

# **Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz**

**Literaturübersicht im Rahmen des Projekts:  
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf  
Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit  
älterer Personen beider Geschlechter - Vorhaben 3613S30012**

**Auftragnehmer:**

**Charité - Universitätsmedizin Berlin**

**C. Sauter  
T. Eggert  
H. Dorn  
H. Danker-Hopfe**

**Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und  
Reaktorsicherheit (BMUB) und im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt.**



**Bundesamt für Strahlenschutz**

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Ressortforschung des BMUB (UFOPLAN) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BfS übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BfS übereinstimmen.

**BfS-RESFOR-99/14**

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:  
**urn:nbn:de:0221-2014121212043**

Salzgitter, Dezember 2014

# Literaturübersicht

im Rahmen des Projekts „Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Personen beider Geschlechter“

Kompetenzzentrum Schlafmedizin CC15, Charité – Universitätsmedizin Berlin



**PROJEKTLEITUNG:**

**PROF. DR. RER. NAT. HEIDI DANKER-HOPFE, DR.-ING. HANS DORN**

**KOMPETENZZENTRUM SCHLAFMEDIZIN CC15**

**CHARITÉ - UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN**

**ESCHENALLEE 3**

**14050 BERLIN**

**T +49 (0) 30 8445 8600 ODER 8613**

**F +49 (0) 30 8445 8233**

**E-MAIL: HEIDI.DANKER-HOPFE@CHARITE.DE**

**E-MAIL: HANS.DORN@CHARITE.DE**

**LITERATURÜBERSICHT ERSTELLT VON:**

**DR. RER. NAT. CORNELIA SAUTER**

**(KOMPETENZZENTRUM SCHLAFMEDIZIN CC15, CHARITÉ - UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN)**

**UNTER MITWIRKUNG DER PROJEKTLEITUNG (S.O.) UND VON**

**DIPL.-BIOL. TORSTEN EGGERT**

**(KOMPETENZZENTRUM SCHLAFMEDIZIN CC15, CHARITÉ - UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN)**

**ZU ZITIEREN ALS: SAUTER, C., EGGERT, T., DORN, H., DANKER-HOPFE, H. (2014). LITERATURÜBERSICHT IM RAHMEN DES PROJEKTS „EINFLUSS HOCHFREQUENTER ELEKTROMAGNETISCHER FELDER AUF DIE GEHIRNAKTIVITÄT“. LITERATURSTUDIE VERÖFFENTLICHT AUF DER HOMEPAGE DES BUNDESAMTS FÜR STRAHLENSCHUTZ: WWW.BFS.DE**

**DER BERICHT GIBT DIE AUFFASSUNG UND MEINUNG DES AUFTRAGNEHMERS WIEDER UND MUSS NICHT MIT DER MEINUNG DES AUFTRAGGEBERS (BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ) ÜBEREINSTIMMEN.**

# INHALT

1	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>4</b>
2	<b>LITERATURÜBERSICHT ZUM MOBILFUNK .....</b>	<b>4</b>
2.1	<b>MOBILFUNKSTUDIEN ZUM SPONTANEN WACH-EEG .....</b>	<b>4</b>
2.2	<b>MOBILFUNKSTUDIEN ZU EVOZIERTEN POTENZIALEN .....</b>	<b>6</b>
2.3	<b>MOBILFUNKSTUDIEN ZU KOGNITIVEN FUNKTIONEN .....</b>	<b>7</b>
2.4	<b>MOBILFUNKSTUDIEN ZUR MAKROSTRUKTUR DES SCHLAFS .....</b>	<b>8</b>
2.5	<b>MOBILFUNKSTUDIEN ZUR MIKROSTRUKTUR DES SCHLAFS.....</b>	<b>8</b>
3	<b>ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE ZUM DIGITAL- FUNK TETRA.....</b>	<b>9</b>
3.1	<b>TETRA-STUDIEN ZUM SPONTANEN WACH-EEG .....</b>	<b>9</b>
3.2	<b>TETRA-STUDIEN ZU EVOZIERTEN POTENZIALEN .....</b>	<b>9</b>
3.3	<b>TETRA-STUDIEN ZU KOGNITIVEN FUNKTIONEN .....</b>	<b>9</b>
3.4	<b>TETRA-STUDIEN ZUM SCHLAF .....</b>	<b>10</b>
3.5	<b>TETRA-STUDIEN ZU SYMPTOMEN UND ELEKTROSENSIBILITÄT .....</b>	<b>10</b>
4	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN .....</b>	<b>10</b>
5	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>11</b>
6	<b>ÜBERSICHTSTABELLEN ZU MOBILFUNKSTUDIEN .....</b>	<b>1</b>

# 1 EINLEITUNG

Die vorliegende Literaturübersicht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) erstellt und bezieht sich auf die wissenschaftlichen Erkenntnisse, die in den letzten zwei Jahrzehnten zur Thematik hochfrequenter (HF; engl. radio frequency = RF) elektromagnetischer Felder (EMF), wie sie bei der Benutzung von Mobilfunk (GSM = Global System for Mobile Communications und UMTS = Universal Mobile Telecommunications System) und Digitalfunk TETRA (Terrestrial Trunked Radio) entstehen, gewonnen wurden. Das Hauptaugenmerk wurde in der Analyse der Studien auf mögliche Alters- und/oder Geschlechtseffekte gerichtet.

Im Rahmen zweier bereits abgeschlossener Studien wurden Literaturübersichten publiziert, die von der Homepage des BfS heruntergeladen werden können (Danker-Hopfe und Dorn, 2007; Sauter et al., 2010). In der ersten Studie wurden wissenschaftliche Studien zu möglichen Auswirkungen des Mobilfunks auf die menschliche Gehirnaktivität (im Ruhezustand, während kognitiver Aufgaben, im Schlaf) berücksichtigt, die bis einschließlich 2007 publiziert wurden (Danker-Hopfe und Dorn, 2007). In der neueren Literaturübersicht wurden in der ersten Fassung wissenschaftliche Studien zum Digitalfunk (TETRA) zusammengefasst, die bis März 2010 erschienen sind (Sauter et al., 2010) und sowohl mögliche Effekte auf den Menschen als auch im Rahmen von Tier- und Zelluntersuchungen (in vitro) zum Inhalt hatten. Im Abschlussbericht der „Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der Für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen“ wurde die erste Version der Literaturübersicht um Studien ergänzt, die seit 2010 bis Ende 2013 hinzugekommen sind bzw. zwischenzeitlich publiziert wurden (Danker-Hopfe et al., 2013). Die Ergebnisse dieser beiden Literaturübersichten wurden im vorliegenden Bericht zusammengefasst und mit den Studien, die seit 2007 zu GSM und UMTS publiziert wurden, ergänzt, wobei u.a. auch die Literaturoswertung berücksichtigt wurde, die Frau Prof. Heidi Danker-Hopfe für den Wissenschaftlichen Ausschuss "Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken" (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR, 2014) durchgeführt hat.

## 2 LITERATURÜBERSICHT ZUM MOBILFUNK

In den folgenden Kapiteln werden Studien aus den Jahren 1996 bis 2007, die im Abschlussbericht des bereits abgeschlossenen Projekts „Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen“ (Danker-Hopfe und Dorn, 2007) ausführlich besprochen wurden, um Studien aus den Jahren 2007 bis 2014 ergänzt. Eine tabellarische Zusammenfassung der neueren Studien findet sich am Ende dieses Dokuments.

### 2.1 MOBILFUNKSTUDIEN ZUM SPONTANEN WACH-EEG

Wie in der Literaturübersicht des Abschlussberichts zum Projekt „Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen“ (Danker-Hopfe und Dorn, 2007) zum Untersuchungsendpunkt Wach-EEG ausführlicher dargestellt, zeigten sich in den bis 2007 berücksichtigten acht Publikationen aus sechs Studien (Gehlen et al., 1996; Hietanen et al., 2000; Hinrichs und Heinze, 2006; Jahre et al., 1996; Krafczyk et al., 1998; Krafczyk et al., 2002; Röschke und Mann, 1997; Spittler et al., 1997) von insgesamt 15 Studien (insgesamt 17 Publikationen) keine Auswirkungen kurzzeitiger Exposition elektromagnetischer Felder, die bei einer Exposition mit GSM-Signalen um 900 MHz bzw. 1800 MHz entstehen, auf die Gehirnaktivität im Wachzustand. Wenn Effekte gefunden wurden, führten diese in fast allen Studien zu einer Zunahme der Power im Alphafrequenzbereich, die sich allerdings im Rahmen der physiologischen Variationsbreite bewegte (Croft et al., 2002; Croft et al., 2008; Curcio et al., 2005; Regel et al., 2007a; Reiser et al., 1995; Vecchio et al., 2007; von Klitzing, 1995).

Seit 2007 wurden 15 weitere Publikationen in Zeitschriften mit peer-review Prozess zu möglichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität im Wachzustand publiziert (vgl. Tab. 1). Davon wurden in 11 der 15 Veröffentlichungen signifikante Veränderungen im Wach-EEG berichtet, die überwiegend den Alphafrequenzbereich betrafen. Effekte von Alter und/oder Geschlecht wurden in vier Publikationen berichtet: In einer Studie (Croft et al., 2008) an 120 Erwachsenen im Alter von 18 bis 69 Jahren (74 Frauen, 46 Männer), deren EEG während einer 30-minütigen Exposition mit einem GSM-Mobiltelefon oder unter Scheinexposition abgeleitet wurden, zeigte sich eine höhere Alphaaktivität während der Verum-Exposition mit einem Maximum der Aktivität am Hinterkopf (parietal) der exponierten Seite (ipsilateral). Es gab keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Alter oder dem Geschlecht der untersuchten Personen.

In einer weiteren Studie von Croft et al. (2010) zeigte sich in einer Gruppe junger Erwachsener (19-40 Jahre) eine statistisch signifikante Zunahme der Alpha-Power unter GSM-Exposition, dieser Effekt war jedoch weder in einer

jüngeren (13-15 Jahre) und noch in einer älteren Vergleichsgruppe (55-70 Jahre) aufgetreten. Unter UMTS unterschieden sich die drei untersuchten Altersgruppen nicht hinsichtlich ihrer Alpha-Aktivität. Die subjektiv erlebte Aktivierung, die mit der Thayer Activation-Deactivation Adjective Check List erfasst wurde, war in der Gruppe der jungen Erwachsenen unter GSM und UMTS auf Trendniveau stärker als in der Scheinexpositionsbedingung. Croft et al. (2010) schlossen daraus, dass Jugendliche und ältere Erwachsene nicht sensibler reagieren würden als junge Erwachsene. Erwachsene im Alter zwischen 41 und 54 Jahren und Jugendliche zwischen 16 und 18 Jahren wurden in der Studie von Croft et al. (2010) nicht berücksichtigt.

Eine Arbeitsgruppe, die sich wiederholt mit der interhemisphärischen Kohärenz („Zusammenspiel der linken und rechten Gehirnhälfte“) im EEG und Auswirkungen elektromagnetischer Felder des Mobilfunks beschäftigt hat, fand ebenfalls einen Alterseffekt im Zusammenhang mit einer Exposition mit einem GSM-Mobiltelefon, der sich allerdings nur auf die ältere Gruppe auswirkte (Vecchio et al., 2010): die interhemisphärische Kohärenz der dominanten Alphafrequenz in der älteren Erwachsenenengruppe (47-84 Jahre), die sich aus neun Frauen in der Postmenopause und sieben Männern zusammensetzte, nahm im Vergleich zu 15 jungen Männern im Alter zwischen 20 und 37 Jahren unter GSM-Exposition signifikant zu. Sie interpretierten ihre Ergebnisse dahingehend, dass das physiologische Alter mit Veränderungen der funktionellen Organisation der kortikalen neuronalen Synchronisation verbunden ist.

Auch in einer Untersuchung zu möglichen Einflüssen elektromagnetischer Felder mit zwei unterschiedlichen Intensitäten von GSM-Handgeräten auf das Wach-EEG und kognitive Funktionen von 11- bis 13-Jährigen bestätigte sich eine vermutete höhere Sensibilität dieser Altersgruppe gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks nicht (Loughran et al., 2013). Eine mögliche Erklärung von Loughran et al. (2013) war, dass die Gehirne von Heranwachsenden „formbarer“ und daher schneller in der Lage wären, sich externen Einflüssen anzupassen bzw. nach Croft et al. (2010) „widerstandsfähiger“ wären. Denkbar wäre auch, dass die Stichprobengröße (n=22) für die mit dem chronologischen Alter verbundene ausgeprägte Variabilität des biologischen Alters zu gering war, um Effekte zu detektieren.

Die Frage eines möglichen Einflusses des Geschlechts bzw. einer Interaktion des Geschlechts mit potenziellen HF-EMF-Auswirkungen wurde in lediglich zwei der 15 Studien untersucht. Während bei Croft et al. (2008) in einer größeren Gruppe von Frauen und Männern keine Wechselwirkungen oder Unterschiede in Bezug auf die Wirkung elektromagnetischer Felder auf das Wach-EEG beobachtet wurden, fanden Hountala et al. (2008) einen Interaktionseffekt zwischen GSM-Exposition und Geschlecht und der spektralen Leistungskohärenz (SPC). Frauen hatten eine höhere SPC im Prä-Stimulus-EEG unter Exposition mit 900 MHz und 1800 MHz während der Durchführung einer Wechsler Gedächtnisaufgabe (Zahlenspanne) für eine Dauer von 45 Minuten im Vergleich zur Baseline, wohingegen Männer gegenteilige Effekte unter 1800 MHz zeigten. Obwohl in der Scheinbedingung keine Unterschiede hinsichtlich der untersuchten Parameter zwischen den Geschlechtern gefunden wurden, wurde das Ergebnis dahin gehend interpretiert, dass Alpha- und Beta-Frequenzen des EEGs mit Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozessen in Zusammenhang stünden, die bei weiblichen und männlichen Gehirnen funktionell unterschiedlich organisiert seien. Dazu ist kritisch anzumerken, dass pro Expositionsbedingung jeweils nur 10 Frauen bzw. 9-10 Männer untersucht wurden, die aufgrund fehlender Unterschiede in den Scheinbedingungen für die weiteren Analysen gemeinsam berücksichtigt wurden (zweifache Varianzanalyse zur Berechnung des Geschlecht x EMF-Interaktionseffekts). Des Weiteren fehlen eindeutige Angaben zur Verblindung, es ist aber von einer Einfach-Verblindung auszugehen („The order (...) was random and the subjects were unaware of the experimental condition.“ p. 189; Hountala et al., 2008). Es wurden keine Ergebnisse zum Wechsler Gedächtnistest präsentiert. In einer früheren Publikation derselben Arbeitsgruppe (Papageorgiou et al., 2004) wurden Resultate zum Wechsler Gedächtnistest aus dem ersten Experiment (GSM 900 MHz, 10 Frauen, 9 Männer; mittleres Alter:  $23,3 \pm 2,2$  Jahre) berichtet. Es zeigten sich keine Unterschiede in der Gedächtnisleistung zwischen der GSM- und der Scheinexpositionsbedingung (Vergleiche getrennt für Frauen und Männer) und innerhalb einer Bedingung zwischen Frauen und Männern. Des Weiteren war die EEG-Power der Baseline-Messung bei Männern höher als bei Frauen und nahm während der Exposition bei Männern ab, bei Frauen hingegen zu.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in der Mehrzahl der Studien Effekte pulsmodulierter HF-EMF auf die Gehirntätigkeit im wachen Ruhezustand bei Erwachsenen gefunden wurden, wobei die am häufigsten gefundene Veränderung im Alphafrequenzbereich registriert wurde (Croft et al., 2002; Croft et al., 2008; Croft et al., 2010; Curcio et al., 2005; Hinrikus et al., 2008b; Huber et al., 2002; Regel et al., 2007a; Reiser et al., 1995; Suhhova et al., 2013; Vecchio et al., 2010; Vecchio et al., 2007; Vecchio et al., 2012a; Vecchio et al., 2012b; von Klitzing, 1995).

Die wenigen Studien, in welchen Jugendliche (Loughran et al., 2013) und auch ältere Erwachsene (Croft et al., 2010; Vecchio et al., 2010) untersucht wurden, zeigten eine größere Sensibilität gegenüber HF-EMF auf die spektrale Leistung im wachen Ruhe-EEG im jungem Erwachsenenalter bzw. bei älteren Erwachsenen, nicht jedoch bei Jugendlichen. Inwiefern das Geschlecht für die Ergebnisse im Wach-EEG unter Exposition mit elektromagnetischen Feldern eine Rolle spielt, kann aufgrund der unzureichenden Datenlage zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht zuverlässig beurteilt werden. Eine belastbare Aussage zur altersbedingten Variabilität in möglichen HF-EMF Effekten ist aufgrund der Datenlage derzeit ebenfalls nicht möglich.

## 2.2 MOBILFUNKSTUDIEN ZU EVOZIERTEN POTENZIALEN

Von 1998 bis 2007 sind 23 Publikationen aus insgesamt 26 Studien zu potenziellen Auswirkungen von EMF des Mobilfunks auf verschiedene Arten von evozierten Potenzialen sowie die ereignisbezogene Desynchronisation und Synchronisation des EEG (ERD/ERS) erschienen (vgl. Literaturübersicht bei Danker-Hopfe und Dorn, 2007). In 16 Studien wurden Veränderungen der Amplitude, der Latenz oder weiterer Parameter zur Beschreibung evozierter Potenziale beobachtet, die aber aufgrund der unterschiedlichen Versuchsdesigns und Paradigmen keine eindeutige Richtung erkennen lassen. In den 21 Studien aus dem Zeitraum 2007 bis 2014 nahm die Anzahl der Publikationen, die Effekte berichteten, ab: In knapp der Hälfte (9) der Studien wurde zumindest teilweise ein EMF-Effekt gefunden, in 12 zeigten sich keine Veränderungen (vgl. Tab. 2). In vier Publikationen führte eine Exposition mit HF-EMF zu einer Reduktion der Amplituden der untersuchten Potenziale (Bak et al., 2010; Colletti et al., 2011; de Tommaso et al., 2009; Mandala et al., 2014), in einem Fall zu höheren Amplituden (Leung et al., 2011). Verlängerte Latenzen wurden in drei Publikationen (Colletti et al., 2011; Khullar et al., 2013; Mandala et al., 2014) beschrieben, wobei zwei der drei Veröffentlichungen aus ein und derselben Arbeitsgruppe stammen (Colletti et al., 2011; Mandala et al., 2014). In den Studien von Colletti et al. (2011) und Mandala et al. (2014) wurden jeweils 12 Patientinnen und Patienten mit Morbus Meniere auf zwei Parallelgruppen aufgeteilt und während einer Operation entweder mit einem Mobiltelefon (GSM 900 MHz) exponiert oder scheinexponiert. Die Latenzen der dabei abgeleiteten Cochlea-Potenziale waren in der Verum-Gruppe länger und die Amplituden geringer als in der Scheinexpositionsgruppe. Neben dem Design und der geringen Anzahl an untersuchten Patientinnen und Patienten ist kritisch anzumerken, dass es sich um einfach-blinde Experimente handelte. Tombini et al. (2013) untersuchten 10 Epilepsie- Patientinnen und Patienten unter drei verschiedenen Expositionsbedingungen im doppelblinden cross-over Design und fanden eine erhöhte kortikale Exzitabilität in der mit einem GSM-Mobiltelefon exponierten Kopfseite (kontrolateral zum Epilepsieherd), gemessen anhand motorisch evozierter Potenziale.

Leung et al. (2011) untersuchten, neben kognitiven Funktionen (siehe auch Croft et al., 2010), die Effekte von GSM- und UMTS-Exposition mit Mobiltelefonen auf verschiedene ereigniskorrelierte Potenziale und die ERD/ERS bei 41 Jugendlichen (13-15 Jahre), 42 junge Erwachsene (19-40 Jahre) und 20 älteren Erwachsenen (55-70 Jahre) in einem doppelblinden cross-over Design. Im Vergleich zur Scheinexpositionsbedingung waren die Amplituden der N100 unter GSM größer und sowohl unter der GSM- als auch unter UMTS-Befeldung waren die ERD/ERS-Antworten verzögert, es zeigte sich aber keine Abhängigkeit vom Alter. In keiner weiteren Studie wurde ein möglicher Einfluss des Alters auf die evozierten Potenziale bzw. Interaktionseffekte mit HF-EMF untersucht. In zwei unabhängigen Studien, ohne direkten Vergleich, untersuchte eine Arbeitsgruppe Kinder im Alter von 11-12 Jahren (Kwon et al., 2010a) und junge Erwachsene (Kwon et al., 2009) mit einem durchschnittlichen Alter von 23,1 +/- 4,5 Jahren (Mittelwert und Standardabweichung). Sie verwendeten dabei dasselbe einfachblinde Studiendesign, um mögliche Auswirkungen eines kommerziellen GSM-Mobiltelefons auf die Latenz und Amplitude der Mismatch Negativity, ein Potenzial, das durch abweichenden Ton in einer Folge gleicher Töne ausgelöst wird, zu analysieren. In beiden Altersgruppen blieben die untersuchten Parameter unverändert.

Potenzielle Einflüsse des Geschlechts auf evozierte Potenziale wurden in zwei Studien untersucht (Carrubba et al., 2010; Maganioti et al., 2010). In einer einfach-blinden Studie an 13 Frauen und sieben Männern im Alter zwischen 18 und 62 Jahren führte eine mobilfunktypische Pulsfrequenz von 217 Hz bei 90% der Untersuchten zur Auslösung evozierter Potenziale (Carrubba et al., 2010). Das Geschlecht wirkte sich dabei nicht auf die Latenzen und die Dauer der evozierten Potenziale aus.

Maganioti et al. (2010) publizierten Ergebnisse zur P600, die während der Durchführung eines Untertests aus dem Wechsler Gedächtnistest (Zahlenspanne) abgeleitet wurden, unter zwei verschiedenen Expositionstypen (900 MHz und 1800 MHz). Zu dieser Studie wurden auch Daten zum Wach-EEG in einer anderen Publikation präsentiert (siehe auch Hountala et al., 2008). Wie auch beim Wach-EEG wurde ein Geschlecht x HF-EMF Interaktionseffekt festgestellt, der sich darin äußerte, dass ohne Exposition Frauen im Vergleich zu Männern eine verringerte Amplitude an anterioren Elektroden und kürzere Latenzen an zentralen Elektroden aufwiesen. Dieser Unterschied wurde durch beide Expositionsbedingungen aufgehoben. Die Schwächen dieser Studie liegen, wie

bereits zuvor beim Wach-EEG beschrieben, in der geringen Anzahl, der Einfachverblindung und der fragwürdigen statistischen Auswertung.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass, wenn auch in geringerem Maße als beim Wach-EEG, Effekte einer Exposition auf unterschiedliche Formen evozierter Potenziale gefunden wurden, und dass diese in der Regel zu einer Verringerung der Amplitude führten. Bis dato wurde nur in einer Studie der Einfluss des Alters und in zwei Studien der des Geschlechts untersucht. Da andere Studien gezeigt haben, dass sowohl das Alter als auch das Geschlecht die Ergebnisse von evozierten Potenzialen beeinflussen können (vgl. Diskussion bei Bak et al., 2010) sollten entsprechende Studien durchgeführt werden.

### **2.3 MOBILFUNKSTUDIEN ZU KOGNITIVEN FUNKTIONEN**

Die größte Anzahl an Publikationen zu potenziellen Auswirkungen elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf den Menschen in experimentellen Studien ist im Bereich kognitiver Funktionen zu verzeichnen. Allein zwischen 1996 und 2013 wurden 57 Beiträge aus Studien in wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert. Entsprechend groß sind die Vielfalt der Studiendesigns und die Art der untersuchten kognitiven Funktionen und Tests (vgl. auch die Literaturübersicht bei Danker-Hopfe und Dorn, 2007). Während im Zeitraum von 1996 bis 2007 in 16 von 37 Studien Effekte gefunden wurden, die überwiegend (n=9) eine Verbesserung der kognitiven Leistung in Form einer schnelleren Reaktionsfähigkeit bedeuteten, war im Zeitraum 2007 bis 2013 das Verhältnis der Anzahl von Studien, in welchen Verbesserungen auf die kognitiven Leistungsparameter (n=5) gefunden wurden, zu jenen mit Verschlechterungen in der Leistung (n=5) gleich groß (vgl. Tab. 3). In 10 Studien zeigten sich gar keine Veränderungen. Im Allgemeinen muss berücksichtigt werden, dass gefundene Veränderungen nur sehr marginal waren, teilweise nur einzelne Testabschnitte (Luria et al., 2009; Schmid et al., 2012a), oder nur einen Test oder einzelne Testparameter von mehreren untersuchten betrafen (Cinel et al., 2008; Luria et al., 2009; Regel et al., 2007b; Schmid et al., 2012a,b; Vecchio et al., 2012a), oder nur in spezifischen Probandengruppen auftraten (Wiholm et al., 2009). In einer Studie, in der nach einer intermittierenden Exposition mit elektromagnetischen Feldern eines gepulsten 900 MHz-Signals während des Nachtschlafs die abendliche Testleistung mit den Ergebnissen am Morgen verglichen wurde, war die Verbesserung im Vergleich zu einer Scheinbedingung geringer ausgeprägt. Es wurde allerdings nur die Varianz der Reaktionen berücksichtigt, andere Testparameter wie mittlere Reaktionszeit oder Maße zur Bearbeitungsgüte, wie z.B. die Anzahl richtiger Reaktionen, wurden nicht untersucht (Lustenberger et al., 2013). Die große Heterogenität der verschiedenen Studiendesigns wurde auch in diversen Übersichtsarbeiten aufgezeigt und entsprechende Empfehlungen zu einer Vereinheitlichung bei der Durchführung von Expositionsstudien zu kognitiven Funktionen wurden vorgeschlagen (Regel und Achermann, 2011). Im Allgemeinen sprechen die Übersichtsarbeiten und Metaanalysen der letzten Jahre (Barth et al., 2011; Kwon und Hamalainen, 2011; Regel und Achermann, 2011; Valentini et al., 2011; van Rongen et al., 2009) gegen einen (bedeutsamen) Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf kognitive Funktionen gesunder Erwachsener (siehe auch SCENIHR, 2014).

Studien zum Alterseinfluss sind nur in begrenzter Zahl vorhanden. Riddervold et al. (2008) untersuchten 40 Jugendliche im Alter zwischen 15 und 16 Jahren und verglichen sie mit 40 Erwachsenen im Alter von 35 bis 40 Jahren. Es zeigte sich weder ein HF-EMF Effekt einer 45 Minuten dauernden Exposition mit einem UMTS-Basisstationssignal auf die Vigilanzleistung, die Aufmerksamkeit und das Gedächtnis in verschiedenen Tests noch ein signifikanter Effekt des Alters. In einer Studie, in welcher drei Altersgruppen untersucht wurden, zeigte nur die jüngste Gruppe während einer UMTS-Exposition eine schlechtere Leistung im n-Back Test (Alter: 13-15 Jahre; Leung et al., 2011). Leung et al. (2011) spekulierten, dass Jugendliche über schlechtere Kompensationsmöglichkeiten als Erwachsene verfügen könnten. Auf der anderen Seite hatte eine GSM-Exposition keinen Alterseffekt ergeben und auch in der Oddball-Aufgabe waren keine Alterseinflüsse erkennbar (vgl. Kap. Evozierte Potenziale). In einer einfachblinden Studie an 160 Erwachsenen im Altersbereich zwischen 18 und 31 Jahren wurde neben der täglichen Nutzungsdauer eines GSM-Mobiltelefons das Alter in der Analyse berücksichtigt (Mortazavi et al., 2012). Eine Befeldung mit GSM führte zu signifikant schnelleren Reaktionszeiten nach Ende der Exposition im Vergleich zur Scheinexposition, die jedoch unabhängig vom Alter waren. In der Studie von Mortazavi et al. (2012) wurde allerdings ein Geschlechtseffekt beobachtet: die Frauen reagierten im Vergleich zu den Männern signifikant langsamer, wenn das Mobiltelefon im Gesprächs- und Stand-by Modus war. Die Bewertung dieses Ergebnisses ist nicht möglich, da neben dem mangelhaften Studiendesign (einfachblind) Angaben zu den Baseline- oder Differenzwerten fehlen.

Der Geschlechtsaspekt wurde auch in einer weiteren einfachblinden Studie mit Parallelgruppendesign mit einer 15 Minuten dauernden Exposition (1800 MHz – Signal) konstatiert (Smythe und Costall, 2003). Männer hatten eine geringere Fehleranzahl in einer räumlichen Kurzzeitgedächtnisaufgabe in der Abfragesituation eine Woche nach

der Exposition als Frauen. Smythe und Costall (2003) interpretierten ihre Ergebnisse als geschlechtsabhängige EMF-Effekte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die geringe Anzahl der Studien bzw. die teilweise mangelhafte Qualität der Studiendesigns die Beantwortung der Frage nach möglichen Interaktionen von Alter und Geschlecht mit einer HF-EMF-Exposition und den Zielvariablen kognitiver Funktionen zum derzeitigen Zeitpunkt nicht zulässt. Entsprechende Studien zur Klärung dieser Aspekte sollten durchgeführt werden, da gerade im Bereich der Kognition das Alter und unter Umständen auch das Geschlecht bei der Ausführung bestimmter Aufgaben eine Rolle spielen und dementsprechende Wechselwirkungen mit HF-EMF denkbar sind.

## **2.4 MOBILFUNKSTUDIEN ZUR MAKROSTRUKTUR DES SCHLAFS**

Aus dem Zeitraum 1996 bis 2013 liegen 25 Publikationen zum Einfluss von HF-EMF auf die Makrostruktur des Schlafs vor (siehe Tab. 4 und Danker-Hopfe und Dorn, 2007). In 16 der 25 Publikationen wurden keine Veränderungen der Makrostruktur unter Einfluss von HF-EMF berichtet. In den Studien, in welchen signifikante Effekte gefunden wurden, führten diese in vier Fällen zu einer geringfügig schlechteren objektiven Schlafqualität unter Verum- im Vergleich zur Scheinexposition (Arnetz et al., 2007; Hung et al., 2007; Lowden et al., 2011; Lustenberger et al., 2013), in zwei Studien zu einer Verbesserung (Borbely et al., 1999; Mann und Röschke, 1996) und in drei Studien zu Veränderungen der Makrostruktur, die keine eindeutige Beurteilung des Effekts hinsichtlich der Schlafqualität zulassen (Danker-Hopfe et al., 2011; Loughran et al., 2005; Schmid et al., 2012b). Im Falle einer Studie wurden die Probanden in einem cross-over Design mit zwei unterschiedlichen Mobilfunksignaltypen exponiert (GSM und UMTS), aber nur im Falle der GSM-Exposition zeigte sich eine überzufällige Anzahl signifikanter Effekte auf die Schlafarchitektur, die sowohl für eine Beeinträchtigung als auch für eine Verbesserung der objektiven Schlafqualität sprachen (Danker-Hopfe et al., 2011). Generell scheint es, dass eine UMTS-Exposition einen schwächeren Einfluss auf das Wach- bzw. Schlaf-EEG des Menschen hat als eine GSM-Exposition (Croft et al., 2010; Danker-Hopfe et al., 2011; Nakatani-Enomoto et al., 2013), und dass sich Effekte eher in Studien zeigen, in welchen über einen länger dauernden Zeitraum exponiert wurde.

In keiner der Studien wurde ein möglicher Effekt des Alters oder des Geschlechts auf die Schlafmakrostruktur und/oder mögliche Interaktionen mit der HF-EMF Exposition berücksichtigt. Dies liegt v.a. darin begründet, dass in der überwiegenden Mehrzahl der Studien ausschließlich Männer im jungen Erwachsenenalter teilnahmen. Nakatani-Enomoto et al. (2013) exponierten sieben Frauen und 12 Männer im Alter zwischen 22 und 39 Jahren drei Stunden lang mit einem UMTS-Signal und fanden im nachfolgenden Schlaf weder Auswirkungen auf die Makro- noch auf die Mikrostruktur. Sie thematisierten allerdings mögliche Effekte bei älteren Erwachsenen und hypothesierten, dass der Schlaf in einer älteren Gruppe im Gegensatz zu ihrer untersuchten Altersgruppe durch Expositionseffekte beeinflusst werden könnte. Unterschiedliche Effekte in Abhängigkeit vom Alter sind naheliegend, denn es ist bekannt, dass sich sowohl die Schlafarchitektur als auch die Mikrostruktur des Schlafs mit dem Alter verändert (Danker-Hopfe et al., 2005; Dijk et al., 1989b; Ohayon et al., 2004).

In zehn (Arnetz et al., 2007; Danker-Hopfe et al., 2010; Hinrichs und Heinze, 1998; Hinrichs et al., 2005; Jech et al., 2001; Leitgeb et al., 2008; Loughran et al., 2012; Loughran et al., 2005; Lowden et al., 2011; Nakatani-Enomoto et al., 2013) der 25 Publikationen wurden Frauen und Männer untersucht. In keiner einzigen der genannten Publikationen wurden Daten zu einem potenziellen Einfluss des Geschlechts auf die Makrostruktur des Schlafs präsentiert. Auch hier dürfte der limitierende Faktor in der geringen Anzahl der untersuchter Frauen und Männer liegen. In zwei Studien einer Arbeitsgruppe wurden Geschlechtseffekte ausschließlich in Bezug auf die Mikrostruktur publiziert (siehe nächstes Kapitel Loughran et al., 2012; Loughran et al., 2005). Es fehlen daher eindeutig Studien, die sich mit möglichen alters- und geschlechtsspezifischen Effekten in Mobilfunk-Expositionsstudien befassen.

## **2.5 MOBILFUNKSTUDIEN ZUR MIKROSTRUKTUR DES SCHLAFS**

In 10 der 19 Studien, die seit 1996 zu potenziellen Effekten von Mobilfunkexposition auf die Mikrostruktur des Schlafs publiziert wurden, wurde eine Zunahme der Powerspektralwerte im Alpha- und/oder Spindelfrequenzbereich gefunden (Borbely et al., 1999; Huber et al., 2000; Huber et al., 2002; Lebedeva et al., 2001; Loughran et al., 2012; Loughran et al., 2005; Lowden et al., 2011; Regel et al., 2007b; Schmid et al., 2012a; Schmid et al., 2012b; siehe auch Tab. 5 und Danker-Hopfe et al., 2007). In vier Studien nahm die Power (auch) in anderen Frequenzbereichen unter Verum-Exposition zu (Hung et al., 2007; Lowden et al., 2011; Lustenberger et al., 2013; Schmid et al., 2012b). Lediglich in einer Studie wurde eine Abnahme der Amplitude im REM-Schlaf beobachtet (Mann und Röschke, 1996), und in sechs Studien blieb die Power im EEG unter HF-EMF unverändert

(Fritzer et al., 2007; Hinrichs und Heinze, 1998; Hinrichs et al., 2005; Nakatani-Enomoto et al., 2013; Wagner et al., 2000; Wagner et al., 1998).

Lediglich eine Arbeitsgruppe analysierte den Zusammenhang zwischen den signifikanten Expositionseffekten im Spindelbereich und dem Alter und/oder Geschlecht der Probandinnen und Probanden (Loughran et al., 2012; Loughran et al., 2005). Entsprechend handelt es sich bei diesen beiden Studien um die einzigen experimentellen Laborstudien zum Nachtschlaf, an welchen neben jungen Erwachsenen auch Männer und Frauen über 50 Jahre teilnahmen (Loughran et al., 2012; Loughran et al., 2005). In der ersten Studie fanden Loughran et al. (2005), die eine Zunahme der EEG-Power im Spindelfrequenzbereich bei 27 Männern und 23 Frauen nach einer 30 Minuten dauernden Exposition vor dem Zubettgehen beschrieben, weder einen Alters- noch einen Geschlechtseffekt auf die EEG-Power. Allerdings berichteten sie über eine größere Varianz der Powerspektralwerte bei den Frauen, für deren Ursache sie unterschiedliche Phasen des Menstruationszyklus annahmen. Dafür spricht z.B. auch eine Studie an jungen Frauen, in der gezeigt wurde, dass die Frequenz der Schlafspindeln in Abhängigkeit vom Menstruationszyklus variiert (Driver et al., 1996). In ihrer zweiten Studie fanden Loughran et al. (2012) erneut keinen Alterseffekt auf die unter Exposition veränderten Powerwerte im Spindelfrequenzbereich, aber einen Einfluss des Geschlechts. Bei Frauen zeigten sich stärkere Unterschiede in der Power zwischen der Verum- und Scheinexposition als bei Männern. Hier ist zu berücksichtigen, dass lediglich 13 Frauen und sieben Männer im Alter von 20 bis 51 Jahren, die auch an der Studie von Loughran et al. (2005) teilnahmen, untersucht wurden.

Inwiefern das Alter und/oder das Geschlecht mit potenziellen Expositionseffekten und diversen Schlafparametern interagiert, kann aufgrund der unzureichenden Datenlage noch nicht beantwortet werden. Neben Studien, in welchen die Phasen des Menstruationszyklus kontrolliert werden sollten, müssten auch Studien mit älteren Erwachsenen entworfen bzw. repliziert werden.

### **3 ZUSAMMENFASSUNG DER FORSCHUNGSERGEBNISSE ZUM DIGITALFUNK TETRA**

In der Literaturübersicht zu TETRA wurden sämtliche Studien, die bis 2010 zu möglichen Auswirkungen von TETRA-Signalen auf Mensch, Tier und Zelle zusammengefasst (Sauter et al., 2010). In dem folgenden kurzen Überblick werden Ergebnisse aus experimentellen Studien zu potenziellen Auswirkungen auf den Menschen und Studien zu Symptomen berücksichtigt. Der Publikationszeitraum wurde um die letzten drei Jahre erweitert. Ein Großteil der Studien wurde (noch) nicht in peer-review Zeitschriften veröffentlicht, aber aufgrund der ohnehin geringen Anzahl an Studien zu TETRA wurden diese dennoch berücksichtigt.

#### **3.1 TETRA-STUDIEN ZUM SPONTANEN WACH-EEG**

Die einzige Studie zum Wach-EEG wurde in einem Abschlussbericht veröffentlicht und zeigte keine Veränderungen unter TETRA-Einfluss (Butler, 2005). In der Studie wurden neben den evozierten Potenzialen auch das Spontan-EEG bei 12 Versuchspersonen untersucht. Es liegen keine Angaben zum Geschlecht vor. Das Alter für die Gesamtgruppe von 18 Probanden lag zwischen 18 und 39 Jahren. Es wurden in dem genannten Bericht keine Analysen zu Alters- und Geschlechtseinflüssen präsentiert.

#### **3.2 TETRA-STUDIEN ZU EVOZIERTEN POTENZIALEN**

Studien zu evozierten Potentialen und Wach-EEG, die bislang nur in Abschluss- oder Kongressberichten veröffentlicht wurden, zeigten keine Hinweise auf einen Einfluss von TETRA-Funk auf die untersuchten Parameter (Butler, 2005; Freude et al., 2006; Ullsperger et al., 2003). Zu den Probanden der Studie von Butler (2005) liegen keine Geschlechtsangaben vor, das Alter lag zwischen 18 und 39 Jahren. In den Studien der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) wurden einmal 10 junge Männer (Ullsperger et al., 2003) und in einer anderen Studie sechs Männer und vier Frauen im Alter von 18 bis 28 Jahren (Freude et al., 2006) untersucht. In keiner der Studien wurden Alters- und Geschlechtseinflüsse berücksichtigt.

#### **3.3 TETRA-STUDIEN ZU KOGNITIVEN FUNKTIONEN**

Bis März 2014 wurde lediglich eine Studie zum Einfluss elektromagnetischer Felder von TETRA-Endgeräten auf kognitive Funktionen in einer wissenschaftlichen peer-review Zeitschrift veröffentlicht (Riddervold et al., 2010). Darin zeigten sich keine Effekte auf die Reaktionsfähigkeit, die Aufmerksamkeit, sowie auf das Kurzzeit- und das visuell räumliche Arbeitsgedächtnis von 53 männlichen Erwachsenen mit einem durchschnittlichen Alter von 36,4 +/- 8,4 Jahren.

In einer weiteren umfangreichen Studie, die nur in einem Abschlussbericht publiziert wurde, zeigte sich - bei insgesamt 22 verschiedenen Tests – lediglich in einem Test zum semantischen Kurzzeitgedächtnis ein signifikanter TETRA-Einfluss in Form einer höheren Fehlerrate unter rechtsseitiger Exposition verglichen zur Scheinexposition auf derselben Seite bei 40 Männern im Alter von 21 bis 45 Jahren (Smith et al., 2005). Aufgrund fehlender Effekte in anderen Tests, die ebenfalls das Kurzzeitgedächtnis überprüften, muss am ehesten von einem Zufallsergebnis ausgegangen werden.

In einer neueren Veröffentlichung der BAuA wurden Ergebnisse einer Studie vorgestellt, in welcher unterschiedliche kognitive Funktionen bei 24 Männern im Alter von 20 bis 30 Jahren unter dem Einfluss von TETRA 25 im Vergleich zu einer Scheinexposition untersucht wurden (Neuschulz, 2012). Es zeigte sich kein Expositionseinfluss auf die Testleistung. Auch die Testleistung (Winkelabweichung in einer Visuellen Beobachtungsaufgabe) der 10 jungen männlichen Probanden aus der BAuA-Studie von Ullsperger et al. (2003), die bereits in Kap. 3.2 erwähnt wurde, wurde durch eine TETRA-Exposition nicht beeinträchtigt, ebenso wenig wie die Leistungsparameter Fehlerhäufigkeit und Genauigkeit in der Studie von Freude et al. (2006) an sechs Männern und vier Frauen im Alter von 18 bis 28 Jahren keinen Expositionseffekt zeigten.

Eine Studie zu elektromagnetischen Feldern von TETRA-Basisstationen brachte keine Hinweise auf eine Beeinflussung kognitiver Funktionen von 51 „elektrosensiblen“ Personen (31 Frauen, 20 Männer) sowie von 132 alters- und geschlechtsgematchten Kontrollpersonen (67 Frauen, 65 Männer; Wallace et al., 2012). An dieser Studie nahmen in beiden Gruppen sowohl Frauen als auch Männer mit einer Altersbandbreite von 18 bis 80 Jahren teil. Es wurde auf ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis und vergleichbare Altersgruppen geachtet, mögliche Wechselwirkungen von Alter und Geschlecht mit der kognitiven Leistung unter Verum- oder Scheinexposition wurden jedoch nicht analysiert.

### **3.4 TETRA-STUDIEN ZUM SCHLAF**

Bis dato wurde noch keine Studie zum Einfluss eines TETRA-Signals auf den Schlaf publiziert. Die Ergebnisse eines Projekts zum Einfluss von TETRA-Signalen auf die Gehirnaktivität im Wachzustand, bei der Durchführung kognitiver Aufgaben und im Schlaf von jungen gesunden Probanden zwischen 20 und 30 Jahren, werden in Kürze als Abschlussbericht auf der Seite des Bundesamts für Strahlenschutz abrufbar sein. Die Datenlage zu potenziellen Einflüssen des Digitalfunks TETRA auf den Schlaf und mögliche Wechselwirkungen mit dem Geschlecht oder Alter ist derzeit absolut unzureichend.

### **3.5 TETRA-STUDIEN ZU SYMPTOMEN UND ELEKTROSENSIBILITÄT**

Physiologische Parameter bei Personen mit und ohne Elektrosensibilität wurden durch die Exposition mit einem TETRA-Basisstationensignal im doppelblinden Versuch nicht verändert (Wallace et al., 2010). Mögliche Einflüsse bzw. Interaktionen des Alters- und/oder Geschlechts auf die untersuchten Parameter wurden nicht untersucht. Es handelte sich um dieselbe Probandengruppe, die bereits im Kap. 3.3 zu kognitiven Funktionen in der zweiten Publikation von Wallace et al. (2012) beschrieben wurde.

In einer Studie zur Exposition mit elektromagnetischen Feldern von TETRA-Endgeräten kam es bei Exposition mit einem unmodulierten Signal in der Gruppe von 60 „elektrosensitiven“ Erwachsenen (53 Männer, 7 Frauen; Alter: 35,6 +/-7,4 Jahre) zu einer Abnahme von Juckreiz bei insgesamt 8 untersuchten körperlichen Symptomen (Nieto-Hernandez et al., 2011). In der alters- und geschlechtsgematchten Kontrollgruppe, bestehend aus 50 Männern und 10 Frauen ohne Beschwerden (Alter: 38,2 +/- 8,0 Jahre), zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Bedingung. Alters- und Geschlechtseinflüsse wurden nicht gesondert analysiert.

TETRA-Handgerätesignale hatten keinen Einfluss auf das Herzkreislaufsystem von 120 gesunden Erwachsenen im Alter von 18 bis 65 Jahren (77 Frauen, 43 Männer) (Barker et al., 2007). Auch in dieser Studie wurden potenzielle Auswirkungen und Interaktionen mit dem Alter- und/oder Geschlecht nicht berücksichtigt.

## **4 SCHLUSSFOLGERUNGEN**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Studien zu potenziellen Einflüssen sowohl des Mobilfunks als auch des Digitalfunks TETRA in Bezug auf mögliche Interaktionen mit dem Geschlecht oder Alter fehlen.

In der Mehrzahl der Mobilfunk-Studien zum spontanen Wach-EEG wurden Veränderungen im Alphafrequenzbereich registriert. Für TETRA liegt lediglich ein Abschlussbericht einer Studie vor, in welcher auch das Wach-EEG analysiert wurde, wobei aber das Geschlecht der untersuchten 18 Personen nicht angegeben wurde. Es zeigten sich keine Expositionseffekte. Inwiefern das Alter und das Geschlecht für die Ergebnisse im

Wach-EEG unter Exposition mit elektromagnetischen Feldern generell eine Rolle spielt, kann aufgrund der unzureichenden Datenlage zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht zuverlässig beurteilt werden.

Wenn auch in geringerem Maße als beim Wach-EEG, so wurden Effekte einer Exposition mit mobilfunktypischen Signalen auf diverse evozierte Potenziale gefunden, die sich meistens in einer Verringerung der Amplitude niederschlugen. Es liegt nur jeweils eine Studie zum Einfluss von Alter bzw. Geschlecht vor. Da andere Studien gezeigt haben, dass sowohl das Alter als auch das Geschlecht die Ergebnisse von evozierten Potenzialen beeinflussen können (vgl. Diskussion bei Bak et al., 2010), sollten entsprechende Studien durchgeführt werden.

Die größte Anzahl an Studien zu möglichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf den Menschen liegt in Bezug auf den Mobilfunk und kognitive Funktionen vor. Die Studienergebnisse sprechen sowohl für als auch gegen einen Effekt, wobei der Einfluss des Alters und des Geschlechts auf die untersuchten Leistungsbereiche in den wenigsten Studien berücksichtigt wurde. Im Gegensatz zu der Fülle an Mobilfunkstudien wurde in der Forschung zu Effekten von TETRA auf kognitive Funktionen bisher nur eine einzige Studie in einer wissenschaftlichen peer-review Zeitschrift publiziert (Riddervold et al., 2010). In dieser Studie wurden ausschließlich Männer im mittleren Erwachsenenalter untersucht. Studien zu kognitiven Funktionen unter TETRA-Exposition an Frauen und älteren Probandinnen und Probanden fehlen komplett.

Da in den Mobilfunk-Expositionsstudien wiederholt relativ konstante Effekte auf das Schlaf-EEG gefunden wurden, sollte in zukünftigen Studien überprüft werden, ob und wie sich diese Effekte auf ältere Erwachsene beiderlei Geschlechts auswirken. Aus der Schlafforschung ist bekannt, dass sich sowohl die Makro- als auch die Mikrostruktur im Verlauf des Lebens ändern und Unterschiede zwischen Männern und Frauen bestehen (Danker-Hopfe et al., 2005; Dijk et al., 1989a; Latta et al., 2005; Rediehs et al., 1990). Dijk et al. (1989a), die bei Frauen höhere Powerspektralwerte in einem Frequenzbereich von 0,25 bis 11,0 Hz als bei Männern fanden, führten diese Ergebnisse nicht auf eine möglicherweise verschiedene Schlafregulation zwischen den Geschlechtern zurück, sondern vermuteten Unterschiede in der Schädelcharakteristik als ursächlich für ihre Beobachtungen. Gerade in Bezug auf das Schlaf-EEG wurden in Mobilfunkstudien konstant Effekte in jenem Frequenzbereich gefunden, der sich auch bei Dijk et al. (1989a) zwischen Männern und Frauen unterschied (unterer Spindelfrequenzbereich, Alpha, Theta und Delta). Da die Ergebnisse der meisten Studien auf jungen Männern beruhen, sollten in zukünftigen Studien nicht nur ältere Erwachsene berücksichtigt werden, sondern auch Frauen unterschiedlichen Alters, um mögliche essenzielle Interaktionen zwischen Geschlecht, Alter und Exposition aufzudecken. Diese Forderung trifft auch ganz besonders auf TETRA-Expositionsstudien zu, da bisher lediglich eine Studie zum Einfluss von TETRA auf die Gehirnaktivität während des Schlafs von jungen männlichen Probanden durchgeführt wurde, die erst in den nächsten Monaten publiziert werden wird. Des Weiteren sollte bei Experimenten mit Frauen im gebärfähigen Alter die Phasen des Menstruationszyklus kontrolliert werden, was bisher nur in einer einzigen Studie erfolgt ist (Tombini et al., 2013) und was als möglicher wichtiger Einflussfaktor auf das EEG diskutiert wurde (Driver et al., 1996; Loughran et al., 2005).

## 5 LITERATURVERZEICHNIS

- Arnetz B, Akerstedt T, Hillert L, Lowden A, Kuster N, Wiholm C (2007). The Effects of 884 MHz GSM Wireless Communication Signals on Self-reported Symptoms and Sleep - An Experimental Provocation Study. In: PIERS Online, pp 1148-1150.
- Bak M, Dudarewicz A, Zmyslony M, Sliwinska-Kowalska M (2010). Effects of GSM signals during exposure to event related potentials (ERPs). *Int J Occup Med Environ Health* 23:191-199.
- Barker AT, Jackson PR, Parry H, Coulton LA, Cook GG, Wood SM (2007). The effect of GSM and TETRA mobile handset signals on blood pressure, catechol levels and heart rate variability. *Bioelectromagnetics* 28:433-438.
- Barth A, Ponocny I, Gnambs T, Winker R (2011). No effects of short-term exposure to mobile phone electromagnetic fields on human cognitive performance: A meta-analysis. *Bioelectromagnetics*.
- Borbely AA, Huber R, Graf T, Fuchs B, Gallmann E, Achermann P (1999). Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neurosci Lett* 275:207-210.
- Butler S (2005). Detection of Effects of Microwave Radiation on the Electrical Activity of the Brain. Project RUM 21. July 2005. Bristol, UK. URL: [http://www.mthr.org.uk/research\\_projects/home\\_office\\_funded\\_projects/documents/RUM21FinalReport.pdf](http://www.mthr.org.uk/research_projects/home_office_funded_projects/documents/RUM21FinalReport.pdf) [Stand: 26.3.2014].

- Carrubba S, Frilot C, 2nd, Chesson AL, Jr., Marino AA (2010). Mobile-phone pulse triggers evoked potentials. *Neurosci Lett* 469:164-168.
- Cinel C, Boldini A, Fox E, Russo R (2008). Does the use of mobile phones affect human short-term memory or attention? *Applied Cognitive Psychology* 22:1113-1125.
- Colletti V, Mandala M, Manganotti P, Ramat S, Sacchetto L, Colletti L (2011). Intraoperative observation of changes in cochlear nerve action potentials during exposure to electromagnetic fields generated by mobile phones. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 82:766-771.
- Croft RJ, Chandler JS, Burgess AP, Barry RJ, Williams JD, Clarke AR (2002). Acute mobile phone operation affects neural function in humans. *Clin Neurophysiol* 113:1623-1632.
- Croft RJ, Hamblin DL, Spong J, Wood AW, McKenzie RJ, Stough C (2008). The effect of mobile phone electromagnetic fields on the alpha rhythm of human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 29:1-10.
- Croft RJ, Leung S, McKenzie RJ, Loughran SP, Iskra S, Hamblin DL, Cooper NR (2010). Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly. *Bioelectromagnetics* 31:434-444.
- Curcio G, Ferrara M, Moroni F, D'Inzeo G, Bertini M, De Gennaro L (2005). Is the brain influenced by a phone call? An EEG study of resting wakefulness. *Neurosci Res* 53:265-270.
- Curcio G, Valentini E, Moroni F, Ferrara M, De Gennaro L, Bertini M (2008). Psychomotor performance is not influenced by brief repeated exposures to mobile phones. *Bioelectromagnetics* 29:237-241.
- Curcio G, Nardo D, Perrucci MG, Pasqualetti P, Chen TL, Del Gratta C, Romani GL, Rossini PM (2012). Effects of mobile phone signals over BOLD response while performing a cognitive task. *Clin Neurophysiol* 123:129-136.
- Danker-Hopfe H, Schäfer M, Dorn H, Anderer P, Saletu B, Gruber G, Zeitlhofer J, Kunz D, Barbanoj M-J, Himanen S, Kemp B, Penzel T, Röschke J, Dorffner G (2005). Percentile reference charts for selected sleep parameters for 20- to 80-Year-Old healthy subjects from the SIESTA database. *Somnologie - Schlafforschung und Schlafmedizin* 9:3-14.
- Danker-Hopfe H, Dorn H (2007). Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen - Abschlussbericht. [http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/biologie/biologie\\_abges/bio\\_080.html](http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/biologie/biologie_abges/bio_080.html). [Stand: 18.2.2013]
- Danker-Hopfe H, Dorn H, Bornkessel C, Sauter C (2010). Do mobile phone base stations affect sleep of residents? Results from an experimental double-blind sham-controlled field study. *Am J Hum Biol* 22:613-618.
- Danker-Hopfe H, Dorn H, Bahr A, Anderer P, Sauter C (2011). Effects of electromagnetic fields emitted by mobile phones (GSM 900 and WCDMA/UMTS) on the macrostructure of sleep. *J Sleep Res* 20:73-81.
- Danker-Hopfe H, Dorn H, Schmid G, Bolz T, Eggert T, Sauter C (2013). Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen. Abschlussbericht. <http://www.bfs.de>
- de Tommaso M, Rossi P, Falsaperla R, Francesco Vde V, Santoro R, Federici A (2009). Mobile phones exposure induces changes of contingent negative variation in humans. *Neurosci Lett* 464:79-83.
- Dijk DJ, Beersma DG, Bloem GM (1989a). Sex differences in the sleep EEG of young adults: visual scoring and spectral analysis. *Sleep* 12:500-507.
- Dijk DJ, Beersma DG, van den Hoofdakker RH (1989b). All night spectral analysis of EEG sleep in young adult and middle-aged male subjects. *Neurobiol Aging* 10:677-682.
- Driver HS, Dijk DJ, Werth E, Biedermann K, Borbely AA (1996). Sleep and the sleep electroencephalogram across the menstrual cycle in young healthy women. *J Clin Endocrinol Metab* 81:728-735.
- Eliyahu I, Luria R, Hareuveny R, Margalot M, Meiran N, Shani G (2006). Effects of radiofrequency radiation emitted by cellular telephones on the cognitive functions of humans. *Bioelectromagnetics* 27:119-126.
- Eltiti S, Wallace D, Ridgewell A, Zougkou K, Russo R, Sepulveda F, Fox E (2009). Short-term exposure to mobile phone base station signals does not affect cognitive functioning or physiological measures in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields and controls. *Bioelectromagnetics* 30:556-563.

- Freude G, Ullsperger P, Erdmann U, Eggert S (2006). TETRA 25. Beeinflusst ein elektromagnetisches Feld die bioelektrische Hirnaktivität des Menschen? Newsletter Vierteljährliche Information der Forschungsgemeinschaft Funk eV 1:57-61.
- Fritzer G, Goder R, Friege L, Wachter J, Hansen V, Hinze-Selch D, Aldenhoff JB (2007). Effects of short- and long-term pulsed radiofrequency electromagnetic fields on night sleep and cognitive functions in healthy subjects. *Bioelectromagnetics* 28:316-325.
- Gehlen W, Spittler JF, Calabrese P (1996). Biologisch-zerebrale Effekte in niederfrequent gepulsten Hochfrequenzfeldern. Newsletter Edition Wissenschaft der Forschungsgemeinschaft Funk eV 12:3-28.
- Hareuveny R, Eliyahu I, Luria R, Meiran N, Margalot M (2011). Cognitive effects of cellular phones: a possible role of non-radiofrequency radiation factors. *Bioelectromagnetics* 32:585-588.
- Hietanen M, Kovala T, Hamalainen AM (2000). Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scand J Work Environ Health* 26:87-92.
- Hinrichs H, Heinze HJ (1998). Neurophysiologisch messbare Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des GSM-1800-Netzes auf das Schlafverhalten gesunder Erwachsener. *Kleinheubacher Berichte* 41:105-110.
- Hinrichs H, Heinze HJ, Rotte M (2005). Human sleep under the influence of a GSM 1800 electromagnetic farfield. *Somnologie* 9:185-191.
- Hinrichs H, Heinze HJ (2006). High frequency GSM-1800 fields with various modulations and field strengths: No short term effect on human awake EEG. Edition Wissenschaft der FGF eV:4-11.
- Hinrikus H, Bachmann M, Lass J, Karai D, Tuulik V (2008a). Effect of low frequency modulated microwave exposure on human EEG: individual sensitivity. *Bioelectromagnetics* 29:527-538.
- Hinrikus H, Bachmann M, Lass J, Tomson R, Tuulik V (2008b). Effect of 7, 14 and 21 Hz modulated 450 MHz microwave radiation on human electroencephalographic rhythms. *Int J Radiat Biol* 84:69-79.
- Hinrikus H, Bachmann M, Lass J (2011). Parametric mechanism of excitation of the electroencephalographic rhythms by modulated microwave radiation. *Int J Radiat Biol* 87:1077-1085.
- Hountala CD, Maganioti AE, Papageorgiou CC, Nanou ED, Kyprianou MA, Tsiafakis VG, Rabavilas AD, Capsalis CN (2008). The spectral power coherence of the EEG under different EMF conditions. *Neurosci Lett* 441:188-192.
- Huber R, Graf T, Cote KA, Wittmann L, Gallmann E, Matter D, Schuderer J, Kuster N, Borbely AA, Achermann P (2000). Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 11:3321-3325.
- Huber R, Treyer V, Borbely AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P (2002). Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res* 11:289-295.
- Hung CS, Anderson C, Horne JA, McEvoy P (2007). Mobile phone 'talk-mode' signal delays EEG-determined sleep onset. *Neurosci Lett* 421:82-86.
- Inomata-Terada S, Okabe S, Arai N, Hanajima R, Terao Y, Frubayashi T, Ugawa Y (2007). Effects of high frequency electromagnetic field (EMF) emitted by mobile phones on the human motor cortex. *Bioelectromagnetics* 28:553-561.
- Jahre K, Matkey K, Meckelburg H-J (1996). Der Einfluß von gepulsten elektromagnetischen Feldern auf das Elektroenzephalogramm von Menschen. Newsletter Edition Wissenschaft der Forschungsgemeinschaft Funk eV 9:3-47.
- Jech R, Sonka K, Ruzicka E, Nebuzelsky A, Bohm J, Juklickova M, Nevsimalova S (2001). Electromagnetic field of mobile phones affects visual event related potential in patients with narcolepsy. *Bioelectromagnetics* 22:519-528.
- Khullar S, Sood A, Sood S (2013). Auditory Brainstem Responses and EMFs Generated by Mobile Phones. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg* 65:645-649.
- Kleinlogel H, Dierks T, Koenig T, Lehmann H, Minder A, Berz R (2008a). Effects of weak mobile phone - electromagnetic fields (GSM, UMTS) on well-being and resting EEG. *Bioelectromagnetics* 29:479-487.

- Kleinlogel H, Dierks T, Koenig T, Lehmann H, Minder A, Berz R (2008b). Effects of weak mobile phone - electromagnetic fields (GSM, UMTS) on event related potentials and cognitive functions. *Bioelectromagnetics* 29:488-497.
- Krafczyk S, Bötzel K, Schulze S, Haberhauer PE, Mai N, Brix J, Scheel O (1998). Messung des Einflusses gepulster Mikrowellen auf die Hirnstromaktivität des Menschen.
- Krafczyk S, Haberhauer PE, Bötzel K, Brix J (2002). Sind EMF - Effekte auf das Ruhe-EEG und evozierte Hirnpotentiale nachweisbar? In: Beeinflussen elektromagnetische Felder von Mobiltelefonen zentralnervöse Informationsverarbeitungsleistungen des Menschen? – Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg) B. S. 147-162.
- Kwon MS, Kujala T, Huotilainen M, Shestakova A, Naatanen R, Hamalainen H (2009). Preattentive auditory information processing under exposure to the 902 MHz GSM mobile phone electromagnetic field: a mismatch negativity (MMN) study. *Bioelectromagnetics* 30:241-248.
- Kwon MS, Huotilainen M, Shestakova A, Kujala T, Naatanen R, Hamalainen H (2010a). No effects of mobile phone use on cortical auditory change-detection in children: an ERP study. *Bioelectromagnetics* 31:191-199.
- Kwon MS, Jaaskelainen SK, Toivo T, Hamalainen H (2010b). No effects of mobile phone electromagnetic field on auditory brainstem response. *Bioelectromagnetics* 31:48-55.
- Kwon MS, Hamalainen H (2011). Effects of mobile phone electromagnetic fields: critical evaluation of behavioral and neurophysiological studies. *Bioelectromagnetics* 32:253-272.
- Latta F, Leproult R, Tasali E, Hofmann E, Van Gauster E (2005). Sex differences in delta and alpha EEG activities in healthy older adults. *Sleep* 28:1525-1534.
- Lebedeva NN, Sulimov AV, Sulimova OP, Korotkovskaya TI, Gailus T (2001). Investigation of brain potentials in sleeping humans exposed to the electromagnetic field of mobile phones. *Crit Rev Biomed Eng* 29:125-133.
- Leitgeb N, Schröttner J, Cech R, Kerbl R (2008). EMF-protection sleep study near mobile phone base stations. *Somnologie - Schlafforschung und Schlafmedizin* 12:234-243.
- Leung S, Croft RJ, McKenzie RJ, Iskra S, Silber B, Cooper NR, O'Neill B, Cropley V, Diaz-Trujillo A, Hamblin D, Simpson D (2011). Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and electrophysiology in adolescents, young adults and older adults. *Clin Neurophysiol* 122:2203-2216.
- Loughran SP, Wood AW, Barton JM, Croft RJ, Thompson B, Stough C (2005). The effect of electromagnetic fields emitted by mobile phones on human sleep. *Neuroreport* 16:1973-1976.
- Loughran SP, McKenzie RJ, Jackson ML, Howard ME, Croft RJ (2012). Individual differences in the effects of mobile phone exposure on human sleep: rethinking the problem. *Bioelectromagnetics* 33:86-93.
- Loughran SP, Benz DC, Schmid MR, Murbach M, Kuster N, Achermann P (2013). No increased sensitivity in brain activity of adolescents exposed to mobile phone-like emissions. *Clin Neurophysiol* 124:1303-1308.
- Lowden A, Akerstedt T, Ingre M, Wiholm C, Hillert L, Kuster N, Nilsson JP, Arnetz B (2011). Sleep after mobile phone exposure in subjects with mobile phone-related symptoms. *Bioelectromagnetics* 32:4-14.
- Luria R, Eliyahu I, Hareuveny R, Margalio M, Meiran N (2009). Cognitive effects of radiation emitted by cellular phones: the influence of exposure side and time. *Bioelectromagnetics* 30:198-204.
- Lustenberger C, Murbach M, Durr R, Schmid MR, Kuster N, Achermann P, Huber R (2013). Stimulation of the brain with radiofrequency electromagnetic field pulses affects sleep-dependent performance improvement. *Brain Stimul*.
- Maganioti AE, Hountala CD, Papageorgiou CC, Kyprianou MA, Rabavilas AD, Capsalis CN (2010). Principal component analysis of the P600 waveform: RF and gender effects. *Neurosci Lett* 478:19-23.
- Mandala M, Colletti V, Sacchetto L, Manganotti P, Ramat S, Marcocci A, Colletti L (2014). Effect of Bluetooth headset and mobile phone electromagnetic fields on the human auditory nerve. *Laryngoscope* 124:255-259.
- Mann K, Röschke J (1996). Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 33:41-47.
- Mortazavi SM, Rouintan MS, Taeb S, Dehghan N, Ghaffarpanah AA, Sadeghi Z, Ghafouri F (2012). Human short-term exposure to electromagnetic fields emitted by mobile phones decreases computer-assisted visual reaction time. *Acta Neurol Belg* 112:171-175.

- Nakatani-Enomoto S, Furubayashi T, Ushiyama A, Groiss SJ, Ueshima K, Sokejima S, Simba AY, Wake K, Watanabe S, Nishikawa M, Miyawaki K, Taki M, Ugawa Y (2013). Effects of electromagnetic fields emitted from W-CDMA-like mobile phones on sleep in humans. *Bioelectromagnetics* 34:589-598.
- Neuschulz H (2012). Einfluss eines TETRA-Feldes auf kognitive Funktionen und Reaktionen in einer Ruhesituation. *EMF Spectrum*, 3:13-17.
- Nieto-Hernandez R, Williams J, Cleare AJ, Landau S, Wessely S, Rubin GJ (2011). Can exposure to a terrestrial trunked radio (TETRA)-like signal cause symptoms? A randomised double-blind provocation study. *Occup Environ Med* 68:339-344.
- Ohayon MM, Carskadon MA, Guilleminault C, Vitiello MV (2004). Meta-analysis of quantitative sleep parameters from childhood to old age in healthy individuals: developing normative sleep values across the human lifespan. *Sleep* 27:1255-1273.
- Papageorgiou CC, Nanou ED, Tsiafakis VG, Capsalis CN, Rabavilas AD (2004). Gender related differences on the EEG during a simulated mobile phone signal. *Neuroreport* 15:2557-2560.
- Parazzini M, Brazzale AR, Paglialonga A, Tognola G, Collet L, Moulin A, Lutman ME, Bell SL, Thomas NA, Uloziene I, Uloza V, Thuroczy G, Tavartkiladze G, Tsalighopoulos M, Kyriafinis G, Ravazzani P (2007). Effects of GSM cellular phones on human hearing: the European project "GUARD". *Radiat Res* 168:608-613.
- Parazzini M, Sibella F, Lutman ME, Mishra S, Moulin A, Sliwinska-Kowalska M, Woznicka E, Politanski P, Zmyslony M, Thuroczy G, Molnar F, Kubinyi G, Tavartkiladze G, Bronyakin S, Uloziene I, Uloza V, Gradauskiene E, Ravazzani P (2009). Effects of UMTS cellular phones on human hearing: results of the European project EMFnEAR. *Radiat Res* 172:244-251.
- Parazzini M, Lutman ME, Moulin A, Barnel C, Sliwinska-Kowalska M, Zmyslony M, Hernadi I, Stefanics G, Thuroczy G, Ravazzani P (2010). Absence of short-term effects of UMTS exposure on the human auditory system. *Radiat Res* 173:91-97.
- Perentos N, Croft RJ, McKenzie RJ, Cvetkovic D, Cosic I (2007). Comparison of the effects of continuous and pulsed mobile phone like RF exposure on the human EEG. *Australas Phys Eng Sci Med* 30:274-280.
- Perentos N, Croft RJ, McKenzie RJ, Cosic I (2013). The alpha band of the resting electroencephalogram under pulsed and continuous radio frequency exposures. *IEEE Trans Biomed Eng* 60:1702-1710.
- Rediehs MH, Reis JS, Creason NS (1990). Sleep in old age: focus on gender differences. *Sleep* 13:410-424.
- Regel SJ, Gottselig JM, Schuderer J, Tinguely G, Retey JV, Kuster N, Landolt HP, Achermann P (2007a). Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram. *Neuroreport* 18:803-807.
- Regel SJ, Tinguely G, Schuderer J, Adam M, Kuster N, Landolt HP, Achermann P (2007b). Pulsed radio-frequency electromagnetic fields: dose-dependent effects on sleep, the sleep EEG and cognitive performance. *J Sleep Res* 16:253-258.
- Regel SJ, Achermann P (2011). Cognitive performance measures in bioelectromagnetic research--critical evaluation and recommendations. *Environ Health* 10:10.
- Reiser H, Dimpfel W, Schober F (1995). The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *Eur J Med Res* 1:27-32.
- Riddervold IS, Pedersen GF, Andersen NT, Pedersen AD, Andersen JB, Zachariae R, Molhave L, Sigsgaard T, Kjaergaard SK (2008). Cognitive function and symptoms in adults and adolescents in relation to rf radiation from UMTS base stations. *Bioelectromagnetics* 29:257-267.
- Röschke J, Mann K (1997). No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 18:172-176.
- Sauter C, Danker-Hopfe H, Dorn H, Eggert T, Schmid G (2010). Literaturübersicht im Rahmen des Projekts Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen. Literaturstudie veröffentlicht auf der Homepage des Bundesamts für Strahlenschutz: [http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/dm\\_forschung/studien\\_tetra/Probandenstudie\\_kognitive\\_Funktionen.htm](http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/dm_forschung/studien_tetra/Probandenstudie_kognitive_Funktionen.htm) | [Stand: 19.3.2013].

- Sauter C, Dorn H, Bahr A, Hansen ML, Peter A, Bajbouj M, Danker-Hopfe H (2011). Effects of exposure to electromagnetic fields emitted by GSM 900 and WCDMA mobile phones on cognitive function in young male subjects. *Bioelectromagnetics* 32:179-190.
- SCENIHR (2014). Public consultation on the preliminary opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Brussels.  
[http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/consultations/public\\_consultations/scenih\\_r\\_consultation\\_19\\_en.htm](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consultations/public_consultations/scenih_r_consultation_19_en.htm) [Stand: 21.3.2014].
- Schmid MR, Loughran SP, Regel SJ, Murbach M, Bratic Grunauer A, Rusterholz T, Bersagliere A, Kuster N, Achermann P (2012a). Sleep EEG alterations: effects of different pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. *J Sleep Res* 21:50-58.
- Schmid MR, Murbach M, Lustenberger C, Maire M, Kuster N, Achermann P, Loughran SP (2012b). Sleep EEG alterations: effects of pulsed magnetic fields versus pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. *J Sleep Res* 21:620-629.
- Sievert U, Eggert S, Goltz S, Pau HW (2007). [Effects of electromagnetic fields emitted by cellular phone on auditory and vestibular labyrinth]. *Laryngorhinootologie* 86:264-270.
- Smith RN, Tattersall JEH, Bowditch SC, Holden SJ, Green AC, Scott IR, Harrison PK, Low DA, Smith SJR, Grose RI, Mifsud NCD (2005). An Investigation of the Effects of the Airwave TETRA Signal on Cellular Calcium and Brain Function. Dstl/CR15728 Issue 1.0. September 2005. Biomedical Sciences, Dstl Porton Down. Salisbury.
- Smythe JW, Costall B (2003). Mobile phone use facilitates memory in male, but not female, subjects. *Neuroreport* 14:243-246.
- Spittler JF, Calabrese P, Gehlen W (1997). Einfluß elektromagnetischer felder auf die menschliche Gehirntätigkeit. *Medizintechnik* 117:176-178.
- Stefanics G, Kellenyi L, Molnar F, Kubinyi G, Thuroczy G, Hernadi I (2007). Short GSM mobile phone exposure does not alter human auditory brainstem response. *BMC Public Health* 7:325.
- Stefanics G, Thuroczy G, Kellenyi L, Hernadi I (2008). Effects of twenty-minute 3G mobile phone irradiation on event related potential components and early gamma synchronization in auditory oddball paradigm. *Neuroscience* 157:453-462.
- Suhhova A, Bachmann M, Karai D, Lass J, Hinrikus H (2013). Effect of microwave radiation on human EEG at two different levels of exposure. *Bioelectromagnetics* 34:264-274.
- Tombini M, Pellegrino G, Pasqualetti P, Assenza G, Benvenga A, Fabrizio E, Rossini PM (2013). Mobile phone emissions modulate brain excitability in patients with focal epilepsy. *Brain Stimul* 6:448-454.
- Trunk A, Stefanics G, Zentai N, Kovacs-Balint Z, Thuroczy G, Hernadi I (2013). No effects of a single 3G UMTS mobile phone exposure on spontaneous EEG activity, ERP correlates, and automatic deviance detection. *Bioelectromagnetics* 34:31-42.
- Ullsperger P, Freude G, Erdmann U, Eggert S (2003). Influence of electromagnetic fields of the tetra communication system on bioelectric brain activity of healthy participants. *Bioelectromagnetics Society 25th Annual Meeting, Hawaii, USA*. 277.
- Unterlechner M, Sauter C, Schmid G, Zeitlhofer J (2008). No effect of an UMTS mobile phone-like electromagnetic field of 1.97 GHz on human attention and reaction time. *Bioelectromagnetics* 29:145-153.
- Valentini E, Ferrara M, Presaghi F, De Gennaro L, Curcio G (2011). Republished review: systematic review and meta-analysis of psychomotor effects of mobile phone electromagnetic fields. *Postgrad Med J* 87:643-651.
- van Rongen E, Croft R, Juutilainen J, Lagroye I, Miyakoshi J, Saunders R, de Seze R, Tenforde T, Verschaeve L, Veyret B, Xu Z (2009). Effects of radiofrequency electromagnetic fields on the human nervous system. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 12:572-597.
- Vecchio F, Babiloni C, Ferreri F, Curcio G, Fini R, Del Percio C, Rossini PM (2007). Mobile phone emission modulates interhemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms. *Eur J Neurosci* 25:1908-1913.
- Vecchio F, Babiloni C, Ferreri F, Buffo P, Cibelli G, Curcio G, van Dijkman S, Melgari JM, Giambattistelli F, Rossini PM (2010). Mobile phone emission modulates inter-hemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms in elderly compared to young subjects. *Clin Neurophysiol* 121:163-171.

- Vecchio F, Buffo P, Sergio S, Iacoviello D, Rossini PM, Babiloni C (2012a). Mobile phone emission modulates event-related desynchronization of alpha rhythms and cognitive-motor performance in healthy humans. *Clin Neurophysiol* 123:121-128.
- Vecchio F, Tombini M, Buffo P, Assenza G, Pellegrino G, Benvenega A, Babiloni C, Rossini PM (2012b). Mobile phone emission increases inter-hemispheric functional coupling of electroencephalographic alpha rhythms in epileptic patients. *Int J Psychophysiol* 84:164-171.
- von Klitzing L (1995). Low-frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG of man. *Physica Medica* XI:77-80.
- Wagner P, Roschke J, Mann K, Hiller W, Frank C (1998). Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics* 19:199-202.
- Wagner P, Roschke J, Mann K, Fell J, Hiller W, Frank C, Grozinger M (2000). Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields. Results from polysomnographies using submaximal high power flux densities. *Neuropsychobiology* 42:207-212.
- Wallace D, Eltiti S, Ridgewell A, Garner K, Russo R, Sepulveda F, Walker S, Quinlan T, Dudley S, Maung S, Deeble R, Fox E (2010). Do TETRA (Airwave) base station signals have a short-term impact on health and well-being? A randomized double-blind provocation study. *Environ Health Perspect* 118:735-741.
- Wallace D, Eltiti S, Ridgewell A, Garner K, Russo R, Sepulveda F, Walker S, Quinlan T, Dudley S, Maung S, Deeble R, Fox E (2012). Cognitive and physiological responses in humans exposed to a TETRA base station signal in relation to perceived electromagnetic hypersensitivity. *Bioelectromagnetics* 33:23-39.
- Wiholm C, Lowden A, Kuster N, Hillert L, Arnetz BB, Akerstedt T, Moffat SD (2009). Mobile phone exposure and spatial memory. *Bioelectromagnetics* 30:59-65.

## 6 ÜBERSICHTSTABELLEN ZU MOBILFUNKSTUDIEN

Tab. 1 Mobilfunkstudien zum spontanen Wach-EEG

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Perentos et al. (2007)	12 Erwachsene (6 Frauen, 6 Männer)  Alter: 26,5 ± 3,3 Jahre  Altersrange: 19 - 32 Jahre	doppelblinde Durchführung, einfachblinde Auswertung (artefaktbedingt), ausbalanciert cross-over	Dipolantenne  3 Expositionsbedingungen:  GSM 900 MHz (DTX mode PM RF; 2, 8, 217, 1736 Hz) pulsmoduliert (PM RF)  kontinuierliches Signal (CW)  Peak SAR10g: 1,56 W/kg  Scheinexposition (sham)   linksseitig	15 min kontinuierliches Signal  15 min pulsmoduliertes Signal  15 min Scheinexposition  16 EEG-Elektroden  Gesamtdauer: 2 h EEG (12x7,5 min sitzend mit geschlossenen Augen; dazwischen je 1 min Augen offen und Bewegung)  Endpunkte:  Replikationsstudie: von Huber et al. (2002). Power in Delta, Theta, Alpha, Beta (EEG-Abschnitte im Vorher-nachher-Vergleich wurden analysiert)	Keine Veränderungen in den Frequenzbändern (Delta, Theta, Alpha, Beta)  erhöhte Alphapower von Huber et al. (2002) nicht bestätigt  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Croft et al. (2008)	120 Erwachsene  (74 Frauen, 46 Männer) Alter: 31 ± 13 Jahre  Altersrange: 18 - 69 Jahre  für Analysen n = 94 - 109	doppelblind, balanciert (partiell) cross- over	Mobiltelefon Nokia 6110  2 Expositionsbedingungen:  GSM 895 MHz, 217 Hz pulsmoduliert; kein DTX (Discontinuous Transmission)  max. SAR10g: 0,674 W/kg  Scheinexposition    linke (n=60) oder rechte Seite (n=60)	30 min pulsmoduliert bzw. Scheinexposition (10 min Augen offen, 20 min Testung) danach 10 min EEG ohne Mobiltelefon mit Augen offen  EEG Elektroden: 58 (10:10 System)  2 Sessions im Abstand von einer Woche  Endpunkte: Alpha-Power in Ruhe- EEG frontal und posterior (ipsi- und kontralateral;  während und nach Exposition: Vergleich erste vs. zweite 5-min Abschnitte	<b>EMF-Effekt:</b> höhere Alpha-Power während Verum- als während Scheinbedingung (Maximum: ipsilateral posterior)  <b>kein Zusammenhang mit Alter und kein Unterschied zwischen den Geschlechtern</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Hinrikus et al. (2008a)	<p>Experiment 1: 19 Erwachsene (9 Frauen, 10 Männer): Altersrange:19-23 Jahre</p> <p>Experiment 2: 13 Erwachsene (9 Frauen, 4 Männer): Altersrange: 21-20 Jahre</p> <p>Experiment 3: 15 Erwachsene (7 Frauen, 8 Männer): Altersrange:21-24 Jahre</p> <p>Experiment 4: 19 Erwachsene (11 Frauen, 8 Männer): Altersrange: 21-24 Jahre</p>	doppelblind, cross-over, randomisierte Reihenfolge der Modulationen	<p>Lambda/4 Antenne mit 450 MHz Signal mit unterschiedlichen Modulationen:</p> <p>Je 2 Expositionsbedingungen:</p> <p>Peak SAR1g: 0,303 W/kg</p> <p>Experiment 1: 7 Hz</p> <p>Experiment 2: 14 Hz und 21 Hz</p> <p>Experiment 3: 40 Hz und 70 Hz</p> <p>Experiment 4: 217 Hz und 1000 Hz</p> <p>Scheinbedingung</p> <p>linke Kopfseite (10cm Abstand)</p>	<p>Expositionsdauer: 10 Zyklen (je 1 min on und 1 min off) pro Modulation:</p> <p>Experiment 1: 20min</p> <p>Experiment 2-4: 40min</p> <p>EEG-Elektroden: von vier Elektrodenpaaren (F1-F2; T3-T4; P3-P4; O1-O2) nur P3-P4 für weitere Analyse berücksichtigt</p> <p>Untersuchung zwischen 9:00 Uhr und Mittag. Ruhe-EEG liegend im abgedunkelten Raum bei geschlossenen Augen mit Ohrstöpseln</p> <p>Endpunkte: relative Änderung der EEG-Power in Theta-, Alpha-, Beta1- und Beta2- Frequenzband</p>	<p><b>EMF-Effekt:</b></p> <p>relative Änderung der Beta1-Power an P3-P4 als Maß für Sensitivität: 2-4 „sensitive“ Personen pro Gruppe bei allen Modulationen, außer 1000 Hz</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Hinrikus et al. (2008b)	13 Erwachsene (9 Frauen, 4 Männer) Altersrange: 21-30 Jahre	doppelblind, cross-over, randomisierte Reihenfolge der Modulationen	Lambda/4 Antenne  4 Expositionsbedingungen:  450 MHz Signal mit unterschiedlichen Modulationen:  7 Hz, 14 Hz und 21 Hz  SAR: 0,35 W/kg  Scheinexposition    linke Kopfseite (10cm Abstand)	Expositionsdauer: 4 x 5 Zyklen (je 1 min on und 1 min off): 40 min (ein Referenzzyklus, drei mit je einer Modulation)  Elektrodenpositionen: 9 EEG-Elektroden (Fp1, FP2; T3, T4; P3, P4; O1, O2; Referenz Cz)  Untersuchung zwischen 9:00 Uhr und Mittag. Ruhe-EEG während 40 min liegend im abgedunkelten Raum bei geschlossenen Augen mit Ohrstöpseln  Endpunkte: relative Änderung der EEG-Power in Theta-, Alpha-, Beta1 und Beta2 Frequenzband	<b>EMF-Effekt:</b>  Signifikante Zunahme der Alpha- und Beta-Power während der ersten Hälfte (30s) der Expositionsintervalle bei 14 Hz- und 21 Hz- Modulation; keine Unterschiede bei Modulation mit 7 Hz und nicht in Theta-Frequenzband  Unterschiede in individueller Sensitivität: signifikante Zunahme der Beta-Power bei 4 Probanden  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Hountala et al. (2008)	<p>Experiment 1: 19 Erwachsene (10 Frauen, 9 Männer) Alter: <math>23,3 \pm 2,2</math> Jahre</p> <p>Experiment 2: 20 Erwachsene (10 Frauen, 10 Männer) Alter: <math>22,8 \pm 2,7</math> Jahre</p>	einfachblind? Zufallsreihenfolge	<p>Dipolantenne mit kontinuierlichem Signal</p> <p>Je 2 Expositionsbedingungen:</p> <p>Experiment 1: 900 MHz (mittlere Power 64 mW)</p> <p>Experiment 2: 1800 MHz (mittlere Power 128mW)</p> <p>SAR:?</p> <p>Baseline (ohne Exposition)</p> <p>rechtes Ohr (20 cm Abstand)</p>	<p>45 min „mit und ohne Exposition“ während Testung</p> <p>15 EEG-Elektrodenpositionen</p> <p>2 Sessions im Abstand von zwei Wochen</p> <p>Endpunkte: Spektrale Leistungskohärenz (SPC; interne Konsistenz zwischen Elektroden) im Prä-Stimulus-EEG in Delta-Theta-, Alpha- und Betaband; Auswertung: für „off“- Bedingung Experiment 1 und Experiment 2 zusammen</p> <p>Weitere Endpunkte: Zahlenspanne aus Wechsler Gedächtnistest (52 Wiederholungen pro Session)</p>	<p><b>EMF-Effekt:</b></p> <p>Delta-Power: geringere Kohärenz als in Theta-, Alpha- und Betaband</p> <p><b>EMF-Effekt x Geschlecht-Effekt:</b></p> <p>In Scheinbedingung größere SPC bei Männern als bei Frauen; unter Exposition mit 900 MHz keine Unterschiede zwischen Geschlechtern; unter 1800 MHz zeigen Frauen höhere SPC als Männer</p> <p><b>Altersunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Kleinlogel et al. (2008a)	15 Männer Alter: 26,6 ±4,6 Jahre Altersrange: 20 - 35 Jahre	doppelblind, cross-over, balanciert	Breitbandantenne 4 Expositionsbedingungen: GSM 900 MHz pulsmoduliert (2, 8 und 217 Hz); max. peak SAR10g am Kopf: 1 W/kg UMTS 1950 MHz "niedrig"; max. peak SAR10g am Kopf: 0,1 W/kg UMTS 1950 MHz „hoch“; max. peak SAR10g am Kopf: 1 W/kg Scheinexposition  direkt über linkem Ohr	Gesamtexpositionsdauer/Session: ca. 30 min  19 EEG-Elektrodenpositionen  5 Sessions (1. Session zur Übung) im Abstand von einer Woche zur gleichen Tageszeit  Vigilanzkontrolliertes Ruhe-EEG (Mausklick bei Ertönen eines Tones gefordert) während 4 min Sham (VIG1), gefolgt von Verum-Exposition für 4 min (VIG2), 2,5 min VEP, 11 min Daueraufmerksamkeitstest, 6 min AE-P300, 2 min VIG3; am Ende ohne Exposition: 6 min VIG4  Endpunkte EEG: mittlere Power in 6 Frequenzbändern (Delta, Theta, Alpha1, Alpha2, Beta1, Beta2)  Weitere Endpunkte: Evozierte Potenziale, kognitive Funktionen, Befindlichkeit und körperliche Beschwerden	Vigilanz-kontrolliertes EEG: weder Effekt von GSM 900 MHz noch UMTS auf Power in Delta, Theta, Alpha1, Alpha2, Beta1 und Beta2  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Croft et al. (2010)	<p>41 Jugendliche (20 Mädchen, 21 Jungen) Alter: 14,1 ± 0,9 Jahre</p> <p>Altersrange: 13-15 Jahre</p> <p>42 junge Erwachsene (21 Frauen, 21 Männer) Alter: 24,5 ± 4,5 Jahre</p> <p>Altersrange: 19-40 Jahre</p> <p>20 ältere Erwachsene (10 Frauen, 10 Männer): Alter: 62,2 ± 3,9 Jahre</p> <p>Altersrange: 55-70 Jahre</p>	doppelblind, balanciert (partiell), cross-over	<p>GSM Mobiltelefon auf einer Seite, UMTS-Mobiltelefon auf der anderen</p> <p>3 Expositionsbedingungen:</p> <p>Feld 1: 894,6 MHz; pulsmoduliert 217 Hz; Duty cycle 0,125; SAR10g=0,7 W/kg</p> <p>Feld 2: simuliertes UMTS-Signal 1900 MHz (externe Quelle) SAR10g=1,7 W/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>linkes oder rechtes Ohr (balanciert)</p>	<p>Gesamtexpositionsdauer/Session: ca. 55 min</p> <p>61 EEG-Elektroden</p> <p>drei Sessions (je eine Expositionsbedingung) im Abstand von mind. vier Tagen:</p> <p>Ablauf: 5min Baseline- EEG1, anschließend unter Exposition: 10 min EEG2, 15 min kogn. Tests, 5 min EEG3, 15 min kogn Tests; 5min EEG4;</p> <p>Befindlichkeitsskalen; nach Exposition: 5 min EEG5; zu Beginn und am Ende: Fragenbogen zur psychischen Anspannung</p> <p>Endpunkte EEG: Auswertung des Ruhe-EEGs. je 2,5 min mit geöffneten und geschlossenen Augen: Differenzen zwischen der Alpha-Power (Abschnitte mit geöffneten Augen) unter Baseline und EEG2 bis EEG5; Verhältnismaß Differenzen/EEG1; zeitlicher Verlauf (EEG4-EEG2); topografische Verteilung (posterior minus frontal;</p>	<p><b>EMF x Alterseffekt EEG:</b> Signifikante Zunahme der Alphaaktivität (10%) nur bei jungen Erwachsenen (19-40 Jahre) in GSM-Bedingung im Vergleich zur Scheinbedingung, keine sign. Veränderungen in jüngerer oder älterer Altersgruppe. Kein Effekt oder Unterschied unter UMTS-Exposition.</p> <p><b>UMTS x Alterseffekt</b> subjektive Anspannung (AD-ACL):</p> <p>UMTS: höhere Aktivierung (Trend) bei jungen Erwachsenen unter UMTS; kein Effekt bei Jugendlichen oder älteren Erwachsenen</p> <p>GSM: keine Unterschiede zwischen Verum- und Scheinexposition in Altersgruppen (auf Trendlevel höhere Werte in der Gruppe junger Erwachsener unter GSM-Einfluss)</p> <p><b>Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

				<p>kontralateral minus ipsilateral)</p> <p>Weitere Endpunkte: kognitive Funktionen und Thayer Activation-Deactivation Adjective Check List (AD-ACL) zur psychischen Anspannung</p>	
<p>Vecchio et al. (2010)</p>	<p>16 ältere Erwachsene (9 Frauen – postmenopausal, 7 Männer)</p> <p>Alter: <math>60,8 \pm 2,9</math> Jahre</p> <p>Altersrange: 47 – 84 Jahre</p> <p>15 junge Männer: Alter: <math>30 \pm 1,3</math> Jahre</p> <p>Altersrange: 20-37 Jahre</p> <p>(10 stammen aus Studie von Vecchio et al., 2007)</p>	<p>doppelblind, cross-over</p>	<p>Mobilfunktelefon</p> <p>2 Expositionsbedingungen:</p> <p>GSM 902,4 MHz (Modulationsfrequenzen 217 Hz und 8,33 Hz); SAR10g = 0,5 W/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>Linke Kopfseite (1,5 cm Abstand zu Ohr)</p>	<p>45 min Expositionsdauer pro Bedingung</p> <p>Zwei Sessions im Abstand von einer Woche (45 min pro Bedingung): vigilanzkontrollierte EEG-Aufzeichnung (5min) bei geschlossenen Augen vor und nach der Exposition</p> <p>19 EEG-Elektroden; EOG</p> <p>Endpunkte: inter-hemisphärische funktionelle Kopplung des EEGs (Frequenzbänder Delta, Theta und Alpha1, Alpha2, Alpha3) bei geschlossenen Augen (frontal, zentral, parietal, temporal)</p>	<p><b>Alterseffekt:</b> unter GSM signifikante. Zunahme der inter-hemisphärischen Kohärenz der frontalen und temporalen Alphaaktivität (8-12 Hz) bei älteren im Vergleich zu jungen Probanden</p> <p><b>Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Hinrikus et al. (2011)	<p>Experiment 1: 14 Erwachsene (8 Frauen, 6 Männer)  Altersrange: 20-27Jahre</p> <p>Experiment 2: 14 Erwachsene  (7 Frauen, 7 Männer): Altersrange: 21-24 Jahre</p>	doppelblind, cross-over	<p>Lambda/4 Antenne</p> <p>jeweils 2 Expositionsbedingungen:</p> <p>450 MHz Signal mit unterschiedlichen Modulationen:</p> <p>Peak SAR1g: 0,303 W/kg</p> <p>Experiment 1: 7 Hz, 14 Hz, 21 Hz</p> <p>Experiment 2: 40 Hz und 70 Hz</p> <p>Scheinexposition</p> <p>Exposition linke Seite, nahe Ohr (10cm Abstand zur Haut)</p>	<p>Expositionsdauer: 10 Zyklen (je 1 min on und 1 min off) pro Modulation:</p> <p>Experiment 1: 2 Aufnahmen mit je 3x5 Zyklen (2x30min)</p> <p>Experiment 2: 2x10 Zyklen; (1x40min)</p> <p>Elektroden: von vier Elektrodenpaaren (F1-F2; T3-T4; P3-P4; O1-O2), Ref. Cz</p> <p>eine Session/Tag (zwischen 9:00 Uhr und Mittag): Ruhe-EEG liegend im abgedunkelten Raum bei geschlossenen Augen mit Ohrstöpseln</p> <p>Endpunkte: mittlere Power bei 5 verschiedenen Modulationen und 12 (Gruppe 1) bzw. 11 (Gruppe 2) verschiedenen Frequenzen zwischen 3,5 und 42 Hz: Maß des Effekts: relative Veränderung der Power der Segmente mit und ohne Exposition</p>	<p><b>EMF-Effekt:</b></p> <p>Sign. Zunahme der EEG-Power nur bei Verhältniszahl <math>f_0/F</math> (EEG-Frequenz <math>f_0</math> zu Modulationsfrequenz <math>F</math>) = 0,35, 0,5 und 0,75 Hz</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht berücksichtigt.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Vecchio et al. (2012a)	11 Erwachsene  (3 Frauen – postmenopausal, 8 Männer)  Alter: 43,6 ± 4,0 Jahre  Altersrange: 24-63 Jahre	doppelblind, cross-over	Mobilfunktelefon  2 Expositionsbedingungen:  GSM 902,4 MHz (Modulationsfrequenzen 217 Hz und 8,33 Hz); SAR10g=0,5 W/kg  Scheinexposition    linke Kopfseite	Expositionsdauer: 45 min  56 EEG-Elektroden  Zwei Sessions (je 45 min) im Abstand von einer Woche: EEG-Aufzeichnung während visueller go/no-go task (10min) vor und nach Exposition  Endpunkte: ereigniskorrelierte Desynchronisation (ERD) des Alphafrequenzbandes während go/no-go-task  Weitere Endpunkte: kognitive Funktionen (Reaktionszeit)	<b>EMF-Effekt:</b> ERD  signifikant geringere Veränderung der Amplitude im hochfrequenten Alphaband (10-12Hz)  keine Unterschiede in Scheinbedingung; kein Effekt im niedrigen Alphafrequenzbereich  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Vecchio et al. (2012b)	<p>10 Erwachsene mit Epilepsie (5 Frauen, 5 Männer)</p> <p>Alter: 29,1 ± 2,3 Jahre</p> <p>Altersrange: 19-43 Jahre</p> <p>15 Männer („gesunde, alters- und geschlechts-gematchte Kontrollen“ aus Studien von Vecchio et al., 2007; 2010: aber ausschließlich Männer!)</p> <p>Alter: 30 ± 1,3 Jahre</p> <p>Altersrange: 20-37 Jahre</p>	doppelblind, cross-over	<p>Mobilfunktelefon</p> <p>2 Expositionsbedingungen:</p> <p>GSM 902,4 MHz (Modulationsfrequenzen 217 Hz und 8,33 Hz); SAR10g=0,5 W/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>linke Kopfseite</p>	<p>Expositionsdauer: 45 min</p> <p>Zwei Sessions (je 45 min) im Abstand von einer Woche:., vigilanzkontrollierte EEG-Aufzeichnung bei geschlossenen Augen (5min) vor und nach der Exposition</p> <p>Endpunkte: inter-hemisphärische funktionelle Kopplung des EEGs (Frequenzbänder Delta, Theta und Alpha1, Alpha2, Alpha3) an unterschiedlichen Lokalisationen (frontal, zentral, parietal, temporal)</p>	<p><b>EMF-Effekt:</b></p> <p>unter GSM signifikante Zunahme der inter-hemisphärischen Kohärenz der frontalen und temporalen Alphaaktivität (8-12Hz) bei Epilepsie-PatientInnen im Vergleich zur Scheinbedingung bzw. zur gesunden Kontrollgruppe</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne	Expositionsdauer	Auswirkungen
			Signaltyp	EEG Elektroden	EMF-Effekt
			Expositionsseite	Experiment - Endpunkte	Alters- und Geschlechtseffekt
Loughran et al. (2013)	<p>22 Jugendliche (10 Mädchen, 12 Jungen)</p> <p>Alter: <math>12,3 \pm 0,8</math> Jahre</p> <p>Altersrange: 11-13 Jahre</p> <p>(zwei von EEG-Analyse ausgeschlossen)</p>	doppelblind, cross-over	<p>Planarantenne</p> <p>3 Expositionsbedingungen:</p> <p>900 MHz Trägerfrequenz; Modulation wie GSM-Mobilfunkgerät</p> <p>Feld 1: SAR<sub>10g</sub> = 0,35 W/kg</p> <p>Feld 2: SAR<sub>10g</sub> = 1,4 W/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>Linke Kopfseite</p>	<p>Expositionsdauer: je 30 min</p> <p>4 EEG-Elektroden (C3, C4, O1, O2)</p> <p>Drei Sessions im Wochenabstand: Ruhe-EEG (je 3min Augen geschlossen und offen) zu drei Zeitpunkten (vor, sofort nach, 30 und 60 min nach Exposition); VAS Befindlichkeit (Vorher-nachher-Vergleich)</p> <p>(während Exposition: einfacher Reaktionszeittest, 2-Fach-Wahlreaktionstest; n-back Test)</p> <p>Endpunkte: EEG-Abschnitte bei geschlossenen Augen: relative Power individueller Alpha-Peak-Frequenz zum Zeitpunkt 0, 30 und 60 min nach Exposition; Spektren im Frequenzbereich 4,5 bis 14,5 Hz (nur relevant, wenn mind. zwei benachbarte bins signifikant verändert = 1Hz)</p> <p>Weitere Endpunkte: kognitive Funktionen; Befindlichkeit (VAS)</p>	<p>kein eindeutiger Effekt auf Ruhe-EEG</p> <p><b>Altersunterschiede:</b> Die Jugendlichen reagierten nicht sensibler auf RF-EMF als die 24 männlichen Erwachsenen (Alter: 19-25 Jahre), die in der Studie von Regel et al., (2007a) mit dem gleichen Design untersucht wurden.</p> <p><b>Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Perentos et al. (2013)	72 Erwachsene (35 Frauen, 37 Männer)  Alter: 24,5 ± 5,4 Jahre (Range nicht angegeben)	doppelblind, cross-over, balanciert	Mobiltelefone  4 Expositionsbedingungen:  Feld 1: HF kontinuierlich;  SAR <sub>10g</sub> =: 1,95 W/kg  Feld 2: HF gepulst  SAR <sub>max</sub> =: 1,95 W/kg  Feld 3: DTX- ELF: 2,1 – 217 Hz, gepulst  (magnetische Flussdichte: 25 µT)  Scheinexposition    Mobiltelefon auf beiden Seiten, aber nur rechtes aktiv	Expositionsdauer: 20 min/Expositionbedingung  19 EEG-Elektroden  Eine 2-h Session: Ruhe-EEGs bei geöffneten Augen während 4 (Expositionsbedingungen)x30 min (dazwischen 4 Minuten Pause mit Ausfüllen der AD-ACL, siehe unten); pro 30-Minuten-Intervall: erste 5 Min. Baseline, 20 Min. Exposition, 5 Min. „post“ Exposition  Endpunkte: Alphaaktivität: im Verlauf (während – nach Exposition): frontal, posterior, ipsilateral, kontralateral  Weiterer Endpunkt: Thayer Activation-Deactivation Adjective Check List (AD-ACL) zur psychischen Anspannung (4 Zeitpunkte)	<b>Expositions- aber kein Modulationseffekt:</b>  Signifikante Abnahme der Alphaaktivität während gepulster RF-Exposition im Vergleich zur Scheinbedingung, aber nicht verschieden von Bedingung mit kontinuierlichem Signal;  kein signifikanter Unterschied in Alphaaktivität zwischen kontinuierlichem Signal und Scheinbedingung  kein Effekt der ELF-Exposition  keine Unterschiede nach Exposition  keine topografischen Unterschiede  kein Effekt auf AD-ACL  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Suhhova et al. (2013)	15 Erwachsene (6 Frauen, 9 Männer): Altersrange: 23-32 Jahre	doppelblind, balanciert, cross-over	<p>Lambda/4 Antenne</p> <p>4 Expositionsbedingungen:</p> <p>450 MHz Signal mit 40 Hz Modulation</p> <p>Feld 1 "hoch": Peak SAR<sub>1g</sub> &gt; 0,303 W/kg</p> <p>Feld 2 "niedrig": Peak SAR<sub>1g</sub> &lt; 0,003 W/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>an linker Seite, nahe Ohr (10cm Abstand zur Haut)</p>	<p>Expositionsdauer: 10min/Feld</p> <p>19 Elektroden; für Analyse: F1,F2; T3,T4; P3,P4; O1,O2 referenziert gegen Cz</p> <p>Zwei Sessions an einem Tag; dazwischen mind. 15 min Pause; pro Session: 5 Zyklen Referenzintervall, gefolgt von je 5 Zyklen (je 1 min on und 1 min off) hohe bzw, niedrige Exposition (randomisierte Reihenfolge)</p> <p>Ruhe-EEG liegend im abgedunkelten Raum bei geschlossenen Augen mit Ohrstöpseln</p> <p>Endpunkte: relative Änderung der EEG-Power zwischen on- und off-Zyklen in Theta-, Alpha-, Beta1- und Beta2- Frequenzband</p>	<p><b>EMF-Effekt:</b> „Dosis-Wirkung“</p> <p>unter höherer Exposition (Feld 1): Zunahme der Power in Beta2 (157%), Beta1 (61%) und Alpha (68%)</p> <p>auf individueller Ebene: sign. Veränderungen i. Alphanband (6 Pbd); in Beta1 und Beta2 (4 Pbd)</p> <p>unter niedrigerer Exposition (Feld 2): Zunahme der Power in Beta2 (39%);</p> <p>auf individueller Ebene: sign. Veränderungen i. Alpha, Beta1, Beta2 bei 3 Pbd.</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Trunk et al. (2013)	<p>Experiment 1: 17 (9 Frauen, 8 Männer): Alter: <math>21,8 \pm 3,5</math> Jahre (Range nicht angegeben)</p> <p>Experiment 2: 26 (12 Frauen, 14 Männer): Alter: <math>24,1 \pm 6,7</math> Jahre (Range nicht angegeben)</p>	doppelblind, cross-over	<p>Dualband Patch Antenne</p> <p>2 Expositionsbedingungen:</p> <p>UMTS 1947 MHz (Signal ähnlich Mobilfunkgerät)</p> <p>SAR<sub>10g</sub>&lt;1,75 W/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>an rechtem Ohr, in gebrauchstüblicher Position</p>	<p>Expositionsdauer: 30 min</p> <p>3 EEG-Elektroden: Fz, Cz, Pz</p> <p>Zwei Sessions im Abstand von mind. einer Woche:</p> <p>Experiment 1: 10 min Spontan-EEG (während Filmpräsentation), gefolgt von 30 min. Exposition und 10 min post-EEG (mit Filmpräsentation)</p> <p>Experiment 2: (Vorher-nachher-Vergleich) 30 min Exposition: 10min: akustisch evozierte Potenziale (P50, N100, P200); ereigniskorrelierte Potenziale (Oddball; Mismatch Negativity, P300)</p> <p>Endpunkte: Power in Delta-, Theta-, Alpha1, Alph2, Beta1, Beta2-Frequenzbänder; post-EEG: 5x2 min Abschnitte, um Kurzzeiteffekte zu erkennen</p>	<p>Kein Expositionseffekt auf spektrale Leistung im EEG der Frequenzbänder Delta, Theta, Alpha1, Alpha2, Beta1 und Beta2;</p> <p>Kein signifikanter Effekt (Vorher-nachher-Vergleich)</p> <p>Kein Unterschied im Verlauf (5x2 min Abschnitte)</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

**Tab. 2 Mobilfunkstudien zu Evozierten Potenzialen**

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Inomata-Terrada et al. (2007)	<p>10 gesunde Erwachsene</p> <p>(5 Frauen, 5 Männer)</p> <p>Altersrange: 22-51 Jahre</p> <p>2 Erwachsene mit Multipler Sklerose</p> <p>(1 Mann, 45 Jahre; keine Angaben zur 2. Person)</p>	<p>doppelblind; cross-over</p>	<p>Kommerzielles Mobiltelefon</p> <p>2 Expositionsbedingungen:</p> <p>800 MHz (gepulst); mittlere SAR10g: 0,054 W/kg in 3 cm Tiefe</p> <p>mittlere Sendeleistung: 270 mW</p> <p>Scheinexposition</p> <p>Linkes Ohr in üblicher Gebrauchsposition (ohne Halterung)</p>	<p>30 min (jeweils für Verum und Sham)</p> <p>Ableitung: erster Musculus interosseus dorsalis (rechte Hand)</p> <p>Motorisch Evozierte Potenziale (MEP) (ausgelöst mittels Einzelpuls-Transkranieller Magnetstimulation (TMS) des Motorkortexes, des Hirnstamms und der zervikalen Wurzel sowie mittels Doppelpuls-TMS des Motorkortexes)</p> <p>Endpunkte: Latenzen und Amplituden der MEP (Vorher-nachher-Vergleich)</p>	<p>Weder bei den gesunden ProbandInnen noch bei den MS-Patienten traten Unterschiede in den Zielparametern Latenz und Amplitude der MEPs zwischen Verum- und Scheinexposition auf.</p> <p>Die intrakortikale Inhibition im Motorkortex infolge der Doppelpulsstimulation wurde durch die Exposition ebenfalls nicht beeinflusst.</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Parazzini et al. (2007)	<p>169 Erwachsene (Range: 18-30 Jahre; keine Angaben zu Geschlecht)</p> <p>Eine Hälfte der Teilnehmer wurde einer Befeldung mit GSM 900, die andere einer Befeldung mit GSM 1800 ausgesetzt</p> <p>(ABR-Analyse: n=20; keine Angaben, wie viele aus dieser Gruppe mit GSM 900 bzw. GSM 1800 exponiert wurden)</p>	<p>doppelblind; cross-over; ausgeglichene Zuordnung;</p>	<p>Kommerzielles GSM-Mobiltelefon</p> <p>max. Sendeleistung (GSM 900): 2 W; max. Sendeleistung (GSM 1800): 1 W</p> <p>3 Expositionsbedingungen:</p> <p>GSM 900 MHz (gepulst); max. peak SAR1g (Abstand 3 cm, entspricht ungefähr Position der Cochlea): 0,41 W/kg</p> <p>GSM 1800 MHz (gepulst); max. peak SAR1g (Abstand 3 cm, entspricht ungefähr Position der Cochlea): 0,19 W/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>Rechtes oder linkes Ohr in üblicher Gebrauchsposition (fixiert über Halterung)</p>	<p>10 min (jeweils für GSM 900 MHz, GSM 1800 MHz und Sham; mind. 24h Abstand zwischen sham und Verum)</p> <p>Ableitung: A1 und A2 – Cz</p> <p>Endpunkte: Akustisch Evozierte Hirnstamm-potenziale (ABR) [ausgelöst durch Klickreize (Druck- und Sogreize sowie alternierendes Reizmuster)]: Vorher-nachher-Vergleich</p>	<p>Unabhängig vom Klickreiztyp konnten keine Unterschiede zwischen der Scheinbedingung und den beiden Expositionsbedingungen hinsichtlich der untersuchten Zielvariablen beobachtet werden.</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne	Expositionsdauer	Auswirkungen
			Signaltyp	EEG Elektroden	EMF-Effekt
			Expositionssseite	Experiment - Endpunkte	Alters- und Geschlechtseffekt
Sievert et al. (2007)	12 Erwachsene (7 Frauen, 5 Männer)  Alter: 27,8 Jahre  Altersrange: 19-57 Jahre	Keine Verblindung	Kommerzielles GSM-Mobiltelefon  3 Expositionsbedingungen:  GSM 889,6 MHz (gepulst); SAR1g: 1,9 mW/g in 18 mm Tiefe  Spitzenleistung (Pulsleistung): 2,2 W  GSM 889,6 MHz (kontinuierlich); SAR1g: 1,9 mW/g in 18mm Tiefe  Spitzenleistung (Pulsleistung): 2,2 W  Ohne HF-Exposition   Linkes und rechtes Ohr in gebrauchsüblicher Position (fixiert über Halterung)	< 9 min pro Messohr (ohne HF – gepulstes HF – kontinuierliches HF – ohne HF)  Ableitung: A1 – Cz; A2 – Cz  Frühe Akustisch Evozierte Potenziale (AEP) [ausgelöst durch akustische Reize mit drei unterschiedlichen Stimuluspegeln (50, 55 und 60 dB)]  Endpunkte: Latenzen der frühen AEP (Vorher-nachher-Vergleich)	Die Exposition hatte bei allen drei Stimuluspegeln weder einen Einfluss auf die Absolutlatenzen der drei Hirnstammpotenziale I, III und V noch auf die Interpeaklatenz der Potenziale I und V.          <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Stefanics et al. (2007)	30 Erwachsene (15 Frauen, 15 Männer)  Alter: 24 ± 5 Jahre  Altersrange: 18-26 Jahre  [Verum: n=15 (8 Frauen, 7 Männer); Sham: n=15 (7 Frauen, 8 Männer)]	Parallelgruppen, doppelblind; balanciert  randomisierte, ausgeglichene Zuordnung	Kommerzielles GSM-Mobiltelefon  2 Expositionbedingungen:  GSM 900 MHz (gepulst); max. peak SAR (Abstand 3 cm, entspricht ungefähr Position der Cochlea): 0,41 W/kg  max. Sendeleistung: 2 W  Scheinexposition  Rechtes Ohr in gebrauchüblicher Position (fixiert über Halterung)	10 min (jeweils für Verum und Sham)  Ableitung: A2 – Cz  Frühe Akustisch Evozierte Potenziale (AEP) [ausgelöst durch Klickreize (Druck- und Sogreize sowie alternierendes Reizmuster)]  Endpunkte: Latenzen der frühen AEP	Unabhängig vom Klickreiztyp hatte die Exposition keinen Einfluss auf die Latenzen der drei untersuchten Hirnstampfpotentiale I, III und V.  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Kleinlogel et al. (2008b)	15 Männer Alter: 26,6 ± 4,6 Jahre Altersrange: 20-35 Jahre	doppelblind, cross-over, balanciert	Mobilfunkantenne 4 Expositionsbedingungen:  GSM 900 MHz pulsmoduliert (2, 8 und 217 Hz); max. peak SAR10g am Kopf: 1 W/kg  UMTS 1950 MHz "niedrig"; max. peak SAR10g am Kopf: 0,1 W/kg  UMTS 1950 MHz „hoch“; max. peak SAR10g am Kopf: 1 W/kg  Scheinexposition  direkt über linkem Ohr	30 min (jeweils für die drei Verum-Bedingungen GSM, UMTS high und UMTS „niedrig“ und Sham)  Ableitung: 19 EEG-Elektroden – Cz  Ereigniskorrelierte Potenziale (EKP) [visuell evozierte P100 (Schachbrettmuster), P300, akustisches Oddball-Paradigma), akustisch evozierte N100 (Ton)]  Endpunkte EKP: Amplituden-Shift  Weitere Endpunkte: Wach-EEG, kognitive Funktionen; Befindlichkeit und körperliche Beschwerden	Die Exposition hatte keinen Effekt auf die Zielparameter der untersuchten ereigniskorrelierten Potenziale.  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Stefanics et al. (2008)	36 Erwachsene (20 Frauen, 18 Männer) Alter: 23,1 Jahre  Altersrange: 19-28 Jahre  (29 wurden ausgewertet)	doppelblind; cross-over	Mobilfunkantenne  2 Expositionsbedingungen:  UMTS (Frequenz nicht angegeben); max. gemessene SAR1g (Abstand 3 cm): 0,39 W/kg  max. gemessene SAR1g: 1,75 W/kg; mittlere gemessene SAR10g: < 2 W/kg  Scheinexposition  Rechtes Ohr in gebrauchüblicher Position (fixiert über Halterung)	20 min (jeweils für Verum und Sham)  Ableitung: Fz, Cz, Pz – Mastoide  2 Sessions im Abstand von einer Woche:  EKP [N100, P200, N200 und P300 (akustisches Oddball-Paradigma)]  Endpunkte: Latenzen und Amplituden der EKP (Vorher-nachher-Vergleich); Verhaltensparameter (Prozentsatz richtig gezählter Zielreize)	Weder die Latenzen noch die Amplituden der untersuchten Potenziale wiesen expositionsbedingte Unterschiede auf. Die Exposition hatte auch keinen Einfluss auf die evozierte Gamma-Aktivität sowie auf die Phasenkohärenz zwischen den Trials.  Kein EMF-Einfluss auf den Verhaltensparameter  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne	Expositionsdauer	Auswirkungen
			Signaltyp	EEG Elektroden	EMF-Effekt
			Expositionsseite	Experiment - Endpunkte	Alters- und Geschlechtseffekt
De Tommaso et al. (2009)	10 Erwachsene (5 Frauen, 5 Männer)  Alter: 25,5 ± 3,9 Jahre Altersrange: 20-31 Jahre	doppelblind; cross-over	Kommerzielles GSM-Mobiltelefon; maximale Sendeleistung: 2 W  3 Expositionsbedingungen  GSM 900 MHz ; SAR10g: 0,5 W/kg (Verum)  Sham-Exposition (Radiofrequenz intern abgeführt, d.h. nur ELF von Batterie und internen Stromkreisläufen)  Mobiltelefon in ausgeschaltetem Modus (OFF)    Linkes Ohr in gebrauchstüblicher Position (fixiert über Halterung)	10 min (jeweils für Verum, Sham und OFF)  Ableitung: 30 Elektroden – Mastoide  Langsame Potenziale (LP) [Contingent Negative Variation=CNV (ausgelöst durch akustisches S1-S2-Pardigma)]  Endpunkte: Amplitude, Habituationsindex der frühen CNV	Im Vergleich zu der Experimental- bedingung, in der das Mobiltelefon ausgeschaltet war (= OFF), führten Verum- und Scheinexposition zu einer Amplitudenabnahme der frühen CNV sowie zu einem erhöhten Habituationsindex. Diese Veränderungen waren diffus über die Kopfoberfläche verteilt.  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>
Kwon et al. (2009)	17 junge Erwachsene  (12 Frauen, 5 Männer) Alter: 23,1 ± 4,5 Jahre  Altersrange: nicht	einfachblind?; cross-over	Kommerzielles Mobiltelefon  2 Expositionsbedingungen:  GSM 902 MHz (217 Hz); SAR10g: 0,82 W/kg  mittlere Sendeleistung: 0,25 W	pro Seite: 2x6min Verum und 1x6min Sham    Ableitung: 9 Elektroden (inkl. Mastoide) – Nase  (Statistische Analyse erfolgte aber	Unabhängig davon, durch welches Merkmal sich der abweichende Reiz von dem Standardreiz unterschied (Dauer, Intensität, Frequenz, Unterbrechung in der Mitte des Tons), hatte die Exposition keinen Einfluss auf die Peaklatenz, Peakamplitude und mittlere Amplitude der MMN.

	angegeben		<p>Scheinexposition</p> <p>Linkes bzw. rechtes in gebrauchsblicher Position (fixiert über Halterung)</p>	<p>nur für F3 und F4)</p> <p>Eine Session (Gesamtdauer: 1h):</p> <p>Ereigniskorrelierte Potenzial (EKP) [Mismatch Negativity (MMN), ausgelöst durch abweichende akustische Reize innerhalb einer aus identischen Stimuli bestehenden Tonsequenz]</p> <p>Endpunkte: Peaklatenz, Peakamplitude, mittlere Amplitude der MMN</p>	<p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>
Parazzini et al. (2009)	<p>134 Erwachsene (73 Frauen, 61 Männer) Alter: 24,5 ± 3,7 Jahre</p> <p>Altersrange: 18-30 Jahre</p> <p>(AEP-Analyse: n= 34-59, abhängig vom Parameter und Potenzial)</p>	doppelblind; cross-over	<p>Kommerzielles UMTS-Mobiltelefon</p> <p>2 Expositionsbedingungen:</p> <p>UMTS 1947 MHz;</p> <p>max. gemessene SAR (Abstand 3 cm, entspricht ungefähr Position der Cochlea): 69 mW/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>Rechtes oder linkes Ohr in gebrauchsblicher Position (fixiert über Halterung)</p>	<p>20 min (jeweils für Verum und Sham)</p> <p>Ableitung: Fz, Cz, Pz – Nase</p> <p>2 Sessions im Abstand von mind. 24h:</p> <p>Ereigniskorrelierte Potenziale (EKP)/Akustisch Evozierte Potenziale (AEP) [N100, P200, N200 und P300 (akustisches Oddball-Paradigma)]</p> <p>Endpunkte: Latenzen und Amplituden der EKP (Vorher-nachher-Vergleich)</p>	<p>Weder die Latenz- noch die Amplitudendifferenzen (jeweils Vorher-nachher-Vergleich) der untersuchten Potenziale wiesen expositionsbedingte Unterschiede auf.</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Bak et al. (2010)	15 Erwachsene (8 Frauen, 7 Männer)  Alter Frauen: 34±5 Jahre Alter Männer: 37±1 Jahre	einfachblind; cross-over	Kommerzielles Mobiltelefon  2 Expositionsbedingungen:  GSM 935 MHz (217 Hz); SAR: 0,81 W/kg (mittlere Leistungsdichte: 0,052 W/m <sup>2</sup> )  Scheinexposition   Expositionsseite nicht angegeben; in gebrauchstüblicher Position (fixiert über Halterung)	Ca. 20 min (jeweils für Verum und Sham)  Ableitung: 4 Elektroden (A1, A2, Cz, Fpz)  Ereigniskorrelierte Potenziale [N100, P200, N200 und P300 (akustisches Oddball-Paradigma)]   Endpunkte: Latenzen und Amplituden der EKP im Vergleich vor/während/nach Exposition	<b>EMF-Effekt:</b> Die Amplitude der P300 war während der Verumexposition kleiner als während der Scheinexpositionsbedingung.  Die Latenzen der untersuchten Potenziale wiesen keine expositionsbedingten Unterschiede auf.  <b>Altersunterschiede wurden nicht untersucht.</b>  Mögliche <b>Geschlechtsunterschiede</b> wurden thematisiert, aber aufgrund der geringen Gruppengröße <b>nicht untersucht</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne	Expositionsdauer	Auswirkungen
			Signaltyp	EEG Elektroden	EMF-Effekt
			Expositionsseite	Experiment - Endpunkte	Alters- und Geschlechtseffekt
Carrubba et al. (2010)	20 Erwachsene (13 Frauen, 7 Männer)  Altersrange Frauen: 18-53 Jahre  Altersrange Männer: 22-62 Jahre  Mittelwert Alter: nicht angegeben	einfachblind; cross-over, randomisierte Zuordnung;	Gepulstes elektrisches Feld (kein Funksignal), appliziert über zwei Metallplatten (Abstand 65cm) auf beiden Seiten des Kopfes (Intention: Simulation der Magnetfeldimpulse 3 $\mu$ T eines Mobiltelefons in 10cm Entfernung vom Kopf im Gesprächsmodus; Abstand zur Basisstation 3km)  2 Expositionsbedingungen:  Einzelpuls: Interstimulus-Intervall 3 s; elektrische Feldstärke: 100V/m  Scheinexposition	80 Trials à 3 s (Dauer EMF-Puls je 0,7 ms) (jeweils für Verum und Sham)  Ableitung: O1, O2, C3, C4, P3 und P4 – Mastoide  Endpunkte: Auslösung evozierter Potenziale durch die Impulse; Geschlechtseffekte	<b>Puls-Effekt:</b> Die experimentellen Impulse konnten bei 90% der ProbandInnen evozierte Potenziale auslösen (keine Effekte mit time averaging, aber mit einem speziellen, von den Autoren entwickelten Berechnungsverfahren)  <b>Kein Geschlechtseffekt:</b> Latenzen und Dauer der evozierten Potenziale waren weder vom Geschlecht noch von der Elektrodenposition abhängig.  <b>Altersunterschiede wurden nicht untersucht.</b>
Kwon et al. (2010a)	17 Kinder (13 Mädchen, 4 Jungen)  Alter: nicht angegeben  Altersrange: 11-12 Jahre	einfachblind; cross-over	Kommerzielles GSM-Mobiltelefon  2 Expositionsbedingungen:  GSM 902 MHz (217 Hz); SAR10g: 0,82 W/kg  mittlere Sendeleistung: 0,25 W	pro Seite: 2x6min Verum und 1x6min Sham  Ableitung: 9 Elektroden (inkl. Mastoide) – Nase  [Statistische Analyse erfolgte aber nur für Cz (P100, N200 und P300a) und für F3 und F4 (MMN)]	Unabhängig davon, durch welches Merkmal sich der abweichende Reiz von dem Standardreiz unterschied (Dauer, Intensität, Frequenz, Unterbrechung in der Mitte des Tons), hatte die Exposition keinen Einfluss auf die Latenz und Amplitude der MMN und der P300a. Des Weiteren zeigte die Exposition keinen Effekt auf die Latenz und Amplitude der P100 und N200 der Standardreize.

			<p>Scheinexposition</p> <p>Zuerst rechte, dann linke Seite in gebrauchsblicher Position (fixiert über Halterung)</p>	<p>Eine Session (Gesamtdauer: 1h):</p> <p>Ereigniskorrelierte Potenziale (EKP) [akustisch evozierte P100, N200 (ausgelöst durch Standardreiz) und P300a und Mismatch Negativity (MMN), ausgelöst durch abweichenden Reiz innerhalb einer aus identischen Stimuli bestehenden Tonsequenz]</p> <p>Endpunkte: Latenz, Amplitude der untersuchten EKP</p>	<p><b>Altersaspekt</b> wurde <b>indirekt untersucht</b>, da die Kinder mit dem gleichen Studiendesign und ähnlichen Zielparametern untersucht wurden wie bei Kwon et al. (2009).</p> <p><b>Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>
<p>Kwon et al. (2010b)</p>	<p>17 Erwachsene (11 Frauen, 6 Männer)</p> <p>Alter: 25,9 ± 4,3 Jahre</p>	<p>Keine Angabe zur Verblindung; cross-over, balanciert</p>	<p>Kommerzielles GSM-Mobiltelefon;</p> <p>3 Expositionsbedingungen</p> <p>Ohne Exposition/Mobiltelefon (Baseline)</p> <p>GSM 902.4 MHz (217 Hz); SAR10g: 0,82 W/kg</p> <p>mittlere Sendeleistung: 0,25 W</p> <p>Scheinexposition</p> <p>Linkes bzw. rechtes Ohr in gebrauchsblicher Position von Versuchsleiter/in gehalten</p>	<p>pro Seite: je 5 min für Baseline, Verum- und Scheinexposition</p> <p>Ableitung: Fp1 bzw. Fp2, zwei Gehörgangelektroden</p> <p>Eine Session (Gesamtdauer: ca. 1h): Exposition während akustisch evozierter Hirnstammpotenziale (frühe AEP): ausgelöst durch Klickreize (Sogimpuls)</p> <p>Endpunkte: Amplituden, Latenzen, Intervalle zwischen Potenzialen</p>	<p>Die Exposition hatte weder einen Einfluss auf die Latenzen der drei Hirnstammpotenziale I, III und V und deren Intervallen zwischen den Potenzialen noch auf die Amplituden der Potenziale I und V.</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne	Expositionsdauer	Auswirkungen
			Signaltyp	EEG Elektroden	EMF-Effekt
			Expositionsseite	Experiment - Endpunkte	Alters- und Geschlechtseffekt
Maganioti et al. (2010)	<p>Experiment 1: 19 Erwachsene (10 Frauen, 9 Männer) Alter: <math>23,3 \pm 2,2</math> Jahre</p> <p>Experiment 2: 20 Erwachsene (10 Frauen, 10 Männer) Alter: <math>22,8 \pm 2,7</math> Jahre</p>	<p>Für beide Experimente gilt:</p> <p>einfachblind; randomisierte Zuordnung; cross-over</p>	<p>Antenne (Hinweis auf Hountala et al., 2008; Dipolantenne)</p> <p>Je 2 Expositionsbedingungen:</p> <p>Experiment 1: 900 MHz (mittlere Power 64 mW) unmoduliertes Signal</p> <p>Experiment 2: 1800 MHz (mittlere Power 128mW) unmoduliertes Signal</p> <p>SAR: keine Angabe</p> <p>„ohne Exposition“ (Scheinexposition?)</p> <p>rechtes Ohr (20 cm Abstand)</p>	<p>ca. 45 min (jeweils für Verum GSM 900, Verum GSM 1800 und Sham) während Gedächtnistestung</p> <p>Ableitung: 15 Elektroden</p> <p>Zahlenspanne aus Wechsler Gedächtnistest (52 Wiederholungen pro Bedingung); P600 (ausgelöst durch zwei verschiedene Warnreize: bei niedrigem Ton musste die Zahlenspanne „vorwärts“, bei hohem Ton „rückwärts“ wiederholt werden)</p> <p>Endpunkte: Amplituden und Latenzen der P600 in Bezug auf EMF- oder/und Geschlechtseffekte</p>	<p><b>Geschlecht x EMF Interaktionseffekt:</b> Im Vergleich zu den Männern wiesen Frauen ohne Exposition (gepoolt für Experiment 1 und 2 trotz unterschiedlicher Probandenanzahl) eine verringerte Amplitude an anterioren Elektroden und eine verkürzte Latenz an zentralen Elektroden auf. Dieser war unter beiden Expositionen nicht mehr zu beobachten.</p> <p><b>Altersunterschiede wurden nicht untersucht</b></p>
Parazzini et al. (2010)	<p>73 Erwachsene (38 Frauen, 35 Männer) Alter: <math>22,8 \pm 3,8</math> Jahre</p> <p>EKP-Analyse: n=52 (außer bei P300, n=51)</p>	<p>doppelblind; cross-over</p>	<p>runde Dualband-Planarantenne</p> <p>2 Expositionsbedingungen:</p> <p>UMTS 1947 MHz; max. gemessene SAR1g (Abstand 2 cm, entspricht ungefähr Position der Cochlea: 1.75 W/kg; mittlere gemessene SAR10g: &lt; 2 W/kg</p>	<p>20 min (jeweils für Verum und Sham)</p> <p>2 Sessions (1 Session/Tag)</p> <p>Ableitung: Fz, Cz, Pz – Nase</p> <p>Ereigniskorrelierte Potenziale (EKP) [N100, P200, N200 und P300 (akustisches Oddball-</p>	<p>Weder die Latenz- noch die Amplitudendifferenzen der untersuchten Potenziale wiesen expositionsbedingte Unterschiede auf.</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden</b></p>

			Scheinexposition  Rechtes oder linkes Ohr (Auswahl nach besseren Ergebnissen in Audiometrie) in üblicher Gebrauchsposition (fixiert über Halterung)	Paradigma]  Endpunkte: Latenzen und Amplitudendifferenzen der EKP im Vorher-nachher-Vergleich	<b>nicht untersucht.</b>
Colletti et al. (2011)	12 Erwachsene mit Morbus Menière  Gruppe 1: Verum (3 Frauen, 4 Männer) Alter: 50,3 ± 9,7 Jahre  Gruppe 2: Sham (3 Frauen, 2 Männer) Alter: 54,1 ± 12,5 Jahre	einfachblind; Parallelgruppen	Kommerzielles Mobiltelefon  1Expositionsbedingung/Gruppe:  900 MHz; max. SAR: 0,82 W/kg (Herstellerangabe)  Scheinexposition  Expositionsseite nicht angegeben (Abstand Mobiltelefon zum Nervus Cochlearis: ca. 60 mm)	5 min (jeweils für Verum und Sham)  Ableitung: Nervus Cochlearis – Tragus  Endpunkte: Amplitude und Latenz der akustisch evozierten Cochlea-Summenaktionspotenziale (CNAP) und akustisch evozierte Hirnstammpotenziale	<b>EMF-Effekt:</b> Die Verum-Expositionsgruppe zeigte im Vergleich zur Scheinexpositionsgruppe eine geringere Amplitude und eine höhere Latenz des akustisch evozierten Cochlea-Summenaktionspotenzials N1 zur Folge. Diese Unterschiede blieben bis etwa 5 min nach der Exposition bestehen.  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>
Leung et al. (2011)	41 Jugendliche (20 Mädchen, 21 Jungen); Alter: 14,1 ± 0,9 Jahre; Altersrange: 13-15 Jahre  42 junge Erwachsene (21 Frauen, 21 Männer); Alter: 24,5 ± 4,5	doppelblind, balanciert (partiell), cross-over	GSM-Mobiltelefon auf einer Seite, UMTS-Mobiltelefon auf der anderen  3 Expositionsbedingungen:  Feld 1: 894,6 MHz; pulsmoduliert 217 Hz; Duty cycle 0,125; SAR10g=0,7 W/kg  Feld 2: simuliertes UMTS-Signal (1900 MHz (externe Quelle)	Gesamtexpositionsdauer/Session: ca. 55 min (jeweils für Verum GSM, Verum UMTS und Sham)  Ableitung: 61 Elektroden – Mastoide  drei Sessions (je eine Expositionsbedingung) im Abstand von mind. vier Tagen  Endpunkte Ereigniskorrelierte	<b>EMF-Effekt:</b> Die Amplitude der N100 war unter GSM-Exposition im Vergleich zur Scheinexpositionsbedingung größer. Im Vergleich zur Scheinexpositionsbedingung waren die ERD/ERS-Antworten unter GSM- und UMTS-Exposition verzögert.  Beide Effekte waren jedoch altersunabhängig ( <b>kein Alterseffekt</b> ).

	<p>Jahre; Altersrange: 19-40 Jahre</p> <p>20 ältere Erwachsene (10 Frauen, 10 Männer); Alter: <math>62,2 \pm 3,9</math> Jahre; Altersrange: 55-70 Jahre</p>		<p>SAR10g=1,7 W/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>linkes oder rechtes Ohr (balanciert)</p>	<p>Potenziale (EKP): N100, P300a und P300b (akustisches 3-Stimulus-Oddball-Paradigma), P100-N100-Komplex (visuelle Arbeitsgedächtnisaufgabe)</p> <p>Endpunkte ERD/ERS [im Frequenzbereich 8-13 Hz im Zusammenhang mit Nichtzielreizen (visuelle Arbeitsgedächtnisaufgabe)]</p> <p>Weitere Endpunkte: kognitive Funktionen (Arbeitsgedächtnis)</p> <p>Mögliche <b>Alterseffekte</b> wurden überprüft.</p>	<p><b>Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>
<p>Khullar et al. (2013)</p>	<p>60 Erwachsene (keine Angaben zu Geschlecht)</p> <p>Altersrange: 18-40 Jahre</p> <p>3 Gruppen (je 20):</p> <p>Gruppe A: Nichtnutzer</p> <p>Gruppe B: seit 5 Jahren Handynutzer</p> <p>Gruppe C: seit 10 Jahren Handynutzer</p>	<p>Parallelgruppen</p>	<p>Einschlusskriterien für Gruppe B und C: ausschließlich Handynutzung eines GSM-Mobiltelefons (Nokia); maximale Nutzungszeit: 30min/Tag</p>	<p>Gruppe A: keine Handyexposition</p> <p>Gruppe B und C: max. Nutzungszeit 30 min/Tag</p> <p>Ableitung: ipsilaterales Mastoid (Ai) – Cz</p> <p>frühe Akustisch evozierte Potenziale (AEP): ausgelöst durch alternierende Klickreize</p> <p>Endpunkte: Latenzen und Interpeaklatenzen der auditorischen Hirnstammpotenziale</p>	<p><b>EMF-Effekt:</b> Die Latenzen der Hirnstammpotenziale I bis V sowie die Interpeaklatenzen I-III, I-V und III-V zeigten keine Unterschiede zwischen den Gruppen A und B. Die Latenzen der Hirnstammpotenziale I bis V waren jedoch bei Gruppe C im Vergleich zu Gruppe A verlängert.</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Tombini et al. (2013)	<p>10 Erwachsene mit Epilepsie</p> <p>(5 Frauen, 5 Männer)</p> <p>Alter: 39,9 ± 18,1 Jahre Altersrange: 19-67 Jahre (3 Frauen während follikulärer Phase 5.-10. Zyklustag; 2 Frauen menopausal)</p>	<p>doppelblind; cross-over; balanciert</p>	<p>Kommerzielles GSM-Mobiltelefon</p> <p>3 Expositionsbedingungen:</p> <p>GSM 902,4 MHz (217 Hz) ; max. SAR: 0,5 W/kg</p> <p>mittlere Sendeleistung: 0,25 W</p> <p>ipsilateral Exposition</p> <p>kontralaterale Exposition</p> <p>Scheinexposition</p> <p>Rechtes und linkes Ohr in gebrauchstüblicher Haltung (fixiert über Halterung)</p>	<p>45 min (jeweils für Verum ipsilateral zum Epilepsieherd, Verum kontralateral zum Epilepsieherd und Sham)</p> <p>3 Sessions im Abstand von einer Woche:</p> <p>Ableitung: erster Musculus interosseus dorsalis (beide Hände)</p> <p>Transkranielle Magnetstimulation (TMS) zur Auslösung motorisch evozierter Potenziale (MEP)</p> <p>Endpunkte: kortikale Exzitabilität (MEP) im Vorher-nachher-Vergleich</p>	<p><b>EMF-Effekt:</b> Eine Exposition kontralateral zum Epilepsieherd führte zu einer signifikant erhöhten kortikalen Exzitabilität in der exponierten Hemisphäre und zu einer leicht (nicht signifikanten) erniedrigten kortikalen Exzitabilität in der nicht exponierten Hemisphäre im Vergleich zum Zeitpunkt vor der Befeldung.</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Trunk et al. (2013)	<p>Experiment 1: 17 Erwachsene (9 Frauen, 8 Männer): Alter: <math>21,8 \pm 3,5</math> Jahre (Range nicht angegeben)</p> <p>Experiment 2: 26 Erwachsene (12 Frauen, 14 Männer): Alter: <math>24,1 \pm 6,7</math> Jahre (Range nicht angegeben)</p>	doppelblind, cross-over	<p>Dualband Patch Antenne</p> <p>2 Expositionsbedingungen:</p> <p>UMTS 1947 MHz (Signal ähnlich Mobilfunkgerät)</p> <p>SAR<sub>10g</sub> &lt; 1,75 W/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>an rechtem Ohr, in gebrauchstüblicher Position</p>	<p>Expositionsdauer: 30 min (jeweils für Verum und Sham)</p> <p>Ableitung: Fz, Cz, Pz – Nase (Statistische Analyse für Experiment 2 für Fz und Cz)</p> <p>Zwei Sessions im Abstand von mind. einer Woche:</p> <p>Experiment 1: Spontan-EEG</p> <p>Experiment 2: (Vorher-nachher-Vergleich) 30 min Exposition: 10min: akustisch evozierte Potenziale (P50, N100, P200); ereigniskorrelierte Potenziale (Oddball; Mismatch Negativity, P300)</p> <p>Endpunkte Experiment 2: Latenzen und Amplituden der ereigniskorrelierten Potenziale (EKP) [P50, N100, P200, P300a und MMN (passives akustisches 3-Stimulus-Oddball-Paradigma)] (Vorher-nachher-Vergleich)</p> <p>Weitere Endpunkte: Wach-EEG</p>	<p>Weder die Latenzen noch die Amplituden der untersuchten Potenziale wiesen expositionsbedingte Unterschiede auf.</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Mandala et al. (2014)	<p>12 Erwachsene mit Morbus Menière</p> <p>Gruppe 1: GSM (3 Frauen, 3 Männer) Alter: 58,1 ± 21,6 Jahre</p> <p>Gruppe 2: Bluetooth (4 Frauen, 2 Männer) Alter: 48,8 ± 16,8 Jahre</p>	Verblindung nicht angegeben; Parallelgruppen randomisierte Zuordnung;	<p>Kommerzielles GSM-Mobiltelefon oder Bluetooth Headset</p> <p>1 Expositionsbedingung/Gruppe: 900 MHz ; max. SAR: 0,82 W/kg (max. Sendeleistung 2 W Herstellerangabe)</p> <p>Bluetooth 2,4 GHz (max. Sendeleistung 2,5 mW)</p> <p>Scheinexposition</p> <p>Expositionsseite nicht angegeben (Abstand Mobiltelefon zum Nervus Cochlearis: ca. 60 mm)</p> <p>GSM 900 MHz; max. SAR: 0,82 W/kg (Herstellerangabe)</p> <p>Bluetooth 2,4 GHz; max. SAR: vermutlich &lt; 0,004 W/kg</p> <p>Expositionsseite nicht angegeben (Abstand Mobiltelefon zum Nervus Cochlearis: ca. 60 mm)</p>	<p>5 min (jeweils für GSM bzw. Bluetooth)</p> <p>Ableitung: Nervus Cochlearis – Tragus</p> <p>akustisch evozierten Cochlea-Summenaktionspotenziale (CNAP) (ausgelöst durch alternierende Klickreize) während stand-by Modus (2min Baseline), gefolgt von 5min Verum und 10min ohne Exposition</p> <p>Endpunkte: Amplitude und Latenz der CNAPs (Vergleich vor/während/nach Exposition)</p>	<p><b>EMF-Effekt:</b> Die GSM-Exposition führte zu einer geringeren Amplitude und einer höheren Latenz des akustisch evozierten Cochlea-Summenaktionspotenzials N1. Diese Änderungen blieben bis etwa 5 min nach der Exposition bestehen.</p> <p>Die Bluetooth-Exposition zeigte keinen Effekt.</p> <p><b>Alter- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

**Tab. 3 Mobilfunkstudien zu Kognitiven Funktionen**

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer Tests Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Fritzer et al. (2007)	<p>Verum-Gruppe: 10 Männer: Alter: 28,5 ± 4,7 Jahre; Altersrange: 22-36 Jahre</p> <p>Sham-Gruppe: 10 Männer: Alter: 28,3 ± 4,1 Jahre; Altersrange: 23-37 Jahre</p>	einfachblind, Parallelgruppen	<p>drei vertikal ausgerichtete Lambda/2-Dipole</p> <p>2 Expositionsbedingungen:</p> <p>GSM 900 MHz (2 Hz, 8 Hz, 217 Hz und 1733 Hz)</p> <p>SAR1g = 875 mW/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>Abstand. 30 cm vom Vertex</p>	<p>6 x 8h-Nächte (konsekutiv)</p> <p>Nach Adaptations- und Baseline-Nacht: 6 Expositions-nächte in Verum-Gruppe</p> <p>Endpunkte kognitive Tests zu Aufmerksamkeit, Lernen und Gedächtnis:</p> <p>Vergleich Baseline mit erster und letzter Expositionsnacht (Zeitpunkt unklar; Vorher-nachher-Vergleich):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zahlenverbindungstest</li> <li>2. Trail Making Task – B</li> <li>3. d2 (Durchstreichtest)</li> <li>4. Zahlenspanne vorwärts</li> <li>5. Corsi Block Tapping Test</li> <li>6. Rey-Osterrieth Complex Figure Test</li> <li>7. Buschke Selective Reminding Test</li> </ol>	<p>Kein Expositionseffekt</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer Tests Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Regel et al. (2007b)	15 junge Männer: Alter: $22,4 \pm 0,4$ Jahre; Altersrange: 20-26 Jahre	doppelblind, cross-over	Planarantennen  3 Expositionsbedingungen:  GSM 900 MHz pulsmoduliert (2Hz, 8Hz, 217Hz und 1733Hz)  „niedrig“: psSAR <sub>1g</sub> =0,2 W/kg  GSM 900 MHz pulsmoduliert (2Hz, 8Hz, 217Hz und 1733Hz)  “hoch“: psSAR <sub>1g</sub> =5 W/kg  Scheinexposition    linke Kopfseite	während Testung 30 min vor Beginn der 8h-Polysomnographie  3 Sessions im Abstand von einer Woche (je eine Adaptations- und eine Expositionsnacht): Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis:  1. Einfacher Reaktionszeittest  2. Wahlreaktion  3. n-back (1-3)	„Dosis-Wirkung“- Effekt auf Reaktionszeit (1-back signifikant langsamere Reaktion unter 5W/kg), aber nicht auf Genauigkeit (größere Genauigkeit in 1. Hälfte 2-back unter 0,2W/kg)       <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>
Cinel et al. (2008)	Experiment 1: 160 Erwachsene (116 Frauen, 44 Männer): Alter: 22,2 Jahre  Experiment 2: 168 Erwachsene (112 Frauen, 56 Männer): Alter: $23 \pm 5$ Jahre; Altersrange: 18-42 Jahre	doppelblind, Parallelgruppen, balanciert	Mobiltelefon  Je 2 Expositionsbedingungen:  50% der ProbandInnen:  GSM 888 MHz pulsmoduliert  SAR avg= 1,4 W/kg  SAR peak= 11,2 W/kg	Expositionsdauer: Experiment 1: 45min/Session; Experiment 2: 40min/Session  2 Sessions im Abstand von einer Woche  Experiment 1: Endpunkte kognitive Tests (ca. 40min): Kurzzeitgedächtnis (n-back Tests) und Vigilanztest	Experiment 1: Kein Expositionseffekt    Experiment 2: <b>EMF-Effekt:</b> Abnahme der Reaktionszeit (im einfacheren Stroop Kontrolltest) und höhere Genauigkeit im schwierigeren Stroop Test unter EMF

			bzw. 50% der ProbandInnen:  888 MHz kontinuierliches Signal  SAR avg= 1,4 W/kg  Scheinexposition   linke oder rechte Seite (je 50%)	Experiment 2: Endpunkte kognitive Tests (ca. 35 min): Aufmerksamkeit (Stroop Test) und Kurzzeitgedächtnis (Sternberg Gedächtnistest) und Visuelle Suchaufgabe	keine Effekte auf andere Parameter bzw. Tests  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>
Curcio et al. (2008)	24 Erwachsene (12 Frauen, 12 Männer)  Alter: 28,2 ± 4,8  Altersrange: 19-36 Jahre	doppelblind, balanciert	Mobiltelefon (Motorola Timesport 260)  2 Expositionsbedingungen:  GSM 902,4 MHz (Modulationsfrequenzen 217 Hz und 8,33 Hz); SAR10g = 0,5 W/kg  mittlere Power = 0,25 W  Scheinexposition   an linkem und rechtem Ohr (Abstand 1,5 cm), aber nur rechte Seite aktiv	3x15 min Exposition/Session  2 Sessions im Abstand von einer Woche (zwischen 9:00 und 13:00 Uhr): 4x 10 min Testungen (verschachtelt mit 3x15 Exposition); beginnend mit 10 min Baseline-Testung  Endpunkte: Psychomotorik: vor/zwischen/nach Exposition:  1. einfacher akustischer Reaktionszeittest  2. Finger Tapping Test	Kein Expositionseffekt  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer Tests Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Kleinlogel et al. (2008b)	15 Männer Alter: 26,6 ± 4,6 Jahre Altersrange: 20-35 Jahre	doppelblind, cross-over, balanciert	Breitbandantenne 4 Expositionsbedingungen: GSM 900 MHz pulsmoduliert (2, 8 und 217 Hz); max. peak SAR10g am Kopf: 1 W/kg UMTS 1950 MHz "niedrig"; max. peak SAR10g am Kopf: 0,1 W/kg UMTS 1950 MHz „hoch“; max. peak SAR10g am Kopf: 1 W/kg Scheinexposition  direkt über linkem Ohr	Expositionsdauer/Session: 30 min 19 EEG-Elektrodenpositionen 5 Sessions (1. Session zur Übung) im Abstand von einer Woche zur gleichen Tageszeit: Vigilanzkontrolliertes Ruhe-EEG (Mausklick bei Ertönen eines Tones gefordert) während 4 min Sham (VIG1), gefolgt von Verum-Exposition für: 4 min (VIG2), 2,5 min VEP, 11 min Daueraufmerksamkeitstest, 6 min AE-P300, 2 min VIG3; am Ende ohne Exposition: 6 min VIG4 Endpunkte Daueraufmerksamkeit: Reaktionszeit und Auslassungen Endpunkte körperliche Beschwerden (Beschwerdeliste von Zerssen) und Befindlichkeit (Befindlichkeitsskala von Zerssen): vor und nach EEG-Aufzeichnung Weitere Endpunkte: Wach-EEG, evozierte Potenziale	Kein Expositionseffekt auf Testparameter  kein Expositionseffekt auf körperliche Beschwerden und Befindlichkeit  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer Tests Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Riddervold et al. (2008)	<p>40 Jugendliche (23 Mädchen, 17 Jungen): Alter: 15,7 ± 0,5 Jahre; Altersrange: 15-16 Jahre</p> <p>40 Erwachsene (16 Frauen, 24 Männer): Alter: 31,3 ± 4,5 Jahre; Altersrange: 25-40 Jahre</p>	doppelblind, balanciert, cross-over	<p>Basisstationssignal 1 V/m (2,6mW/m<sup>2</sup>)</p> <p>4 Expositionsbedingungen:</p> <p>2140 MHz kontinuierliches Signal</p> <p>2140 MHz Signal, UMTS Modulation</p> <p>UMTS 2140 MHz inklusiver aller Regelprozesse</p> <p>Scheinexposition</p> <p>2,8 m Abstand</p>	<p>45min/Expositionsbedingung</p> <p>4 Sessions im Abstand von mind. 24h (Tageszeit konstant): Testung während Exposition</p> <p>Endpunkte: Vigilanz, Aufmerksamkeit, Gedächtnis</p> <p>Hauptendpunkt: Trail Making Test – B</p> <p>Nebenendpunkte:</p> <p>Fünffach-Wahlreaktionstest (CANTAB)</p> <p>Paired associated learning (CANTAB)</p> <p>Rapid Visual Information Processing</p>	<p>Kein Effekt auf Testparameter (weder bei Jugendlichen, noch bei Erwachsenen)</p> <p>Alterseffekt: kein signifikanter Unterschied</p> <p><b>Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>



Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionseite	Expositionsdauer Tests Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Eltiti et al. (2009)	<p>Gruppe 1: 114 Erwachsene (keine Angaben zu Anzahl Frauen und Männer): Alter: 54,0 ± 15,4 Jahre</p> <p>Gruppe 2: 44 Erwachsene mit Mobilfunk-Elektrosensibilität (18 Frauen, 26 Männer); Alter: 46,1 ± 13,2 Jahre</p> <p>Gruppe 3: 44 Erwachsene ohne Mobilfunk-Elektrosensibilität (29 Frauen, 15 Männer); Alter: 46,1 ± 13,2 Jahre</p>	doppelblind, balanciert	<p>Basisstationssignal</p> <p>3 Expositionsbedingungen:</p> <p>GSM (kombiniertes Signal aus 900 MHz und 1800 MHz; 10mW/m<sup>2</sup>)</p> <p>UMTS 2020 MHz (10mW/m<sup>2</sup>)</p> <p>Scheinexposition</p> <p>5 m Abstand</p>	<p>50min Exposition/Session (Sessiondauer ca. 1,5h)</p> <p>4 Sessions im Abstand einer Woche (relativ konstante Tageszeit +/- 3h):</p> <p>1. Session: offene Provokationsstudie</p> <p>Session 2-4: doppelblind:</p> <p>Endpunkte: Leistung bei „hoher“ und „niedriger“ geistiger Beanspruchung vor/nach/während Exposition</p> <p>Rechenaufgaben: „hoch“</p> <p>Zahlen-Symbol-Test: „niedrig“</p> <p>Zahlenspanne (vorwärts): „niedrig“</p>	<p>Kein Expositionseffekt auf Leistung von Gruppe 1</p> <p>Kein Expositionseffekt auf Leistung in Gruppe 2 (ohne Bonferroni-Korrektur schlechtere Leistung in Zahlenspanne unter GSM und UMTS verglichen mit Scheinbedingung) und Gruppe 3</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionseite	Expositionsdauer Tests Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Luria et al. (2009)	48 Männer (3 Parallelgruppen): Alter: nicht angegeben	einfachblind, Parallelgruppen	zwei GSM Mobiltelefone (eines aktiv)  3 Expositionsbedingungen (drei Parallelgruppen mit je 16 Männern; 2 Expositionsbedingungen/Gruppe):  GSM 890,2 MHz, gepulst (217Hz)  SAR: 0,54 -1,09 W/kg  linke Seite  GSM 890,2 MHz, gepulst (217Hz)  SAR: 0,54 -1,09 W/kg  rechte Seite  Scheinexposition  rechte und linke Kopfseite	Expositionsdauer: ca. 1 h  Endpunkte: räumliches Arbeitsgedächtnis (hemisphärenspezifische Aufgabe: Antwort mit linker oder rechter Hand; Reaktionszeit und Genauigkeit)  Replikationsstudie von Eliyahu et al. (2006): Überprüfung der 2006 festgestellten Zeitabhängigkeit und der Verlangsamung der Reaktion der linken Hand unter Exposition; 12 Blocks a 50 Trials	<b>EMF-Effekt:</b> räumliches Arbeitsgedächtnis: Reaktionszeit der rechten Hand nahm bei linksseitiger Exposition während der ersten zwei Blocks (im Vergleich zu gemittelten Reaktionszeiten unter Schein- und rechtsseitiger Exposition) signifikant zu;  kein Effekt auf Genauigkeit und Reaktionszeit der linken Hand (Replikationsstudie nur teilweise bestätigt: zuvor langsamere Reaktionen der linken Hand unter Exposition und abweichender zeitlicher Verlauf)  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer Tests Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Wiholm et al. (2009)	<p>23 Erwachsene mit Mobilfunk-Elektrosensibilität (14 Frauen, 9 Männer); Alter: 28,8 ± 7 Jahre</p> <p>19 Erwachsene mit Mobilfunk-Elektrosensibilität (7 Frauen, 12 Männer); Alter: 29,4 ± 6 Jahre</p> <p>Altersrange Gesamtgruppe: 18 – 45 Jahre</p>	doppelblind, cross-over, balanciert	<p>Simulation eines GSM-Mobiltelefons in Gesprächsmodus</p> <p>2 Expositionsbedingungen:</p> <p>884 MHz gepulst SAR: 1,4 W/kg</p> <p>peakSAR10g= 1,95 W/kg (non-DTX)</p> <p>peakSAR10g= 0,23 W/kg (DTX)</p> <p>Scheinexposition</p> <p>linke Kopfseite (Ohr)</p>	<p>Expositionsdauer: kontinuierlich für 2,5 h</p> <p>3 Sessions: Gewöhnung, 2 Expositionsbedingungen; Testung vor und nach Exposition</p> <p>Endpunkte. Räumliches Gedächtnis und Lernen („Virtuelles Morris Wasser Labyrinth“): zurückgelegte Strecke und Verbesserung; Vergleich vor und nach Exposition</p>	<p><b>EMF-Effekt:</b> Erwachsene mit Mobilfunk-Elektrosensibilität: Verbesserung der Testleistung unter GSM-Exposition</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionseite	Expositionsdauer Tests Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Hareuveny et al. (2011)	29 Männer (2 Gruppen): Alter: nicht angegeben	Parallelgruppen, einfachblind	<p>zwei GSM Mobiltelefone (eines aktiv);</p> <p>2 Expositionsbedingungen (1/Gruppe):</p> <p>GSM 890,2 MHz, gepulst (217Hz)</p> <p>SAR: 0,54 -1,09 W/kg</p> <p>linke Seite</p> <p>GSM 890,2 MHz, gepulst (217Hz)</p> <p>SAR: 0,54 -1,09 W/kg</p> <p>rechte Seite</p> <p>linke oder rechte Kopfseite (Parallelgruppen); externe Antennen in 2m Abstand</p>	<p>Expositionsdauer: nicht angegeben</p> <p>Endpunkte: räumliches Arbeitsgedächtnis (hemisphärenspezifische Aufgabe: Antwort mit linker oder rechter Hand; Reaktionszeit und Genauigkeit)</p> <p>„Follow-up“ zu früheren Studien (Eliyahu et al. 2006 und Luria et al. 2009) mit verändertem Versuchsaufbau (Antennenabstand und fehlende Scheinexposition)</p>	<p>Kein signifikanter Expositionseffekt</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer Tests Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Sauter et al. (2011)	30 Männer: Alter: 25,3 ± 2,6 Jahre; Altersrange: 18-30 Jahre	doppelblind, cross-over, balanciert	Signal ähnlich Mobilfunk-Endgerät 3 Expositionsbedingungen: GSM 900 MHz (pulsmoduliert) SAR10g= 2 W/kg UMTS 1966 MHz SAR10g= 2 W/kg  Rechte Kopfseite (Ohr)	Expositionsdauer: ca. 7h 15min  10 Sessions (1 Adaptation; 3x3 Expositionsbedingungen) im Abstand von ca. 2 Wochen (konstante Tageszeit): Vormittags- und Nachmittagstestung  Endpunkte: Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis  Geteilte Aufmerksamkeit  Selektive Aufmerksamkeit  Vigilanztest  n-back (0-back, 2-back)	Keine Expositionseffekte (nach Bonferroni-Korrektur)  <b>Tageszeiteffekt:</b> schnellere Reaktionszeit am Nachmittag im Vergleich zum Vormittag  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>
Leung et al. (2011)  [Teilergebnisse aus Croft et al., 2010]	41 Jugendliche (20 Mädchen, 21 Jungen): Alter: 14,1 ± 0,9 Jahre; Altersrange: 13-15 Jahre  42 junge Erwachsene (21	doppelblind, balanciert (partiell), cross-over	GSM Mobiltelefon auf einer Seite, UMTS-Mobiltelefon auf der anderen  3 Expositionsbedingungen:  Feld 1: 894,6 MHz; pulsmoduliert 217 Hz; Tastverhältnis 0,125; SAR10g=0,7 W/kg	Gesamtexpositionsdauer/Session: ca. 55 min  61 EEG-Elektroden  drei Sessions (je eine Expositionsbedingung) im Abstand von mind. vier Tagen	Kein Expositionseffekt auf Testleistung in Oddball-Aufgabe; kein Alterseinfluss  n-back: kein Expositionseffekt auf Reaktionszeit

	<p>Frauen, 21 Männer): Alter: 24,5 ± 4,5 Jahre; Altersrange: 19-40 Jahre</p> <p>20 ältere Erwachsene (10 Frauen, 10 Männer): Alter: 62,2 ± 3,9 Jahre; Altersrange: 55-70 Jahre</p>		<p>Feld 2: simuliertes UMTS-Signal (1900 MHz (externe Quelle) SAR10g=1,7 W/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>linkes oder rechtes Ohr (balanciert)</p>	<p>Endpunkte: Aufmerksamkeit</p> <p>Reaktionszeit und Genauigkeit in akustischem 3-Stimulus-Oddball- Paradigma</p> <p>visuelles Arbeitsgedächtnis: n-back (Genauigkeit und Reaktionszeit in 1-, 2-, 3-back)</p>	<p><b>Altersspezifischer EMF- Effekt</b> auf Genauigkeit: Jugendliche unter UMTS schlechter als in Scheinexpositionsbedingung (Spekulation, dass Jugendliche über „schlechtere Kompensationsmöglichkeiten als Erwachsene“ verfügen)</p> <p><b>Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>
<p>Curcio et al. (2012)</p>	<p>12 junge Männer</p> <p>Alter: 21,4 ± 2,0 Jahre</p> <p>Altersrange: 19-25 Jahre</p>	<p>doppelblind, balanciert, cross-over</p>	<p>Zwei Mobiltelefone (rechtes aktiv)</p> <p>2 Expositionsbedingungen:</p> <p>GSM 902,4 MHz gepulst (8,33 Hz und 217 Hz)</p> <p>peakPower: 2W/kg</p> <p>max. SAR: 0,5W/kg (in 2cm Tiefe des Phantoms)</p> <p>Scheinexposition</p> <p>rechtes Ohr</p>	<p>Expositionsdauer: 45min</p> <p>2 Sessions im Abstand einer Woche</p> <p>Funktionelle Magnetresonanztomographie</p> <p>Endpunkte: Änderung des Sauerstoffgehalts im Blut (BOLD- response) aktiver Hirnregionen und somatosensorische Reaktionszeiten während der Ausübung einer Go-NoGo- Aufgabe (Reaktionstaste drücken, wenn elektrische schmerzfreie Stimulation der Daumen erfolgt) – vor und unter Exposition</p>	<p>Reaktionszeiten: kein Expositionseffekt (kein Unterschied zwischen Verum- und Scheinbedingung)</p> <p>Gehirnaktivität: kein Expositionseffekt</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer Tests Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Mortazavi et al. (2012)	<p>160 Erwachsene (38 Frauen, 122 Männer): Alter: 23,5 ± 2,9 Jahre; Altersrange: 18-31 Jahre</p> <p>3 Gruppen nach Gesamtnutzungsdauer:</p> <p>n=35 „gering“ (&lt;200h)</p> <p>n=98 „mäßig“ (201-600h)</p> <p>n=27 „häufig“ (&gt;600h)</p>	einfachblind, cross-over	<p>GSM Mobiltelefon (Nokia N78)</p> <p>Frequenz nicht angegeben</p> <p>maxSAR = 1,23 W/kg am Ohr (Herstellerangabe)</p> <p>Scheinexposition</p> <p>rechtes Ohr</p>	<p>Expositionsdauer: 5x10 min (zufällige Reihenfolge von Exposition und Scheinexposition)</p> <p>Je 5 x Verum- und Scheinexpositionsbedingung; Verum: Gesprächs- und Stand-by Modus</p> <p>Endpunkte: akute und chronische Effekte von EMF auf Reaktionszeit in einem visuellen Reaktionszeittest vor und nach Befeldung</p>	<p><b>Akuter EMF-Effekt:</b> signifikant schnellere Reaktionszeiten zum Zeitpunkt nach EMF-Exposition im Vergleich zur Scheinexposition (keine Differenzen, keine Baseline-Werte angegeben)</p> <p>Chronischer EMF-Effekt: kein Unterschied zwischen den Gruppen (keine Differenzen, keine Baseline-Werte angegeben)</p> <p><b>Einfluss des Geschlechts:</b> Frauen reagierten im Vergleich zu den Männern signifikant langsamer nach Befeldung Gesprächs- und Stand-by Modus (keine Angaben zu Differenzen, keine Baseline-Werte angegeben)</p> <p><b>Alterseffekt: kein Effekt des Alters</b> auf Reaktionszeit im Gesprächs- und Stand-by Modus (Regression; Zeitpunkt und Berechnung unklar)</p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer Tests Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
M. R. Schmid et al. (2012a)	30 Männer: Alter: 23 ± 0,3 Jahre; Altersrange: 20-26 Jahre	doppelblind, cross-over	2 Planarantennen (linke aktiv)  3 Expositionsbedingungen:  900 MHz pulsmoduliert (14Hz): peak SAR10g= 2 W/kg  900 MHz pulsmoduliert (217Hz): peak SAR10g= 2 W/kg  Scheinexposition  linke Seite (Antenne 42mm vertikal über Ohrkanal mit 115mm Abstand)	Expositionsdauer: 30 min vor 8h-Schlafableitung  3 Sessions im Wochenabstand: 2-malige Testung während 30min Exposition)  Endpunkte: Aufmerksamkeit, Reaktionsgeschwindigkeit, Arbeitsgedächtnis:  Einfacher Reaktionszeittest  2-Fach-Wahl-Reaktionstest  n-back (1-, 2-, 3-back)  weitere Endpunkte: Schlaf, Stimmung und Befinden	<b>14hz-Modulationseffekt:</b> 3-back: in erster Testung signifikante Abnahme der Bearbeitungsgenauigkeit unter 14Hz-Modulation  Kein Expositionseffekt auf andere Parameter und Testleistung in einfachem Reaktionstest und 2-Fach-Wahl-Reaktionstest  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>
M. R. Schmid et al. (2012b)	25 Männer: Alter: 23,2 ± 0,4 Jahre; Altersrange: 20-26 Jahre	doppelblind, cross-over	Zwei Patch-Antennen  3 Expositionsbedingungen:  900 MHz Signal (Amplitudenmodulation 2 Hz, 8 Hz und Harmonische bis 20 Hz); SAR10g= 2 W/kg  magnetisches Feld (entsprechend der oben genannten Amplitudenmodulation); Spitzenwert	Expositionsdauer: 30 min vor 8h-Schlafableitung  3 Sessions im Wochenabstand: 2-malige Testung während 30min Exposition)  Endpunkte: Aufmerksamkeit, Reaktionsgeschwindigkeit, Arbeitsgedächtnis:	<b>Magnetfeld-Effekt:</b> Zunahme der Reaktionsgeschwindigkeit nach Magnetfeld-Exposition im einfachen Reaktionstest während erster und zweiter Hälfte  Kein Expositionseffekt auf Bearbeitungsgüte  Kein Expositionseffekt auf

			<p>der magnetischen; Flussdichte: 0,7 mT</p> <p>Scheinexposition</p> <p>linke Seite (Antenne 42mm vertikal über Ohrkanal mit 115mm Abstand)</p>	<p>Einfacher Reaktionszeittest</p> <p>2-Fach-Wahl-Reaktionstest</p> <p>n-back (1-, 2-, 3-back)</p> <p>weitere Endpunkte: Schlaf, Stimmung und Befinden</p>	<p>Testleistung in anderen Tests</p> <p><b>Altersunterschiede:</b> Eine vergleichbare Altersgruppe männlicher Probanden (Alter: 19-25 Jahre) in der Studie von Regel et al. (2007a), die ebenfalls während einer 30 Minuten dauernden Exposition eine Arbeitsgedächtnisaufgabe absolvierten, zeigte eine Abnahme in der Reaktionsgeschwindigkeit und eine Zunahme in der Genauigkeit der Bearbeitung.</p> <p><b>Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>
Vecchio et al. (2012a)	<p>11 Erwachsene (3 postmenopausale Frauen – 8 Männer)</p> <p>Alter: 43,6 ± 4,0 Jahre</p> <p>Altersrange: 24-63 Jahre</p>	doppelblind, cross-over	<p>Mobilfunktelefon</p> <p>2 Expositionsbedingungen:</p> <p>GSM 902,4 MHz (Modulationsfrequenzen 217 Hz und 8,33 Hz); SAR10g=0,5 W/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>Linke Kopfseite</p>	<p>Expositionsdauer: 45 min</p> <p>56 EEG-Elektroden</p> <p>Zwei Sessions (je 45 min) im Abstand von einer Woche: EEG-Aufzeichnung während visueller go/no-go task (10min) vor und nach Exposition (Vorher-nachher-Vergleich)</p> <p>Kognitive Endpunkte: Aufmerksamkeit; Reaktionsfähigkeit in go/no-go-task</p> <p>Weitere Endpunkte: ERD (EEG)</p>	<p><b>EMF-Effekt:</b> schnellere Reaktionszeit auf relevante Stimuli nach GSM-Exposition im Vergleich zu vorher</p> <p>keine Unterschiede in Scheinbedingung</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer Tests Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Loughran et al. (2013)	22 Jugendliche (10 Mädchen, 12 Jungen): Alter: 12,3 ± 0,8 Jahre; Altersrange: 11-13 Jahre  (zwei von EEG-Analyse ausgeschlossen)	doppelblind, cross-over	Planarantenne  3 Expositionsbedingungen:  900 MHz Trägerfrequenz; Modulation wie GSM-Mobilfunkgerät;  Feld 1: SAR10g=0,35 W/kg  Feld 2: SAR10g=1,4 W/kg  Scheinexposition    Linke Kopfseite	Expositionsdauer: je 30 min  Drei Sessions im Wochenabstand: Ruhe-EEG zu drei Zeitpunkten (vor, sofort nach, 30 und 60 min nach Exposition);  während Exposition: Testung  Kognitive Endpunkte: Aufmerksamkeit, Reaktionsgeschwindigkeit, Arbeitsgedächtnis:  Einfacher Reaktionszeittest  2-Fach-Wahl-Reaktionstest  n-back (1- und 2- back)  weitere Endpunkte: Befindlichkeit (Visuelle Analogskalen), EEG	Kein Expositionseffekt auf Testleistung und Befindlichkeit  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer Tests Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Lustenberger et al. (2013)	16 junge Männer: Alter: $19,9 \pm 0,2$ Jahre; Altersrange. 18-21 Jahre	doppelblind, cross-over	Zirkularpolarisierte Antenne  Zwei Expositionsbedingungen:  900 MHz pulsmoduliert; 500 ms Bursts: 7 Pulse von je 7,1 ms; wiederholte Abfolge von:  5 min 1 Burst alle 4s (0,25 Hz; Spindelfrequenz); 1 min OFF  5 min 1 Burst alle 1,25s (0,8 Hz; langsame Aktivität)  7 min OFF  peakSAR10g= 10 W/kg (Puls)  peakSAR10g= 1 W/kg (Burst)  peakSAR10g= 0,15 W/kg (Gesamtnacht)  Scheinexposition    auf Höhe des Kopfendes in 415mm Abstand zum Kopf	Ganznacht-Exposition 2 Experimentalnächte (und jeweils Adaptationsnacht zuvor): intermittierend während 8h Schlaf  vor und nach Exposition: motorische Finger Tapping- Aufgabe  EEG: 8 Positionen (C4-A1 für Spektralanalyse)  Endpunkte Testleistung: motorischer Lernerfolg: Abnahme der Variabilität (Varianz) der Reaktionszeiten: Differenz der letzten zwei Trainingsdurchgänge am Abend und der ersten zwei Abfragedurchgänge am Morgen  Weitere Endpunkte: Makro- und Mikrostruktur des Schlafs (u.a. Slow Wave Activity = SWA; 0,75- 4,5 Hz)  subjektive Angaben zu Befinden und Stimmung; subjektive Schlafqualität	<b>EMF-Effekt auf Testleistung:</b> signifikant geringere Verbesserung in motorischer Aufgabe (Varianz der Reaktionszeiten) in Verum- als in Scheinexpositionsbedingung  Geringere SWA-Aktivität im Verlauf der Nacht unter Scheinexposition korreliert mit größerer Verbesserung in motorischer Aufgabe (Varianz der Reaktionszeiten); keine solche signifikante Korrelation unter Verum-Exposition  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht</b>

**Tab. 4 Mobilfunkstudien zur Makrostruktur des Schlafs**

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Arnetz et al. (2007)	71 Erwachsene (36 Frauen, 35 Männer); Altersrange: 18-45 Jahre  davon berichten Symptome: 38 (22 Frauen, 16 Männer)  Keine Symptome: 33 (14 Frauen, 19 Männer)	doppelblind?, cross-over	GSM-Mobiltelefon-Signal  2 Expositionsbedingungen:  GSM 884 MHz  1,4 W/kg (DTX und non-DTX)  Scheinexposition          Linke Hemisphäre (mit Kopfhaltung)	Expositionsdauer: 3h verbunden mit Testung und Symptomabfrage  3 Sessions (1 Adaptations-Session; 2 Expositions-nächte), bevor/unter/nach Exposition     Endpunkte Schlaf: Makrostruktur  Endpunkte Symptome  Endpunkte kognitive Funktionen	<b>EMF-Effekt</b> auf Schlaf eine Stunde nach GSM-Exposition: Latenz zu Stadium S3 verlängert (6 min), Abnahme von Stadium 4  <b>EMF - Symptome:</b> mehr Kopfschmerzen in der nicht-symptomatischen Gruppe unter Verum- im Vergleich zur Scheinexposition            <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Regel et al. (2007b)	15 Männer: Alter: 22,4 ± 0,4 Jahre; Altersrange: 20-26 Jahre	doppelblind, cross-over	Planarantennen 3 Expositionsbedingungen:  GSM 900 MHz pulsmoduliert (2 Hz, 8 Hz, 217 Hz und 1733 Hz) „niedrig“: psSAR1g=0,2 W/kg  GSM 900 MHz pulsmoduliert (2 Hz, 8 Hz, 217 Hz und 1733 Hz) „hoch“: psSAR1g=5 W/kg  Scheinexposition  linke Kopfseite	30 min Exposition (während Testung) vor Beginn der 8h- Polysomnographie  3 Labornächte im Abstand von einer Woche (je eine Adaptations- und eine Expositionsnacht):  Endpunkte Schlaf: Mikro- und Makrostruktur (Bettzeit, Gesamtschlafzeit, Schlaflatenz, REM-Latenz, Wach nach Schlafbeginn, Stadium 2, Tiefschlaf, REM-Schlaf, Movement Time)  Weitere Endpunkte: kognitive Funktionen	Kein Einfluss der Exposition auf Schlafarchitektur  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Leitgeb et al. (2008)	43 elektrosensible Erwachsene (26 Frauen, 17 Männer): Alter Frauen: 56,0 ± 10,6 Jahre; Alter Männer: 55,0 ± 10,5 Jahre	cross-over, einfachblind (Durchführung), doppelblind (Auswertung)	3 Expositionsbedingungen: Kontrollbedingung(ohne Abschirmung) „Sham-Schirm“ (Pseudo-Abschirmung) „Verum-Schirm“ (richtige Abschirmung)	Exposition: 10 konsekutive Nächte pro Person in eigenen Schlafzimmern erfasst (1. Nacht Adaptation; je 3 pro Bedingung)  Ambulante PSG: Bipolares frontales EEG; EOG, EKG  Endpunkte: Schlaf von 465 Nächten (11 Makrostruktur-Parameter und 4 Morgenprotokoll-Parameter)	Gepoolte Daten: Keine EMF-Effekt auf Schlafparameter  Probanden-spezifische Auswertung: bei 16% signifikanter Placeboeffekt (subjektive Maße); bei 9% Verlängerung der Latenzen  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>
Danker-Hopfe et al. (2010)	397 Erwachsene (202 Frauen, 195 Männer); Alter: 45,0 ± 14,2 Jahre; Altersrange: 18-81 Jahre  Auswertung objektive Schlafqualität: 335 Erwachsene  Auswertung subjektive Schlafqualität: 365	doppelblind, balanciert, cross-over	Basisstationssignale (GSM)  2 Expositionsbedingungen:  GSM 900 und GSM 1800 MHz: generische GSM Signale (modifizierte Basisstation)  Scheinexposition	Expositionsdauer: 8h/Nacht; 5 Nächte mit und 5 Nächte ohne Exposition in eigenem Schlafzimmer  Ambulante PSG: frontopolares EEG, EOG  Endpunkte: objektive und subjektive Schlafqualität (Schlafeffizienzindex,	Kein EMF-Effekt auf Makrostruktur und nicht auf subjektive Schlafqualität  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

	Erwachsene			Latenz zu NREM1 und NREM2; Wachzeit nach Schlafbeginn in (min und % der Bettzeit, Gesamtschlafzeit und Bettzeit)	
Danker-Hopfe et al. (2011)	30 Männer: Alter: 25,3 ± 2,6 Jahre; Altersrange: 20-30 Jahre	doppelblind, cross-over, balanciert	flache Antenne am Körper getragen (simuliertes GSM- oder UMTS-Signal)  3 Expositionsbedingungen:  GSM 900 MHz (pulsmoduliert; 217 Hz); maxSAR10g= 2 W/kg  UMTS: 1966 MHz; maxSAR10g= 2 W/kg  Scheinxexposition   Rechtes Ohr in üblicher Position	Expositionsdauer: während 8h Bettzeit  10 PSG-Nächte (1 Adaptationsnacht, je 3 pro Expositionsbedingung)  EEG: 19 Elektroden   Endpunkte: 177 Variablen zur objektiven Schlafqualität	<b>GSM-Exposition:</b> signifikante Effekte bei 13 von 177 Variablen: Zunahme REM-Schlaf (6 Variablen), Abnahme NREM2 (4 Variablen); Zunahme Movement Time (2 Variablen), Abnahme Schlafstadienwechsel von SWS zu NREM1  <b>UMTS Exposition:</b> signifikante Effekte bei 3 von 177 Variablen: Zunahme und Dauer der REM-Perioden, Abnahme der Dauer d. NREM-Perioden; weniger NREM2 in mittlerem Schlafzyklus  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Lowden et al. (2011)	<p>48 Erwachsene (27 Frauen, 21Männer): Alter: <math>28 \pm 0,7</math> Jahre; Altersrange: 18-44 Jahre</p> <p>davon 23 mit Mobilfunk-Elektrosensibilität (15 Frauen, 8 Männer): Alter: <math>27 \pm 1,3</math> Jahre</p> <p>25 ohne Mobilfunk-Elektrosensibilität (12 Frauen, 13 Männer): Alter: <math>29 \pm 1,3</math> Jahre</p>	doppelblind, cross-over	<p>Patch-Antenne mit Kopfhaltung</p> <p>2 Expositionsbedingungen:</p> <p>GSM 884 MHz pulsmoduliert</p> <p>1,4 W/kg (DTX und non DTX)</p> <p>peakSAR<sub>10g</sub>=1,4 W/kg</p> <p>Scheinexposition</p> <p>Linke Hemisphäre</p>	<p>Expositionsdauer: 3h von 19:30-22:30 (1h vor Licht aus); während Exposition lesen, ruhen oder Testung</p> <p>3 Labornächte (1 Nacht Gewöhnung, 2 Experimentalnächte mit mind. 1 Woche Abstand zwischen allen Nächten)</p> <p>EEG: 8 bipolare Signale</p> <p>Endpunkte Schlaf: subjektive und objektive Schlafqualität</p> <p>Endpunkt subjektive Schläfrigkeit (Karolinska Schläfrigkeitsskala) und Schlafqualität (Karolinska Schlaftagebuch)</p>	<p><b>EMF-Effekt:</b> Nach Verum-Exposition: Abnahme von Stadium S3 und S4 (12%) und Zunahme von Stadium S2 (4%); längere S3-Latenz (4,8min)</p> <p>Kein Unterschied zwischen Gruppen</p> <p>Kein EMF-Effekt auf subjektive Schläfrigkeit oder Schlafqualität</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
<p>Loughran et al. (2012)</p> <p>(Replikationsstudie von Loughran et al., 2005)</p>	<p>20 Erwachsene (13 Frauen, 7 Männer): Alter: 27,9 ± 6,5 Jahre; Altersrange: 20-51 Jahre</p> <p>(alle Pbd. bereits 2005 untersucht)</p>	<p>doppelblind, cross-over, balanciert</p>	<p>Modifiziertes GSM-Mobiltelefon</p> <p>2 Expositionsbedingungen:</p> <p>GSM 894,6 MHz (pulsmoduliert 217 Hz; Peak SAR 2 W/kg)</p> <p>Scheinexposition</p> <p>rechtsseitig in üblicher Position</p>	<p>Expositionsdauer: 30 Min. im Sitzen bis 20 min vor Licht aus</p> <p>3 konsekutive Labornächte (1. Nacht Gewöhnung, 2 Experimentalnächte)</p> <p>EEG: 2 (C3-A2; C4-A1)</p> <p>Endpunkte: Mikro- und Makrostruktur (Schlafatenz bzw. Latenz zu Stadium S2; REM-Latenz, Gesamtschlafzeit, Schlafeffizienz, Anzahl Arousal): Gruppierung der Pbd. nach REM-Latenz und Anzahl der Arousals in Studie von Loughran et al. (2005)</p> <p>Endpunkt subjektive Schläfrigkeit am Morgen (Karolinska Schläfrigkeitsskala)</p>	<p>Kein Expositions- oder Gruppeneffekt auf Makrostruktur oder subjektive Schläfrigkeit</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede</b> in Bezug auf Makrostruktur <b>nicht berichtet</b></p>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
M. R. Schmid et al. (2012a)	30 Männer Alter: 23 ± 0,3 Jahre Altersrange: 20-26 Jahre	doppelblind, cross-over	2 Planarantennen (linke aktiv) 3 Expositionsbedingungen: 900 MHz pulsmoduliert (14 Hz) peak SAR10g= 2 W/kg 900 MHz pulsmoduliert (217 Hz) peakSAR10g= 2 W/kg Scheinexposition  linke Seite (Antenne 42mm vertikal über Ohrkanal mit 115mm Abstand)	Expositionsdauer: 30 min vor 8h-Schlafableitung (10min vor Licht aus)  3 Sessions im Wochenabstand: 2-malige Testung während 30min Exposition (jeweils eine Adaptationsnacht vor Experimentalnächten)  EEG: 1 (C3-A2)  Endpunkte: kognitive Funktionen  Endpunkte: Mikro- und Makrostruktur (Gesamtschlafzeit, Schlaflatenz, REM-Latenz, Wachzeit nach Schlafbeginn, Stadium 2, Tiefschlaf, Stadium REM, Movement Time; Schlaffeffizienz; für Zyklen 1-4: Dauer NREM- und REM-Schlaf; Prozentsatz Stadium); Herzrate  weitere Endpunkte: Stimmung, Befinden und subjektive Schlafqualität	Kein Expositionseffekt auf Makrostruktur  Keine Expositionseffekte auf Herzrate, Stimmung, Befinden und subjektive Schlafqualität  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
M. R. Schmid et al. (2012b)	25 Männer: Alter: 23,2 ± 0,4 Jahre; Altersrange: 20-26 Jahre  (n=23 für Schlafanalyse)	doppelblind, cross-over	Zwei Patch-Antennen  3 Expositionsbedingungen:  900 MHz Signal (Amplitudenmodulation 2 Hz, 8 Hz und Harmonische bis 20 Hz); SAR10g= 2 W/kg  magnetisches Feld (entsprechend der oben genannten Amplitudenmodulation); Spitzenwert der magnetischen; Flussdichte: 0,7 mT  Scheinexposition  linke Seite (Antenne 42mm vertikal über Ohrkanal mit 115mm Abstand)	Expositionsdauer: 30 min vor 8h-Schlafableitung (10min vor Licht aus)  3 Sessions im Wochenabstand: 2-malige Testung während 30min Exposition (jeweils eine Adaptationsnacht vor Experimentalnächten)  EEG: 1 (C3-A2)  Endpunkte: Mikro- und Makrostruktur (Gesamtschlafzeit, Schlaflatenz, REM-Latenz, Wachzeit nach Schlafbeginn, Stadium 2, Tiefschlaf, Stadium REM, Movement Time; Schlaffeffizienz; für Zyklen 1-4: Dauer NREM- und REM-Schlaf; Prozentsatz Stadium); Herzrate  weitere Endpunkte: Stimmung, Befinden und subjektive Schlafqualität	EMF-Effekt: nach Hochfrequenzsignal Abnahme von REM-Schlaf in zweitem Schlafzyklus  Keine Expositionseffekte auf Herzrate, Stimmung, Befinden und subjektive Schlafqualität  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Lustenberger et al. (2013)	16 junge Männer Alter: 19,9 ± 0,2 Jahre Altersrange. 18-21 Jahre	doppelblind, cross-over	Zirkularpolarisierte Antenne Zwei Expositionsbedingungen: 900 MHz pulsmoduliert (500ms Bursts: 7 Pulse von je 7,1 ms; wiederholte Abfolge von: 5 min 1 Burst alle 4s (0,25 Hz; Spindel-frequenz); 1 min OFF 5 min 1 Burst alle 1,25s (0,8 Hz; langsame Aktivität) 7 min OFF peakSAR10g= 10 W/kg (Puls) peakSAR10g= 1 W/kg (Burst) peakSAR10g= 0,15 W/kg (Gesamtnacht) Scheinexposition  auf Höhe des Kopfes in 415mm Abstand zum Kopf	Ganznacht-Exposition; 2 Experimentalnächte (und jeweils Adaptationsnacht zuvor): intermittierend während 8h Schlaf  vor und nach Exposition: motorische Finger Tapping-Aufgabe  EEG: 8 Positionen (C4-A1 für Spektralanalyse)  Endpunkt Makrostruktur: Gesamtschlafzeit, Schlaflatenz (Stadium S2), Wach nach Schlafbeginn, Schlafeffizienz, Dauer von Stadium S1, S2, S3, S4, REM; Dauer der NREM-REM-Zyklen; Analyse der ersten vier NREM-REM Zyklen  Weitere Endpunkte: subjektive Angaben zu Befinden und Stimmung; subjektive Schlafqualität; Lernerfolg in motorischer Aufgabe, Mikrostruktur des Schlafs	<b>EMF-Effekt:</b> signifikant geringere Gesamtschlafzeit (-2,1%) und Schlafeffizienz (-1,9%) und sign. längere Wachzeit (6,6 min) unter Verum im Vergleich zur Scheinexpositionsbedingung  Ergebnisse zu subjektiven Angaben wurden nicht präsentiert.  <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Nakatani-Enomoto et al. (2013)	<p>19 Erwachsene (7 Frauen, 12 Männer)</p> <p>Alter: 30,6 ± 6,1 Jahre</p> <p>Altersrange. 22-39 Jahre</p> <p>Alter Frauen: 32,4 ± 6,5 J.</p> <p>Alter Männer: 30,1 ± 5,9 J.</p>	doppelblind; cross-over, balanciert	<p>Mobiltelefon mit UMTS-Signal von Stabantenne (3 m Entfernung)</p> <p>Kontinuierliches Signal; downlink Basisstation: 2140 MHz; uplink Mobiltelefon: 1950 MHz</p> <p>maxSAR10g= (1,52 W/kg in Kopf)</p> <p>Linke Seite in üblicher Position über Ohr (15mm Abstand zwischen Telefon und Ohr)</p>	<p>Expositionsdauer: 3h (nach jeder h 5min Pause)</p> <p>Polysomographie: individuelle Bettzeiten und ca. 2h nach Ende der Exposition</p> <p>Elektroden: F3, F4, C3, C4, O1, O2</p> <p>Endpunkte Makrostruktur: Schlaflatenz, REM-Latenz, Schlafeffizienz; Stadien (%) W, N1, N2, N3, R; Latenz N2 (Erscheinen 1. Schlafspindel)</p> <p>Weitere Endpunkte: subjektive Schläfrigkeit (Stanford Schläfrigkeitsskala, Visuelle Analogskala) und Schlafqualität am Morgen (Visuelle Analogskala); Mikrostruktur</p>	<p>Keine Unterschiede in subjektiver Schläfrigkeit und Schlafqualität zwischen den Expositionsbedingungen</p> <p>Keine Unterschiede in der Makrostruktur zwischen den Expositionsbedingungen</p> <p><b>Alterseffekt: nicht untersucht</b>, aber die Autoren spekulieren, dass der Schlaf älterer Personen durch EMF beeinträchtigt werden könnte.</p> <p><b>Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

Tab. 5 Mobilfunkstudien zur Mikrostruktur des Schlafs

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne Signaltyp Expositionsseite	Expositionsdauer EEG Elektroden Experiment - Endpunkte	Auswirkungen EMF-Effekt Alters- und Geschlechtseffekt
Regel et al. (2007b)	15 Männer  Alter: $22,4 \pm 0,4$ Jahre  Altersrange: 20-26 Jahre	doppelblind, cross-over	Planarantennen  3 Expositionsbedingungen:  GSM 900 MHz pulsmoduliert (2 Hz, 8 Hz, 217 Hz und 1733 Hz)  „niedrig“: psSAR <sub>1g</sub> =0,2 W/kg  GSM 900 MHz pulsmoduliert (2 Hz, 8 Hz, 217 Hz und 1733 Hz)  „hoch“: psSAR <sub>1g</sub> =5 W/kg  Scheinexposition      linke Kopfseite	30 min Exposition (während Testung) vor Beginn der 8h- Polysomnographie  3 Labornächte im Abstand von einer Woche (je eine Adaptations- und eine Expositionsnacht)  EEG: C3-A2  Endpunkte Schlaf: Makro- und Mikrostruktur: Schlafstadien und Powerspektren (NREM- Schlaf, Stadium 2, SWS, REM; langsame und schnelle Schlafspindeln; für Nachtdrittel)	<b>EMF-Effekt</b> „Dosis-Wirkungseffekt“: Zunahme der Power im Spindelfrequenzbereich (13,5-13,75 Hz) im NREM-Schlaf unter hoher Exposition (5 W/kg)          <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne	Expositionsdauer	Auswirkungen
			Signaltyp	EEG Elektroden	EMF-Effekt
			Expositionsseite	Experiment - Endpunkte	Alters- und Geschlechtseffekt
Lowden et al. (2011)	48 Erwachsene (27 Frauen, 21 Männer): Alter: $28 \pm 0,7$ Jahre; Altersrange: 18-44 Jahre  davon 23 mit Mobilfunk-Elektrosensibilität (15 Frauen, 8 Männer): Alter: $27 \pm 1,3$ Jahre  25 ohne Mobilfunk-Elektrosensibilität (12 Frauen, 13 Männer): Alter: $29 \pm 1,3$ Jahre	doppelblind, cross-over	Patch-Antenne mit Kopfhaltung  2 Expositionsbedingungen:  GSM 884 MHz pulsmoduliert  1,4 W/kg (DTX und non DTX)  peakSAR10g=1,4 W/kg  Scheinexposition    Linke Hemisphäre	Expositionsdauer: 3h von 19:30-22:30 (1h vor Licht aus); während Exposition lesen, ruhen oder Tstung  3 Labornächte (1 Nacht Gewöhnung, 2 Experimentalnächte mit mind. 1 Woche Abstand zwischen allen Nächten)  EEG: 8 bipolare Signale    Endpunkte Schlaf: subjektive und objektive Schlafqualität (Makro- und Mikrostruktur)	<b>EMF-Effekt:</b> Nach Verum-Exposition: Zunahme der Power in ersten 30 min Stadium 2 (0,5 – 1,5 Hz; 5,75 – 10,5 Hz); in erster Stunde Stadium 2 (7,5 – 11,75 Hz) und in zweiter Stunde Stadium (4,75 – 8,25 Hz);  kein Effekt auf Power im SWS oder in 3. Stunde   Kein Unterschied zwischen Gruppen   <b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b>
Loughran et al. (2012)  (Replikationsstudie von Loughran et al., 2005)	20 Erwachsene (13 Frauen, 7 Männer)  Alter: $27,9 \pm 6,5$ Jahre  Altersrange: 20-51 Jahre	doppelblind, cross-over, balanciert	Modifiziertes GSM-Mobiltelefon  2 Expositionsbedingungen:  GSM 894,6 MHz  (pulsmoduliert 217 Hz;	Expositionsdauer: 30 Min. im Sitzen bis 20 min vor Licht aus  3 konsekutive Labornächte (1 Nacht Gewöhnung, 2 Experimentalnächte)  EEG: 2 (C3-A2; C4-A1)	<b>EMF-Effekt:</b> Nach Verum-Exposition: Zunahme der Power im Spindelfrequenzbereich (11,5 - 12,25 Hz) während der ersten 30 Min. NREM-Schlaf; deutlichere Zunahme der Power im 11,5-12,25 Hz-Bereich bei „increasers“ (n=8!)

	(alle ProbandInnen bereits 2005 untersucht)		Peak SAR 2 W/kg)  Scheinexposition  rechtseitig in üblicher Position	Endpunkte: Makro- und Mikrostruktur (epochenweise Power-Berechnung für die ersten 30 Min. NREM-Schlaf: Zunahme der Power im 11,5-12,25 Hz; Effekte auf 12,25-13,5 und 13,5-14 Hz)  individuelle Variabilität (Wiederholungsmessungen): Einteilung in „increasers“ und „decreasers“, je nachdem, ob Zu- oder Abnahme der Power 11,5 bis 12,25 Hz-Bereich des NREM-Schlafs in Studie von Loughran et al. (2005)  Auswertung nur über erste 30 Minuten	<b>Kein Alterseffekt</b> (korrelativ) für Verhältnis der Powerwerte im 11,5-12,25 Hz-Bereich unter Verum- zu Scheinexposition, aber <b>Geschlechtseffekt</b> : Frauen zeigten stärkeren Unterschied zwischen Verum- und Scheinexposition als Männer (n=7)  Kein Expositionseffekt auf Power im 12,25-13,5 oder 13,5-14 Hz-Bereich
Schmid et al. (2012a)	30 Männer  Alter: 23 ± 0,3 Jahre  Altersrange: 20-26 Jahre  (n= 29 in Analyse)	doppelblind, cross-over	2 Planarantennen (linke aktiv)  3 Expositionsbedingungen:  900 MHz pulsmoduliert (14 Hz)  peak SAR10g= 2 W/kg  900 MHz pulsmoduliert (217 Hz)  peakSAR10g= 2 W/kg	Expositionsdauer: 30 min vor 8h-Schlafableitung (10min vor Licht aus)  3 Sessions im Wochenabstand: 2-malige Testung während 30min Exposition (jeweils eine Adaptationsnacht vor Experimentalnächten)  EEG: 1 (C3-A2)  Endpunkte Schlaf: Makrostruktur und	EMF-Effekte:sign. Zunahme der Power nach 14 Hz-Pulsmodulation: im 2. NREM-Zyklus (Spindelfrequenzbereich): 12,75 – 13,25 Hz (NREM) und bei 11,25; 12,75 – 13 Hz (Stadium S2)  Zeitlicher Verlauf NREM: sign. Zunahme der Power nach 14 Hz-Pulsmodulation in 12,75-13,25 Hz in 2. NREM-Zyklus  REM-Schlaf: sign. Zunahme der Power in 2. und 3. Zyklus nach beiden HF-Bedingungen; 4. REM-

			<p>Scheinexposition</p> <p>linke Seite (Antenne 42mm vertikal über Ohrkanal mit 115mm Abstand)</p>	<p>Mikrostruktur (mittlere Power zwischen 0,75 und 20 Hz mit einer Auflösung von 0,25 Hz in NREM und Stadium S2;</p> <p>zeitlicher Verlauf: Power in 11-11,5 Hz und 12,75-13 Hz für gesamte Nacht und NREM-Zyklen 1-4;</p> <p>individuelle Spindel-Peak-Power in Stadium S2 während gesamter Nacht;</p> <p>mittlere Power für REM-Schlaf für gesamte Nacht und Zyklen 2-4); Herzrate)</p> <p>Weitere Endpunkte: kognitive Funktionen, Herzrate, Stimmung, Befinden</p>	<p>Zyklus: sign. Zunahme nach 217 Hz</p> <p>Individuelle Variabilität in Bezug auf Zu- oder Abnahme der Power: nach 14 Hz- häufiger Zunahme als nach 217 Hz-Pulsmodulation</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>
Schmid et al. (2012b)	25 Männer: Alter: 23,2 ± 0,4 Jahre; Altersrange: 20-26 Jahre	doppelblind, cross-over	<p>Zwei Patch-Antennen</p> <p>3 Expositionsbedingungen:</p> <p>900 MHz Signal (Amplitudenmodulation 2 Hz, 8 Hz und Harmonische bis 20 Hz); SAR10g= 2 W/kg</p> <p>magnetisches Feld (entsprechend der oben genannten Amplitudenmodulation); Spitzenwert der magnetischen; Flussdichte: 0,7 mT</p>	<p>Expositionsdauer: 30 min vor 8h-Schlafableitung (10min vor Licht aus)</p> <p>3 Sessions im Wochenabstand: 2-malige Testung während 30min Exposition (jeweils eine Adaptationsnacht vor Experimentalnächten)</p> <p>EEG: 1 (C3-A2)</p> <p>Endpunkte Schlaf: Makrostruktur und Mikrostruktur (mittlere Power</p>	<p><b>EMF-Effekt:</b> nach HF-Exposition: signifikante Zunahme der Power im Spindelfrequenzbereich (NREM, Stadium S2) in gesamter Nacht und im 1., 3. und 4. NREM-Zyklus und sign. Zunahme von Alpha- und Delta-Power in REM-Schlaf in Gesamtnacht und in allen vier REM-Zyklen</p> <p>nach beiden Verum-Bedingungen: sign. Zunahme der Delta- und Theta-Aktivität im 3. NREM-Zyklus und nur nach Magnetfeld auch im 4. Zyklus (NREM)</p>

			<p>Scheinexposition</p> <p>linke Seite (Antenne 42 mm vertikal über Ohrkanal mit 115 mm Abstand)</p>	<p>zwischen 0,75 und 20 Hz mit einer Auflösung von 0,25 Hz in NREM und Stadium S2;</p> <p>zeitlicher Verlauf: Power in 11-11,5 Hz und 12,75-13 Hz für gesamte Nacht und NREM-Zyklen 1-4;</p> <p>individuelle Spindel-Peak-Power in Stadium S2 während gesamter Nacht;</p> <p>mittlere Power für REM-Schlaf für gesamte Nacht und Zyklen 2-4)</p> <p>Weitere Endpunkte: kognitive Funktionen, Herzrate, Stimmung, Befinden</p>	<p><b>nach Magnetfeld-Exposition:</b> Zunahme der Delta-Aktivität im REM-Schlaf; im Verlauf Zunahme der Alpha- und Delta-Power im 2. und 4. REM-Zyklus</p> <p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>
Lustenberger et al. (2013)	<p>16 junge Männer</p> <p>Alter: <math>19,9 \pm 0,2</math> Jahre</p> <p>Altersrange. 18-21 Jahre</p>	doppelblind, cross-over	<p>Zirkularpolarisierte Antenne</p> <p>Zwei Expositionsbedingungen:</p> <p>900 MHz pulsmoduliert (500ms Bursts: 7 Pulse von je 7,1 ms; wiederholte Abfolge von:</p> <p>5 min 1 Burst alle 4s (0,25 Hz; Spindelfrequenz); 1 min OFF</p> <p>5 min 1 Burst alle 1,25s (0,8 Hz; langsame Aktivität); 7 min OFF</p> <p>peakSAR10g= 10 W/kg (Puls)</p>	<p>Ganznacht-Exposition; 2 Experimentalnächte (und jeweils Adaptationsnacht zuvor): intermittierend während 8h Schlaf</p> <p>vor und nach Exposition: motorische Finger Tapping-Aufgabe</p> <p>EEG: 8 Positionen (C4-A1 für Spektralanalyse)</p>	<p><b>EMF-Effekt</b> nur im 4. NREM-Zyklus: höhere SWA unter Verum als unter Sham und sign. Zunahme von ERSP und ITC</p> <p>Kein EMF-Effekt auf SWA, ERSP und ITC in anderen NREM-oder REM-Zyklen</p> <p>Kein EMF-Effekt auf Spindelaktivität</p>

			<p>peakSAR10g= 1 W/kg (Burst)</p> <p>peakSAR10g= 0,15 W/kg (Gesamtnacht)</p> <p>Scheinexposition</p> <p>auf Höhe des Kopfes in 415mm Abstand zum Kopf</p>	<p>Endpunkte Mikrostruktur: Powerspektren für 0,75 bis 15 Hz; Berechnung der langsamen Aktivität (Slow Wave Activity = SWA; 0,75-4,5 Hz)</p> <p>Relative Abnahme der SWS: NREM Episode mit max SWA- NREM-Episode mit minimaler SWA</p> <p>Ereignisbezogene spektrale Leistung (event related spectral power = ERSP) und inter-trial Kohärenz (inter trial coherence = ITC): in 4. NREM-Episode: Vergleich Schein- und Verum-Bursts in Spindelfrequenzbereich</p> <p>Weitere Endpunkte: subjektive Angaben zu Befinden und Stimmung; subjektive Schlafqualität; Lernerfolg in motorischer Aufgabe, Makrostruktur des Schlafs</p>	<p><b>Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>
--	--	--	--	---	--

Publikation	Stichprobe	Studiendesign	Antenne	Expositionsdauer	Auswirkungen
			Signaltyp	EEG Elektroden	EMF-Effekt
			Expositionsseite	Experiment - Endpunkte	Alters- und Geschlechtseffekt
Nakatani-Enomoto et al. (2013)	<p>19 Erwachsene (7 Frauen, 12 Männer)</p> <p>Alter: <math>30,6 \pm 6,1</math> Jahre</p> <p>Altersrange. 22-39 Jahre</p> <p>Alter Frauen: <math>32,4 \pm 6,5</math> J.</p> <p>Alter Männer: <math>30,1 \pm 5,9</math> J.</p>	doppelblind; cross-over, balanciert	<p>Mobiltelefon mit UMTS-Signal von Stabantenne (3m Entfernung)</p> <p>Kontinuierliches Signal; downlink Basisstation: 2140 MHz; uplink Mobiltelefon: 1950 MHz</p> <p>maxSAR10g= (1,52 W/kg in Kopf)</p> <p>Linke Seite in üblicher Position über Ohr (15mm Abstand zwischen Telefon und Ohr)</p>	<p>Expositionsdauer: 3h (nach jeder Stunde 5min Pause)</p> <p>Polysomographie: individuelle Bettzeiten und ca. 2h nach Ende der Exposition</p> <p>Elektroden: F3, F4, C3, C4, O1, O2</p> <p>Endpunkte Mikrostruktur: Anzahl Arousals; Anzahl Schlafspindeln (visuelle Analyse und Power in ersten 30min NREM an F3, F4, C3, C4), gemittelte Power im EEG von allen 6 EEG-Positionen in Stadium W und N2 für 4 Frequenzbänder (Delta, Theta, Alpha, Beta)</p> <p>Weitere Endpunkte: subjektive Schläfrigkeit (Stanford Schläfrigkeitsskala, Visuelle Analogskala) und Schlafqualität am Morgen (Visuelle Analogskala); Makrostruktur</p>	<p>Keine Unterschiede in Anzahl der Arousal, zwischen den Expositionsbedingungen</p> <p>Keine Unterschiede in Anzahl der Spindeln und Leistungsspektren der Spindeln zwischen den Expositionsbedingungen</p> <p>Keine Unterschiede in der Power in W und N2 zwischen den Expositionsbedingungen</p> <p><b>Alterseffekt: nicht untersucht</b>, aber die Autoren spekulieren, dass der Schlaf älterer Personen beeinträchtigt werden könnte.</p> <p><b>Geschlechtsunterschiede wurden nicht untersucht.</b></p>

# | Verantwortung für Mensch und Umwelt |

**Kontakt:**

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)

E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



**Bundesamt für Strahlenschutz**