

Auswirkungen der elektromagnetischen Felder von Endgeräten des digitalen Behördenfunks auf Nutzerinnen und Nutzer

Effects of electromagnetic fields from handsets of digital broadcast for security authorities on users

Blanka Pophof

Abstract

In Germany, a nationwide uniform digital radio network for security authorities and organizations based on the TETRA standard (terrestrial trunked radio) is currently being constructed. Several European countries already use TETRA. Some countries, including Germany, have accompanied the implementation of the network by research on possible health effects of this radio standard. Studies on exposure to handheld radio terminals have shown that in everyday situations the limits for the general population are met. The terminals always comply with safety limits for occupationally exposed subjects, even in extremely unlikely scenarios. Studies on biological effects have shown no effect of TETRA on well-being, the cardiovascular system and cognitive performance. Similar to mobile phones, slight changes in brain activity during sleep and wakefulness were observed. Although these do not seem to be relevant for health, further research is performed to clarify the mechanisms of action.

Zusammenfassung

In Deutschland wird derzeit ein digitales Sicherheitsnetz für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) nach dem TETRA-Standard (Terrestrial Trunked Radio) aufgebaut. Mehrere andere europäische Länder nutzen bereits den TETRA-Funk. Einige Länder, wie auch Deutschland, begleiten den Aufbau mit wissenschaftlicher Forschung zu gesundheitlichen Wirkungen von TETRA-Funksignalen. Studien zur Exposition durch die BOS-Endgeräte haben gezeigt, dass in alltagstypischen Situationen die Grenzwerte für die allgemeine Bevölkerung eingehalten werden. Die Grenzwerte für beruflich Exponierte werden immer eingehalten, auch in extrem untypischen Szenarien. Studien zu biologischen Wirkungen haben keinen Einfluss auf das Wohlbefinden, das Herz-Kreislaufsystem und die kognitive Leistungsfähigkeit gezeigt. Ähnlich wie beim kommerziellen Mobilfunk zeigten sich geringfügige Veränderungen der Hirnaktivität im Schlaf und im Wachzustand. Obwohl diese nicht gesundheitsrelevant zu sein scheinen, wird weitere Forschung durchgeführt, um den Wirkmechanismus abschließend zu klären.

Einleitung

In Deutschland wird derzeit für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) ein Digitalfunknetz aufgebaut (BOS-Funk). Dabei handelt es sich um ein bundesweit einheitliches digitales Funknetz, das dem abhörsicheren Austausch von Informationen dient. Es wird von Rettungs- und Sicherheitskräften, wie Polizei, Feuerwehren, Rettungsdiensten, Katastrophen- und Zivilschutzbehörden, dem Technischen Hilfswerk und dem Zoll, verwendet. Das Funknetz arbeitet nach dem TETRA-Standard. TETRA verwendet den Frequenzbereich zwischen 380 und 395 Megahertz (MHz). Die kommerziellen Funknetze nutzen die Frequenzen von 900 bis 2.100 MHz. Das Signal der

mobilen BOS-Endgeräte ist gepulst (Pulsfrequenz 17,65 Hertz). Die Bundeswehr verwendet ein eigenes Übertragungssystem, TETRAPOL, das ähnliche Eigenschaften hat. Wie auch der kommerzielle Mobilfunk sind die beiden Systeme dem Hochfrequenzbereich zugeordnet. Die Besorgnis der Bevölkerung wegen möglicher gesundheitlicher Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder bezieht sich überwiegend auf Sendemasten. Messungen zeigen jedoch, dass in der Umgebung der Masten die Grenzwerte nach der Bundesimmissionsschutzverordnung bei weitem nicht ausgeschöpft werden (Bornkessel 2013). Die Exposition sinkt sehr schnell mit der Entfernung vom Sender,

deswegen sind Nutzerinnen und Nutzer der Endgeräte, die direkt am Körper betrieben werden, höher exponiert, als die Bevölkerung durch die weiter entfernten Masten.

Ausbau des Funknetzes

Die Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS) verantwortet den Aufbau, den Betrieb und die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit des Digitalfunks BOS. Die Behörde wurde 2007 mit Sitz in Berlin gegründet und gehört zum Geschäftsbereich des Bundesministeriums des Innern. Das BOS-Digitalfunknetz besteht aus mehreren Komponenten. Das Kernnetz wurde bereits 2013 fertiggestellt. Das gesamte Netz umfasst rund 4.500 Basisstationen an etwa 4.300 Standorten. Rund 97 Prozent der Fläche der Bundesrepublik Deutschland ist funkversorgt (Stand Juni 2015, <http://www.bdbos.de>).

Europaweit verfügen vierzehn Staaten über ein landesweites TETRA-Netz, acht weitere bauen TETRA-Netze auf, und in zwei Staaten sind TETRA-Netze geplant.

Schutz und Grenzwerte

Ein Teil der von den mobilen Endgeräten des BOS-Funks emittierten elektromagnetischen Felder wird vom Körper als Energie aufgenommen. Um gesundheitlich relevante Wirkungen auszuschließen, soll die beim Betrieb auftretende Energieaufnahme im Körper der Nutzerinnen und Nutzer festgelegte Höchstwerte nicht übersteigen. Als Maß für die Energieaufnahme dient die Spezifische Absorptionsrate (SAR), gemessen in Watt pro Kilogramm (W/kg).

Entsprechend einer Empfehlung der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) und den Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaft soll die SAR bei beruflich exponierten Personen in Teilbereichen von Kopf und Rumpf maximal 10 W/kg, gemittelt über 10g Gewebe, betragen. Für die Allgemeinbevölkerung gilt entsprechend der Empfehlung der SSK und der EU-Kommission ein Wert von 2 W/kg. Diese Höchstwerte beruhen auf einer Empfehlung der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) und gelten für alle Anwendungen im

Frequenzbereich von 100 Kilohertz (kHz) bis 10 Gigahertz (GHz). Bei einer beruflichen Exposition, zum Beispiel mit einem TETRA-Endgerät, werden als Grundlage gesunde Arbeitnehmer betrachtet. Für die Allgemeinbevölkerung wurden für die Exposition mit unterschiedlichen am Körper oder in Körpernähe betriebenen Funkanwendungen (z. B. Handy, Bluetooth, WLAN-Stick) niedrigere Werte festgelegt, da hier auch empfindliche Personen, wie Kinder oder Kranke, berücksichtigt werden.

Auswirkungen auf die Nutzerinnen und Nutzer – Kenntnisstand aus der Fachliteratur

In Großbritannien, Dänemark und Deutschland wurden und werden der Aufbau und die Nutzung der digitalen TETRA-Funknetze von wissenschaftlichen Untersuchungen begleitet. Dabei konzentrierte man sich einerseits auf die Bestimmung der tatsächlichen Exposition und die Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte, andererseits auf mögliche biologische und gesundheitliche Auswirkungen. Im Fokus der meisten Studien standen die Endgeräte, da diese eine höhere Exposition verursachen als die Basisstationen (Masten).

Die meisten Studien stammen aus Großbritannien, da dort der TETRA-Funk bereits im Jahr 1999 eingeführt wurde. Untersuchungen zur Exposition unter realen Bedingungen (Dimbylow 2003) zeigten, dass die Grenzwerte für beruflich Exponierte in allen Fällen eingehalten beziehungsweise deutlich unterschritten werden. In den meisten Nutzungsszenarien werden auch die Grenzwerte für die allgemeine Bevölkerung eingehalten, nur in bestimmten Haltepositionen werden sie um rund 50 Prozent überschritten.

Experimente an Herzmuskelzellen und Nervenzellen aus dem Gehirn zeigten, dass das gepulste TETRA-Signal die elektrische Aktivität dieser Zellen nicht verändert (Green 2005). In Studien an Testpersonen zeigte sich kein Einfluss auf den Blutdruck, die Blutparameter und das Herz-Kreislaufsystem (Barker 2007).

Da die Exposition mit Endgeräten überwiegend am Kopf stattfindet, konzentrierten sich einige Studien auf die kognitive Leistungsfähigkeit, wie Reaktionszeiten, Gedächtnis und Aufmerksamkeit. Weiterhin wurden das Auftreten von Symptomen (z. B. Kopf-

schmerzen, Schwindel, Müdigkeit, Hautirritationen, Wärmeempfinden) und das Wohlbefinden der Probanden erfasst. Die kognitive Leistungsfähigkeit war im Allgemeinen nicht beeinträchtigt, es zeigte sich lediglich in einem von mehreren Tests eine Abnahme der Gedächtnisleistung für Wörter (Smith 2005). Eine dänische Studie konnte den Einfluss auf das Gedächtnis nicht bestätigen (Riddervold 2010). Mit einem simulierten wesentlich schwächeren Signal einer Basisstation wurde kein Einfluss auf die Kognition gefunden (Wallace 2012). Die Testpersonen konnten nicht feststellen, wann die Exposition stattfand und wann nicht (Nieto-Hernandez 2011). Es wurden weder mit dem Signal eines Endgerätes (Nieto-Hernandez 2011) noch mit dem Signal einer Basisstation (Wallace 2010) unangenehme Symptome hervorgerufen.

Die bislang umfangreichste Studie zu Langzeitwirkungen des TETRA-Funks ist die britische „Airwave Health Monitoring Study“ an circa 100.000 Polizistinnen und Polizisten, die 2018 beendet werden soll (Elliott 2014).

Aktuelle Studien in Deutschland

In Deutschland hat die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) Studien zu TETRA- und TETRAPOL-Endgeräten durchgeführt. Es wurde kein Einfluss auf die kognitive Leistungs-

fähigkeit, auf durch Bewegung hervorgerufene Hirnpotentiale und auf das Verhalten während einer Ruhesituation festgestellt (Neuschulz 2012).

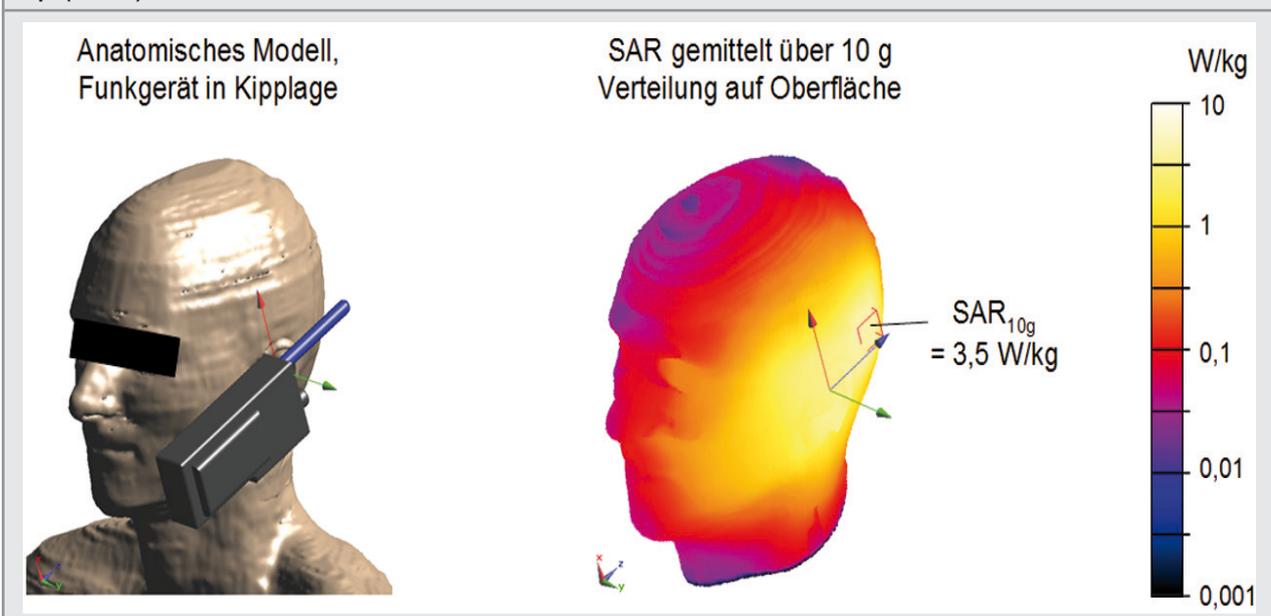
Die BDBOS hat im Jahr 2008 zwei Forschungsstudien in Auftrag gegeben, die den Einfluss von TETRA-Endgeräten auf die Nutzerinnen und Nutzer untersuchen sollten. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat die Themenstellung der beiden Studien empfohlen und die Koordinierungen sowie die fachliche Betreuung übernommen. Auf diese Studien wird im Folgenden näher eingegangen.

Studie zur Exposition der Nutzerinnen und Nutzer

Ziel des ersten Forschungsprojekts, das im BfS durchgeführt wurde (Bodendorf 2013), war die Bestimmung der Exposition der Nutzerinnen und Nutzer von Funkgeräten, die im digitalen BOS-Funknetz in Deutschland verwendet werden. Dabei wurde mit Hilfe von Computersimulationen die Verteilung der SAR-Werte im Körper für verschiedene praxisrelevante Gebrauchspositionen, Betriebsszenarien und Einsatzsituationen bestimmt (**Abbildung 1**). Die Computersimulationen wurden anhand von Messungen der SAR an Messphantomen verifiziert.

Im alltagstypischen Fall beträgt die Sendeleistung der im deutschen BOS-Netz eingesetzten Funkgeräte im zeitlichen Mittel einheitlich maximal 0,25 W.

Abbildung 1: Anatomisches Kopfmodell mit einem TETRA-Funkgerät am Ohr (links) und die simulierten SAR-Werte im Kopf (rechts). Quelle: BfS.



In dieser Betriebsart wird sowohl der in Deutschland geltende Grenzwert für die berufliche Exposition als auch die empfohlene Begrenzung für die Allgemeinbevölkerung in allen betrachteten Szenarien eingehalten und in der Regel sogar deutlich unterschritten. Lediglich beim Betrieb eines Funkgeräts im Fahrzeuginneren bei direktem Anlehnen an die metallische Karosserie wird die empfohlene Begrenzung für die Allgemeinbevölkerung nahezu ausgeschöpft. Beruflich genutzte Geräte müssen die Grenzwerte für die allgemeine Bevölkerung nicht einhalten, aus Vorsorgegründen und im Sinne einer technisch möglichen Expositionsminimierung ist dies aber sinnvoll.

Bei einer Kanalbündelung (gleichzeitige Nutzung aller vier möglichen Kanäle) kann die mittlere Sendeleistung der Handfunkgeräte auf maximal 1 W steigen. Auch in diesem Betriebsmodus wird der geltende Grenzwert für die beruflich bedingte Exposition in allen betrachteten Szenarien eingehalten. Die entsprechende Empfehlung für die Allgemeinbevölkerung kann hier in einzelnen Szenarien überschritten werden, zum Beispiel wenn beim Telefonieren die Antenne dem Kopf sehr nahe kommt oder wenn beim Telefonieren im Auto der Kopf die Karosserie berührt.

Die Erwärmung des Gewebes durch die absorbierte Strahlungsleistung beträgt bei einer mittleren Sendeleistung von 0,25 W maximal 0,25 °C und liegt damit unterhalb des von ICNIRP empfohlenen Bezugswertes von 1 °C, der als gesundheitlich unbedenklich gilt. Sie tritt ausschließlich direkt an der Hautoberfläche auf, und zwar bei den typischen Telefonierhaltungen im Bereich der Ohrmuschel. Im Inneren der Augen, die besonders wärmeempfindlich sind, wurde die stärkste Erwärmung bei der Verwendung der Funkgeräte zum Einsprechen vor dem Gesicht beobachtet, sie beträgt 0,075 °C.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass bei der Verwendung von TETRA-Funkgeräten im BOS-Netz keine Überschreitung der geltenden Grenzwerte gefunden wurde.

Studie zur Hirnaktivität

Das zweite vom BfS betreute Forschungsvorhaben wurde im Kompetenzzentrum für Schlafmedizin der Charité Berlin durchgeführt (Danker-Hopfe 2014). Es wurde untersucht, ob die Gehirnaktivität im Wachzustand und während des Schlafens durch die elektromagnetischen Felder, die durch die Be-

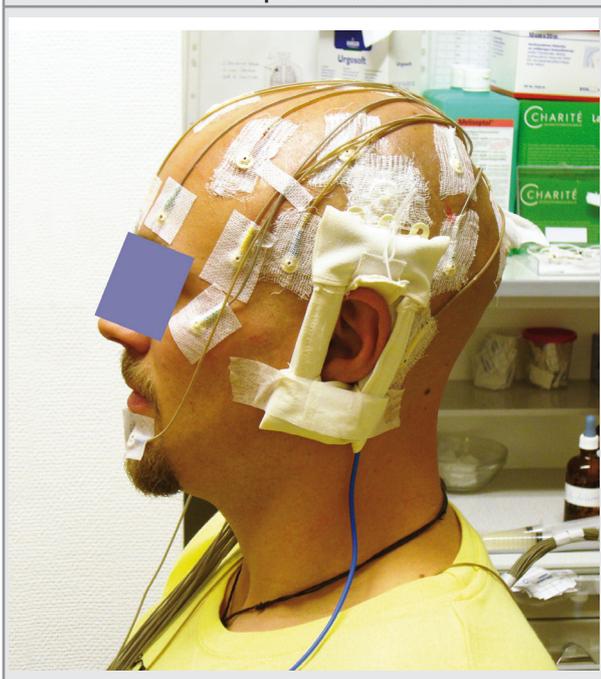
nutzung eines TETRA-Gerätes entstehen, verändert wird. Der Einfluss auf das schlafende Gehirn wurde untersucht, weil sich die Aktivität des Gehirns im Schlaf während eines längeren Zeitraums sehr gut mit dem EEG untersuchen lässt, ohne dass die Versuchsperson dabei gestört wird und ohne dass die Versuchsperson selbst die Ergebnisse unbeabsichtigt beeinflusst. Außerdem wurde überprüft, ob Menschen in ihrer Reaktionsfähigkeit und/oder ihrer Konzentration bei der Durchführung von verschiedenen Aufgaben durch diese elektromagnetischen Felder beeinflusst werden. An der Studie nahmen 32 junge, gesunde Männer im Alter von 18 bis 30 Jahren teil. Weitere Aufnahmekriterien waren unter anderem: potentielle Nutzung von TETRA, Rechtshänder, Nichtraucher, keine Schlafstörungen, kein Schichtdienst.

Jeder Studienteilnehmer wurde zu Beginn der Studie zu seinem Gesundheitszustand und zu den Aufnahmekriterien befragt und medizinisch untersucht. Er verbrachte dann einen Nachmittag und eine Nacht zur Eingewöhnung im Labor. Nach dieser Vorbereitungsphase verbrachte jeder Proband abwechselnd neun Nachmittage und neun Nächte, jeweils im Abstand von einer Woche, im Labor. Die Studiendauer erstreckte sich somit über 20 Wochen.

Zur Exposition wurde eine linksseitig direkt am Kopf getragene Antenne verwendet, die über ein Kabel mit einem Signalgenerator und einer Steuereinheit verbunden war und eine mit einem TETRA-Endgerät verursachte Exposition simulierte. Die tatsächliche Exposition einzelner Hirnareale wurde berechnet (Schmid 2012).

Es wurden drei verschiedene Expositionsstufen mit unterschiedlichen SAR-Werten jeweils in drei Nächten und an drei Tagen eingesetzt. Eine niedrige Expositionsstufe von 1,5 W/kg, wie sie beim alltäglichen Gebrauch von TETRA-Funkgeräten entsteht, eine höhere Leistungsstufe von 6 W/kg, die noch unterhalb des zulässigen Grenzwertes für berufliche Nutzerinnen und Nutzer liegt und eine Scheinexposition, bei der die Antenne am Kopf getragen wurde, aber kein Signal sendete. Weder die Probanden noch die Wissenschaftler, die sie betreuten und die Ergebnisse auswerteten, wussten, wann welche Expositionsstufe angewendet wurde (doppelte Verblindung). Die Reihenfolge der Expositionen wurde für jeden Probanden nach dem Zufallsprinzip bestimmt.

Abbildung 2: Versuchsperson mit EEG-Elektroden und der Antenne an der linken Kopfseite. Quelle: Charité Berlin.



Die am Kopf getragene Antenne verursachte in der höchsten Leistungsstufe bei 6 W/kg eine oberflächliche Erwärmung von fast 1 °C. Da die Studie verblindet durchgeführt wurde, war es wichtig zu prüfen, ob diese Erwärmung durch die Testpersonen wahrgenommen werden kann. Hierzu wurde eine Vorstudie durchgeführt (Dorn 2014). Es hat sich herausgestellt, dass die Probanden nicht in der Lage waren, die tatsächliche Temperaturerhöhung richtig einzuschätzen und die jeweilige Leistungsstufe zu erkennen. Ein Entblindungsrisiko bestand also nicht.

Die Gehirnaktivität wird gemessen, indem an der Oberfläche des Kopfes Schwankungen der elektrischen Spannung mittels Elektroden (**Abbildung 2**) aufgezeichnet werden (Elektroencephalogramm, EEG). Das EEG setzt sich aus unterschiedlich schnellen Wellen zusammen. Im Schlaf-EEG überwiegen die langsamen Theta- und sehr langsamen Delta-Wellen, im Wachzustand sieht man im EEG überwiegend mittlere Alpha- und schnelle Beta-Wellen. In den Schlafuntersuchungen wurde die Gehirnaktivität während des achtstündigen Schlafes aufgezeichnet, dabei trugen die Probanden die Antenne am linken Ohr (**Abbildung 2**) und wurden mit einer der drei möglichen Expositionsstufen befördert.

Aus dem aufgezeichneten Schlaf-EEG wurden 76 Merkmale zur Makrostruktur des Schlafes ausgewertet, wie zum Beispiel Einschlafzeit, Schlaf-

dauer, Tiefschlafanteil, Dauer und Verteilung einzelner Schlafstadien. Nur vier davon waren unter Exposition verändert, dabei handelte es sich um geringfügige Verschiebungen in der Dauer einzelner Schlafstadien im Bereich von einigen Minuten. Bezogen auf den gesamten Schlaf bedeuten diese Änderungen keine Verschlechterung des Schlafes.

Die Auswertung des EEG über die gesamte Nacht zeigte vor allem eine Verringerung der schnellen (Beta-) Hirnaktivität während der Exposition in Abhängigkeit von der Leistungsstufe. Veränderungen traten vermehrt nach einer längeren Exposition zum Ende der Nacht auf. Da eine Reduktion der schnellen Wellen tendenziell als eine Verschiebung vom Leichtschlaf zum tieferen Schlaf interpretiert werden kann, lassen sich die Ergebnisse nicht im Sinne einer Verschlechterung des Schlafes unter Exposition deuten.

Anhand von Fragebögen wurde die persönlich empfundene Schlafqualität erfasst. Die Probanden wurden gefragt, wie schnell sie nach ihrer eigenen Einschätzung eingeschlafen sind, wie lange sie in der Nacht wach waren und wie sie ihre Schlafqualität allgemein beurteilten. Sämtliche Angaben zur persönlich empfundenen Schlafqualität wurden durch TETRA-Signale nicht beeinflusst.

Die Tagesuntersuchungen wurden immer zur gleichen Uhrzeit am Nachmittag durchgeführt, da bekannt ist, dass die Tageszeit einen Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse hat. Die Exposition dauerte insgesamt etwa drei Stunden. Nach Ablauf der ersten 30 Minuten wurden zunächst die Gehirnaktivität und der Wachheitsgrad im Ruhezustand gemessen. Im Anschluss daran mussten die Testpersonen Aufgaben in zwölf verschiedenen Computertests mit unterschiedlicher Schwierigkeit und geistiger Beanspruchung bearbeiten. Diese Tests können Aufschluss über die Reaktionsfähigkeit, Aufmerksamkeit und das Gedächtnis der Probanden geben.

TETRA hatte keinen Einfluss auf die Wachheit beziehungsweise Schläfrigkeit der Probanden. Das Ruhe-EEG zeigte wie auch im Schlaf leichte Veränderungen, die an fünf von 15 Elektrodenpositionen registriert wurden. Die schnelle (Beta-) und die langsame (Theta-) Gehirnaktivität nahmen unter TETRA-Einfluss zu. Die sehr langsame Aktivität (Delta) wurde geringer.

Hirnpotentiale, die durch akustische und visuelle Reize während der Tests hervorgerufen wurden, blieben unter Exposition in zwei durchgeführten Tests unverändert. Die Reaktionszeiten und die Genauigkeit der Antworten auf diese Reize wurden ebenfalls durch die Exposition nicht beeinflusst. Langsame Potentiale, die frühe Schritte der Informationsverarbeitung im Gehirn spiegeln, waren nur in einem von fünf Tests unter Exposition verändert. Die Reaktionsgeschwindigkeit, die während des Tests ebenfalls erfasst wurde, war nicht beeinflusst.

Bei einem Gedächtnistest, der in vier unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden durchgeführt wurde, zeigten sich in der einfachsten und in der schwierigsten Version keine Auswirkungen von TETRA. In den zwei mittleren Schwierigkeitsgraden wurden Unterschiede gefunden, die sowohl eine Verbesserung (mehr richtige Antworten bei 1,5 W/kg) als auch eine Verschlechterung (weniger richtige Antworten bei 6 W/kg) zeigten und somit nicht eindeutig zu bewerten sind. Im Gesamtergebnis über alle vier Schwierigkeitsgrade beeinflusste TETRA weder die Reaktionsgeschwindigkeit noch die Anzahl der richtigen Antworten. Mit einer Ausnahme zeigten sich in drei verschiedenen Aufmerksamkeitstests unter Exposition keine Unterschiede in der Reaktionszeit und der Genauigkeit der Bearbeitung (Sauter 2015).

Vor und nach den Tests füllten die Teilnehmer Fragebögen aus, die Auskunft zu ihrer aktuellen Befindlichkeit sowie zu körperlichen und psychischen Beschwerden gaben. Mit diesen Fragebögen wurde untersucht, wie sich die Studienteilnehmer vor Beginn der Untersuchungen fühlten und ob sich nach der Untersuchung etwas verändert hatte. Die Befeldung mit TETRA führte weder in der Nacht- noch in der Tagesuntersuchung zu körperlichen oder psychischen Beschwerden. Auch die Befindlichkeit wurde durch TETRA nicht beeinträchtigt. Weiterhin wurde das Wärmeempfinden abgefragt. Die Angaben dazu unterschieden sich nicht zwischen den drei Expositionsstufen. Im Einklang mit der Vorstudie konnten die Testpersonen nicht abschätzen, welche Expositionsbedingung angewendet wurde.

Weitere Forschung

Die in der letzten Studie beschriebenen geringfügigen Veränderungen im Schlaf- und Wach-EEG sind in ihrem Umfang vergleichbar mit bereits be-

kannten Beobachtungen beim Mobilfunk. Die Effekte waren bei 6 W/kg nicht ausgeprägter als bei 1,5 W/kg. Subjektiv wurden sie nicht wahrgenommen, eine Bedeutung für die Gesundheit ist nicht bekannt. Um die gesundheitliche Relevanz zu bewerten ist es wichtig, den Wirkmechanismus, der für die beobachteten Veränderungen verantwortlich ist, zu kennen. Es ist möglich, dass die durch die Antenne verursachte geringfügige Erwärmung der Haut zur Aktivierung von Wärmerezeptoren und zu thermoregulatorischen Reaktionen führt, die im EEG messbar sind. Am BfS wird eine durch die BDBOS finanzierte Literaturrecherche mit dem Titel „Bewertender Review zu der Frage der Übertragbarkeit von Ergebnissen aus benachbarten Frequenzbereichen und ähnlichen Technologien auf TETRA am Beispiel der Thermoregulation und deren Einflussfaktoren“ durchgeführt. Es soll die Frage geklärt werden, ob die beim Mobilfunk erzielten Ergebnisse uneingeschränkt auf den BOS-Funk übertragen werden können. Es wird auch der aktuelle Kenntnisstand zu den Zusammenhängen zwischen Thermoregulation, Wärmewahrnehmung, Hirnaktivität und Schlaf umfassend analysiert. Dadurch kann möglicherweise die Hypothese, dass die beim Mobilfunk und beim BOS-Funk im EEG beobachteten Veränderungen auf Thermoregulation zurückzuführen sind, gestützt werden.

Die Hirnaktivität im Wachzustand und im Schlaf variiert alters- und geschlechtsspezifisch. Deswegen können Ergebnisse, die in Untersuchungen an jungen gesunden Männern erzielt wurden, auf andere Bevölkerungsgruppen nicht übertragen werden. Aus diesem Grund wird im Rahmen des Umweltforschungsplans des Bundesumweltministeriums im Auftrag des BfS an der Charité Berlin eine Studie an Frauen im Alter zwischen 60 und 80 Jahren unter dem Einfluss des Mobilfunks (GSM, 2 W/kg) und des BOS-Funks (TETRA, 6 W/kg) durchgeführt. Ergebnisse werden 2016 erwartet. Eine identische Studie an älteren Männern ist für den Forschungsplan 2016 vorgesehen.

Weitere Informationen

Internetseite **Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS)**: www.bdbos.bund.de.

Internetseite **Bundesamt für Strahlenschutz**: <http://www.bfs.de>.

Literatur

Barker AT, Jackson PR, Parry H et al. (2007): The effect of GSM and TETRA mobile handset signals on blood pressure, catechol levels and heart rate variability. In: *Bioelectromagnetics* 28(6): 433–438.

Bodendorf C (2013): Exposition durch in Deutschland verwendete TETRA-Endgeräte. BfS. urn:nbn:de:0221-2013062410893.

Bornkessel, C, Schubert M, Wuschek M (2013): Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken - Vorhaben 3611S80002. BfS. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013041610546>.

Danker-Hopfe H, Dorn H, Sauter C et al. (2014): Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen. BfS. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014090311644>.

Dimbylow P, Khalid M, Mann S (2003): Assessment of specific energy absorption rate (SAR) in the head from a TETRA handset. In: *Phys. Med. Biol.* 48(23): 3911–26.

Dorn H, Schmid G, Eggert T et al. (2014): Experimental investigation of possible warmth perception from a head exposure system for human provocation studies with TETRA handset-like signals. In: *Bioelectromagnetics* 35(6): 452–458.

Green AC, Scott IR, Gwyther RJ et al. (2005): An investigation of the effects of TETRA RF fields on intracellular calcium in neurones and cardiac myocytes. In: *Int. J. Radiat. Biol.* 81(12): 865–885.

Elliott P, Vergnaud AC, Singh D et al. (2014): The Airwave Health Monitoring Study of police officers and staff in Great Britain: Rationale, design and methods. In: *Environ. Res.* 134: 280–285.

Neuschulz H (2012): Einfluss eines TETRA-Feldes auf kognitive Funktionen und Reaktionen in einer Ruhesituation. In: *EMF Spectrum* 3: 13–17.

Nieto-Hernandez R, Williams J, Cleare AJ et al. (2011): Can exposure to a terrestrial trunked radio (TETRA)-like signal cause symptoms? A randomised double-blind provocation study. In: *Occup. Environ. Med.* 68: 339–344.

Riddervold IS, Kjærgaard SK, Pedersen GF et al. (2010): No effect of TETRA hand portable transmission signals on human cognitive function and symptoms. In: *Bioelectromagnetics* 31(5): 380–390.

Sauter C, Eggert T, Dorn H et al. (2015): Do signals of a hand-held TETRA transmitter affect cognitive performance, well-being, mood or somatic complaints in healthy young men? Results of a randomized double-blind cross-over provocation study. In: *Environ. Res.* 140: 85–94.

Schmid G, Bolz T, Uberbacher R et al. (2012): Design and dosimetric analysis of a 385 MHz TETRA head exposure system for use in human provocation studies. In: *Bioelectromagnetics* 33(7): 594–603.

Smith RN, Tattersall JEH, Bowditch SC et al. (2005): An Investigation of the Effects of the Airwave TETRA Signal on Cellular Calcium and Brain Function. Dstl Porton Down, Salisbury, Home Office.

Wallace D, Eltiti S, Ridgewell A et al. (2012): Cognitive and physiological responses in humans to a TETRA base station signal in relation to perceived electromagnetic hypersensitivity. In: *Bioelectromagnetics* 33(1): 23–39.

Wallace D, Eltiti S, Ridgewell A et al. (2010): Do TETRA (Airwave) Base Station Signals Have a Short-Term Impact on Health and Well-Being? A Randomized Double-Blind Provocation Study. In: *Environ. Health. Perspect.* 118(6): 735–741.

Kontakt

Dr. Blanka Pophof
Bundesamt für Strahlenschutz
Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit
AG-SG 1.4 Exposition, Wirkungen und
Risiken durch elektrische, magnetische und
elektromagnetische Felder, Anwendungen
beim Menschen einschließlich Ultraschall
85762 Oberschleißheim
E-Mail: bpophof@bfs.de

[BfS]