beendet!)
EEG_4A3.TLD	2. Kontrollmessung ohne Feld (ca. 15.15-15.30)	0 (ca. 15.20 Telefonklingel hörbar)
EEG_4A4.TLD	2. Messung mit Feld (ca. 15.30-15.45)	1 (bei 3,0 min)

Tabelle 4: Meßergebnisse, Datenerfassung

Summary:

# The effect of pulsed electromagnetic fields on the electroencephalogram of humans

## Assessment of the experiments conducted by Lebrecht von Klitzing

Lebrecht von Klitzing reported in a series of publications and lectures on the possible effects of pulsed, high-frequency electromagnetic fields on the electroencephalogram (EEG) of humans. So far, other scientists have not been able to reproduce the experiments conducted by L. von Klitzing on the basis of his publications.

This study was made by CETECOM on behalf of the Forschungsgemeinschaft Funk. The objective was to analyze the experiments carried out by L. von Klitzing and to document them with the assistance of L. von Klitzing to enable verification of the results by other scientists.

### Results of Analysis

The results of the analysis made are given below in concise form.

- According to L. von Klitzing, 26 experiments were conducted. The effect in question has occurred 21 times according to his interpretation of the results.
- From the papers presented, 6 different experiments can be identified.
- The experiments are not sufficiently documented in the publications made. Reproduction by other scientists would therefore not be possible.
- The results are presented as established scientific knowledge.
- L. von Klitzing and CETECOM jointly carried out three experiments, with the effect occurring once according to L. von Klitzing.
- The experiments were evaluated separately by L. von Klitzing and CETECOM, the latter employing a newly developed method.
- In evaluating the EEGs, L. von Klitzing concentrated on alpha waves exclusively. He found that with the fall-off of the alpha wave the delta and theta waves rise. This effect is obtained when the attentiveness of a test person decreases and is utilized by physicians for monitoring this ability.
- Physicians consider a continuous experiment lasting more than one hour too long; they recommend max. 15 minutes. It is in the nature of EEGs that they fluctuate strongly.
- L. von Klitzing did not consult any EEG experts for his experiments.

- No statistical evaluations were made (no correlations, no probability statistics, no comparisons with control groups).
- No documented experiments without exposure to the field were conducted.
- The test person could perceive the switching-on and -off of the high-frequency field (no blind test).
- The results of the experiments were represented on a square, not a logarithmic scale, which may easily lead to misinterpretations.
- Digital signal processing with improper parameters (aliasing, inadequate frequency spacing) resulted in grave errors especially in the assessment of short-term spectra.
- The pulsed RF signal used in the experiments practically does not differ significantly from a continuous signal as the power levels (information) introduced by modulation are negligibly small compared with the carrier level.
- The importance L. von Klitzing attaches to modulation must therefore be questioned.

the experiments as to any biological effects that may be caused by digital mobile radio. None of the differences considered in the study was investigated or at least discussed by L. von Klitzing.

### Summary

- The experiments are still in the trial phase.
- It has not been proven if an effect occurred at all.
- Results could so far not be reproduced by other scientists.
- The results can therefore not be described as scientific findings.
- There are significant differences between the experiments made and real conditions prevailing in digital mobile radio.
- No conclusions can be drawn from the experiments about any biological effects that may be caused by digital mobile radio.

### Conclusions for Digital Mobile Radio

The physical differences between the conditions prevailing in the experiments and real conditions existing with digital mobile radio are significant. Therefore no conclusions can be drawn from



## Impressum

### Newsletter Edition Wissenschaft der FGF e.V.

**Herausgeber:** Forschungsgemeinschaft Funk e.V., Rathausgasse 11a,  
D-53113 Bonn, Telefon: 0228 / 72622-0, Telefax: 0228 / 7262211

**Redaktion:** Gerd Friedrich (verantw.)

**Grafik, Satz, Layout:** Autoren Societät, Bonn

Die vorliegende Studie wurde im Auftrag der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. durchgeführt. Die Berichte geben die Meinungen der Autoren wieder und stellen daher nicht unbedingt auch die Meinung der FGF dar.

**ISSN 1430-1458**