

Einfluss von hochfrequenten EMF auf das autonome Nervensystem unter Kurz-Zeit Exposition zu Feldern von Funk-Telefonen. (DECT Schnurlos-Telefonen)

Autoren

Thomas Ehmann, Wilhelm Mosgöller, Gerhard Lingg, Harald Lothaller

Affiliation

Interuniversity College for Health and Development, Graz / Castle of Seggau, Austria

Schlüsselwörter:

- HF-EMF im häuslichen Umfeld
- Herzratenvariabilität
- Autonomes (Vegatives) Nervensystem

Abstrakt

Einleitung: Funkanwendungen wie Schnurlostelefone und W-LAN zu Hause, Mobiltelefonie, Diebstahlsicherungen in Kaufhäusern, sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Alle diese Geräte exponieren die Umwelt mit hochfrequenten Elektro-Magnetischen Feldern (HF-EMF). Es erhebt sich die Frage wie unser Organismus auf diese Exposition reagiert.

Die Messung der Herzratenvariabilität ist eine sensible Methode Einflüsse auf das autonome Nervensystem zu erfassen. Die Fragestellung dieser Studie war, ob durch Kurzeit-Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) von DECT-Schnurlostelefonen das autonome Nervensystem eines Menschen beeinflusst wird?

Methode: 72 gesunde freiwillige Probanden (je ca. 50% männlich und weiblich) wirkten mit. 45 Personen wurden drei Mal 5 Minuten lang mit EMF-Feldern exponiert, 27 nicht exponierte Kontrollpersonen durchliefen den identen Versuchsablauf.

Die Ganzkörper-Kurzzeitexposition erfolgte in strahlungsreduzierter Umgebung. Während einer Vorstudie wurde eine Expositionsbedingung ermittelt bei der sich deutliche Einflüsse abzeichneten. Die Exposition der Hauptphase erfolgte intermittierend in einer Sequenz aus drei mal 5 Minuten „an“ und 10 Minuten „aus“. Während der „an“ Phase betrug die Feldstärke -20 dBm (1,1 mW /m²).

Die Messung der Herzratenvariabilität (HRV) erfolgte kontinuierlich „Vor“, „während“, und „nach“ der Exposition. Ausgewertet wurden 16 HRV Parameter darunter SDRR (ms); Total Power (TP ms²); LF; VLF (ms²); HF (ms²); der Quotient aus LF/HF.

Die HRV-Messwerte über jeweils 15 Minuten gemittelt ergaben 5 Messpunkte. Dies waren je ein Wert VOR der Exposition (Messpunkt: MP 1), je ein Wert nach 5 min „an“ und 10 Min „aus“ (MP-2, MP-3, MP-4) und ein Wert MP-5 nach der Exposition und Erholung für jeden HRV Parameter die der statistischen Analyse per ANOVA zugeführt wurden.

Ergebnis: In der Vorstudie zeichneten sich Wirkungen ab. Selten fand sich ein statistisch signifikanter Verlauf von Parametern während des Experimentes. Der Eindruck, dass die Kurzzeitexposition einen messbaren Einfluss auf HRV-Parameter ausübt konnte in der kontrollierten Hauptphase allerdings nicht bestätigt werden. Es fanden sich die Veränderungen in beiden Gruppen, in der exponierten und auch in der schein exponierten Kontrolle. Untersucht man die Unterschiede zwischen den exponierte Probanden und scheinexponierten Kontrollpersonen so zeigen sich keine signifikanten Unterschiede die der HF-EMF Kurzzeitexposition zugeordnet werden können.

Schlussfolgerung: Das vegetative Nervensystem reagiert auf die experimentellen Rahmenbedingungen. Unterschiede zwischen mit HF-EMF von DECT-Basistelefonen exponierten und nicht exponierten Kontrollpersonen konnten in dieser Versuchsserie nicht festgestellt werden.

1 EINLEITUNG

Moderne Funk-Anwendungen wie z.B. Schnurlostelefonen, W-LAN, Mobilfunk, etc., übertragen Information über hochfrequente (HF) elektromagnetische Felder (EMF). Nachdem im menschlichen Körper ebenfalls viele Steuerungen und Funktionen über elektromagnetische Felder laufen, wird die wachsende Zahl von Funkanwendungen im Alltag von Bedenken zu gesundheitlichen Auswirkungen der modernen Technik begleitet. Eine Umfrage der Europäischen Union (EU) im Jahr 2007 an ca. 27.000 Personen brachte zu Tage, dass 73 % der Befragten von Mobiltelefonen sich gesundheitlich beeinträchtigt fühlen.¹

1.1 Biologische Wirkungen von HF-EMF

Berichte über experimentelle Provokationsexperimente erwähnen HF-EMF Felder von Mobiltelefonen als Verursacher von Kopfschmerzen (Hillert et al. 2008). Eine allgemein akzeptierte Erklärung steht noch aus. Expositionsbedingte Veränderungen

¹ http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_272a_en.pdf

des Glucose Stoffwechsels im Gehirn (Volkow et al. 2011) sind möglich. Diese biologischen Wirkungen von Expositionen zu elektromagnetischen Feldern könnten mit Veränderungen des EEG oder geändertem Blutfluss im Gehirn (Aalto et al. 2006; Huber et al. 2005) in Zusammenhang stehen.

Insbesondere Einflüsse auf elektrophysiologische Körperfunktionen wie etwa Hirnströme und Schlafsteuerung werden seit längerer Zeit beforscht. Eine der ersten Untersuchungen zum Einfluss schwacher HF-EMF Felder auf Hirnströme stammt von Bise (1978). Der Report wurde skeptisch aufgenommen. Da er Reaktionen in einigen aber nicht in allen Test-Personen beschrieb, konnte man ihn als widersprüchlich in sich selbst auslegen. Drei Jahre später wurden die Befunde jedoch bestätigt (Stocklin and Stocklin 1981).

Auch elektrokardiographische (EKG) Ableitungen basieren auf elektrophysiologischen Vorgängen. Eine besondere Form der EKG Bewertung ist die Analyse der Herzratenvariabilität (HRV), die in der Medizin neue diagnostische Wege erschließt (Wittling 2012).

1.2 HRV als Messsystem autonomer Regulation

Das Herz schlägt nicht gleichmäßig. Die Zeitdauer zwischen den einzelnen Schlägen (RR-Abstände) variiert um Millisekunden. Diese Schwankungen reflektieren den Regulationszustand des vegetativen bzw. autonomen Nervensystem (ANS). Die Analyse der HRV wird zeit- und frequenzbezogen durchgeführt.

Nach einer Fast Fourier Transformation (FFT) können die RR-Schwankungen als eine Funktion der Frequenz dargestellt werden. Hochfrequente Schwankungen (high frequency, HF-Oszillationen $> 0,15 \text{ Hz} < 0,4 \text{ Hz}$) der Herzschlaggeschwindigkeit sind ein Maß für die parasympathische Aktivierung des Herzschlags. Die niederfrequenten Schwankungen (low frequency, LF-Oszillationen $< 0,15 \text{ Hz}$) sind ein Maß für sympathische Aktivierungsprozesse.

Parasympathische Einflüsse auf die Aktivität des autonomen Nervensystem (ANS) erhöhen, Sympathikus-Reize reduzieren die HRV. Somit kann man durch mathematische Analyse der Variationsbreite zwischen den Herzschlägen Rückschlüsse ziehen, ob der Organismus eher unter sympathischer oder parasympathischer Regulation steht, und wie es um die Regulationsreserven bestellt ist.

Eine reduzierte HRV weist auf verminderte Regulationsreserven des Organismus hin. Erkrankungen wie Krebs, Neuropathien, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und psychische Krankheiten sind mit einer verminderten HRV-Regulation assoziiert (Aboa-Eboule et al. 2007; Brown et al. 2009; Cygankiewicz and Zareba 2013; Kemp et al. 2010).

1.3 HRV unter Exposition zu HF-EMF

In der online Datenbank „EMF-Portal“ (www.emf-portal.de) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, fanden sich im Frühjahr 2014 mehrere Studienberichte zu Einflüssen von HF-EMF (Frequenz > 10 MHz) auf die HRV (Tabelle 1). Eine Studie die Schnurlostelefone mit DECT-Modulation untersucht, ist nicht darunter.

Unter den im EMF-Portal gelisteten Studien die radiofrequente elektromagnetische Feldern in anderen Frequenzbereichen untersuchen finden sich solche, die einen signifikanten Einfluss von elektromagnetischer Feld-Exposition auf die HRV beschreiben. Beispielsweise beschreibt die Arbeitsgruppe von Havas et al., dass sich unter Exposition zu Feldern eines 2,4 GHz Schnurlostelefon, sich bei 40 % der Probanden eine sofortige Auswirkung auf die Herzratenvariabilität zeigte (Tabelle 1). Vier Veröffentlichungen beschreiben einen Einfluss als möglich. 15 Veröffentlichungen finden keinen signifikanten Zusammenhang zwischen EMF-Exposition und HRV (Tabelle 1).

Tabelle 1: Auszug von Studien zum Thema HRV und EMF (> 10 MHz)

Pos.	Autor et al., Jahr	Frequenzbereich	Signal, Stärke /Art	Exposition von	Einfluss auf die HRV
1	Havas, 2013	2,4 GHz	3-8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Teilk.(Kopf)	Möglich
2	Parazzini, 2013	900 MHz	GSM 2 W	Teilk.(Kopf)	Nein
3	Augner, 2012	835-1800 MHz	Diverse	diverse	Nein
4	Bortkiewicz, 2012	30-3000 MHz	0,1-16,7 V/m	Ganzkörper	Möglich?
5	Kwon, 2012	1950 MHz	24 dBm	Teilk.(Kopf)	Nein
6	Barutcu, 2011	900+1800 MHz	US-Handy	Teilk.(Herz)	Nein
8	Kwon, 2011	1950 MHz	CDMA 1,57 W/kg	Teilk.(Kopf)	Nein
9	Havas, 2011	2,4 GHz	3-5 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Teilk.(Kopf)	Ja
10	Yilmaz, 2010	900 MHz	0,56W/kg	Teilk.(Ohr)	Ja
11	Nam, 2009	824-848 MHz	CDMA 300 mW	Teilk.(Kopf)	Nein
12	Tamer, 2009	900+1800 MHz	2 W/kg	Teilk.(Herz)	Nein
13	Andrzejak, 2008	1800 MHz	0,48 W/kg	Teilk.(Kopf)	Möglich
14	Johansson, 2008	890 MHz	1 W/kg puls	Teilk.(Kopf)	Nein
15	Kim, 2008	824-848 MHz	CDMA 300 mW	Teilk.(Kopf)	Nein
16	Barker, 2007	GSM / Tetra	1,3 W/kg	Teilk.(Kopf)	Nein
17	Parazzini, 2007	900 MHz	GSM, 2 W	Teilk.(Kopf)	Nein

Fortsetzung der Tabelle 1 nächste Seite

Fortsetzung Tabelle 1 zu vorangegangener Seite

Pos.	Autor et al., Jahr	Frequenzbereich	Signal, Stärke /Art	Exposition von	Einfluss auf die HRV
18	Atlasz, 2006	900 MHz	GSM, 2 W	Teilk.(?)	Nein
19	Wilén, 2006	900 MHz	1 W/kg	Teilk.(Kopf)	Möglich?
20	Mann, 2005	900 MHz puls.	0,05mW/cm ²	Teilk.(Kopf)	Nein
21	Huber, 2003	900 MHz	1 W/kg	Teilk.(Kopf)	Nein
22	Mann, 1998	900 MHz	,05 mW/cm ²	Teilk.(Kopf)	Nein

1.4 Fragestellung und Hypothese

In dieser Versuchs-Serie haben wir untersucht, ob eine Kurzzeitexposition zu elektromagnetischen Feldern von DECT Basisstationen die autonome Regulation des Organismus beeinflusst. Um die Studie alltagsnahe zu gestalten, wurde als Feldquelle eine im Handel erhältliche DECT Basisstation genommen.

2 MATERIAL und METHODEN

2.1 Expositionssystem

Die Feldquelle für die Exposition war ein handelsübliches schnurloses DECT-Telefonsystem, welches mit der Frequenz 1.890 MHz und 100 Hz gepulst betrieben wurde (Marke Audioline, Typ Pro 200 (Seriennr.: G20602VT004411, G20602VT004402 und G20602VT004395). Die Feldquelle wurde in ca. drei Meter Entfernung von den freiwilligen Versuchspersonen positioniert.

Der verwendete Spektrum-Analysator (Rohde & Schwarz (R&S) FSP7 (# 1164.4391 KO7 Ser.100309), Frequenzbereich von 9 kHz – 7 GHz) hat zwei Funktionen:

- Bestimmung/Kontrolle der Umgebungsfelder
- Monitoring der genauen Expositionsbedingungen

Die Expositionsantenne war von Rohde & Schwarz Typ HL040 (Seriennr.: 100117). Frequenzbereich 400 MHz – 3.600 MHz. Kabel RG-58. Die Antennenfaktoren sind im Spektrum-Analysator abgespeichert und werden bei der Messung automatisch berücksichtigt.

2.1.1 EMF-Langzeitaufzeichnung

Um während der Experimente die tatsächlichen Expositionsbedingungen zu erfassen wurde mit dem Spektrumanalysator, einem HF-Breitbandmessgerät und einem Daten-

logger die zeitabhängige EMF-Exposition dokumentiert. (HF-Analyser: Gigahertz-Solutions GmbH: Hochfrequenz-Analyser HF59-B (Seriennummer: 053000003176) Antenne: Gigahertz-Solutions Quasi-isotrope Breitbandantenne UBB27_G3 (Gigahertz Solutions GmbH; Seriennr.: 05030015019) Frequenzbereich 27 MHz - 3,3 GHz Datenlogger: Lascar EL-USB-3 (Lascar Electronics Ltd), Voltage USB Data Logger (Seriennummer: 000016032) Messwertaufnahme 0-30 V DC (wobei 2 V = ca. 20 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ entsprechen).

2.1.2 Messaufbau

Der Messort war im Erdgeschoss des Hauses Hauptstr. 137, in 72186 Empfingen-Wiesenstetten (Deutschland). Die Probanden saßen in einem bequemen Sessel, vor einem Monitor mit der Präsentation von Natur- und Landschaftsbildern. Die EKG-Ableitungen führten von der Brustwand nach hinten über die Schulter zum EKG-Recorder.

Ein Countdown-Timer zeigte die Restzeitdauer des Versuches. Für allfällige Problem oder Zwischenfälle war für die verkabelten Probanden eine Klingel installiert um sich jederzeit bemerkbar machen zu können, ohne aufstehen zu müssen.

Während des Experimentes wurden parallel zu den EKG-Aufzeichnungen die elektromagnetischen Felder (DECT-Signal und Hintergrundfelder) aufgezeichnet.

2.2 Untersuchungs-Design – Experiment-Aufbau

Aufgrund der Entfernung zwischen Feldquelle und Teilnehmer handelte es sich um eine Ganzkörper-Exposition. *Vor*, *Während*, und *Nach* der Exposition wurden die vegetative Regulation durch laufende Dokumentation Erfassung der HRV bestimmt

Die Versuche und die eingestellten Expositionsbedingungen wurden mittels fortlaufend nummerierter Versuchsprotokollen dokumentiert.

Jedes Experiment wurde einfachblind durchgeführt. Die Probanden wussten nicht, ob sie real oder Schein-exponiert waren. Die konkrete intermittierende Feld-Exposition wurde durch eine programmierte Zeitschaltuhr, welche die Feldquelle steuerte, erreicht. Die EKG-Ableitungen zur HRV-Bestimmung wurden automatisch dokumentiert. Um denkbare unbewusste Informationsübertragungen zwischen Experimentator und Teilnehmer zu unterbinden, befanden sich die Teilnehmer während des Experimentes alleine im Raum.

Um die HRV-Schwankungen spezifisch als HF-EMF expositionsbedingt interpretieren zu können, wurden 27 Scheinexpositionen mit 27 Personen aufgezeichnet.

2.3 HRV Monitoring

2.3.1 EKG-Messung

Wir verwendeten Asmuth H01 EKG-Schaumstoffelektroden (Asmuth GmbH Medizintechnik, Deutschland) - Ag/AgCl mit dezentralem Druckknopf. Das Messgerät (ANS Recorder Flex BT, Neurocor, Trier, Deutschland) arbeitet mit einer Abtastfrequenz von 500 Hz.

2.3.2 HRV-Software

Die laufende Aufzeichnung der EKG Ableitungen erfolgte per Neurocor ANS-Tracer (Version 2.6.8). Die HRV Auswertung der EKG Rohdaten erfolgt mit Neurocor ANS-Explorer Research (Version 3.5.11, Fa. Neurocor, Trier, Deutschland)

2.3.3 HRV Parameter

Die Standardabweichung der RR-Zeiten wird als SDRR [ms] bezeichnet. Sie ist ein Maß für die Gesamtvariabilität der Herzrate. Je höher der SDRR-Wert ist, desto höher ist die autonome Aktivität.

Der Parameter HF ist ein Maß für den parasympathischen Anteil an der autonomen Regulation. Die LF [Low Frequency Power (0,04 – 0,15 Hz) gemessen in ms^2] reflektiert die sympathische Aktivierung des Herzschlags.

TP [Total Power [ms^2] (0,003 – 0,4 Hz)] entspricht der Gesamtleistung der Frequenzbänder HF und LF. Wie die korrelierende SDRR spiegelt die Total Power die gesamte autonom-nervöse Regulationsfähigkeit wieder.

Die Parameter High Frequency (HFnu) und Low Frequency (LFnu) sind normalisierte Powerwerte, bei denen die Abhängigkeit von TP- und VLF-Power herausgerechnet wurde, somit ist keine Abhängigkeit zu TP- und VLF-Power mehr gegeben.

Das Verhältnis LF [ms^2]/HF [ms^2] reflektiert das Verhältnis zwischen sympathischer und parasympathischer Aktivierung. Bei Werten > 1 liegt eine Dominanz des sympathischen Systems vor, gleichwohl die physiologische Bedeutung und die Aussagekraft des LF/HF-Verhältnisses umstritten ist.

Insgesamt wurden folgende 16 HRV Parameter erhoben und der statistischen Analyse zugeführt (Tabelle 2)

Tabelle 2: 16 HRV Parameter

1) VLF_Power_ ms^2	7) LF_Power_nu	13) MWRR
2) LF_Power_ ms^2	8) HF_Power_nu	14) MWBPM
3) HF_Power_ ms^2	9) Total_Power_ ms^2	15) SDRR
4) VLF_Power_Prozent	10) LFzuHF	16) rMSSDRR
5) LF_Power_Prozent	11) LnLFzuHF	
6) HF_Power_Prozent	12) ARI Autonomer Regulations-Index	

2.4 Expositionsprotokoll

In einer explorativen (hypothesengenerierenden) Vorphase wurden verschiedene Expositionsprotokolle getestet, um die Hypothese und ein Expositionsprotokoll zur Prüfung in der Hauptphase zu definieren.

Die explorative Vorphase diente der Suche der Expositionsparameter. Ziel der orientierenden Vorphase war es, ein Studiendesign zu finden, dass expositionsbedingte - mit HRV erfassbare - Reaktionen mit sich bringt, die in der Hauptphase systematisch untersucht werden können.

In der Vorphase fanden mehrere Durchläufe mit ein bis maximal sechs Personen statt. Dabei wurden die Expositionsbedingungen (Strahlungsintensität, Kontinuierliche und diskontinuierliche Bestrahlung) variiert.

Für die Hauptphase wurden jene Expositionsbedingungen, die subjektiv betrachtet deutliche Effekte zeigten (Abbildung 1). Die Expositionsbedingungen bei einer Leistungsflussdichte von -20 dBm ($1,1$ mW/m²) waren wie Abbildung 1 dargestellt:

- 20 Min. aus / 5 Min. ein
- 10 Min. aus / 5 Min. ein
- 10 Min. aus / 5 Min. ein
- 30 Min aus

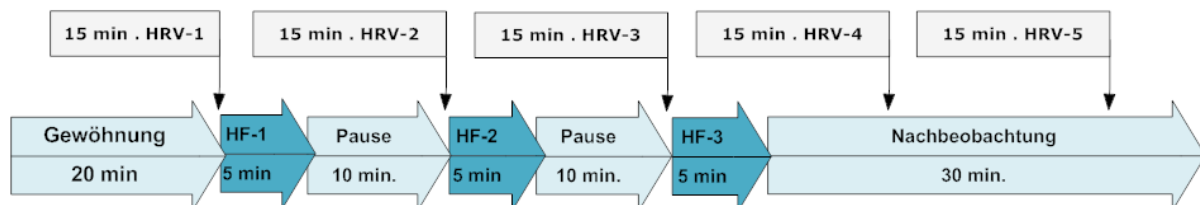


Abbildung 1: Experiment-Ablauf für die Hauptphase, schematisch dargestellt. Die jeweiligen HRV Parameter wurden jeweils über 15 Minuten lang zusammengefasst, um Messwerte zu 5 Zeitpunkten zu erhalten (HRV-1, -5 bis HRV-5). HRV-1 erfasst die 15 Minuten VOR jeder Exposition, HRV-2, bis HRV 4 erfasst die Intervalle Zeit während der Exposition, und HRV-5 erfasst das Erholungsintervall NACH den Expositionen.

Die gewählte intermittierende Expositionsbedingung ist realitätsnah. Ähnliche Bedingungen ergeben sich im häuslichen Umfeld, wenn man in der Wohnung in Bewegung ist und sich mal näher oder weniger nah an der Basisstation des DECT-Systems befindet.

Um die für die Experimentserie gewählten Expositionsbedingungen zuverlässig einzuhalten, wurde die Feldquelle mittels Zeitschaltuhr ein- und ausgeschaltet. Das Experiment-Design erlaubt es auch eine Schein-Exposition („blind“ Kontrolle) vorzunehmen.

Die Zeitsteuerungs-Software war Kemo RelaisTimer Version 2.0 (Kemo Electronics Deutschland). Das Schaltmodul wurde in einem Aluminiumkoffer mit schalldämpfenden

dem Noppenschaum untergebracht. Dadurch ist das Klicken der Relais nicht hörbar. Ein Schaltinterface (Deditec GmbH, Deutschland) mit lautlos schaltenden Dual-In-Line Reed-Relais hat sich nicht bewährt, da sie der notwendigen Stromaufnahme der DECT-Telefone nicht standhielten.

2.5 Teilnehmer

Gesunde erwachsene Teilnehmer im Alter von 17 bis 70 Jahren stimmen schriftlich zu, dass ihre Daten anonymisiert und elektronisch gespeichert und für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden. Auf eine ausgewogene Verteilung von Geschlecht und Altersgruppen wurde geachtet. Unter den 45 Verum Teilnehmer waren 22 Männer und 23 Frauen. Um eventuelle Veränderungen der HRV während des Experiments zu erfassen wurden 27 Teilnehmer unter identen Bedingungen zum Schein exponiert (Kontrollgruppe).

2.6 Statistik

Die ersten und letzten 5 Minuten der EKG-Aufzeichnung wurden nicht in die HRV-Auswertung miteinbezogen. Die Auswertung der Parameter zu den 5 Messzeitpunkten erfolgte mittels ANOVA mittels des Softwarepaketes SPSS. Die Messpunkte *vor*; *während* und *nach* der Exposition wurden verglichen um einerseits Veränderungen über die Zeit des Experimentes und andererseits zwischen der exponierten und nicht exponierten Gruppe zu analysieren. Das Signifikanzniveau wurde bei der Irrtumswahrscheinlichkeit $p=0,05$ festgelegt.

3 ERGEBNISSE

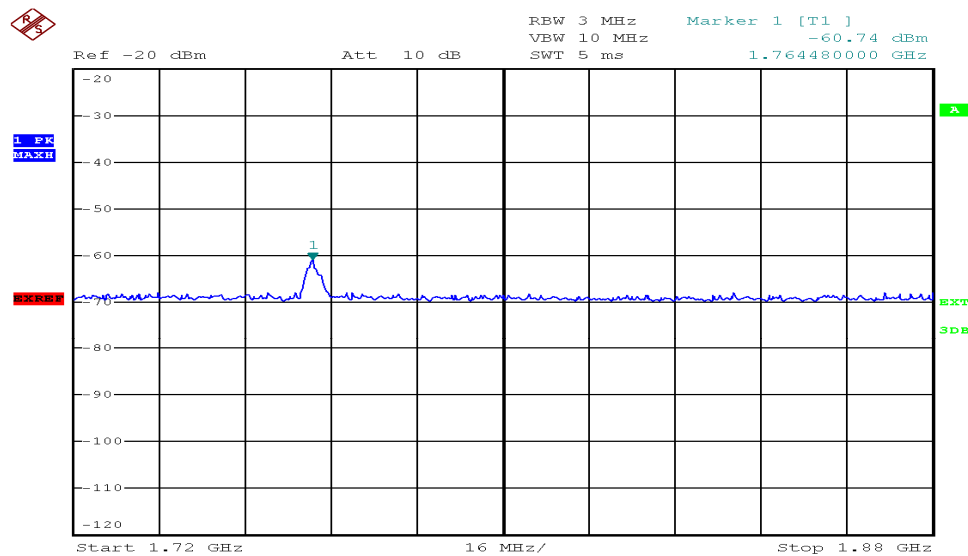
3.1 Hintergrundfelder

Der Versuchsraum war nahezu frei von hochfrequenten EMF. Im Raum wurden folgende Hintergrundfelder gemessen.

- DECT-EMF der Nachbarhäuser -60,47 dBm (ca. 112 nW/m²).
- D1/D2-EMF des ca. 3 km entfernten Mobilfunksenders -57,42 dBm (ca. 225 nW/m²).
- DVB-T – Sender (Raichberg) ca. 12 km Luftlinie -58,42 dBm (ca. 200 nW/m²).

E+/O2, WLAN und weitere Funkdienste waren nicht messbar. Funkgeräte waren während der Messung im Haus nicht in Betrieb. Felder von DECT-EMF und Mobilfunkfrequenzen (890,1 MHz – 959,9 MHz und 1.730 MHz – 1.875,5 MHz) wurden keine gefunden.

Die Auswirkung eines vorbeifahrenden Autos mit Mobilfunkbetrieb im 1,8 GHz-Bereich ist mit 60,74 dBm (ca. 112 nW/m²) in Abbildung 2 dargestellt.



Date: 21.MAY.2013 17:41:53

Abbildung 2: Elektromagnetisches Feld durch ein vorbeifahrendes Auto mit Handybetrieb

3.2 Vorphase Ermittlung des Versuchsprotokolls

Die Vorphase erbrachte subjektive Hinweise, dass HRV Parameter deutlich reagierten. Die Reaktionen wurden bei der Feldstärke von -24 dBm (ca. 450 μ W/m²) und höher beobachtet. Die höchsten Ausschläge zeigten sich bei -14 dBm (4,6 mW/m²) und -20 dBm (ca. 1,1 mW/m²).

Die größten Effekte traten während oder kurz nach der EMF-Expositionen auf. Nach einer Abklingzeit waren die Ausgangswerte wieder annähernd erreicht. Für die Hauptphase wurde daher ein intermittierendes Expositionsmuster mit dreimaliger Exposition und Pausen gewählt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) sowie eine Abklingzeit von 25 Minuten vorgesehen.

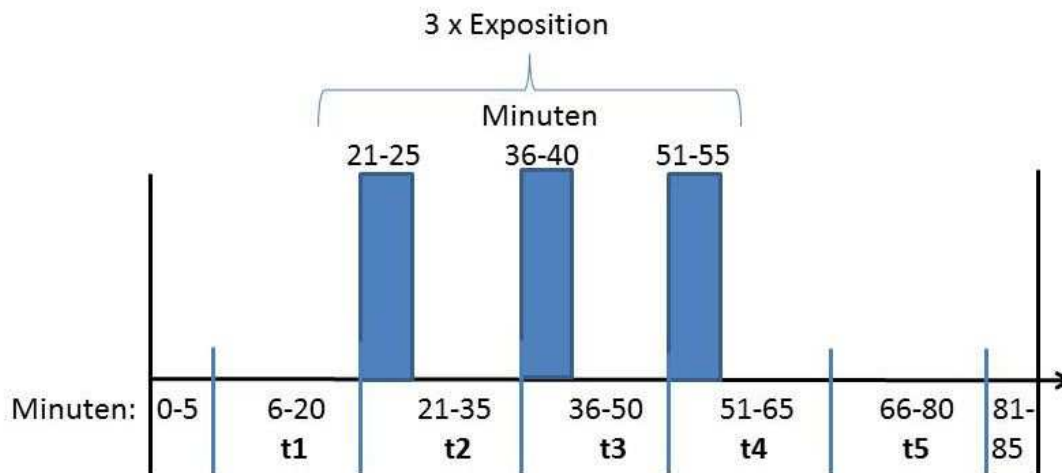


Abbildung 3: Experimentablauf der intermittierenden Exposition und Zeitintervalle die mit der HRV-Auswertung erfasst wurden.

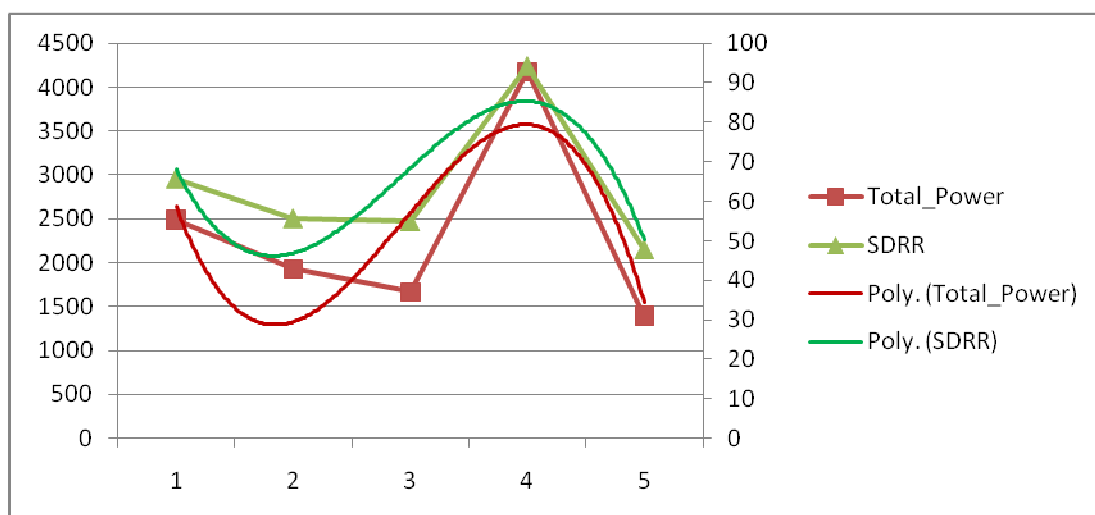


Abbildung 4. Verlaufsgrafik bei der Versuchsperson 02. Man erkennt die Korrelation von SDRR [ms] und TP [ms^2].

3.3 Hauptphase

In der Studien-Hauptphase wurden 45 Expositionen an 45 Probanden durchgeführt. Die Scheinexposition wurde bei genauer Einhaltung der äußeren Experimentbedingungen und des Experimentablaufs an 27 Personen durchgeführt.

Generell zeigten sich bei den HRV-Messungen starke Unterschiede zwischen den Versuchspersonen. Viele HRV-Werte *Vor*; *Während* und *Nach* der Exposition verändern sich in der Zeitdauer des Experimentes. Diese Veränderungen waren bei vielen Parametern statistisch signifikant (Tabelle). Im Gruppenvergleich zeigten sich allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den exponierten und nicht exponierten Teilnehmern.

Parameter	Veränderungen über die Zeit; 5 x 15 = 75 Minuten				Gruppenvergleich , DECT Exposition und nicht exponierter Kontrolle				
	„Vor“ MP-1	„Während“ MP-4	„Nach“ MP-5	Sig	Gruppe	Vor	Währ- end	Nach	Sig
VLF_Power_ms	774	1021	1196	,012	DECT	935	1220	1346	,973
					kont	506	687	945	
LF_Power_ms	537	670	677	,096	DECT	644	735	812	,412
					kont	360	563	453	
HF_Power_ms	308	388	359	,322	DECT	323	393	398	,570
					kont	283	379	295	
VLF_Power_%	48	50	53	,002	DECT	49	52	52	,097
					kont	45	46	55	
LF_Power_%	33	32	31	,103	DECT	34	32	33	,296
					kont	31	31	27	
HF_Power_%	20	19	16	,007	DECT	17	16	15	,205
					kont	24	23	18	
LF_Power_nu	63	65	67	,109	DECT	67	69	70	,893
					kont	57	59	61	
HF_Power_nu	37	35	33	,109	DECT	33	31	30	,893
					kont	43	41	39	
Total_Power	1619	2079	2232	,010	DECT	1902	2348	2555	,687
					kont	1148	1629	1693	
LFzuHF	2,55	2,88	2,86	,352	DECT	2,88	3,12	3,31	,698
					kont	2	2,48	2,86	
LnLFzuHF	,625	,712	,78	,136	DECT	,79	,871	,953	,807
					kont	,352	,446	,492	
ARI	48	56	55	,000	DECT	51	61	58	,613
					kont	43	48	51	
MWRR	868	889	891	,002	DECT	877	900	904	,413
					kont	853	871	870	
MWBPM	70	68	68	,004	DECT	69	67	68	,771
					kont	71	70	70	
SDRR	49	59	58	,000	DECT	52	65	62	,257
					kont	44	50	51	
rMSSDRR	32	35	34	,192	DECT	33	36	35	,892

Tabelle 3: Ergebnisse zu den 16 HRV Parametern; Vor (MP-1), Während (MP-4), und Nach (MP-5) den Expositionen; linke Spalten: Signifikanz der Veränderungen über die Experiment-Zeit, und Unterschied zwischen exponierten und nicht exponierten Probanden.

4 Diskussion

Der in der subjektiven Einschätzung der Vorphase-Ergebnisse entstandene Eindruck von expositionsbedingten HRV-Veränderungen, konnte in der kontrollierten Hauptphase durch systematische Untersuchungen nicht bestätigt werden. Allerdings zeigten sich mehrere HRV-Parameter nach 75 Minuten Experimentdauer signifikant verändert.

4.1 Expositionsbedingungen

Die meisten der publizierten vergleichbaren Studien (Tabelle 1) untersuchen eine Teilkörper-Exposition. Bei der vorliegenden Studie wurde ein anderes Versuchsdesign gewählt - eine hochfrequente EMF-Ganzkörperexposition bei sehr geringen - aber Alltags-üblichen - Feldern. Die gewählte EMF-Exposition entspricht der Situation, dass eine Person in der Wohnung bewegt, in der die Basisstation eines DECT-Telefons (ohne Eco-Modus, d.h. Dauersender) in Betrieb ist.

4.2 Besonderheiten der HRV Messung

HRV-Messungen können Regulations-Veränderungen im autonomen Nervensystem sehr sensitiv feststellen. EKG-Ableitungen und daraus bestimmte veränderliche Größen gelten als objektive physiologische Parameter, auf die der Experimentator keine Einfluss hat. Zusätzlich erlaubt das Experimentdesign eine direkte Kontrolle der Experimentbedingungen durch Scheinexposition, was einer Placebo Bedingung entspricht.

Idealerweise sollten die Probanden gleichartige Startbedingungen haben – also zu Beginn der Austestung einen ähnlichen physischen und psychischen Belastungslevel aufweisen. Als Nachteil der HRV-Messung mag gelten, dass die Probanden beim Besuch im Testlabor „Einflussfaktoren auf das autonome Nervensystem mitbringen“, somit ist es schwierig eine homogene Gruppe von Testpersonen zu bilden.

4.3 Schlussbemerkungen

Bei vorliegenden Ergebnissen handelt es sich um die Wirkung von akuten Kurzzeitexpositionen. Die Ergebnisse erlauben keinerlei Rückschlüsse auf Langzeitexposition, über mehrere Stunden bzw. auf Exposition rund um die Uhr wie es bei stationären Sendern im Wohnumfeld denkbar ist. Aufgrund der Erfahrungen mit der Variabilität der HRV-Parameter in dieser Experimentserie, lässt sich abschätzen, dass es für die Untersuchung von Effekten unter Langzeitexposition weitaus größere Fallzahlen braucht um statistisch belastbare Ergebnisse zu erzielen.

Nachdem nicht bekannt ist, ob und wie elektromagnetische Felder mit bestimmten Frequenzen physiologische Parameter beeinflussen, können Ergebnisse die bei

einer bestimmten Frequenz ermittelt wurden nicht automatisch auf das gesamte Frequenzspektrum übertragen oder auf andere Funkanwendungen wie WLAN oder Mobiltelefone übertragen werden.

In dieser Studie wurden erhebliche Unterschiede zwischen den Probanden beobachtet. Diese Ausgangslage erschwert die statistisch belastbare Darstellung schwacher Einflüsse bei klassischen Kohortenstudien. Bei zukünftigen ähnlichen Untersuchungen können so genannte intrainviduelle Kontrollen in Sinne eines Cross Over Studiendesigns die statistische Streuung reduzieren um gegebenenfalls schwache Einflüsse besser darzustellen.

5 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

- ANS AutoNomes Nervensystem
 EMF Elektro-Magnetisches Feld
 HRV Herz Raten Variabilität (engl. Heart Rate Variability)
 HF High Frequency power, 0.151 – 0.4 Hz, gemessen in ms^2 ,
 HRV Parameter der parasymphatische Aktivität reflektiert
 LF low frequency power, 0.04 – 0.15 Hz, gemessen in ms^2 ,
 HRV Parameter der Sympatikus –Aktiviät reflektiert
 LF/HF Quotient aus $LFms^2/HFms^2$ als Maß für die vegetative Balance
 SDRR (engl. Standard Deviation of all RR-intervals) Standard Abweichung der Zeiten
 zwischen zwei Herzschlägen, gemessen in ms, Grundmaß der Herzratenvariabilität,
 berechnet aus allen RR -Abständen
 TP (engl. Total Power of RR-interval variability) berchnet aus RR-Abständen in
 Frequenzbereich 0.003 – 0.4 Hz in ms^2 , ein HRV Zusatzparameter zu SDRR
 VLF (engl. Very Low Frequency power) berechnet aus RR-Abständen im Frequenzbereich
 0.003 – 0.039 Hz in ms^2 , ein HRV Zusatzparameter zu SDRR

6 LITERATUR

6.1 Zitiert im Text

- Aalto S, Haarala C, Bruck A, Sipila H, Hamalainen H, Rinne JO (2006) Mobile phone affects cerebral blood flow in humans. *J.Cereb.Blood Flow Metab* 26: 885-890.
- Aboa-Eboule C, Brisson C, Maunsell E, Masse B, Bourbonnais R, Vezina M, Milot A, Theroux P, Dagenais GR (2007) Job strain and risk of acute recurrent coronary heart disease events. *JAMA* 298: 1652-60.
- Bise W (1978) Low power radio-frequency and microwave effects on human electroencephalogram and behavior. *Physiol.Chem.Physics* 10: 387-398.
- Brown AD, Barton DA, Lambert GW (2009) Cardiovascular abnormalities in patients with major depressive disorder: autonomic mechanisms and implications for treatment. *CNS Drugs* 23: 583-602. doi: 4 [pii]

- Cygankiewicz I, Zareba W (2013) Heart rate variability. *Handb Clin Neurol* 117: 379-93.
- Hillert L, Akerstedt T, Lowden A, Wiholm C, Kuster N, Ebert S, Boutry C, Moffat SD, Berg M, Arnetz BB (2008) The effects of 884 MHz GSM wireless communication signals on headache and other symptoms: an experimental provocation study. *Bioelectromagnetics* 29: 185-196.
- Huber R, Treyer V, Schuderer J, Berthold T, Buck A, Kuster N, Landolt HP, Achermann P (2005) Exposure to pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields affects regional cerebral blood flow. *Eur.J.Neurosci.* 21: 1000-1006.
- Kemp AH, Quintana DS, Gray MA, Felmingham KL, Brown K, Gatt JM (2010) Impact of depression and antidepressant treatment on heart rate variability: a review and meta-analysis. *Biol Psychiatry* 67: 1067-74. doi: 10.1016/j.biopsych.2009.12.012
- Stocklin PL, Stocklin BF (1981) Low power microwave effects on the human electroencephalogram: supporting results of Bise. *Physiol.Chem.Physics* 13: 175-177.
- Volkow ND, Tomasi D, Wang GJ, Vaska P, Fowler JS, Telang F, Alexoff D, Logan J, Wong C (2011) Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism. *JAMA* 305: 808-13.
- Wittling W (2012) Neue Wege der Früherkennung von Gesundheitsrisiken. Frühwarnsystem ANS-Explorer. *Fitness Tribune*: 52-57.

6.2 Zitiert in Tabelle 1

- Andrzejak, Ryszard; Poreba, Rafal; Poreba, Malgorzata; Derkacz, Arkadiusz; Skalik, Robert; Gac, Pawel et al. (2008): The influence of the call with a mobile phone on heart rate variability parameters in healthy volunteers. In: *Ind Health* 46 (4), S. 409–417.
- Atlasz, Tamas; Kellenyi, Lorand; Kovacs, Peter; Babai, Norbert; Thuroczy, Gyorgy; Hejjel, Laszlo; Hernadi, Istvan (2006): The application of surface plethysmography for heart rate variability analysis after GSM radiofrequency exposure. In: *J Biochem Biophys Methods* 69 (1-2), S. 233–236.
- Augner, Christoph; Gnambs, Timo; Winker, Robert; Barth, Alfred (2012): Acute effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on subjective well-being and physiological reactions: A meta-analysis. In: *Science of The Total Environment* 424, S. 11–15.
- Barker, Anthony T.; Jackson, Peter R.; Parry, Helen; Coulton, Leslie A.; Cook, Greg G.; Wood, Steven M. (2007): The effect of GSM and TETRA mobile handset signals on blood pressure, catechol levels and heart rate variability. In: *Bioelectromagnetics* 28 (6), S. 433–438.

- Barutcu, Irfan; Esen, A. Metinl.I.; Kaya, Dayimi; Turkmen, Muhsin; Karakaya, Osman; Saglam, Mustafa et al. (2011): Do Mobile Phones Pose a Potential Risk to Autonomic Modulation of the Heart? In: *Pacing and Clinical Electrophysiology* 34 (11), S. 1511–1514.
- Bortkiewicz, Alicja; Gadzicka, Elzbieta; Szymczak, Wiesław; Zmysłony, Marek (2012): Heart rate variability (HRV) analysis in radio and TV broadcasting stations workers. In: *IJOMEH* 25 (4), S. 446–455.
- Havas M., et al (2010): Provocation study using heart rate variability shows microwave radiation from DECT phone affects autonomic nervous system M. Havas, J. Marrongelle, B. Pollner, E. Kelley, C.R.G. Rees, L. Tully. Hg. v. European Journal of Oncology Library Vol. 5. Online verfügbar unter http://www.avaate.org/article.php3?id_article=2043, zuletzt geprüft am 28.11.2012.
- Havas M; Marrongelle J. (2013): Replication of heart rate variability provocation study with 2.4-GHz cordless phone confirms original findings. Replication of heart rate study - 2013.pdf. Hg. v. Informa. Electromagnetic Biology and Medicine. Peterborough (32(2); 253-266). Online verfügbar unter <http://citizensforsafetechnology.org/uploads/scribd/Replication%20of%20heart%20rate%20study%20-%202013.pdf>, zuletzt aktualisiert am 18.06.2013, zuletzt geprüft am 12.03.2014.
- Havas, M. Marrongelle et al (2010): Provocation study using heart rate variability shows microwave radiation from 2.4 GHz cordless phone affects autonomic nervous system. Hg. v. EMF-Portal. Giuliani L, Soffritti M. Online verfügbar unter http://www.emf-portal.de/viewer.php?aid=18905&sid=e8a099cd2af3e1585404c3d759bd6f1e&sform=8&pag_idx=0&l=g, zuletzt geprüft am 06.01.2013.
- Huber, Reto; Schuderer, Jurgen; Graf, Thomas; Jutz, Kathrin; Borbely, Alexander A.; Kuster, Niels; Achermann, Peter (2003): Radio frequency electromagnetic field exposure in humans: Estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. In: *Bioelectromagnetics* 24 (4), S. 262–276.
- Johansson, Amanda; Forsgren, Sture; Stenberg, Berndt; Wilén, Jonna; Kalezic, Nebojsa; Sandström, Monica (2008): No effect of mobile phone-like RF exposure on patients with atopic dermatitis. In: *Bioelectromagnetics* 29 (5), S. 353–362.
- Kim, Deok Won; Lee, Ju Hyung; Ji, Hyo Chul; Kim, Soo Chan; Nam, Ki Chang; Cha, Eun Jong: Physiological effects of RF exposure on hypersensitive people by a cell phone 2008, S. 2322–2325.

- Kwon Min Kyung; Ki Chang Nam; Da Som Lee; Kyung Hwan Jang; Deok Won Kim (2011): Effects of RF fields emitted from smart phones on cardio-respiratory parameters: A preliminary provocation study, S. 1961–1964.
- Kwon MK et al (2012): Effects of radiation emitted by WCDMA mobile phones on electromagnetic hypersensitive subjects - 1476-069X-11-69.pdf. Hg. v. Environ Health (11 : 69). Online verfügbar unter <http://www.ehjournal.net/content/pdf/1476-069X-11-69.pdf>, zuletzt geprüft am 13.03.2014.
- Mann et al (2005): Cardiac Autonomic Activity during Sleep under the Influence of Radiofrequency Electromagnetic Fields. Hg. v. Somnology. Online verfügbar unter http://www.emf-portal.de/viewer.php?aid=13166&sid=c467e2d326bde39c70b9e870240ac9c4&sform=8&pag_idx=20&l=g, zuletzt geprüft am 13.03.2014.
- Mann, K.; Roschke, J.; Connemann, B.; Beta, H. (1998): No effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on heart rate variability during human sleep. In: *Neuropsychobiology* 38 (4), S. 251–256.
- Nam, Ki Chang; Lee, Ju Hyung; Noh, Hyung Wook; Cha, Eun Jong; Kim, Nam Hyun; Kim, Deok Won (2009): Hypersensitivity to RF fields emitted from CDMA cellular phones: A provocation study. In: *Bioelectromagnetics* 30 (8), S. 641–650.
- Parazzini, Marta; Ravazzani, Paolo; Thuroczy, György; Molnar, Ferenc B.; Ardesi, Gianluca; Sacchetti, Alessio; Mainardi, Luca Tommaso (2013): Nonlinear heart rate variability measures under electromagnetic fields produced by GSM cellular phones. In: *Electromagn Biol Med* 32 (2), S. 173–181.
- Parazzini, Marta; Ravazzani, Paolo; Tognola, Gabriella; Thuroczy, Gyorgy; Molnar, Ferenc B.; Sacchetti, Alessio et al. (2007): Electromagnetic fields produced by GSM cellular phones and heart rate variability. In: *Bioelectromagnetics* 28 (2), S. 122–129.
- Tamer, Ali; Gunduz, Huseyin; Ozyildirim, Serhan (2009): The cardiac effects of a mobile phone positioned closest to the heart. In: *Anadolu Kardiyol Derg* 9 (5), S. 380–384.
- Wilen, Jonna; Johansson, Amanda; Kalezic, Nebojsa; Lyskov, Eugene; Sandstrom, Monica (2006): Psychophysiological tests and provocation of subjects with mobile phone related symptoms. In: *Bioelectromagnetics* 27 (3), S. 204–214.
- Yilmaz, Derya; Yıldız, Metin (2010): Analysis of the Mobile Phone Effect on the Heart Rate Variability by Using the Largest Lyapunov Exponent. In: *J Med Syst* 34 (6), S. 1097–1103.