

Projekt A2016-01
Effekte von WLAN Exposition auf den Schlaf

Scientific information

2.1 Zusammenfassung

2.1.1 Zielsetzung

Drahtlose lokale Netzwerke (WLAN, WiFi) werden seit einigen Jahren weit verbreitet in Haushalten betrieben. Viele Menschen fühlen sich durch die Anwesenheit von Hochfrequenztechnologien gesundheitlich beeinträchtigt. Schlafprobleme gehören zu den am häufigsten geklagten Beschwerden. Die hier beantragte Studie soll zur Klärung beitragen, inwieweit es objektivierbare, biologische Effekte einer WLAN-Exposition auf den Schlaf gibt.

2.1.2 Methoden

In einem doppel-blinden, Sham-kontrollierten Laborexperiment mit randomisiertem Crossover-Design der Expositionsbedingungen soll die subjektive Schlafqualität von Versuchspersonen durch Fragebögen erfasst werden und die objektive Mikro- und Makrostruktur des Schlafes mittels Polysomnographie gemessen werden. Weiterhin soll eine Beeinträchtigung der schlafbezogenen Gedächtniskonsolidierung überprüft werden. Dazu werden Aufgaben zum deklarativen, prozeduralen und emotionalen Gedächtnis eingesetzt. Zur Exposition der Versuchspersonen soll eine speziell entwickelte Anlage eingesetzt werden, die Feldstärken und Signale eines in der Nähe einer schlafenden Person installierten WLAN-Access Points nachbildet. Diese Expositionsanlage ist zur doppel-blinden Versuchsdurchführung und -überwachung sowie zur Realisierung definierter Expositionsparameter erforderlich.

2.1.3 Erwarteter Erkenntnisgewinn

Die Ergebnisse der Studie sollen die aktuelle Datenlage zu möglichen akuten Auswirkungen einer WLAN-Exposition qualitativ erweitern und können zur Aufklärung von Fragen der Menschen bezüglich eines Hochfrequenzeinflusses auf den Schlaf herangezogen werden.

2.2 Detaillierte Information

2.2.1 Ziele

Ziel der hier skizzierten Provokationsstudie ist es, mögliche Auswirkungen von WLAN-Emissionen auf unterschiedliche Schlafparameter, die subjektive Schlafqualität und die schlafbezogene Gedächtniskonsolidierung zu untersuchen.

Die Ergebnisse dieser Studie sollen Aufschluss darüber geben, ob eine WLAN-Exposition während der Nacht einen Einfluss auf die Gehirnaktivität im Schlaf und damit verbunden auch auf die Wellenmuster hat, die an der Speicherung von kürzlich erworbenen Gedächtnisinhalten beteiligt sind. Auf diese Weise sollen Ergebnisse von Lustenberger et al. [5], die unter Anwendung eines experimentellen Hochfrequenzexpositionssignals Effekte auf die schlafbezogene Konsolidierung prozeduraler Gedächtnisinhalte gefunden hatten, anhand eines realistischen Expositionsszenarios bestätigt werden. Da unsere Arbeitsgruppe Studien zu Effekten von GSM-, UMTS-, und TETRA-Exposition auf den Schlaf bei verschiedenen Probandengruppen (junge gesunde Männer und Frauen im Alter von 60 – 80 Jahren) durchgeführt hat, liegen entsprechende Vergleichswerte vor. Daten für Männer im Alter von 60 bis 80 Jahren werden aktuell erhoben. Außerdem verfügt unsere Arbeitsgruppe über eine langjährige Expertise zum Thema Schlaf und Gedächtniskonsolidierung (u.a. auch zum Einfluss von tDCS Stimulation auf Schlaf und Gedächtniskonsolidierung).

2.2.2 Begründung für das vorgeschlagene Projekt

Drahtlose lokale Netzwerke (WLAN, WiFi) haben in den letzten Jahren Einzug in die meisten Haushalte gefunden [11]. In einer deutschlandweiten Umfrage aus dem Jahr 2013 wurden 2500 Personen hinsichtlich ihres privaten und beruflichen WLAN-Nutzungsverhaltens befragt. Die Umfrage ergab, dass WLAN von 83 % der Befragten zu Hause und von 26 % der Befragten im Beruf genutzt wird [4]. Im internationalen Vergleich werden in Deutschland öffentliche WLAN-Access Points auch deutlich seltener verwendet als das WLAN des eigenen Zuhauses [12]. Neben der gegenwärtig meist verbreiteten 2,45 GHz Technologie (mit erlaubter Sendeleistung von 100 mW EIRP) wird zunehmend auch das 5 GHz Frequenzband genutzt, in dem, je nach genutztem Subband, Spitzensendeleistungen bis zu 1 W EIRP zulässig sind.

In einer Studie von Roser et al. [9] konnte zwar mittels am Körper getragenen Exposimetern gezeigt werden, dass bei Heranwachsenden der Anteil der WLAN-Exposition von der Gesamtexposition im persönlichen Umfeld kleiner ist als die von Mobiltelefonen und

Mobilfunkbasisstationen. Da sich die WLAN-Access Points jedoch normalerweise in nur wenigen Metern Entfernung zu Personen und Schlafplätzen befinden, sind die dadurch verursachten Immissionswerte im Vergleich zu denen von Mobilfunk-Basisstationen in diesen Räumlichkeiten höher einzustufen. Auch ohne Datenverkehr senden Access Points in regelmäßigen Abständen (typ. alle 100 ms) Synchronisierungssignale (Beacons) aus und stellen daher zumindest in der Nacht die (bezüglich der Immissionsspitzenwerte) relevanteste Quelle hochfrequenter elektromagnetischer Felder im durchschnittlichen Haushalt dar.

Die Tatsache, dass hochfrequente elektromagnetische Felder in unserer Umwelt nahezu ubiquitär sind und es somit immer schwieriger wird, ihnen auszuweichen, hat in Teilen der breiten Öffentlichkeit kontroverse Diskussionen hinsichtlich möglicher Gesundheitsgefährdungen und/oder subjektiv empfundener Betroffenheit durch diese Technologien hervorgerufen. Im Auftrag der Europäischen Kommission hat *TNS Opinion & Social Network* daher zur Ermittlung dieser Befürchtungen und Ängste im Jahr 2010 Interviews mit über 26.000 Personen zum Thema EMF geführt. Die Umfrage ergab, dass etwa 46 % der Befragten EU-Bürgerinnen und -Bürgern EMF-Quellen als gesundheitlich besorgniserregend einstufen, wobei diese Einschätzung zwischen den EU-Ländern stark variierte [20 % (Dänemark) – 80 % (Griechenland)]. In Deutschland betrug der Anteil besorgter Bürger 29 % [2].

Mögliche Auswirkungen von Hochfrequenz-Emissionen der unterschiedlichen Mobiltelefonie-Standards (2G, 3G) und TETRA auf zentralnervöse Prozesse bzw. den Schlaf waren in den vergangenen Jahren Gegenstand mehrerer Provokationsstudien. Während in früheren Studien relativ konsistent ein Einfluss einer Hochfrequenzexposition auf die EEG-Power im Spindelfrequenzbereich des Non-REM (NREM)-Schlafes gefunden werden konnte, sind in aktuelleren Studien auch andere Frequenzbereiche von einer Exposition betroffen (Delta, Theta, Beta) und diese Effekte sind nicht mehr nur auf den NREM-Schlaf beschränkt. Die beschriebenen Expositionseffekte auf die Makrostruktur des Schlafes sind hingegen deutlich heterogener. Zum einen sind sehr unterschiedliche Schlafparameter von einer Exposition betroffen und zum anderen zeigen Effekte auf ein und den denselben Schlafparameter in entgegengesetzte Richtungen. Insgesamt liefern die bisher berichteten Ergebnisse aber keine konkreten Hinweise für einen gestörten Schlaf infolge einer Hochfrequenzexposition [10].

Die Konsolidierung von Gedächtnisinhalten wird als eine wichtige Funktion des Schlafes angesehen. Dabei hat sich im Laufe der Zeit gezeigt, dass den verschiedenen Schlafstadien möglicherweise unterschiedliche Funktionen bei der Gedächtniskonsolidierung zugeschrieben werden können: deklarative Gedächtnisinhalte werden eher im Tiefschlaf und prozedurale

sowie emotionale Gedächtnisinhalte eher im REM-Schlaf konsolidiert. Auf physiologischer Ebene scheinen bei der schlafbezogenen Gedächtniskonsolidierung die langsamen Oszillationen des Tiefschlafs sowie die überwiegend im Schlafstadium N2 auftretenden Schlafspindeln eine besondere Rolle zu spielen [1, 8, 13]. So konnte beispielsweise an jungen gesunden Probanden bereits gezeigt werden, dass durch Applikation einer langsam (0,75 Hz) oszillierenden transkraniellen Gleichstromstimulation die schlafassoziierte Konsolidierung von deklarativen Gedächtnisinhalten verstärkt werden kann [6]. In einer Studie von Lustenberger et al. [5] wurde an 16 jungen männlichen Testpersonen überprüft, ob ein experimentelles Mobilfunksignal, welches so gewählt wurde, dass es mit der Wiederholungsfrequenz von Schlafspindeln (0,25 Hz) und langsamen Oszillationen (0,8 Hz) im Einklang ist, genau diese Hirnaktivitäten modulieren kann und somit Auswirkungen auf die Konsolidierung zuvor gelernter Gedächtnisinhalte hat. Im Vergleich zu der Sham-Bedingung führte das Hochfrequenzsignal gegen Ende der Nacht zu einer Erhöhung der EEG-Power langsamer Oszillationen. Die Schlafspindelaktivität war hingegen nicht von der Exposition betroffen. Auf der Verhaltensebene zeigte sich, dass die Verbesserung in einer motorischen Lernaufgabe über Nacht unter der Exposition geringer ausgefallen war als unter der Sham-Bedingung. Aus diesen Ergebnissen wurde geschlussfolgert, dass auch ein Hochfrequenzsignal Einfluss auf Hirnaktivitäten im Schlaf nehmen und somit Veränderungen der schlafbezogenen Gedächtniskonsolidierung hervorrufen kann.

Untersuchungen zu möglichen Auswirkungen der Emissionen von WLAN (WiFi) auf die Hirnaktivität wurden dagegen bisher nur von zwei Arbeitsgruppen durchgeführt. Papageorgiou et al. [7] untersuchten den Einfluss einer WLAN-Exposition (2,45 GHz) auf die P300-Komponente im ereigniskorrelierten Potential. 15 Männer und 15 Frauen absolvierten einmal mit und einmal ohne Exposition den „Hayling Satzvervollständigungstest“, der sich aus drei unterschiedlichen Teilaufgaben zusammensetzte (Reaktions-Aktivierung, Reaktions-Hemmung, Grundlinien-Bedingung). Unter Berücksichtigung des Geschlechts der Probanden zeigte sich bei der Teilaufgabe zur "Reaktions-Hemmung", dass Männer unter Exposition im Vergleich zu Frauen eine geringere P300-Amplituden aufwiesen. In der Studie von Zentai et al. [14] wurde überprüft, ob eine 60-minütige WLAN-Exposition (2,45 GHz) einen Einfluss auf die Hirnaktivitäten im Ruhe-EEG hat und ob durch die Exposition die Daueraufmerksamkeit beeinflusst wird. Es konnte weder ein Expositionseffekt auf die EEG-Power im Ruhe-EEG noch auf die Reaktionszeiten in einem psychomotorischen Vigilanztest gefunden werden. WLAN-Studien zu möglichen Effekten auf den Schlaf liegen unseres Wissens nach bisher nicht vor.

2.2.3 Detaillierter Untersuchungsplan (Experimentelles Design, Methoden, Meilensteine, Zeitplan, Personal, Aufgaben der Teilnehmer einschließlich Doktoranden)

Geplant ist $n = 30$ Personen im Schlaflabor (Polysomnographie mit 19 EEG-Lokalisationen) mit je vier Nächten (zwei Baselinenächte bzw. Screeningnächte jeweils gefolgt von einer Experimentalnacht mit Sham- bzw. Verum-Exposition im Abstand von einer Woche in einem randomisierten doppelblinden cross-over Design) zu untersuchen (Siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Studiendesign. Die Studienteilnehmer müssen zwei Baselinenächte bzw. Screeningnächte, jeweils gefolgt von einer Experimentalnacht mit Sham- bzw. Verum-Exposition, durchlaufen. Der Abstand zwischen den jeweils 2 konsekutiven Nächten beträgt eine Woche.

Um die altersbedingte Varianz in den Daten zu reduzieren, soll es sich dabei ausschließlich um männliche Personen im Alter zwischen 18 und 30 Jahren handeln. Da bekannt ist, dass auch Geschlecht und der Menstruationszyklus Auswirkungen auf den Schlaf sowie insbesondere auf die schlafbezogene Gedächtniskonsolidierung haben [3], sollen nur Männer eingeschlossen werden. Bei Berücksichtigung von jungen Frauen müsste der Menstruationszyklus im Studiendesign kontrolliert werden, was die Studie logistisch sehr viel aufwändiger werden lässt.

Als Zielparame-ter für die Fallzahlschätzung wird der Unterschied in der Veränderung der deklarativen Gedächtnisleistung unter Sham- und Verum-Stimulation herangezogen. Unter der Annahme, dass die primäre Zielvariable einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammt, ist diese Hypothese bei einem cross-over Design mit einem F-Test für eine Varianzanalyse mit Messwiederholungen zu testen. Bei einer Stichprobe von 30 Probanden lassen sich unter Berücksichtigung einer zweiseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05 und einer statistischen Power von 0.8 Effekte von kleiner Größe ($f=0,22$) aufzeigen (Abbildung 2).

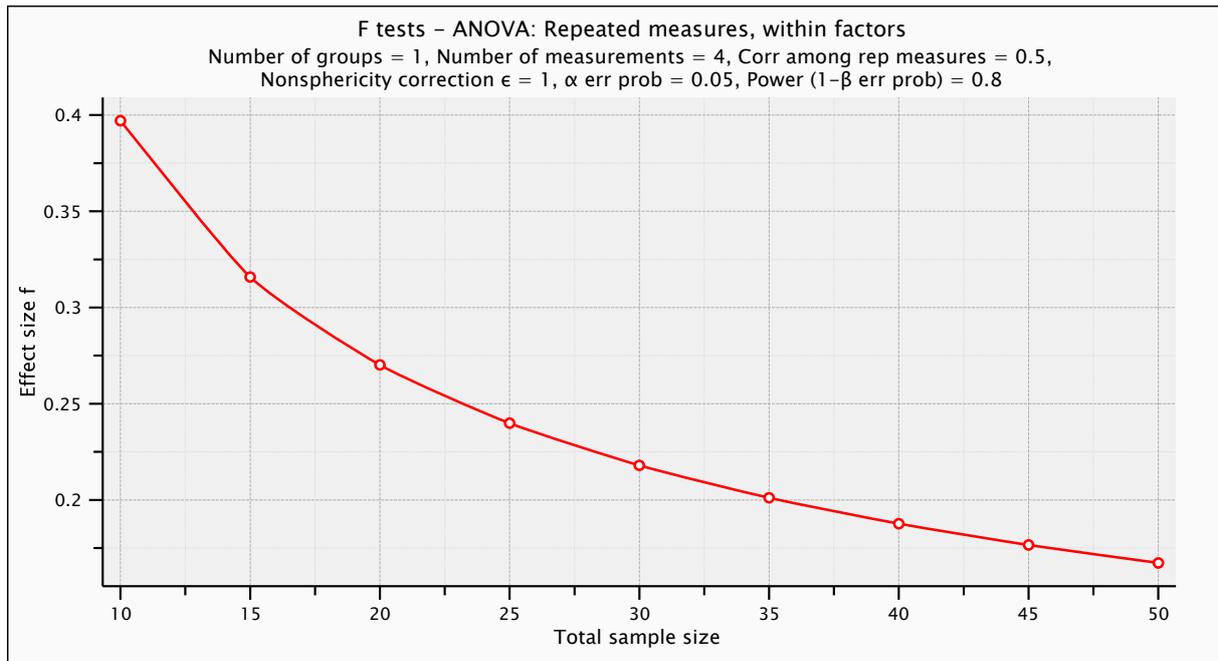


Abbildung 2: Darstellung der Effektgröße in Abhängigkeit von der Stichprobengröße. Mit 30 Probanden lassen sich unter Berücksichtigung einer zweiseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05 und einer statistischen Power von 0.8 Effekte von kleiner Größe ($f=0,22$) aufzeigen.

Bevor der Studieneinschluss erfolgt, müssen alle Personen ein umfangreiches Screeningverfahren durchlaufen, in dem die Ein- und Ausschlusskriterien überprüft werden. Diese Kriterien sind in Tabelle 1 aufgelistet. Zu Beginn der Rekrutierungsphase werden in einem Telefoninterview Informationen über den Konsum alkoholischer und koffeinhaltiger Getränke, das aktuelle gesundheitliche Befinden, eine mögliche Medikamenteneinnahme und über das Schlafverhalten der Personen abgefragt. In einem zweiten Schritt werden weitere Teilnahme Kriterien anhand validierter Fragebögen zur Schlafqualität (Pittsburgh Schlafqualitätsindex; PSQI), Tageschläfrigkeit (Epworth Schläfrigkeitsskala; ESS), Morgen-Abendtyp-Bestimmung (MAB) sowie zur Abschätzung depressiver (Selbstbeurteilungs-Depressions-Skala; SDS) und klinisch relevanter ängstlicher Zustände (Selbstbeurteilungs-Angst-Skala; SAS) geprüft. Als nächstes folgt eine medizinische Untersuchung. Dieses Arztgespräch umfasst eine neurologisch-psychiatrisch-internistische Untersuchung, eine Schlafanamnese sowie eine Überprüfung der Herzaktivität mittels Elektrokardiogramm. Bei Verdacht auf eine schlafbezogene Atmungsstörung wird ein ambulantes Apnoe-Screening eingesetzt. Im letzten Schritt der Rekrutierungsphase werden die Personen dann zu einer Screeningnacht im Labor einbestellt, die der Abklärung von etwaigen Schlafstörungen sowie der Eingewöhnung an die Laborbedingungen dienen soll. Liegen nach Auswertung der Screeningnacht keine Hinweise für eine Schlafstörung vor und zeigen die Personen eine ausreichende objektive Schlafqualität unter den Laborbedingungen, erfolgt der Studieneinschluss.

Tabelle 1: Zusammenstellung aller Ein- und Ausschlusskriterien.

Einschlusskriterien	
Telefoninterview	
➤ Geschlecht: männlich	➤ Alter: 18 - 30 Jahre
➤ Keine Medikamenteneinnahme	➤ Nichtraucher
➤ normale Tag-/Nachtorganisation	➤ keine Einnahme von Drogen, kein Substanzmissbrauch in der Vor-geschichte
➤ Vorhandene Einwilligungsfähigkeit	
medizinische Untersuchung	
➤ körperliche und psychische Gesundheit	➤ keine Schlafstörungen in der Vor-geschichte
➤ keine aktuelle subjektive Schlafstörung, d.h. einen Monat vor Beginn der Studie eine Gesamtschlafzeit von min. 6 h/Nacht, Einschlaf latenz unter 30 min und weniger als 45 min Wach nach Schlafbeginn	
Ausschlusskriterien	
Telefoninterview	
➤ übermäßiger Konsum koffeinhaltiger Getränke (> 5 Tassen/Tag)	➤ übermäßiger Alkoholkonsum (> 2 Gläser Wein/Tag oder > 3 Gläser Bier/Tag)
➤ elektronische Implantate jedweder Art	➤ unübliche Tag-/Nachtorganisation (regelmäßige Schichtarbeit)
Fragebögen	
➤ Subjektiv erhöhte Einschlafneigung am Tag (ESS > 10)	➤ extremer Morgen- oder Abendtyp (MAB < 31 oder MAB > 69)
➤ schlechte Schlafqualität (PSQI > 5)	➤ Selbstbeurteilungs-Angst Skala: SAS > 36
➤ Selbstbeurteilungs-Depressions Skala: SDS > 40	
medizinische Untersuchung	
➤ Vorliegen schwerwiegender neurolo-gischer und internistischer Vor-erkrankungen	➤ Einschränkung der Konzentration oder Aufmerksamkeit, Beeinträchtigung der Merkfähigkeit oder des Gedächtnisses, der Sprache oder der Motorik
➤ <i>akute</i> körperliche Erkrankung jedweder Art	➤ psychiatrische Erkrankungen in der Vorgeschichte oder aktuell
➤ Operationen und Eingriffe am ZNS in den letzten sechs Monaten	➤ Allergien, soweit sie für das Kleben von Elektroden von Bedeutung sind
➤ stärkere Beeinträchtigung des Seh- und Hörvermögen	➤ Auffälligkeiten im EKG
Screeningnacht	
➤ PLMS-Arousal-Index > 20/h, Apnoe-Hypopnoe-Index > 5/h	➤ Einschlaf latenz > 30 min; Schlaf-effizienz-Index < 80%

Die polysomnographischen Daten werden mit dem Polysmith-Aufnahmerechner NKD-Neuro/CK7 (Nihon Kohden Europe, Kleinmachnow) erhoben. Es werden 19 Elektroden zur Registrierung des Elektroenzephalogramms (EEG) nach dem 10-20 System, zwei Mastoidelektroden und eine Erdelektrode platziert und gegen die gemeinsame Referenz Cz abgeleitet. Zusätzlich werden noch die Augenbewegungen (Elektrookkulographie, EOG) und die Muskelaktivität (Elektromyographie, EMG) aufgezeichnet. Zur Erfassung der Atmung und

von Beinbewegungen in der Nacht werden in den Screeningnächten noch Atemgurte, ein oronasaler Atemflusssensor und EMG-Elektroden am Bein eingesetzt.

Zusätzlich sollen in beiden Experimentalnächten Untersuchungen zum Effekt des Schlafes auf Lernen und Gedächtnis durchgeführt. Dabei sollen eine prozedurale, eine emotionale und eine deklarative Gedächtnisaufgabe zum Einsatz kommen.

Direkt nach Ankunft der Studienteilnehmer im Labor gegen 18:00 Uhr soll ein Alkoholttest durchgeführt werden. Ist dieser negativ, werden alle Elektroden und Messfühler, die zur Erfassung der vorgesehenen Biosignale notwendig sind, auf dem Kopf und am Körper positioniert. Geplant ist es, zwischen 21:00 Uhr und 22:00 Uhr die Lernphase stattfinden zu lassen, in der die Gedächtnisaufgaben durchgeführt werden. Nach dem Ausschalten des Lichts gegen 23:00 Uhr erfolgt dann die Exposition über die gesamte Dauer der Nacht (acht Stunden). Sowohl direkt vor dem Zubettgehen als auch direkt nach dem Aufstehen soll mittels Fragebögen das subjektive Wohlbefinden erfasst werden. Gegen 07:30 Uhr, also 30 Minuten nach dem Aufstehen, erfolgt die Wiedergabe der Gedächtnisaufgaben. Nach Entfernen aller Elektroden können die Studienteilnehmer dann gegen 09.00 das Labor verlassen.

Beim Antennendesign werden die möglichen unterschiedlichen Kopforientierungen der Probanden während des Schlafes berücksichtigt (am Rücken oder auf der linken oder rechten Seite liegend) und deren Auswirkungen auf die resultierende Absorptionsverteilung im Gehirn analysiert. Sollten die damit verbundenen Variabilitäten der Exposition ein inakzeptables Maß erreichen, werden mehrere alternativ schaltbare Antennen entlang eines Kreisbogens montiert. Gesteuert von einem am Probandenkopf angebrachten Miniaturlagesensor wird dann jeweils die bestgeeignete Antenne mit dem Expositionssignal angespeist, so dass die Absorptionsunsicherheiten minimiert werden. Das für die Exposition der Probanden verwendete Hochfrequenzsignal soll repräsentativ für den realen WLAN Betrieb sein und sowohl Signalsequenzen während Datenübertragung als auch den Standby (nur Beacon-Aussendung) über längere Zeiträume repräsentieren. Zur Klärung der Frage, ob für die Experimente Signale der 2,45 GHz oder 5 GHz WLAN-Technologie verwendet werden sollen, wurden eigens Voruntersuchungen auf Basis numerischer Berechnungen mit Hirnregion-spezifischer Absorptionsanalyse durchgeführt. Diese Berechnungen zeigten eindeutig, dass trotz der höheren Sendeleistung im 5 GHz Band, die 2,45 GHz Technologie zu größeren Absorptionsraten in tiefer liegenden und für den Schlaf relevanten Gehirnregionen führt. Grund dafür ist die deutlich größere Eindringtiefe bei 2,45 GHz.

Die untersuchten Outcome Parameter sind neben den AASM-Parametern zur Beschreibung der Makrostruktur und Mikrostrukturen (u.a. Powerspektralwerte) des Schlafes das deklarative, emotionale und prozedurale Gedächtnis.

2.2.4 Eignung der Arbeitsgruppe

Das Kompetenzzentrum Schlafmedizin hat eine 15-jährige Erfahrung im Bereich der Forschung zum Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirntätigkeit im Schlaf und im Wach. Die Antragstellerin war von 2009 – 2015 Mitglied des Ausschusses Nichtionisierende Strahlen (NIS) der Strahlenschutzkommission (SSK), die das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit berät. Von 2012 bis 2015 war sie externe Expertin im Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) der Europäischen Union und seit 2013 ist die Mitglied des EMF Council der Swedish Radiation Safety Authority.

2.2.5 Ausstattung

Es wird ein abgeschirmter Schlaflabor-Untersuchungsraum zur Verfügung gestellt. Die Qualität der Abschirmung wurde in einem unserer vorgehenden Projekte nachgewiesen. Für Details verweisen wir auf Hirtl et al. (2015). Ferner wird ein Polysomnographiegerät zur Verfügung gestellt, das es erlaubt, die insgesamt 19 Elektroden, die nach dem 10-20-System positioniert werden können, abzuleiten. Das Polysomnographiegerät ist für die geplanten Untersuchungen entsprechend mit zusätzlichen Abschirmungen und Filtern versehen. Die Projektleiter stehen für die gesamte Studiendauer mit einem Teil ihrer Arbeitskraft für Koordination und statistische Auswertungen (HDH) sowie technische Unterstützung und Vorauswertung (HD) zur Verfügung.

2.2.6 Mitarbeiter

Für die Auswertung der Polysomnographien stehen qualifizierte Mitarbeiter zur Verfügung. Frau Ney, Frau Schmidt und Frau Marasanov sind langjährig erfahrene MTA (mit unbefristetem Arbeitsverhältnis) in der PSG-Auswertung. Sie waren an Forschungsprojekten zu Effekten der Anwendung unterschiedlicher Standards (Rechtschaffen & Kales vs AASM Standard) beteiligt und sind Ko-Autoren der entsprechenden Publikation. Frau Marasanov ist darüber hinaus im Rahmen der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin aktiv an der Ausbildung des technischen Personals für Schlaflabore beteiligt. Alle drei Mitarbeiterinnen sind aktuell bei Clinilabs als PSG-Auswerter zertifiziert.

Es ist geplant, die Psychologin Ana Bueno-Lopez als wissenschaftliche Mitarbeiterin in diesem Projekt mit 50% einer Vollbeschäftigung einzustellen. Frau Bueno-Lopez hat bereits in mehreren unserer EMF-Projekte mitgearbeitet. Sie promoviert mit einer Untersuchung des Einflusses von langsam oszillierender transkranieller Gleichstromstimulation (so-tDCS) auf Lernen und Gedächtnis bei jungen gesunden Probanden.

Das Projekt soll unter Leitung von **Frau Prof. Dr. rer. nat. Heidi Danker-Hopfe** und **Dr.-Ing. Hans Dorn** durchgeführt werden. Beide sind mit unbefristetem Arbeitsverhältnis im Kompetenzzentrum Schlafmedizin des Centrums für Neurologie, Psychiatrie und Neurochirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin beschäftigt (<http://schlaf.charite.de>).

Im Hinblick auf das hier beantragte Forschungsvorhaben ist von besonderer Bedeutung, dass die Antragsteller Forschungsnehmer für verschiedene Forschungsprojekte waren, die vom Bundesamt für Strahlenschutz im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) bzw. der Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben vergeben wurden (siehe 2.2.9). Die CV von **Frau Prof. Dr. rer. nat. Heidi Danker-Hopfe** und **Dr.-Ing. Hans Dorn** sind dem Antrag als Anlage beigefügt.

2.2.5 Erwartete Kooperationen

Im Rahmen vorhergehender Studien (siehe 2.2.9) haben wir bereits erfolgreich mit Seibersdorf Labor GmbH, Arbeitsgruppe Gernot Schmid, zusammengearbeitet. Es ist auch in dieser Studie vorgesehen, die technische Ausstattung zur Exposition von der AG entwickeln und betreuen zu lassen.

Die Seibersdorf Labor GmbH bzw. die dort technisch verantwortlichen Personen besitzen allgemein große Erfahrung in der Entwicklung und dosimetrischen Charakterisierung von Expositionsanlagen für Befeldungen des Kopfes im Rahmen von wissenschaftlichen Probandenstudien (*Bioelectromagnetics* 2005; 26:243-250, *Bioelectromagnetics* 2007; 28:636-647, *Bioelectromagnetics* 2008; 29:145-153, *Bioelectromagnetics* 2008; 33:594-603). Darüber hinaus bestehen ausreichend wissenschaftliche Erfahrung und die notwendigen Hard- und Software-Ressourcen nicht nur für die Analyse der HF-Strahlungsabsorption (SAR), sondern auch für die detaillierte numerische Berechnung von Gewebetemperaturerhöhungen zufolge der Absorption (*Radiation Protection Dosimetry* 2007; 124:15-20, *Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Bestimmung der Expositionsverteilung von HF Feldern im menschlichen Körper, unter Berücksichtigung kleiner Strukturen und thermophysiological*

relevanter Parameter“ im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, 2007). Diese Kombination lässt die Seibersdorf Labor GmbH für das gegenständliche Forschungsvorhaben als bestgeeignet erscheinen.

2.2.6 Publikationsliste

- Bahr A, Adami C, Bolz T, Rennings A, Dorn H, Ruttiger L (2007). Exposure setups for laboratory animals and volunteer studies using body-mounted antennas. *Radiat Prot Dosimetry* 124:31-34.
- Danker-Hopfe H, Dorn H (2004). Biologische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder im Mobilfunkbereich auf den Schlaf: gegenwärtiger Kenntnisstand aus Laborstudien. *EMF Monitor*. 10:1-6.
- Danker-Hopfe H, Dorn H (2005). Biological effects of electromagnetic fields at mobile phone frequencies on sleep: Current state of knowledge from laboratory studies. *Somnologie*. 9:192-198.
- 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.
- Danker-Hopfe H, Dorn H (2008). Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation- Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen. Abschlussbericht. (http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/biologie/biologie_abges/bio_095.html).
- 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, Eggert T, Sauter C (2013). Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen, Abschlussbericht eingereicht.
- Danker-Hopfe H, Dorn H, Bolz T, Peter A, Hansen ML, Eggert T, Sauter C (2016) Effects of mobile phone exposure (GSM 900 and WCDMA/UMTS) on polysomnography based sleep quality: An intra- and interindividual perspective. *Environm Res*. 145:50-60.
- Dorn H, Schmid G, Eggert T, Sauter C, Bolz T, Danker-Hopfe H (2014). Is blinding compromised by warming perception in a study on EMF effects of TETRA handset signals? *Bioelectromagnetics* 35: 452-458.
- Eggert T, Dorn H, Sauter C, Marasanov A, Hansen ML, Peter A, Schmid G, Bolz T, Danker-Hopfe H (2015) Terrestrial Trunked Radio (TETRA) exposure and its impact on slow cortical potentials. *Environm Res* 143:112-122.
- Hirtl R, Überacher R, Schmid G (2015) Detaillierte dosimetrische Analyse einer Expositionsanlage für eine Probandenstudie mit Exposition des Kopfes mit TETRA- und GSM900-Signalen.
- Jobert M, Wilson FJ, Roth T, Ruigt GS, Anderer P, Drinkenburg WH, Bes FW, Brunovsky M, Danker-Hopfe H, Freeman J, van Gerven J, Gruber G, Kemp B, Klösch G, Ma J, Penzel T, Pterson BT, Schulz H, Staner L (2013) Guidelines for the recording and evaluation of pharmaco-sleep studies in man: The International Pharmaco-EEG Society (IPEG). *Neuropsychobiology* 67:127-167.
- 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.
- Sauter C, Danker-Hopfe H, Dorn H, Eggert T, Schmid G (2010a). 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.html.

- Sauter C, Dorn H, Eggert T, Danker-Hopfe H (2010b). Überprüfung der Wärmewahrnehmung im Rahmen der Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen. Bericht zur Vorstudie veröffentlicht auf der Homepage des Bundesamts für Strahlenschutz: http://www.bfs.de/de/bfs/forschung/dm_forschung/studien_tetra/Probandenstudie_kognitive_Funktionen.html.
- Sauter C & Danker-Hopfe H (2012): Electromagnetic Fields of Mobile Telephones and Sleep Parameters. In: Barret, D. and McNamara, P. (Eds.): Encyclopedia of Sleep and Dreams. The Evolution, Function, Nature, and Mysteries of Slumber. Greenwood: Santa Barbara, California.
- Sauter C, Eggert T, Dorn H, Schmid G, Bolz T, Marasanov A, Hansen ML, Peter A, Danker-Hopfe H (2015) Do signals of hand-held TETRA transmitter affect cognitive performance, wellbeing, mood or somatic complaints in healthy young men? Results of a randomized double-blind cross-over provocation study. *Environm Res* 140: 85-94.
- Schmid G, Sauter C, Stepansky R, Lobentanz IS, Zeitlhofer J (2005). No influence on selected parameters of human visual perception of 1970 MHz UMTS-like exposure. *Bioelectromagnetics* 26:243-250.
- Schmid G, Bolz T, Uberbacher R, Escorihuela-Navarro A, Bahr A, Dorn H, Sauter C, Eggert T & Danker-Hopfe H (2012): Design and dosimetric analysis of a 385 MHz TETRA head exposure system for use in human provocation studies. *Bioelectromagnetics*: 33 594-603.
- 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.

2.2.7 Relevante Publikationen anderer Autoren

1. Diekelmann S, Born J (2010) The memory function of sleep. *Nat Rev Neurosci* 11:114-126
2. Ec (2010) Special Eurobarometer 347 - Electromagnetic Fields. In: Conducted by TNS Opinion & Social at the request of Directorate General for Health and Consumer Affairs. European Commission, Bruxelles
3. Genzel L, Kiefer T, Renner L et al. (2012) Sex and modulatory menstrual cycle effects on sleep related memory consolidation. *Psychoneuroendocrinology* 37:987-998
4. Link (2013) Differenzierte Betrachtung der Nutzung und der Wahrnehmung des Mobilfunks - Vorhaben FM8854. In: LINK Institut für Markt- und Sozialforschung GmbH
5. Lustenberger C, Murbach M, Durr R et al. (2013) Stimulation of the Brain With Radiofrequency Electromagnetic Field Pulses Affects Sleep-Dependent Performance Improvement. *Brain Stimul* 6:805-811
6. Marshall L, Helgadottir H, Molle M et al. (2006) Boosting slow oscillations during sleep potentiates memory. *Nature* 444:610-613
7. Papageorgiou CC, Hountala CD, Maganioti AE et al. (2011) Effects of Wi-Fi Signals on the P300 Component of Event-Related Potentials during an Auditory Hayling Task. *J Integr Neurosci* 10:189-202
8. Rasch B, Born J (2013) About Sleep's Role in Memory. *Physiol Rev* 93:681-766
9. Roser K, Schoeni A, Struchen B et al. (2016) Personal radiofrequency electromagnetic field exposure measurements in Swiss adolescents. *Environ Int* Article in press
10. SCENIHR (2015) Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). In: Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks
11. Statista (2017) Anteil der Haushalte mit WLAN in den führenden Ländern weltweit 2014. Letzter Aufruf: 24.01.2017. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/222242/umfrage/anteil-der-haushalte-mit-w-lan-in-ausgewaehlten-laendern/>
12. Statista (2017) Nur 4 von 10 Deutschen surfen über fremdes WLAN Letzter Aufruf: 24.01.2017. <https://de.statista.com/infografik/5860/wlan-nutzung-deutschland/>
13. Walker MP (2010) Sleep, memory and emotion. *Prog Brain Res* 185:49-68
14. Zentai N, Csatho A, Trunk A et al. (2015) No Effects of Acute Exposure to Wi-Fi Electromagnetic Fields on Spontaneous EEG Activity and Psychomotor Vigilance in Healthy Human Volunteers. *Radiat Res* 184:568-577

2.2.8 Bedeutung des Projekts für die “Swiss Research Foundation on Mobile Communication”

Das geplante Forschungsprojekt verfolgt zwei Ziele. Zum einen soll mit statistisch belastbaren Ergebnissen die Frage beantwortet werden, ob hochfrequente elektromagnetische Felder, die von WLAN-Access Points ausgehen, einen Einfluss auf den Schlaf haben (sowohl auf die subjektiv empfundene Schlafqualität als auch auf die physiologisch messbare Makro- und Mikrostruktur des Schlafes). Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund bedeutsam, dass sich solche WLAN Access Points häufig in Schlafzimmern befindet, was Befürchtungen zu gesundheitlichen Risiken durch hochfrequente elektromagnetische Felder verstärken kann. Unseres Wissens gibt es bisher keine Studie zum Einfluss von WLAN-Exposition auf den Schlaf beim Menschen, während Einflüsse anderer Hochfrequenzexpositionen (u.a. GSM 900, GSM 1800, UMTS) bereits untersucht sind. Mehrfach wurden dabei Effekte – insbesondere auf die Mikrostruktur des Schlafes – beobachtet. In diesem Zusammenhang kann die hier geplante Untersuchung belastbare Ergebnisse für die Kommunikation mit Bürgerinnen und Bürgern sowie für Diskussionen politischer Entscheidungsträger liefern. Zum anderen möchte das Forschungsprojekt einen bisher im Zusammenhang mit Hochfrequenzexposition wenig untersuchten Aspekt aufgreifen. Es ist wiederholt belegt, dass eine Stimulation mit (langsam oszillierender) Gleichstromstimulation (so-tDCS) einen Effekt auf die Konsolidierung insbesondere von deklarativen Gedächtnisinhalten hat. Zum Einfluss hochfrequenter Felder auf die Gedächtniskonsolidierung im Schlaf liegt bisher erst eine (Schweizer) Studie vor. Lustenberger et al. (2013) beobachteten unter Exposition mit einem gepulsten Signal im Vergleich zur Sham-Exposition eine reduzierte schlaf-abhängige Verbesserung in einer prozeduralen Lernaufgabe. In dieser Studie soll überprüft werden, ob ein entsprechender Effekt auch unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern, wie sie bei WLAN auftreten, zu beobachten ist.

2.2.9 Projekte der Arbeitsgruppe mit Bezug zum beantragten Projekt

- Schlaf und kognitive Funktionen: Auswirkung von REM-Schlafsuppression, REM-Schlafaugmentaion und Schlafspindelaugmentation auf das Gedächtnis älterer gesunder Probanden (DFG-Graduiertenkolleg GK 429: Neuropsychiatry and Psychology of Aging und DFG: GEP-HE 1786/2-1)
- Untersuchungen der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation – Pilotstudie (Sponsor BMU: StSch 4428)
- Untersuchungen der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation – Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen (Sponsor BMU: M 8837)
- Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen (Sponsor BMU: FM 8808)
- Der Einfluss von Gleichstrom-Stimulation (DCS) während des Schlafes auf Lernen und Gedächtnis bei älteren gesunden Probanden.
- Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen (Sponsor BDBOS: FM 8846),
- Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen – Aufbereitung des Abschlussberichtes in allgemeinverständlicher Form für die Presse- und Öffentlichkeitsarbeit (Sponsor: BDBOS: FM 8860)
- Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Personen beider Geschlechter (Sponsor BMU: 3613S30012)
- Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen (Sponsor BMU: 3614S30012)
- Der Einfluss von Gleichstrom-Stimulation (DCS) während des Schlafes auf Lernen und Gedächtnis bei älteren jüngeren Probanden

- Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer (Sponsor BMU: 3616S82430)

2.2.10 Weitere Informationen

Entfällt.